KNO-1103-4505

کنترل هوشمند سیستم‌های دینامیکی: نوآوری‌ها و کاربردهای بهینه‌سازی در دنیای امروز

علیرضا جوشن

کارشناسی ارشد برق قدرت گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

چکیده

در دهه‌های اخیر، نظریه کنترل و سیستم‌های دینامیکی به عنوان ابزاری کلیدی در تحلیل و طراحی سیستم‌های پیچیده در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی شناخته شده‌اند. این مقاله مروری بر روی مفاهیم بنیادی و پیشرفته کنترل بهینه سیستم‌های دینامیکی متمرکز است و به بررسی روش‌ها و تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی می‌پردازد. ابتدا، مفهوم کنترل بهینه با تأکید بر حساب تغییرات و روش‌های فازی توضیح داده می‌شود و به تجزیه و تحلیل چالش‌های موجود در طراحی و پیاده‌سازی این سیستم‌ها می‌پردازد.

سپس مقاله به کاربردهای گسترده نظریه کنترل در زمینه‌های مختلفی چون مهندسی، پزشکی و اقتصاد می‌پردازد. در زمینه مهندسی، نتایج بهینه‌سازی در سیستم‌های خودکار، رباتیک و کنترل فرآیندهای صنعتی بررسی می‌شود. در حوزه پزشکی، چگونگی استفاده از نظریه کنترل برای بهبود سیستم‌های تشخیصی و درمانی و همچنین مدیریت داروها مورد تحلیل قرار می‌گیرد.در اقتصاد، نقش کنترل بهینه در پیش‌بینی الگوهای اقتصادی و بهینه‌سازی منابع مالی و انسانی مورد بحث قرار می‌گیرد.این مقاله همچنین به برخی از نوآوری های اخیر در زمینه ادغام هوش مصنوعی و کنترل سیستم‌های دینامیکی پرداخته و نشان می‌دهد که این ترکیب می‌تواند به بهبود عملکرد سیستم‌ها کمک کند .با توجه به روندهای در حال رشد در جهان امروز، اهمیت و کاربرد نظریه کنترل به عنوان یک عامل مؤثر در پیشرفت‌های علمی و فناوری به‌وضوح نمایان است.

نتایج حاصل از این مرور می‌توانند به عنوان مبنایی برای تحقیقات آینده در زمینه کنترل بهینه و کاربردهای آن در حوزه‌های مختلف عمل کنند و راهکارهای جدیدی را برای حل چالش‌های موجود ارائه دهند.

کلیدواژه ها: *کنترل بهینه، سیستم‌های دینامیکی، حساب تغییرات، هوش مصنوعی، کاربردهای بین‌رشته‌ای*

۱- مقدمه

نظریه کنترل و سیستم‌های دینامیکی به عنوان یکی از حوزه‌های حیاتی در مهندسی و علوم ریاضی، نقش مهمی در تحلیل و طراحی سیستم‌های پیچیده ایفا می‌کند[۱]. این نظریه به درک و کنترل رفتار سیستم‌هایی که در گذر زمان تغییر می‌کنند، کمک می‌کند و ابزارهایی مؤثر برای بهینه‌سازی عملکرد آنها فراهم می‌آورد[۲]. در سال‌های گذشته، به‌خصوص با پیشرفت‌های تکنولوژیک و ظهور داده های کلان، کاربردهای این نظریه در عرصه‌های مختلف به‌ویژه در پزشکی، مهندسی و اقتصاد به‌شدت گسترش یافته است[۳و۴].

مفاهیم پایه‌ای و روش‌های معمول در نظریه کنترل، شامل کنترل خطی و غیرخطی، در بسترهای مختلف صنعتی و علمی به کار گرفته شده است. از طراحی سیستم‌های خودکار و رباتیک در مهندسی گرفته تا بهینه‌سازی پروتکل‌های درمانی در حیطه پزشکی، این نظریه به حل چالش‌های متعدد و افزایش کارایی فرآیندها کمک کرده است[۵-۸]. بر اساس تحقیقات پیشین، ادغام رویکردهای سنتی کنترل با تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، چشم‌اندازهای جدیدی را پیش روی محققان قرار داده و پتانسیل بالایی را در بهینه سازی سیستم‌های دینامیکی به وجود آورده است.

