



مقدمه

یک سیستم، مجموعه‌ای از اجزا یا مفاهیم مرتبط و متصل است که از طریق تعاملات منظم یا وابستگی‌های متقابل، یک واحد کلی را تشکیل می‌دهند و وظایف خاصی را انجام می‌دهند. سیستم‌ها ورودی‌هایی را دریافت کرده و خروجی‌هایی را تولید می‌کنند که این خروجی‌ها بازدهی سیستم در قبال انرژی مصرفی است. به عنوان مثال، یک دماسنج (ترمومتر) و یا یک سیستم رطوبت‌ساز را می‌توان به عنوان یک سیستم در نظر گرفت. یک دماسنج، نیروی مصرفی معادل دمای هوا دارد ($X = \text{دمای هوا}$) و بازده آن متناسب با طول ستون جیوه ($Y = \text{خروجی نشانگر}$) است. در سلسله مراتبی منابع توده‌ای، نیروی مصرفی و بازده سیستم به همین شیوه محاسبه می‌گردد. در مورد یک مولد الکتریکی چرخان، نیروی مصرفی معادل سرعت چرخش اولیه و بازده آن، تولید ولتاژ در پایانه‌ها یا واحدهای توان الکتریکی است.

عبارت "کنترل" به معنای قاعده، دستور و فرمان است. بنابراین، **سیستم کنترل** را می‌توان اینگونه تعریف کرد: "مجموعه‌ای از علائم و اجزای متصل یا مرتبط که مانند یک دستور، فرمان یا قاعده برای یک سیستم دیگر عمل می‌کنند." در سیستم‌های کنترلی، راهنمایی‌هایی برای به‌کارگیری یک سیستم ثابت وجود دارد که این سیستم می‌تواند مطابق با یک برنامه از پیش تعیین شده، تغییر کند. این توانایی انطباق، قلب تپنده اتوماسیون و بهینه‌سازی در دنیای مدرن است و در طیف وسیعی از کاربردها، از اتومبیل‌ها گرفته تا فرآیندهای صنعتی و حتی بدن انسان، حضور دارد.

نمونه‌هایی از سیستم‌های کنترلی

در ادامه، با برخی از نمونه‌های رایج سیستم‌های کنترلی آشنا می‌شویم که درک عمیق‌تری از عملکرد آن‌ها به ما می‌دهد:

• **(i) سیستم روشن - خاموش الکتریکی:** یک سوئیچ الکتریکی که جریان الکتریسیته را در مدار کنترل می‌کند. در این سیستم، ورودی به صورت دستور "روشن" یا "خاموش" است و خروجی، عبور یا عدم عبور جریان الکتریسیته می‌باشد. این یک نمونه ساده از سیستم‌های کنترلی است که در بسیاری از دستگاه‌های روزمره کاربرد دارد.

• **(ii) سیستم حرارتی با کنترل تغذیه دستی:** سیستمی که دمای آب داغ را در یک محدوده مطلوب نگه می‌دارد. این وظیفه با موفقیت انجام می‌شود اگر:

- **نقطه تنظیم (Set Point):** کاربر یا سیستم، دمای مورد نظر برای آب را مشخص می‌کند. این دما، "نقطه تنظیم" یا "ارزش مرجع" نامیده می‌شود که به عنوان ورودی به سیستم داده می‌شود.
- **بازده و حسگرها:** سیستم باید قادر به اندازه‌گیری دمای واقعی آب باشد. این کار توسط حسگرهایی مانند دماسنج انجام می‌شود که دمای فعلی آب را به عنوان خروجی اندازه‌گیری می‌کنند. این دمای واقعی، "بازده" سیستم است که به آن "متغیر کنترلی" نیز می‌گویند. کاربر با مقایسه دمای واقعی با



دمای مورد نظر، "سیگنال خطا" را محاسبه می‌کند: $e = r - c$ (که در آن r نقطه تنظیم یا بازده مرجع و c متغیر کنترلی است).

