بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

در این مطالعه سیستم کنترل نیمه فعال در سازه‌های مجاور متصل بر اساس الگوریتم کنترل تطبیقی ساده (SAC) موردبررسی قرار می‌گیرد. کنترل ساده تطبیقی یک روش مدل محور است که هدف آن دنبال کردن پاسخ مدل توسط سیستم کنترل شونده می‌باشد و نیازی به اطلاعات نیروهای وارد برسازه نظیر زلزله و باد ندارد.

همچنین در حلقه کنترلی نیازی به شناسایی پارامترهای دینامیکی سیستم نیست که این مورد سبب می‌شود بتوان به کنترل سازه‌های بزرگ و با نامعینی بالا پرداخت. سازه‌های موردمطالعه مجهز به میراگر ام آر هستند. این میراگرها قابل استفاده در کنترل نیمه فعال سازه‌ها هستند و شبیه‌سازی رفتار دینامیکی آن‌ها به‌وسیله مدل بوک-ون (Bouc-Wen) انجام‌گرفته است. سازه‌های با طول یا عرض زیاد یا دارای نامنظمی را می‌توان همانند چندسازه مجاور و متصل به‌هم تصور کرد که با درزهای اجرایی مناسب از هم جداشده‌اند. این کار به دلایل مختلف نظیر ایجاد بلوک‌های منظم سازه‌ای یا طراحی معماری می‌تواند اتفاق بیفتد. استفاده از میراگرهای ذکرشده و الگوریتم موردبحث در کاهش پاسخ لرزه‌ای و بهبود رفتار این‌گونه سازه‌ها موردبررسی قرارگرفته است و نمونه‌هایی از سازه‌های مجاور متصل با میراگر ام آر و تحت الگوریتم کنترل ساده تطبیقی با فیدبک سرعت و شتاب تحت زلزله‌های مختلف مدل‌سازی و تحلیل‌شده‌اند. نتیجه عملکرد مناسب میراگرهای ام آر در ترکیب با الگوریتم کنترل تطبیقی ساده را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کنترل سازه‌ها-کنترل تطبیقی ساده-میراگر ام آر –سازه‌های مجاور متصل

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۶
۱-۱- تعریف موضوع ۷
۱-۲- اهمیت تحقیق ۸
۱-۳- ساختار پایان‌نامه ۹

فصل ۲: مروری بر منابع ۱۱
۲-۱- مقدمه ۱۲
۲-۲- مفاهیم اولیه کنترل ۱۲
۲-۲-۱- کنترل حلقه باز ۱۳
۲-۲-۲- کنترل پیش‌خور ۱۳
۲-۲-۳- کنترل فیدبک یا حلقه بسته ۱۴
۲-۳- انواع سیستم‌های کنترل سازها ۱۵
۲-۳-۱- سیستم‌های کنترل غیرفعال ۱۵
۲-۳-۲- سیستم‌های کنترل فعال ۱۷
۲-۳-۳- سیستم‌های کنترل ترکیبی ۱۸
۲-۳-۴- سیستم‌های کنترل نیمه فعال ۱۹
۲-۴- کنترل تطبیقی ۲۰
۲-۴-۲- کنترل تطبیقی مدل محور ۲۲
۲-۵- مروری بر روش کنترل تطبیقی ساده ۲۳
۲-۵-۲- میراگرهای ام آر(MR) ۳۴
۲-۶- انواع میراگرهای ام آر ۳۶
۲-۷- تاریخچه کاربرد میراگرهای مایع ام آر ۳۷
۲-۸- مدل‌های دینامیکی برای میراگرهای ام آر ۳۸
۲-۸-۱- مدل بینگهام ۳۸
مدل بوک- ون ۴۰
مدل بوک-ون اصلاح‌شده ۴۱
۲-۹- الگوریتم‌های به‌کاررفته در کنترل میراگرهای ام آر ۴۳
۲-۱۰- جمع‌بندی ۴۶