با این حال، در حالی که تحقیقات و مطالعات بسیاری در این حوزه انجام شده، شکاف‌های قابل توجهی در ادغام مناسب این دو رویکرد و توسعه ابزارهای کارآمد وجود دارد.بسیاری از پژوهش‌ها به طور خاص به پیاده‌سازی این نظریه‌ها در زمینه‌های خاص محدود شده و به گسترش تحلیل‌های بین‌رشته‌ای و نوآورانه نپرداخته‌اند. بنابراین، نیاز به یک مرور جامع که این شکاف‌ها را شناسایی و به آنها پاسخ دهد، بیش از پیش احساس می‌شود[۹-۱۴].

این مقاله مروری با هدف بررسی عمیق مفاهیم بنیادی و کاربردهای نوین نظریه کنترل، به شناسایی و تحلیل روندهای اخیر در این حوزه می‌پردازد. با تحلیل کاربردهای نظریه کنترل در زمینه‌های پزشکی، مهندسی و اقتصاد، این مقاله به ارائه راهکارهای نوآورانه و بهینه چالش‌های موجود می‌پردازد و روزنه‌ای به سوی پژوهش‌های آتی در این زمینه باز می‌کند.بدین ترتیب، می‌توان امید داشت که این بررسی، به‌عنوان مبنایی برای توسعه و تحقیق در حوزه کنترل بهینه و سیستم‌های دینامیکی عمل کند و تأثیر قابل توجهی در بهبود سیستم‌های پیچیده در دنیای معاصر داشته باشد.

۲-اصول بنیادی نظریه کنترل

نظریه کنترل به مطالعه رفتار سیستم‌هایی می‌پردازد که با گذر زمان تغییر می‌کنند و هدف آن بهینه‌سازی عملکرد این سیستم‌ها تحت شرایط خاص است. این نظریه به دو دسته اصلی کنترل خطی و غیرخطی تقسیم می‌شود. کنترل خطی به سیستم‌هایی اشاره دارد که می‌توانند با استفاده از معادلات خطی مدل‌سازی شوند، در حالی که کنترل غیرخطی به سیستم‌هایی مربوط می‌شود که دارای رفتار پیچیده‌تر و غیرخطی هستند.یکی از مفاهیم کلیدی در نظریه کنترل، حساب تغییرات است که به تحلیل بهینه‌سازی تابعی کمک می کند.در این زمینه، با استفاده از تکنیک‌هایی مانند اصل پونتریاگین و قاعده‌های کارنو، می‌توان به یافتن مسیرهای بهینه در کنترل سیستم ها پرداخت.

روش‌های کنترل همچون کنترل تناسبی-انتگرالی-مشتق‌گیر (PID)[1] و الگوریتم‌های کنترل بهینه به طراحان کمک می‌کند تا کارایی سیستم‌ها را بهبود ببخشند. همچنین، با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیک و ظهور سیستم‌های پیچیده، ادغام نظریه کنترل با الگوریتم های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، افق‌های جدیدی را در بهینه‌سازی ارائه می‌دهد. نهایتاً، تأکید بر اهمیت مدل‌سازی صحیح و

[1] Proportional-Integral-Derivative Cotrller

انتخاب روش‌های مناسب در نتیجه‌گیری‌های کنترل کارآمد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این اصول بنیادی به عنوان پایه‌ای برای درک عمیق‌تر کاربردهای نظریه کنترل در دیگر بخش‌های مقاله در نظر گرفته می‌شوند[۱۵].

۲-۱-تعریف و مفاهیم پایه

نظریه کنترل به عنوان یک شاخه از ریاضیات و مهندسی، به تحلیل و طراحی سیستم‌هایی می‌پردازد که در طول زمان تغییر می‌کنند. در این زمینه، سیستم به مجموعه‌ای از اجزاء گفته می‌شود که به صورت هم‌زمان به یک هدف مشترک عمل می‌کنند.یکی از مفاهیم کلیدی در نظریه کنترل، مدل‌سازی سیستم است که به توصیف رفتار سیستم‌ها از طریق روابط ریاضی کمک می‌کند. این مدل‌ها معمولاً به صورت معادلات دیفرانسیل، معادلات دیفرانسیل جزیی و یا توابع انتقال بیان می‌شوند.