• **کنترل‌کننده و عملگر:** بخش کنترلی سیستم باید بر اساس سیگنال خطا، برای رساندن دما به میزان مطلوب، دستور مناسب را صادر کند. این سیگنال خطا به کنترل‌کننده اطلاع می‌دهد که آیا دما بیش از حد بالا یا پایین است و چگونه باید تنظیم شود. به عنوان مثال، اگر خطا نشان دهد که دما پایین‌تر از حد مطلوب است، کنترل‌کننده ممکن است دستور باز کردن بیشتر شیر سوخت دیگ بخار را صادر کند تا دمای افزایش یابد. این فرآیند به طور مداوم تکرار می‌شود تا سیگنال خطا به حداقل ممکن برسد.

• **(iii) سیستم تقسیم‌بندی خودکار (موتور خودرو):** در خودروها، شتاب‌دهنده و کاربراتور با هم کار می‌کنند تا سرعت موتور را کنترل کنند. سیگنال ورودی می‌تواند فشار راننده بر پدال شتاب‌دهنده و یا سرعت مطلوب خودرو باشد. تغییر مطلوب سرعت موتور از طریق کنترل میزان فشردگی پدال شتاب‌دهنده به دست می‌آید. سیستم‌های پیشرفته‌تر خودروها، این فرآیند را با استفاده از سنسورها و واحدهای کنترل الکترونیکی (ECU) به صورت دقیق‌تر و خودکار مدیریت می‌کنند.

• **(iv) سیستم هدایت خودرو:** رانندگی خودرو نیازمند حفظ مسیر است. مغز و دست‌های راننده به عنوان بخش‌های حیاتی سیستم عمل می‌کنند. راننده خطای بین موقعیت فعلی خودرو و مسیر مورد نظر را احساس کرده (مانند سیگنال خطا) و با انجام واکنش‌های لازم (چرخش فرمان)، این خطا را به صفر نزدیک می‌کند. مهندسی خودروهای مدرن، سیستم‌های هدایت خودکار (Autopilot) را توسعه داده که این فرآیند را با دقت و ایمنی بالاتری انجام می‌دهد.

• **(v) سیستم کنترل بیولوژیکی:** در بدن انسان نیز سیستم‌های کنترلی پیچیده‌ای وجود دارد. به عنوان مثال، زمانی که فردی به سمت یک نقطه هدف حرکت می‌کند، مغز سیگنال دستور (موقعیت هدف) را دریافت کرده و اطلاعات دریافتی از چشم‌ها (موقعیت فعلی) را پردازش می‌کند تا بدن را به سمت هدف هدایت نماید. سایر نمونه‌های شناخته شده سیستم‌های کنترلی شامل سرخ‌کن‌های برقی، تنظیم‌کننده‌های فشار آب، سطح‌سنج‌های خودکار در مخازن توال، اتوهای برقی، خنک‌کننده‌ها و اجاق‌های خانگی با کنترل دما می‌باشند.

طبقه‌بندی سیستم‌های کنترل

سیستم‌های کنترل به طور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

1. سیستم‌های حلقه باز (Open-Loop Control Systems)
2. سیستم‌های حلقه بسته (Closed-Loop Control Systems)



1503.01: سیستم‌های حلقه باز (سیستم کنترل غیر مانیتوری)

ویژگی‌های اصلی سیستم‌های حلقه باز عبارتند از:

- **عدم مقایسه:** هیچ مقایسه‌ای بین ارزش واقعی (خروجی) و ارزش مطلوب (ورودی) وجود ندارد.
 - **استقلال از بازده:** جریان ورودی و عملکرد کنترل، مستقل از بازده سیستم است. یعنی خروجی سیستم بر چگونگی عملکرد کنترل تأثیر نمی‌گذارد.
 - **تنظیم نیروی مصرفی:** برای تنظیم نیروی مصرفی، ممکن است از مقادیر کنترل‌کننده استفاده شود که وابسته به شرایط مورد نظر است، اما این تنظیمات بر اساس بازخورد واقعی انجام نمی‌شود.
- از آنجایی که تفاوتی بین ارزش مطلوب و بازده واقعی سنجیده نمی‌شود، تغییرات اتفاق افتاده در بازده (مثلاً سرعت ماشین)، بدون در نظر گرفتن فشارهای خارجی یا اختلالات، اتفاق می‌افتد.