فصل ۳: روش تحقیق ۴۷
مقدمه ۴۸
۳-۱- فضای حالت و کنترل سازه ۴۹
۳-۲- الگوریتم کنترل تطبیقی ساده(SAC) ۵۱
۳-۳- مدل معکوس میراگر ام آر ۵۵
۳-۳-۱- مدل‌سازی سازه‌های مجاور ۵۵

فصل ۴: نتایج و تفسیر آن‌ها ۵۹
۴-۱- نمونه اول: سازه سه‌طبقه با بازخور سرعت ۶۰
۴-۲- نمونه عددی دوم: سازه سه‌طبقه با بازخور شتاب ۶۵

۴-۳- نمونه عددی سوم: دو سازه پنج و هشت درجه آزادی متصل با میراگر ام آر و بازخور سرعت ۶۹
۴-۴- نمونه عددی چهارم: دو سازه پنج و هشت درجه آزادی متصل با میراگر ام آر و بازخور شتاب ۷۴

فصل ۵: **۷۸**

جمع‌بندی و پیشنهادها **۷۸**
۵-۱-۱- جمع‌بندی ۷۹
۵-۱-۲- پیشنهادها ۸۰

فصل ۶: **۸۱**

مراجع **۸۱**

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) کنترل حلقه باز ۱۳
شکل (۲-۲) کنترل پسخور یا فیدبک ۱۴
شکل (۲-۳) ساختمان مهدی کلینیک مجهز به میراگر VFD [۳۳] ۱۶
شکل (۲-۴) دیاگرام بلوکی کنترل غیرفعال ۱۶
شکل (۲-۵) دیاگرام بلوکی کنترل فعال ۱۸
شکل (۲-۶) دیاگرام بلوکی کنترل ترکیبی ۱۹
شکل (۲-۷) دیاگرام بلوکی کنترل نیمه فعال ۱۹
شکل (۲-۸) سیستم کنترل تطبیقی ۲۱
شکل (۲-۹) سیستم کنترل MRAS ۲۲
شکل (۲-۱۰) نمودار بلوکی روش کنترل تطبیقی ساده[۱] ۲۴
شکل (۲-۱۱) سازه مورداستفاده در مطالعه بیطرف و همکاران[۷] ۲۵
شکل (۲-۱۲) تعبیه کنترل‌گر PI در ساختار الگوریتم SAC [۲۴] ۲۸
شکل (۲-۱۳) سازه به‌کاررفته در مقاله جوانبخت و همکاران [۲۴] ۲۹
شکل (۲-۱۴) طرح شماتیک از میراگر ام آر ۲۰ تنی[۳۷] ۳۵
شکل (۲-۱۵) نمایش نحوه عملکرد مایع ام آر (a) عدم وجود میدان مغناطیسی، (b) قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی[۳۱] ۳۵
شکل (۲-۱۶) میراگر ام آر ۳۰ تنی در ساختمانی در ژاپن [۱۲] ۳۶
شکل (۲-۱۷) میراگر ام آر تک محفظه[۴۴] ۳۷
شکل (۲-۱۸) میراگر ام آر دو محفظه[۴۴] ۳۷
شکل (۲-۱۹) میراگر ام آر دوطرفه[۴۴] ۳۷
شکل (۲-۲۰) مدل بینگهام استن وی[۱۶] ۳۹
شکل (۲-۲۱) مدل بینگهام توسعه‌یافته توسط گاماتو و فیلیسکو[۱۶] ۴۰
شکل (۲-۲۲) مدل بوک ون ساده[۱۶] ۴۱
شکل (۲-۲۳) مدل بوک ون اصلاح شده[۱۶] ۴۲
شکل (۲-۲۴) نمایش گرافیکی از روش انتخاب سیگنال کنترل در الگوریتمclipping optimal [۳۹] ۴۵
شکل (۳-۱) شکل شماتیک کنترل ساده تطبیقی ۵۳
شکل (۳-۲) اتصال دو سیستم یک درجه آزادی [۴۳] ۵۵
شکل (۴-۱) ساختمان سه‌طبقه مجهز به میراگر ام آر ۶۰
شکل (۴-۲) شکل شماتیک از مدل‌سازی سازه کنترل نشده در سیمولینک متلب ۶۱
شکل (۴-۳) رکورد زلزله السنترو ۶۴
شکل (۴-۴) نمودارهای جابجایی، دریفت، سرعت و شتاب سازه با فیدبک سرعت و MF=0.2 ۶۴
شکل (۴-۵) شکل شماتیک نحوه استفاده از کنترلر در سیستم ۶۶
شکل (۴-۶) استفاده از شبکه عصبی برای حدس ولتاژ میراگر ۶۶
شکل (۴-۷) نیروی تولیدشده میراگر ۱۰۰۰ کیلو نیوتون توسط الف) بوک ون اصلاح‌شده ب) شبکه عصبی ۶۷
شکل (۴-۸) نیروی تولیدشده میراگر ۱۰۰۰ کیلو نیوتون توسط الف) بوک ون اصلاح‌شده ب) شبکه عصبی ۶۷
شکل (۴-۹) نمودارهای جابجایی، دریفت، سرعت و جابجایی سازه با فیدبک شتاب و MF=0.2 ۶۸