به علاوه، مفهوم بازخورد در نظریه کنترل بسیار حائز اهمیت است؛ این مفهوم به معنی استفاده از اطلاعات خروجی سیستم برای اصلاح و بهبود ورودی آن است. بازخورد می‌تواند به طور قابل توجهی ثبات و کارایی سیستم را افزایش دهد.همچنین، اصطلاح نمایش حالت به عنوان یک روش جامع برای مدل‌سازی سیستم‌ها به کار می‌رود که در آن وضعیت سیستم با استفاده از متغیرهای حالت تعریف می شود.استفاده از این مفاهیم پایه به طراحان کمک می‌کند تا سیستم‌های پیچیده را تحلیل و کنترل کنند و به درک بهتری از رفتار سیستم‌ها در مواجهه با تغییرات محیطی و داخلی دست یابند. ادغام این اصول با تکنیک‌های نوین مانند یادگیری ماشین، راه را برای بهینه‌سازی بیشتر سیستم‌ها هموار می‌سازد[۱۶].

۲-۲- کنترل خطی و غیرخطی

کنترل خطی و غیرخطی دو رویکرد اصلی در نظریه کنترل هستند که بر اساس رفتار سیستم‌ها دسته‌بندی می‌شوند. کنترل خطی به فرآیندهایی اشاره دارد که می‌توانند با استفاده از معادلات خطی مدل‌سازی شوند. این نوع سیستم‌ها معمولاً دارای ویژگی‌هایی هستند که پاسخ آن‌ها به ورودی‌ها متناسب و قابل پیش‌بینی است. استفاده از کنترل‌کننده‌های خطی مانند کنترل تناسبی-انتگرالی-مشتق‌گیر (PID) به طور گسترده‌ای در صنعت و علم کاربرد دارد، زیرا طراحی و تحلیل آن‌ها ساده‌تر است و ریاضیات مربوط به آن‌ها به نسبت پیچیده نیست.

از سوی دیگر، کنترل غیرخطی برای سیستم‌هایی مناسب است که رفتار آن‌ها به دلیل وجود عوامل غیرقابل پیش‌بینی یا پیچیده، غیرخطی است. این نوع سیستم‌ها معمولاً نیاز به روش‌های تخصصی‌تری برای تحلیل و کنترل دارند. روش‌هایی مانند کنترل فازی، کنترل غیرخطی بر اساس سیگنال‌ها و کنترل تطبیقی در این دسته قرار دارند. این روش‌ها به سیستم‌های غیرخطی اجازه می‌دهند که به طور مؤثری در وضعیت‌های مختلف عملکرد داشته باشند و به چالش‌های پیچیده‌تری پاسخ دهند.

در نهایت، انتخاب بین کنترل خطی و غیرخطی به ویژگی‌های خاص سیستم و اهداف کنترل بستگی دارد. در بسیاری از موارد، ترکیبی از هر دو رویکرد برای دستیابی به عمکرد مطلوب توصیه می‌شود، که می‌تواند به بهینه‌سازی بهتر و بالا بردن کارایی سیستم‌ها منجر شود[۱۷-۱۹].

۲-۳- حساب تغییرات و اصول بهینه‌سازی

حساب تغییرات یکی از ابزارهای حیاتی در نظریه کنترل و بهینه‌سازی است که به بررسی بیشینه و کمینه کردن توابع وابسته به متغیرهای تابعی می‌پردازد. این روش به طور خاص در کنترل بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرد، جایی که هدف دستیابی به یک تابع هزینه کمینه (یا حداکثر) تحت محدودیت‌های خاص است. علاقه‌مندی به حساب تغییرات از آنجا نشأت می‌گیرد که بسیاری از مسائل کنترل به شکل ریاضی به دنبال یافتن تابعی هستند که نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهینه یک سیستم باشد.

یکی از اصول بنیادین در حساب تغییرات، اصل پونتریاگین است که به توسعه طرح‌هایی از کنترل بهینه پرداخته و برای سیستم‌های دینامیکی بسیار حیاتی است. این اصل به ما اجازه می‌دهد تا با بررسی لگرانژ، شرایط لازم و کافی برای نقاط بهینه را به دست آوریم.