برخی از نمونه‌های سیستم حلقه باز:

- **(i) هدایت خودرو با فرمان:** هنگامی که سعی می‌کنید ماشین را با تنظیم چرخ فرمان هدایت کنید، الگوی حرکت در ابتدا تعیین می‌شود، اما پس از آن، هیچ مقیاس یا بازخوردی برای تنظیم دقیق مسیر در حین حرکت خودرو وجود ندارد.
- **(ii) ضربه به توپ گلف:** بازیکنی که می‌داند هدفش کجاست، به توپ گلف ضربه می‌زند. او باید در **لحظه شروع** و ضربه، توپ را به درستی هدایت کند. پس از ضربه، کنترل از دست بازیکن خارج شده و توپ در مسیری مشخص حرکت می‌کند.
- **(iii) ماشین لباسشویی:** پس از تعیین میزان آب ورودی و زمان شستشو، ماشین لباسشویی بر اساس زمان برنامه‌ریزی شده کار می‌کند. این سیستم بازده (میزان تمیزی لباس‌ها) را بررسی نمی‌کند تا عملکرد خود را تنظیم کند.
- **(iv) توستر اتوماتیک:** با تنظیم زمان و دما، توستر نان را برشته می‌کند. کیفیت نهایی (میزان تیرگی یا روشنی) معمولاً توسط کاربر قابل تنظیم است، اما توستر به طور خودکار کیفیت برشته شدن را "نمی‌بیند" و بر اساس آن تنظیمات را تغییر نمی‌دهد.
- **(v) علائم کنترل ترافیک خودکار:** چراغ‌های راهنمایی و رانندگی سبز و قرمز، بر اساس زمان‌بندی از پیش تعیین شده عمل می‌کنند و لزوماً وضعیت ترافیک لحظه‌ای (بازده) را در پیچ‌ها یا مسیرها بررسی نمی‌کنند.
- **فرآیندهای مشابه:** سوئیچ الکتریکی (تصویر 1503) به طور مستقل از جریان واقعی مدار عمل می‌کند. رانندگی خودرو یا تنظیم پدال سرعت نیز در ابتدا به صورت دستی انجام می‌شود و تا زمانی که راننده به صورت فعال دخالت نکند، حلقه‌ای از بازخورد خودکار وجود ندارد.

مزایا و محدودیت‌های سیستم‌های حلقه باز:

- **مزایا:**



- بسیار ساده‌تر و ارزان‌تر برای ساخت و نگهداری.
- مشکلات پایداری کمتر.
- مناسب برای زمانی که اندازه‌گیری بازده دشوار یا گران است.

• محدودیت‌ها:

- بسیار حساس به اختلالات داخلی و خارجی (تغییر دمای محیط، اصطکاک غیرمنتظره و غیره).
- بازده ممکن است به طور قابل توجهی با ارزش مطلوب تفاوت داشته باشد.
- نیاز به دقت بالا در تنظیم خروجی اولیه و عدم امکان تصحیح خودکار خطاها.

1503.02: سیستم‌های حلقه بسته (سیستم‌های کنترلی ماینیتوری)

ویژگی‌های اصلی سیستم‌های حلقه بسته عبارتند از:

- **مقایسه ارزش‌ها:** یک مقایسه فعالانه بین ارزش مطلوب (ورودی/نقطه تنظیم) و ارزش واقعی (خروجی) انجام می‌شود.
- **بازخورد:** سیگنال بازده (خروجی واقعی) به صورت یک حلقه به ورودی بازگردانده می‌شود.
- **به حداقل رساندن خطا:** "سیگنال خطا" (تفاوت بین ورودی و خروجی) محاسبه شده و توسط بخش‌های کنترل‌کننده برای به حداقل رساندن خطا و رساندن بازده به ارزش مطلوب مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **تصحیح مداوم:** سیستم به طور مداوم خطاها را تصحیح می‌کند تا بازده به هدف مورد نظر برسد. این امر باعث افزایش دقت و پایداری سیستم می‌شود.