شکل (۴-۱۰) سازه‌های ۵ و ۸ طبقه متصل با میراگر ام آر ۷۰
شکل (۴-۱۱) نمودارهای جابجایی نسبی، دریفت، سرعت نسبی و شتاب ساختمان ۸ طبقه ۷۲
شکل (۴-۱۲) نمودارهای جابجایی نسبی، دریفت، سرعت نسبی و شتاب ساختمان ۵ طبقه ۷۲
شکل (۴-۱۳) نمودار تاریخچه زمانی جابجایی نسبی طبقه ۵ ام ساختمان ۸ طبقه با الگوریتم کنترل تطبیقی ساده ۷۳
شکل (۴-۱۴) نمودارهای جابجایی نسبی، دریفت، سرعت نسبی و شتاب ساختمان ۸ طبقه ۷۴
شکل (۴-۱۵) نمودارهای جابجایی نسبی، دریفت، سرعت نسبی و شتاب ساختمان ۵ طبقه ۷۵
شکل (۴-۱۶) نمودار جابجایی نسبی طبقه ۵ از ساختمان ۸ طبقه تحت کنترل تطبیقی ساده ۷۵

فهرست جداول

جدول (۲-۱) برخی از مطالعات انجام‌شده در رابطه با روش کنترل تطبیقی ساده (SAC)..... ۳۴
جدول (۲-۲) پارامترهای مدل دینامیکی برای میراگر ام آر ۱۰۰۰ کیلونیوتنی [۱۸]..... ۴۳
جدول) ۴-۱(پارامترهای دینامیکی میراگر ام آر ۱۰۰۰ نیوتونی [۱۶]..... ۶۲
جدول) ۴-۲(نتایج شبیه‌سازی با زلزله السنترو و فیدبک سرعت MF=1..... ۶۳
جدول (۴-۳) زلزله‌های بررسی‌شده در شبیه‌سازی عددی..... ۶۳
جدول) ۴-۴(مقایسه عددی سازه با فیدبک سرعت و MF=0.2 در حالت‌های کنترل نشده، کنترل با الگوریتم کنترل تطبیقی ساده و کنترل غیرفعال..... ۶۵
سازه با فیدبک شتاب MF=0.2 الف) سازه کنترل‌شده ب)سازه کنترل نشده ج) سازه کنترل‌شده با روش غیرفعال..... ۶۸
جدول (۴-۵) سازه ۸ طبقه در حالت کنترل نیمه فعال با فیدبک سرعت، کنترل نشده و کنترل غیرفعال..... ۷۳
جدول (۴-۶) سازه ۵ طبقه در حالت کنترل نیمه فعال با فیدبک سرعت، کنترل نشده وکنترل غیرفعال..... ۷۳
جدول (۴-۷) سازه ۸ طبقه در حالت کنترل نیمه فعال با فیدبک شتاب، کنترل نشده، کنترل غیرفعال..... ۷۶
جدول (۴-۸) سازه ۸ طبقه در حالت کنترل نیمه فعال با فیدبک شتاب، کنترل نشده، کنترل غیرفعال..... ۷۶
جدول (۴-۹) مقایسه سازه کنترل‌شده با الگوریتم کنترل تطبیقی ساده در حالت فیدبک شتاب و سرعت..... ۷۶
جدول (۴-۱۰) مقایسه سازه کنترل‌شده با الگوریتم کنترل تطبیقی ساده در حالت فیدبک شتاب و سرعت..... ۷۷