علاوه بر این، مفهوم تابع هزینه در اینجا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ این تابع به عنوان معیار سنجش کارایی سیستم و هدف تعیین شده عمل می‌کند. مهم است که طراحی تابع هزینه به گونه‌ای باشد که به بهترین شکل نمایانگر هدف مورد نظر باشد، به‌گونه‌ای که برداشت دقیق‌تری از کیفیت عملکرد سیستم ارائه دهد.

در نهایت، بهینه‌سازی به وجود آمدن راه‌حل‌های تحلیلی، عددی یا ترکیبی برای مسائل عملی کمک می‌کند و روش‌های حساب تغییرات می‌توانند به‌عنوان مبنای قوی برای پیشبرد روش‌های نوین در کنترل و بهینه‌سازی سیستم‌های دینامیکی عمل کنند[۲۰و۲۱].

۳- روش‌ها و تکنیک‌های کنترل بهینه

در نظریه کنترل، روش‌ها و تکنیک‌های متنوعی برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌ها وجود دارد که به مهندسین و پژوهشگران کمک می کند تا بهترین راه‌حل‌ها را برای چالش‌های مختلف بیابند. .یکی از روش‌های کلاسیک و پرکاربرد کنترل تناسبی-انتگرالی-مشتق‌گیر (PID) است که به دلیل سادگی در طراحی و کارایی بالا، به طور گسترده‌ای در صنعت استفاده می‌شود. این کنترل‌کننده با ترکیب سه عملگر پایه-تناسبی، انتگرالی و مشتق‌گیر-به بهبود پاسخ دینامیکی سیستم کمک می‌کند[۲۲].

در کنار آن، کنترل بهینه به ما این امکان را می‌دهد که با استفاده از تکنیک‌های ریاضی و روش‌های مقداری، هدف خاصی را تحت شرایط محدودیت‌ها دنبال کنیم. به عنوان مثال، با استفاده از روش‌های الگوریتمی و شبیه‌سازی، می‌توان به بهینه‌ترین راهکار برای سیستم‌های پویا رسید.

از طرف دیگر، با پیشرفت تکنولوژی، روش‌های مدرن مانند کنترل تطبیقی و کنترل مقاوم در حال ظهور هستند. این روش‌ها به سیستم ها اجازه می‌دهند بدون نیاز به مدل دقیق از سیستم، به تغییرات و آشفتگی‌ها پاسخ دهند.

علاوه بر این، ادغام هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در روش‌های کنترل بهینه، افق‌های جدیدی را برای تحلیل و تصمیم‌گیری هوشمند در سیستم‌های دینامیکی فراهم کرده است. به‌وسیله این تکنیک‌ها، می‌توان رفتار سیستم‌ها را پیش‌بینی و به صورت دینامیک اصلاحاتی در کنترل ایجاد کرد. این رویکردها به ویژه در مواجهه با محیط‌های پیچیده و در حال تغییر، کارایی بالایی از خود نشان می‌دهند[۲۳و۲۴].

۳-۱- روش‌های کلاسیک (مانند PID،LQR)

روش‌های کلاسیک کنترل به عنوان ابزارهای اصلی در طراحی سیستم‌های کنترلی معرفی می‌شوند و شامل رویکردهای متعددی از جمله کنترل تناسبی-انتگرالی-مشتق‌گیر (PID) و کنترل خطی بهینه (LQR) هستند. کنترل PID یکی از پرکاربردترین تکنیک‌هاست که از سه جزء اصلی استفاده می‌کند :کنترل تناسبی برای پاسخ سریع به خطا، کنترل انتگرالی برای حذف خطاهای پایدار و کنترل مشتق گیر برای پیش‌بینی و مدیریت نوسانات .این کنترل‌کننده به دلیل سادگی و کارآمدی‌اش در صنایع مختلف، از جمله خودکارسازی و رباتیک، بسیار محبوب است.

از سوی دیگر، کنترل خطی بهینه (LQR)[1]به دنبال تعیین ورودی بهینه برای سیستم‌های خطی است به گونه‌ای که تابع هزینه‌ای که شامل هزینه‌های مربوط به حالت و ورودی است، حداقل شود. این روش به طراحان امکان می‌دهد تا با در نظر گرفتن دینامیک سیستم، سیاست کنترلی موثری را توسعه دهند.