نحوه عملکرد سیستم‌های حلقه بسته:

سیستم‌های حلقه بسته، مسیر بازده را با هدف رسیدن به مقادیر مطلوب تغییر می‌دهند و این امر حتی در مواجهه با مزاحمت‌های خارجی یا خرابی‌های جزئی در خود سیستم نیز صادق است. این سیستم‌ها دارای ویژگی‌های مطلوبی مانند حداقل انحراف از هدف، حداقل زمان بازگشت به نقطه تنظیم و حداقل خاموشی در اثر تغییر شرایط اجرایی هستند.

نمونه‌هایی از سیستم‌های حلقه بسته:

- **(i) کنترل سیستم حرارتی (تصویر 1504):** همانطور که پیشتر اشاره شد، زمانی که دمای بازده با دمای مرجع تفاوت پیدا می‌کند، کنترل‌کننده دستوراتی را برای تغییر جریان سوخت دیگ بخار صادر می‌کند تا دما تنظیم شود. این سیستم دائماً دمای محیط را می‌سنجد و با دمای تنظیم شده مقایسه می‌کند.
- **(ii) سیستم تقسیم‌بندی خودکار (خودرو - تصویر 1505):** راننده با نگاه کردن به نشانگر سرعت، سرعت فعلی خودرو را با سرعت دلخواه خود مقایسه می‌کند. بر اساس این تفاوت (سیگنال خطا)، راننده با تغییر فشار پا بر پدال گاز، سرعت را تنظیم می‌کند. چشم و مغز راننده در اینجا نقش حسگر و پردازشگر سیگنال خطا را ایفا می‌کنند.
- **(iii) سیستم کنترل ترافیک توسط نیروی پلیس:** در مواقعی که نیاز به مدیریت ترافیک است، پلیس



به عنوان کنترل‌کننده عمل کرده و با دادن دستورات خاص به رانندگان (مانند توقف یا حرکت)، جریان ترافیک را هدایت می‌کند. این یک سیستم حلقه بسته دستی است.

• **سیستم‌های حلقه بسته دستی و خودکار:** بسیاری از سیستم‌های پیچیده، نیازمند کنترل مداوم و سریع هستند که توسط اجزای انسانی با دقت صورت می‌گیرد (سیستم‌های حلقه بسته دستی). اما در مواردی که سرعت و دقت انسان کافی نیست یا نیاز به یکپارچگی بیشتری است، از سیستم‌های خودکار استفاده می‌شود.

نمونه‌هایی از سیستم‌های کنترل خودکار (بدون نیاز به دخالت مداوم انسان)

- **(i) کنترل خودکار سیستم حرارتی (تصویر 1509):** در این حالت، دماسنج دمای واقعی آب داغ را اندازه‌گیری کرده و مستقیماً با کنترل‌کننده (ترموستات) مقایسه می‌کند. سپس ترموستات بر اساس سیگنال خطا، دستوری به دیگ بخار یا سیستم گرمایش برای تنظیم بازده (میزان سوخت یا شعله) صادر می‌کند.
- **(ii) سیستم کنترل سطح آب در مخزن (تصویر 15010):** یک شناور یا سنسور سطح، میزان آب موجود در مخزن را اندازه‌گیری کرده و با سطح مطلوب مقایسه می‌کند. بر اساس اختلاف، دریچه ورود آب باز یا بسته می‌شود تا سطح آب ثابت بماند.
- **(iii) کنترل خودکار سرعت (مانند گریز از مرکز):** در برخی دستگاه‌ها، مانند ماشین‌های لباسشویی یا سیستم‌های صنعتی، کنترل سرعت چرخش بر اساس گریز از مرکز انجام می‌شود. اگر سرعت از مقدار تنظیم شده بیشتر یا کمتر شود، سیستم به طور خودکار تنظیمات لازم را انجام می‌دهد.
- **(iv) سیستم کنترل فشار اجاق (مانند زودپز):** این سیستم میزان فشار داخل اجاق را با تنظیم وضعیت دریچه خروجی بخار یا دریچه اطمینان، کنترل می‌کند تا فشار در محدوده ایمن و مورد نظر باقی بماند.