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- تعریف موضوع

سازه‌های مجاور همبسته به‌عنوان یک راهبرد مناسب در شهرهای بزرگ برای استفاده بهینه از زمین‌های ارزشمند شناخته می‌شود و ازلحاظ معماری امکان دسترسی مناسب برای استفاده‌کنندگان را فراهم می‌آورد. عملکرد لرزه‌ای این سازه‌ها را می‌توان توسط میراگرهایی که دو سازه مجاور را به هم متصل می‌کنند بهبود داد [۱]. اتصال میراگرها سبب استهلاک انرژی بین دو سازه می‌شود. روش‌های کنترل غیرفعال سازه‌ها ساده هستند، نیاز به منبع انرژی خارجی ندارند و سبب ناپایداری سازه نمی‌شوند، ولی عدم تطبیق‌پذیری با بارگذاری خارجی یا تغییر پارامترهای دینامیکی سازه کارایی آن‌ها را کاهش داده است. اگر میراگرها قابلیت تنظیم داشته باشند می‌توان بهترین حالت موردنظر را حین زلزله تنظیم کرد. این تنظیم با کنترل فعال یا نیمه فعال سازه‌ها صورت می‌گیرد و طیفی از انواع میراگرها و الگوریتم‌های کنترلی در دسترس طراح است تا بهینه‌ترین حالت ایجاد شود.

کنترل فعال و غیرفعال سازه‌ها در مقاله‌های بسیاری موردمطالعه قرارگرفته است[۲]. به دلیل نیاز به انرژی زیاد در کنترل فعال سازه‌ها و همچنین ایراداتی که برای کنترل غیرفعال سازه‌ها بیان شدند، کنترل نیمه فعال سازه‌ها می‌تواند گزینه‌ای بهینه‌تر برای کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها باشد. کنترل نیمه فعال سازه‌ها انرژی کمی برای عکس العمل نیاز دارد. همچنین قابلیت خودتنظیمی با توجه به شرایط سازه را فراهم می‌آورد و مزیت‌های هردو روش کنترل قبلی را می‌تواند ارائه دهد . میراگرهای ام آر یکی از ابزارهای کنترل نیمه فعال سازه‌ها است که بسیار موردتوجه محققین می‌باشد [۳]. ترکیب کنترل تطبیقی ساده با این میراگرها می‌تواند افق روشنی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها به همراه آورد.

کنترل تطبیقی ساده به‌وسیله سوبل[۱] و کافمن[۲] در سال ۱۹۸۲ معرفی شد [۴] و توسط بارکانا[۳] و کافمن توسعه یافت [۵-۶].