[1] Linear Quadratic Regulator

همچنین، کنترل مدل پیشگو (MPC) به عنوان یک روش کلاسیک مدرن، توانایی پیش‌بینی رفتار آینده سیستم را داشته و برای مدیریت محدودیت‌ها در زمان واقعی طراحی شده است.

تنوع و کارایی این روش‌های کلاسیک، آن‌ها را به ابزاری کاربردی و قابل اطمینان در کنترل سیستم‌های دینامیکی تبدیل کرده است. در نتیجه، ادغام این تکنیک‌ها با روش‌های نوین می‌تواند به بهبود عملکرد و انعطاف‌پذیری سیستم‌ها کمک کند[۲۷-۲۵].

۲-۳- روش‌های مدرن (مانند کنترل Adaptive و Robust)

روش‌های مدرن کنترل، به ویژه کنترل‌های تطبیقی (Adaptive[2]) و مقاوم (Robust[3])، به عنوان پاسخ به چالش‌های پیچیده‌ای که در سیستم‌های دینامیکی غیرخطی و متغیر وجود دارند، توسعه یافته‌اند. کنترل تطبیقی به سیستم‌ها این امکان را می‌دهد که با تغییرات در محیط یا پارامترهای داخلی، خود را به‌روزرسانی کنند و کارایی خود را حفظ کنند. این رویکرد به ویژه در مواردی که طراحی دقیق مدل سیستم دشوار است، ارزشمند است.

از طرف دیگر، کنترل مقاوم به دنبال طراحی کنترلی است که بتواند به تغییرات غیرقابل پیش‌بینی در سیستم و اختلالات خارجی پاسخ دهد. این نوع کنترل با استفاده از تمام اطلاعات موجود و همچنین با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها، به حفظ عملکرد مطلوب در مواجهه با شرایط چالش‌برانگیز کمک می‌کند.

ترکیب ویژگی‌های این دو رویکرد باعث افزایش انعطاف‌پذیری و کارایی سیستم کنترل می‌شود.با استفاده از الگوریتم‌های کنترل تطبیقی و مقاوم، طراحان قادرند با بهره‌گیری از تکنیک‌های پیشرفته یادگیری ماشین، سیستم‌هایی بسازند که توانایی یادگیری و بهبود مداوم داشته باشند.

این رویکردهای مدرن نه تنها در صنایع خودروسازی و رباتیک، بلکه همچنین در ساخت سیستم‌های هوشمند و اینترنت اشیاء (IoT[4]) کاربردهای گسترده‌ای دارند. در نهایت، روش‌های مدرن کنترل به طور قابل توجهی به بهبود عملکرد و قابلیت اعتماد سیستم‌های دینامیکی در دنیای واقعی کمک می‌کنند[۲۸و۲۹].

۳-۳-ادغام هوش مصنوعی در کنترل

ادغام هوش مصنوعی (AI[5]) در سیستم‌های کنترلی به عنوان یک رویکرد نوین و تحول‌آفرین در نظریه کنترل شناخته می‌شود. این رویکرد به طراحان اجازه می‌دهد تا از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی برای بهبود عملکرد سیستم‌های دینامیکی استفاده کنند. با بهره‌گیری از داده‌های بزرگ و تحلیل آن‌ها، سیستم‌های کنترلی می‌توانند رفتار را پیش‌بینی و برای پاسخگویی به تغییرات محیطی و وضعیت‌های غیرقابل پیش‌بینی، بهینه‌سازی شوند.

یکی از کاربردهای بارز هوش مصنوعی در کنترل، کنترل تطبیقی هوشمند است که با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق، توانایی یادگیری و تطبیق در زمان واقعی را به سیستم می‌دهد. این روش به سیستم‌ها اجازه می‌دهد تا از تجربیات قبلی بیاموزند و به طور مداوم به بهبود عملکرد بپردازند.

همچنین، سیستم‌های کنترل پیشگویانه که از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای تحلیل دینامیک و پیش‌بینی رفتار سیستم‌ها در حال استفاده هستند، به طرز قابل توجهی کارایی و دقت را افزایش می‌دهند.