فواید و محدودیت‌های سیستم‌های کنترل خودکار:

• فواید:

- **ثبات و دقت:** عملکرد پایدار و دقیق در سیستم‌های پیچیده، بدون نیاز به توانایی‌های فیزیکی یا تمرکز مداوم انسان.
- **کمک به انسان:** انجام کارهای خطرناک، تکراری یا طاقت‌فرسا.
- **ارزش اقتصادی:** حذف هزینه‌های استخدام بلندمدت اپراتور انسانی.
- **افزایش بهره‌وری:** افزایش بازده یا تولید نهایی.
- **اصلاح کیفیت:** بهبود کیفیت و کمیت محصولات.
- **کاهش هزینه‌ها:** با استفاده از اجزای ارزان‌قیمت‌تر و کارآمدتر.
- **پاسخ‌دهی مناسب:** توانایی پاسخگویی به تغییرات ورودی در یک دامنه وسیع.

• محدودیت‌ها:

- تمایل به تصحیح خطا ممکن است باعث ایجاد نوسانات یا "تغییرات ثابت" در سیستم شود.
- پیچیدگی بیشتر در طراحی و پیاده‌سازی نسبت به سیستم‌های حلقه باز.



مجموعه اصطلاحات کلیدی در سیستم‌های کنترلی

برای درک بهتر سیستم‌های کنترلی، آشنایی با برخی اصطلاحات رایج ضروری است:

- **مرحله/دستگاه کنترلی (Plant):** بخش، مرحله یا دستگاهی که تحت کنترل قرار دارد و ویژگی‌های خاصی دارد؛ مانند اجاق، راکتور یا هواپیما.
- **کنترل‌کننده قابل تغییر (Controlled Variable - C):** ویژگی یا موقعیت خاصی (دما، سطح، جریان) در یک مرحله که باید به طور ثابت یا طبق قانون خاصی نگهداری یا تغییر داده شود.
- **دستور (Command/Set Point - r):** مقدار یا موقعیتی که توسط عامل خارجی یا مستقل از سیستم کنترل تعریف می‌شود؛ این مقدار می‌تواند تغییر کند.
- **نقطه تنظیم یا بازده مرجع (Reference Variable):** یک نقطه تنظیم ثابت یا متغیر با زمان که طبق یک برنامه عمل می‌کند.
- **سیگنال خطا (Error Signal - e):** خلاصه جبری بین بازده مرجع \otimes و سیگنال بازگشتی (b). همچنین به آن "سیگنال واقعی" یا "عملکرد کنترلی" نیز می‌گویند.
- **سیگنال بازگشتی اولیه (Feedback Signal - b):** خروجی سیستم \odot که برای مقایسه با سیگنال مرجع استفاده می‌شود تا سیگنال خطا تولید شود.
- **نمایانگر خطا (Error Detector):** عضوی که سیگنال بازگشتی را دریافت کرده و با سیگنال مرجع مقایسه و سیگنال خطا را ایجاد می‌کند. این مقایسه می‌تواند به صورت تفریق (بازگشت منفی، برای کاهش خطا) یا جمع (بازگشت مثبت، برای افزایش خطا) باشد.
$$e = r - b \quad \text{(بازگشت منفی)}$$
$$e = r + b \quad \text{(بازگشت مثبت)}$$
- **مزاحمت یا اغتشاش (Disturbance - u):** مقادیر یا تاثیراتی که به طور نامطلوب بر مقادیر کنترل‌شده تاثیر می‌گذارند و خارج از کنترل مستقیم سیستم یا عامل خارجی اصلی هستند.
- **عضو برگشت‌پذیر (Feedback Element):** بخشی از سیستم که ارتباط بین خروجی قابل کنترل \odot و سیگنال بازگشتی (b) را ایجاد می‌کند.
- **عضو کنترل‌کننده (Controller):** عضوی که سیگنال مناسب (m - سیگنال کنترلی) را برای کنترل فرآیند تولید می‌کند.
- **مسیرهای حرکت و برگشت:**
 - **مسیر حرکت به جلو (Forward Path):** مسیری که سیگنال از ورودی (مانند r) به خروجی \odot می‌رود.
 - **مسیر برگشت (Feedback Path):** مسیری که سیگنال از خروجی \odot به سیگنال بازگشتی (b) می‌رود.