کنترل تطبیقی ساده یک روش کنترلی مدل مرجع می‌باشد که مقاومت مناسب در برابر عدم قطعیت‌های سازه و محرک‌های بیرونی و همچنین عدم نیاز به شناسایی پارامترهای دینامیکی سیستم، آن را به گزینه‌ای مناسب در کنترل پاسخ سازه تبدیل کرده است. در این الگوریتم، خروجی سازه خروجی مدل را دنبال می‌کند و هدف صفر شدن اختلاف خروجی‌های سازه و مدل است. انتخاب مدل مرجع مناسب و همچنین تنظیم

[۱] Sobel

[۲] Kaufman

[۳] Barkana

پارامترهای کنترلی ازجمله چالش‌های این روش می‌باشد. روش کنترل تطبیقی ساده توسط بیطرف و همکاران[۷] در ساختمان‌های مجهز به میراگر ام آر به‌کاررفته است. در این پژوهش از مدل بوک-ون[۸] برای مدل‌سازی رفتار دینامیکی میراگر ام آر استفاده‌شده است. نتیجه کاهش دریفت، جابجایی و قدر مطلق شتاب سازه نسبت به سازه با کنترل غیرفعال و میراگر ام آر می‌باشد. بیطرف و همکاران[۹] از این الگوریتم کنترلی در سازه‌های آسیب‌دیده تحت ضربه استفاده کرده اند و هدف آن است که سازه آسیب‌دیده پاسخی مشابه سازه مدل(که پاسخ آن مطلوب نظر طراح است)داشته باشد.

در پژوهش امینی و همکاران[۱۰] از کنترل تطبیقی ساده در بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بلند، با در نظر گرفتن تحلیل غیرخطی، استفاده شده است. یک ساختمان اسکلت فلزی بیست طبقه مجهز به میراگر ام آر موردمطالعه قرارگرفته است. در طراحی الگوریتم کنترلی از بازخور شتاب استفاده شده و خروجی سازه از یک کنترل‌گر PI عبور کرده و سپس با خروجی مدل مقایسه می‌گردد تا بتوان پایداری سیستم کنترلی را تضمین کرد.

۱-۲- اهمیت تحقیق

در این تحقیق، هدف آن‌است کنترل تطبیقی ساده را در سازه‌های مجاور همبسته بررسی کنیم. بحث کنترل سازه‌ها می‌تواند طیف وسیعی از الگوریتم‌ها و ابزارهای کنترلی را دربرگیرد. ساده‌ترین و رایج‌ترین شیوه کنترل سازه‌ها، استفاده از میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای غیرفعال می‌باشد.در عین مزایای بسیار مانند عدم نیاز به سنسورهای مختلف یا هرگونه منبع انرژی خارجی،کاستی هایی مثل عدم توانایی تغییر نسبت به شرایط لحظه ای سازه سبب شده است روش های دیگر کنترلی مورد توجه قرار گیرد. به دلیل نیاز فراوان کنترل فعال سازه‌ها به منابع انرژی و امکان ایجاد ناپایداری در سازه،کنترل نیمه فعال روشی بهینه‌تر درکنترل سازه‌ها می‌باشد. کنترل تطبیقی را می‌توان کلید کنترل سازه‌ها در برابر عدم قطعیت‌های مختلف، در طرح سیستم‌های کنترلی در برابر باد و زلزله دانست. بنابراین بسط و گسترش مفاهیم این روش نوین می‌تواند سبب کاهش خسارت‌های سازه‌ها در برابر زلزله و سایر مخاطرات طبیعی شود. ساختمان‌های مجاور را می‌توان سازه هایی در کنار هم در نظر گرفت که با درزهای سازه‌ای مناسب از هم جداشده‌اند، این سازه‌ها به دلیل نوع خاص معماری و یا استفاده بهینه از فضا و یا به دلیل ایجاد بلوک های منظم سازه ای، طرح می‌شوند. بنابراین استفاده از میراگرها در کاهش پاسخ لرزه‌ای این سازه‌ها می‌تواند سبب طرح بهینه آن‌ها و همچنین کاهش آسیب‌پذیری این سازه ها براثر زلزله گردد. میراگرهای ام آر قابلیت کنترل‌پذیری مناسبی داشته و نیاز به منبع انرژی بزرگی