---

[1] Model Predictive Control
[2] Adaptive Control
[3] Robust Control
[4] Internet of Things
[5] Artificial Intelligence

قدرت هوش مصنوعی در پردازش داده‌ها و یادگیری از آن‌ها می‌تواند به طراحی سیستم‌های کنترلی پیچیده‌تری منجر شود که قابلیت انطباق و بهبود مداوم را دارند. این ادغام به ویژه در زمینه‌هایی مانند رباتیک، خودروهای خودران و اینترنت اشیاء (IoT) به وضوح مشهود است، جایی که سیستم‌ها نیازمند پاسخگویی به شرایط پیچیده و متغیر هستند.

در نهایت، ادغام هوش مصنوعی در کنترل، افق‌های جدیدی را برای پژوهشگران و مهندسان در جهت بهینه‌سازی و نوآوری در سیستم های کنترلی ایجاد می‌کند، که می‌تواند به تحولات چشمگیری در صنایع مختلف منجر شود[۳۰].

۴-کاربردهای نظریه کنترل در حوزه‌های مختلف

نظریه کنترل به عنوان یک پایه‌ی اساسی برای بهبود کارایی و عملکرد در زمینه‌های مختلف علمی و صنعتی شناخته می‌شود. یکی از کاربردهای عمده آن در صنعت خودروسازی است، جایی که کنترل‌کننده‌ها به بهینه‌سازی عملکرد موتور، ترمز و سیستم‌های تعلیق کمک می‌کنند. به ویژه، خودروهای خودران با استفاده از الگوریتم‌های کنترل پیشرفته، توانایی حرکت ایمن و دقیق در شرایط متغیر را دارند.

در صنعت هوافضا، نظریه کنترل برای ایمنی پرواز و مدیریت سیستم‌های پروازی به کار می‌رود. کنترل اتوماتیک و بهینه به هواپیماها اجازه می‌دهد تا در برابر تغییرات جوی و شرایط پروازی مختلف واکنش نشان دهند.

در رباتیک، کنترل دقیق و بلادرنگ به ربات‌ها این امکان را می‌دهد که با محیط خود تعامل داشته باشند و وظایف پیچیده‌ای را بدون خطر انجام دهند.

همچنین، در صنایع تولیدی، بهینه‌سازی کنترل فرآیندها باعث افزایش کارایی، کاهش ضایعات و بهبود کیفیت می‌شود.

نظریه کنترل همچنین در سیستم‌های پزشکی مانند کنترل ماشین‌های جراحی و تجهیزات تصویربرداری بسیار حیاتی است و نتایج بهتری در درمان بیماران به ارمغان می‌آورد.

در مدیریت انرژی، تکنیک‌های کنترل به بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های تهویه مطبوع و گرمایش کمک می‌کنند.

در نهایت، کاربردهای نظریه کنترل در تحقیقات علمی به توسعه مدل‌های پیچیده و تحلیل داده‌ها در زمینه‌های مختلف کمک می‌کند، که این امر اهمیت آن را در پیشرفت فناوری و علوم مختلف ثابت می‌کند[۳۱-۳۳].

۴-۱-کاربردهای نظریه کنترل در مهندسی

نظریه کنترل در مهندسی به عنوان ابزاری کلیدی برای بهینه‌سازی طراحی و عملکرد سیستم‌های مختلف شناخته می‌شود. در مهندسی مکانیک، کنترل دقیق در سیستم‌های دینامیکی مانند ماشین‌آلات صنعتی و تجهیزات خودکار به افزایش کارایی و ایمنی کمک می‌کند. به عنوان مثال، کنترل سیستم‌های رباتیک نیازمند الگوریتم‌های پیچیده برای هماهنگی حرکات و تعامل با محیط است.

در مهندسی برق، نظریه کنترل به توسعه سیستم‌های انرژی و الکتریکی کمک می‌کند.کنترل‌کننده‌ها در سیستم‌های توزیع برق به مدیریت جریان انرژی و حفظ کیفیت توان کمک می‌کنند.

مهندسی شیمی نیز از نظریه کنترل برای بهینه‌سازی فرآیندهای شیمیایی استفاده می‌کند؛ جایی که کنترل واکنش‌ها و شرایط فرآوری از اهمیت بالایی برخوردار است. سیستم‌های کنترل حلقه‌ای بسته در این زمینه به تثبیت دما، فشار و غلظت مواد کمک می‌کنند. در مهندسی نرم‌افزار، روش‌های کنترل برای بهبود کیفیت برنامه‌ها و تضمین عملکرد بهینه آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، به ویژه در محیط‌های پایدار.