مکانیسم‌های سرویس‌دهنده، مراحل کنترل و تنظیم‌کننده‌ها

• **مکانیسم سرویس‌دهنده (Servomechanism):** یک سیستم کنترلی خودکار با قابلیت کنترل متغیر (مانند موقعیت، سرعت، شدت). این مکانیسم‌ها معمولاً سریع عمل کرده و از ترکیب اجزای الکتریکی، مکانیکی و الکترونیکی استفاده می‌کنند. نمونه آن، سیستم‌های فرمان خودکار خودرو یا بازوهای رباتیک است.

• **مرحله کنترل‌کننده (Control Stage):** بخش اصلی فرآیند که پارامترهای مشخصی مانند سطح، جریان، فشار و دما در آن کنترل می‌شوند. این پارامترها معمولاً دارای یک "ارزش مطلوب" (نقطه تنظیم) هستند. سیستم کنترلی اطمینان حاصل می‌کند که مرحله بازده در سطح مطلوب باقی بماند، حتی در صورت تغییر شرایط خارجی (مزاحمت‌ها).

◦ **عوامل موثر بر فشار تراکمی:** می‌تواند شامل تغییر در جریان فشار جوش (متأثر از سیستم کنترل دما) یا تغییر در اجزای اولیه باشد.

◦ سیستم‌های کنترل مرحله‌ای معمولاً **آهسته** عمل می‌کنند و زمان بیشتری برای رسیدن به نقطه تنظیم نیاز دارند.

• **تنظیم‌کننده (Regulator):** یک سیستم کنترلی برگشت‌پذیر که بازده (مقدار کنترل‌شده قابل تغییر) را در یک ارزش از پیش تعیین شده، حتی در برابر فشارهای خارجی، ثابت نگه می‌دارد. بازده مرجع یا سیگنال دستور ® می‌تواند قابل تنظیم باشد. وظیفه اصلی آن ثابت نگه داشتن بازده در یک ارزش مطلوب است.

مثال‌های کاربردی و تمرین‌ها

در اینجا چند مثال برای درک بهتر کاربرد سیستم‌های کنترلی ارائه شده است:

مثال 1501: سه دستگاه الکتریکی مورد استفاده در خانه را نام ببرید و آن‌ها را با کنترل‌کننده‌های مناسب مجهز کنید. سپس هدف مورد نظر را مشخص کرده و نوع طبقه‌بندی کنترل‌کننده را بیان کنید.

راه حل:

1. رادیو:

- **هدف:** تنظیم صدا، تیونر (انتخاب ایستگاه) و کوک فرکانس.
- **کنترل‌کننده:** ولوم صدا (چرخشی یا دکمه‌ای)، کلید انتخاب ایستگاه، دکمه تنظیم تیونر.



◦ **نوع طبقه‌بندی: حلقه بسته دستی.** کاربر (انسان) با تنظیم ولوم و تیونر، بازخورد صوتی را دریافت و بر اساس آن، حلقه کنترل را انجام می‌دهد.

2. تلویزیون:

- **هدف:** تنظیم صدا، کانال، روشنایی و کنتراست تصویر.
- **کنترل‌کننده:** دکمه‌های ولوم، دکمه‌های تعویض کانال، دکمه‌های تنظیمات تصویر در ریموت کنترل یا خود دستگاه.
- **نوع طبقه‌بندی: حلقه بسته دستی.** کاربر با استفاده از ریموت، بازخورد بصری و صوتی را مشاهده و اقدامات لازم برای تنظیم را انجام می‌دهد.

3. فر برقی خانگی:

- **هدف:** تنظیم و حفظ دمای مورد نظر برای پخت و پز.
- **کنترل‌کننده:** ترموستات (دستگیره تنظیم دما).
- **نوع طبقه‌بندی: حلقه بسته خودکار.** ترموستات دمای واقعی داخل فر را اندازه گرفته و با دمای تنظیم شده مقایسه می‌کند. سپس به طور خودکار المنت‌های گرمایشی را برای حفظ دما فعال یا غیرفعال می‌کند.