ندارند و ازجمله میراگرهای نیمه فعال به‌حساب می‌آیند. بنابراین انتخاب این میراگر می‌تواند قابلیت اطمینان ساختمان را بهبود بخشد و به دلیل توسعه روزافزون و استفاده از آن در برخی سازه‌های مدرن جنبه اجرایی مناسبی برای تحقیقات به ارمغان آورد. الگوریتم کنترل تطبیقی ساده به‌عنوان روش کنترلی بدون نیاز به شناسایی سیستم می‌تواند جنبه کاربردی مناسبی داشته باشد. همچنین قابلیت اطمینان آن در سازه‌های با نامعینی بالا و تطبیق‌پذیری با شرایط آن را به گزینه‌ای مناسب برای تحقیقات بدل کرده است. در این رساله نیز الگوریتم کنترل ساده تطبیقی با بازخورهای سرعت و شتاب برای کنترل سازه‌های مجاور استفاده‌شده و در مقام مقایسه این روش کنترلی با سازه کنترل نشده و کنترل غیرفعال مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

ساختار فصل‌های این پایان‌نامه به شرح زیر است:

- **فصل اول: مقدمه**

در این فصل روش کنترل نیمه فعال سازه‌ها و مزایای آن در رقابت با کنترل غیرفعال و فعال مورد بررسی قرار می‌گیرد و چشم اندازی کلی از منابع و روش‌های مورداستفاده معرفی می‌گردد.

- **فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع**

در این فصل به مفاهیم کنترل سازه‌ها پرداخته شده است. همچنین مروری بر مقالات قابل اهمیت در این زمینه و روش مدل‌سازی آن‌ها انجام شده است و مطالعات اخیر در باب کنترل کنترل ساده تطبیقی و سازه‌های مجاورگردآوری‌شده است.

- **فصل سوم: روش تحقیق**

در این فصل به بیان معادلات حاکم بر کنترل سازه‌ها و الگوریتم کنترل تطبیقی ساده پرداخته شده است. میراگرهای ام آر و روش مدل‌سازی آن شرح داده‌شده و در ادامه فرمول‌بندی معادلات دینامیکی

حاکم بر سازه های مجاورهمبسته نوشته شده است . در این فصل می‌توان تمام روابط حاکم بر تحقیق اخیر را به‌طور منظم و پایه‌ای مطالعه کرد.

- **فصل چهارم: نتایج و تفسیر آن‌ها**

در این فصل ابتدا یک نمونه عددی از الگوریتم کنترل تطبیقی ساده همراه با میراگر ام آر در نرم افزار متلب مدل‌سازی شده است.از بازخور سرعت و شتاب در الگوریتم کنترلی به منظور محاسبه پاسخ مناسب سازه تحت کنترل استفاده شده است.سپس دو نمونه سازه مجاورهمبسته که با میراگرهای ام آر به یکدیگر متصل شده‌اند، با الگوریتم کنترل ساده تطبیقی ، تحت زلزله‌های مختلف و با استفاده از بازخور سرعت و شتاب طبقات، مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج حاصل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

- **فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها**

در این فصل با توجه به نتایج حاصل‌شده از تحقیق،پیشنهادهایی به منظور بسط و تدقیق این روش کنترلی ارائه شده است و می توان در ادامه این رساله موضوعات مطرح شده را مورد مطالعه قرار داد.