علاوه بر این، در مهندسی عمران، کنترل به بهینه‌سازی پروژه‌های ساختمانی از طریق نظارت بر ساخت و مدیریت زمان و هزینه کمک می‌کند.

در نهایت، نظریه کنترل در مهندسی به طراحی و استفاده از سیستم‌های خودکار و هوشمند، مانند خودروهای خودران و دستگاه‌های پزشکی پیشرفته، به شدت تاثیرگذار است و به بهبود کارایی و ایمنی در این سیستم‌ها کمک می‌کند[۳۴].

۴-۱-۱- کاربردهای نظریه کنترل در رباتیک

نظریه کنترل در رباتیک به عنوان یک عنصر کلیدی برای بهبود عملکرد و دقت ربات‌ها عمل می‌کند. یکی از کاربردهای اصلی آن، کنترل حرکتی است که به ربات‌ها اجازه می‌دهد تا حرکات خود را به طور دقیق و هماهنگ انجام دهند. این کنترل به ویژه در ربات‌های صنعتی حیاتی است، جایی که دقت بالا در انجام وظایفی مانند جوشکاری و مونتاژ بسیار مهم است.

کنترل بازخورد در رباتیک، به ربات‌ها این امکان را می‌دهد تا با تجزیه و تحلیل اطلاعات دریافتی از سنسورها، تنظیمات مورد نیاز برای حفظ تعادل و موقعیت خود را انجام دهند. این ویژگی در ربات‌های پرنده و زمین‌پیمای خودکار به ویژه محسوس است.

در ربات‌های پرستاری و کمک‌رسان، نظریه کنترل با پیاده‌سازی الگوریتم‌های هوشمند، به بهبود تعامل انسان-ربات و انجام وظایف پیچیده مانند کمک به بیمار یا جابجایی اشیاء کمک می‌کند.

علاوه بر این، در ربات‌ها آموزش دیداری (Vision-based robots)، کنترل و پردازش تصویر ترکیب می‌شود تا ربات‌ها بتوانند محیط خود را شناسایی کرده و به آن واکنش نشان دهند.

نظریه کنترل همچنین در رباتیک خودران و نظامی با هدف بهینه‌سازی مسیر یابی و مواجهه با موانع به کار می‌رود.

به طور کلی، ادغام نظریه کنترل در طراحی و پیاده‌سازی ربات‌ها نه تنها باعث افزایش دقت و کارایی آن‌ها می‌شود، بلکه به پیشرفت‌های نوآورانه در این حوزه کمک می‌کند و دستیابی به ربات‌های هوشمند و توانمند را ممکن می‌سازد[۳۵].

۴-۱-۲- سیستم‌های خودکار و صنعتی

نظریه کنترل در توسعه سیستم‌های خودکار و صنعتی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند و به بهینه‌سازی فرآیندها و افزایش کارایی در تولید کمک می‌کند. این سیستم‌ها از جمله ماشین‌آلات CNC[1]، خطوط تولید خودکار و ربات‌های صنعتی، به کنترل دقیق و پاسخ‌های سریع به تغییرات محیطی وابسته هستند.

کنترل فرآیندهای صنعتی با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، امکان نظارت و مدیریت متغیرهای کلیدی مانند دما، فشار و جریان را فراهم می‌کند، که به بهینه‌سازی کیفیت محصولات و کاهش ضایعات کمک می‌کند. به عنوان مثال، در صنعت شیمیایی، سیستم‌های کنترل حلقه بسته به تنظیم دقیق غلظت مواد اولیه و محصول نهایی کمک می‌کنند.

در خطوط تولید خودکار، کنترل‌کننده‌های مدرن به هماهنگ‌سازی حرکت تجهیزات و ماشین‌آلات کمک کرده و زمان تولید را کاهش می‌دهند. این سیستم‌ها می‌توانند به صورت خودکار با تغییر در تقاضای بازار یا شرایط کیفی محصولات سازگار شوند.

در دستگاه‌های بسته‌بندی، نظریه کنترل به کاربران این امکان را می‌دهد تا فرآیند بسته‌بندی را بهینه سازی کرده و دقت و سرعت را افزایش دهند. این امر به کارایی بهتر و هزینه‌های کمتر منجر می‌شود.