• **توضیح تکمیلی:** آتش الکتریکی یا چراغ‌های روشنایی ساده که فقط روشن و خاموش می‌شوند و میزان شدت نورشان قابل تنظیم نیست (مگر با دیمر مخصوص)، می‌توانند نمونه‌هایی از سیستم‌های **حلقه باز** باشند، زیرا خروجی (نور یا گرما) تاثیری بر عملکرد کلید یا منبع تغذیه ندارد. در صورت ناکافی بودن، باید منبع را تعویض کرد.

مثال 1502: جوانب مربوط به پخت و پز با استفاده از سیستم‌های حلقه باز و حلقه بسته را مقایسه کنید.

راه حل:

- **حلقه باز در پخت و پز:**
 - اغلب دستورالعمل‌های آشپزی بر پایه یک سیستم حلقه باز بنا نهاده شده‌اند. کیفیت مواد اولیه و ترکیب آن‌ها بر اساس دستور پخت تعیین می‌شود.
 - تنظیم فر و زمان پخت معمولاً مطابق دستورالعمل‌های خاص است. اگر آشپز تمام مراحل را دقیقاً طبق دستورالعمل اجرا کند، نتیجه مطلوب حاصل می‌شود.
 - اما این سیستم به اختلالات یا تغییرات کوچک حساس است. مثلاً اگر مواد اولیه‌ای کمی متفاوت باشند یا دمای فر کمی خطا داشته باشد، نتیجه نهایی نیز ممکن است متفاوت شود.
 - **مثال:** پخت کیک با دمای 180 درجه سانتی‌گراد به مدت 45 دقیقه بدون بررسی مداوم.
- **حلقه بسته در پخت و پز:**
 - اگر آشپز تجربه داشته باشد، می‌تواند به طور مداوم فرآیند پخت را نظارت کرده و تنظیمی انجام دهد. مثلاً با چک کردن برشته شدن نان در توستر یا رنگ و پخت کیک در فر.



- **مثال:** نظارت بر دمای آب در حال جوشیدن برای تهیه چای، یا چک کردن مداوم وضعیت پخت غذا در فر و تنظیم دما در صورت لزوم.
- این رویکرد حلقه بسته، نیاز به مهارت و تجربه بیشتری دارد اما انعطاف‌پذیری و کیفیت کنترل شده‌تری را فراهم می‌کند.

مثال 1503: آیا عملکرد تغییر نور در یک محیط، نمونه‌ای از کنترل دستی است یا خودکار؟

راه حل:

عملکرد تغییر نور می‌تواند هر دو باشد:

- **(i) کنترل دستی:** وقتی شخص تصمیم می‌گیرد نور را کم یا زیاد کند یا آن را خاموش کند (مانند روشن و خاموش کردن کلید چراغ)، این یک سیستم **کنترل دستی** است. اجرای تصمیم‌گیرنده (انسان) است که مستقیماً بر عامل خروجی (نور) تأثیر می‌گذارد.
- **(ii) کنترل خودکار:** در برخی محیط‌ها، ممکن است سیستم کنترل نور به صورت خودکار عمل کند. به عنوان مثال، سنسورهای نور محیطی، میزان روشنایی موجود را اندازه‌گیری کرده و با میزان نور دلخواه مقایسه می‌کنند. سپس، نور مصنوعی را به طور خودکار تنظیم می‌کنند تا سطح روشنایی ثابت بماند. مثال دیگر، کنترل ولتاژ خروجی لامپ‌ها در سیستم‌های برق است که اگر سیستم ورودی برق (ولتاژ) نوسان داشته باشد، کنترل‌کننده‌های خودکار این نوسان را جبران می‌کنند تا نور خروجی لامپ ثابت بماند.