فصل ۲:

مروری بر منابع

۲-۱- مقدمه

در عصر حاضر شاهد رشد روزافزون سازه‌های بلند هستیم. آسیب‌پذیری این سازه‌ها در برابر اغتشاشات خارجی مانند زلزله ازجمله دغدغه‌های مهم مهندسان طراح است. کنترل سازه‌ها می‌تواند ارمغان آورنده بهبود عملکرد لرزه‌ای به همراه حفظ جنبه اقتصادی طرح باشد. ابزارهای نوین کنترل سازه و الگوریتم‌های جدید و بهبودیافته و همچنین فزونی تحقیقات که سبب درک هرچه بهتر رفتار سیستم‌های کنترلی سازه و همچنین روشن شدن جنبه‌های پیچیده و نامعلوم سیستم‌های کنترلی می شود، همگی باعث شده است به کاربرد هرچه بیشتر این سیستم‌ها و الگوریتم‌ها در سازه‌ها و زیرساخت‌های دیگر نزدیک شویم. در ادامه مروری بر مفاهیم اولیه کنترل داریم.

۲-۲- مفاهیم اولیه کنترل

کنترل سازه‌ها را می‌توان هر شیوه مقابله با نیروهای وارد برسازه نامید که می توانند سبب ناپایداری سازه شوند. به‌بیان‌دیگر کنترل را می‌توان ابزاری در دست طراح نامید که به‌وسیله آن (الگوریتم‌ها، محرک‌ها، سنسورها و...) می‌تواند خصوصیات دلخواه را به سیستم اجبار نماید تا خروجی دلخواه حاصل گردد.

استفاده از مفهوم کنترل در بسیاری از مسائل مهندسی مطرح بوده و از وسایل ساده خانگی تا جنگ‌افزارهای پیشرفته همگی از نوعی سیستم کنترلی برخوردار هستند. به زبان ساده کنترل یک سیستم دینامیکی به معنی تعیین یک هدف عملکردی (مشخصه عملکردی سیستم) و پیش‌بینی شرایط سیستم و اعمال اثر لازمه در سیستم برای رسیدن به عملکرد مطلوب می‌باشد. به‌طورکلی سه استراتژی برای اعمال کنترل وجود دارد که کلیه سیستم‌های کنترلی به نحوی جزء یکی از این سه استراتژی هستند.

این استراتژی‌ها عبارت‌اند از کنترل حلقه باز[۱]، کنترل پیش‌خور یا فید فوروارد[۲] و کنترل پس‌خور یا فیدبک[۳][۱۱].

[۱] Open-loop control

[۲] Feed-forward control

[۳] Feed-back control

۲-۲-۱- کنترل حلقه باز

اگر اهداف کنترلی بر اساس تجربیات گذشته و مدل‌های در دسترس تعیین و به سیستم اعمال شوند موفقیت این استراتژی به‌دقت و صحت مدل و اطلاعات موجود بستگی دارد و عوامل خارجی تأثیر چندانی بر عملکرد سیستم نمی‌تواند داشته باشد. از طرفی در حین عملکرد هم بررسی چندانی از سیستم به عمل نمی‌آید. اساس این استراتژی در شکل (۲-۱) آمده است[۱۱].

شکل (۲-۱) کنترل حلقه باز

به‌عبارت‌دیگر استراتژی کنترلی که در آن خروجی هیچ اثری روی عملکرد کنترلی ندارد استراتژی حلقه باز نامیده می‌شود.