تشخیص اجزاء در سیستم‌های کنترلی نمونه

بیاید مفهوم "دستگاه"، "نیروی مصرفی مرجع"، "بازده کنترل شده" و سایر اجزاء را در سیستم‌های کنترلی مشخص کنیم:

(a) کنترل دما در سیستم گرمایشی داخلی (مانند خانه)

- **دستگاه (Plant):** اتاق یا فضای که دما در آن کنترل می‌شود. سیستم گرمایشی (دیگ بخار، رادیاتورها) نیز بخشی از این دستگاه محسوب می‌شود.
- **نیروی مصرفی مرجع (Reference Input / Set Point - r):** دمای دلخواه کاربر که توسط ترموستات تنظیم می‌شود (مثلاً 22 درجه سانتی‌گراد).
- **بازده کنترل شده (Controlled Output - c):** دمای واقعی roomId.
- **اجزای کنترل‌کننده (Controller):** ترموستات که دما را اندازه‌گیری کرده و فرمان روشن/خاموش شدن یا تنظیم مقدار سوخت دیگ را صادر می‌کند.
- **سیگنال بازگشتی (Feedback Signal - b):** دمای اندازه‌گیری شده توسط سنسور ترموستات.
- **سیگنال خطا (Error Signal - e):** اختلاف بین دمای تنظیم شده ® و دمای واقعی ©.

(b) کنترل سطح آب در مخزن



- **دستگاه (Plant):** مخزن آب.
- **نیروی مصرفی مرجع (Reference Input / Set Point - r):** سطح مطلوب آب در مخزن (که معمولاً توسط موقعیت شناور یا یک تنظیم کننده مکانیکی تعیین می شود).
- **بازده کنترل شده (Controlled Output - c):** سطح واقعی آب در مخزن.
- **اجزای کنترل کننده:** شناور و اهرم مرتبط با آن که شیر ورودی آب را کنترل می کند.
- **سیگنال بازگشتی (Feedback Signal - b):** موقعیت واقعی شناور که نشان دهنده سطح آب است.

© کنترل پیشرفت اتوماتیک خودرو (سیستم کروز کنترل)

- **دستگاه (Plant):** خودرو.
- **نیروی مصرفی مرجع (Reference Input / Set Point - r):** سرعت دلخواه خودرو که توسط راننده تنظیم می شود (مثلاً 100 کیلومتر بر ساعت).
- **بازده کنترل شده (Controlled Output - c):** سرعت واقعی خودرو.
- **اجزای کنترل کننده:** واحد کنترل الکترونیکی موتور (ECU) و سیستم انژکتور یا دریچه گاز.
- **سیگنال بازگشتی (Feedback Signal - b):** سرعت واقعی خودرو که توسط سنسورهای سرعت خودرو اندازه گیری می شود.

(d) کنترل دمای آب برای دوش حمام

- **دستگاه (Plant):** سر دوش و لوله های آب گرم و سرد متصل به آن.
- **نیروی مصرفی مرجع (Reference Input / Set Point - r):** دمای آب دلخواه برای دوش گرفتن.
- **بازده کنترل شده (Controlled Output - c):** دمای آب خروجی از سر دوش.
- **اجزای کنترل کننده:** ترکیب کننده شیر آب که نسبت جریان آب گرم و سرد را تنظیم می کند.
- **سیگنال بازگشتی (Feedback Signal - b):** دمای آب خروجی که توسط حسگر (دست یا دماسنج) به کاربر اطلاع داده شده و او بر اساس آن تنظیم می کند.
- **عامل خارجی (مداخلت):** تغییر فشار آب ورودی سرد یا گرم، یا تغییر درخواست آب توسط سایر مصرف کنندگان در خانه.

نتیجه گیری و فراخوان اقدام

سیستم های کنترلی، ستون فقرات بسیاری از فناوری های مدرن هستند و درک اصول اولیه آنها، برای هر کسی که با دنیای مهندسی، علوم کامپیوتر یا حتی صرفاً با دستگاه های خودکار در زندگی روزمره سروکار دارد، حیاتی است. از سادگی یک کلید برق گرفته تا پیچیدگی هدایت فضاپیماها، همه و همه بر اساس همین اصول کنترلی کار می کنند.