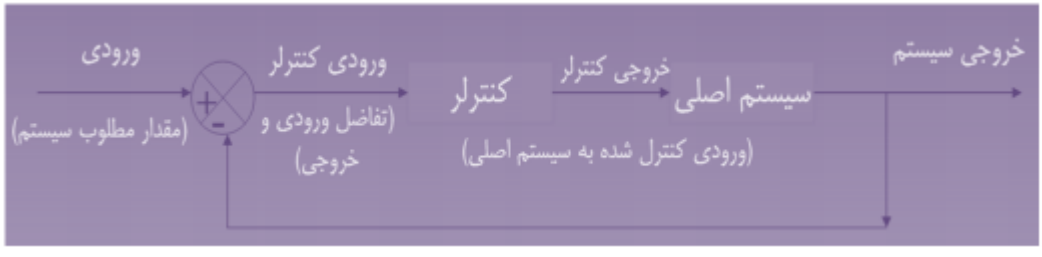
۲-۲-۲- کنترل پیش‌خور

بدیهی است اگر عوامل خارجی بر سیستم کنترل اثر قابل‌توجهی داشته باشند نادیده گرفتن آن‌ها توسط کنترل‌کننده موجب اخلال در عملکرد سیستم می‌شود. برای اجتناب از اخلال در عملکرد سیستم باید استراتژی کنترل را عوض کنیم. درواقع با تغییر و بهبود مدل، اثر این عوامل خارجی را پیش‌بینی کرده و قوانین کنترلی را اصلاح می‌کنیم. در این اصلاحات فرامین کنترلی به‌گونه‌ای طراحی خواهند شد تا اثر این اغتشاشات[۱] را به حداقل برسانند. به چنین استراتژی که دران عوامل خارجی در نظر گرفته‌شده و اعمال کنترلی برای مقابله با آن‌ها طراحی می‌شوند کنترل پیش‌خور گفته می‌شود[۱۱].

[۱] Noise

۲-۲-۳- کنترل فیدبک یا حلقه بسته

کنترل پیش‌خور تنها در صورتی یک استراتژی کنترل‌کننده عملی است که اغتشاشات کم یا معینی وجود داشته باشد و بتوان آن‌ها را به‌راحتی اندازه‌گیری نمود. ولی اگر تعداد این اغتشاشات زیاد یا زمان وقوع و ماهیت آن‌ها نامعلوم باشد، آنگاه از استراتژی کنترل سومی بایستی استفاده نمود. در این استراتژی با مشاهده خروجی انحراف رفتار کلی سیستم از رفتار مطلوب (مشخصه‌های عملکرد تعیین‌شده یا اهداف سیستم) را در نظر گرفته و برای اصلاح این انحراف عمل می‌نماییم. اساس این استراتژی در شکل (۲-۲) نشان داده‌شده است.



شکل (۲-۲) کنترل پسخور یا فیدبک

در اینجا نیز اغتشاشات نامعلوم وجود دارند و بر عملکرد سیستم اثر می‌گذارند. اگر خروجی سیستم با مشخصه‌ها و اهداف تعیین‌شده مطابقت نداشته باشد، خطایی به وجود می‌آید و این خطا یا انحراف به سیستم کنترل اعمال می‌گردد و سیستم کنترل با توجه به خطا فرمان کنترلی مناسب را صادر می‌کند. در این سیستم کنترل خروجی سیستم اندازه‌گیری شده و توسط یک مقایسه کننده با اهداف سیستم یا مشخصه‌های عملکرد تعیین‌شده مقایسه می‌گردد. خطای ایجادشده حاصل از این مقایسه به سیستم کنترل برای صدور فرامین کنترلی مناسب، اعمال می‌گردد. در کنترل فیدبک فرامین کنترلی اعمال‌شده به سیستم بر اساس مقدار و میزان خطای موجود در پاسخ سیستم محاسبه می‌شوند. بدین معنی که پس از مشاهده و اندازه‌گیری خروجی سیستم، این خروجی با مقدار مطلوب آن مقایسه شده و اختلاف به سیستم کنترل ارائه می‌شود. به‌جای عبارت فیدبک از عبارت کنترل حلقه بسته نیز استفاده می‌شود. در کنترل حلقه بسته برخلاف دو استراتژی قبلی اطلاع از یک مدل کاملاً دقیق از سیستم الزامی نیست. زیرا خطاهای ایجادشده در خروجی سیستم تحت کنترل به دلیل اطلاعات ناکافی از مدل سیستم با تصحیح کنترل‌کننده کاهش پیدا می‌کنند. همانند زمانی که سیستم تحت اغتشاش قرار می‌گیرد[۱۱].