[1] Computer Numerical Control

از سوی دیگر، امروزه سیستم‌های اتوماسیون صنعتی به کمک اینترنت اشیاء (IoT)، قابلیت نظارت و کنترل از راه دور را به دست می آورند، که باعث افزایش انعطاف‌پذیری و دسترسی به اطلاعات در زمان واقعی می‌شود.

در نهایت، ترکیب نظریه کنترل با فناوری‌های نوین مانند یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در سیستم‌های خودکار، به خلق راهکارهای پیشرفته و بهبود کارایی در صنایع مختلف منجر می‌شود[۳۶و۳۷].

۲-۴- کاربردهای نظریه کنترل در پزشکی

نظریه کنترل در پزشکی به عنوان ابزاری اساسی برای بهبود دقت و کارایی درمان و تجهیزات پزشکی شناخته می‌شود. یکی از کاربردهای مهم آن، کنترل در جراحی‌های رباتیک است که به جراحان این امکان را می‌دهد تا با دقت بالا و در محیط‌های پیچیده، عمل‌های جراحی را انجام دهند. این سیستم‌ها به صورت خودکار می‌توانند با توجه به اطلاعات حسگرها و تصاویر دریافتی از محیط، حرکات خود را تنظیم کنند.

در سیستم‌های مدیریت دارو، کنترل دقیق دوز دارو و زمان‌بندی آن برای بهبود نتایج درمانی بسیار حیاتی است. سیستم‌های هوشمند می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های بیمار و وضعیت بالینی، دوز مناسب را به‌طور خودکار تنظیم کنند.

ماهواره‌های کنترل علائم حیاتی در بیمارستان‌ها به صورت مداوم پارامترهای حیاتی مانند ضربان قلب، فشار خون و سطح اکسیژن خون را زیرنظر دارند و در صورت بروز تغییرات ناگهانی، به پرستاران هشدار می‌دهند.

در تصویربرداری پزشکی، نظارت و تنظیم اتوماتیک کیفیت تصاویر باعث می‌شود که پزشکان بتوانند به نتایج دقیق‌تری دست یابند . سیستم‌های کنترل به بهینه‌سازی فرآیندهای تصویربرداری کمک می‌کنند، از جمله در MRI[1]و CT scan[2].

علاوه بر این، در مدیریت درمان‌های دیابتی، سیستم‌های کنترلی برای ردیابی میزان قند خون و تنظیم دوز انسولین به کار می‌روند، که این امر به بیماران کمک می‌کند تا به راحتی و به طور مؤثرتری مدیریت کنند.

در نهایت، ادغام نظریه کنترل و فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی در پزشکی، به توسعه سیستم‌های درمان هوشمند و شخصی شده کمک می‌کند، که می‌تواند آینده بهتری را در زمینه مراقبت‌های بهداشتی ارائه دهد[۳۸].

۱-۲-۴-سیستم‌های تشخیصی

نظریه کنترل در سیستم‌های تشخیصی پزشکی به بهبود دقت و سرعت تشخیص بیماری‌ها کمک می‌کند. این سیستم‌ها با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته، می‌توانند داده‌های بالینی و تصویربرداری را تجزیه و تحلیل کنند و اطلاعات مهم را برای پزشکان فراهم آورند.از جمله کاربردهای کلیدی، تصویربرداری پزشکی است که شامل تکنیک‌هایی مانند MRI، CT scan و سونوگرافی می‌شود. در این سیستم ها، کنترل دقیق کیفیت تصاویر و پردازش داده‌ها به پزشکان این امکان را می‌دهد که نتایج قابل اعتمادی را برای تشخیص بیماری‌ها به دست آورند.

سیستم‌های تشخیص بیولوژیکی نیز به کمک نظریه کنترل به بررسی پارامترهای فیزیولوژیکی بیماران می‌پردازند. به‌عنوان مثال، در آزمایشگاه‌های تشخیصی، این سیستم‌ها قادر به آنالیز نمونه‌های خون و تعیین وضعیت سلامت بیمار به طور دقیق و سریع هستند. در تشخیص زودهنگام سرطان و بیماری‌های مزمن، الگوریتم‌های کنترلی می‌توانند تحلیل‌های پیچیده‌ای را بر روی داده‌های بیماران انجام دهند و خطر ابتلا به بیماری‌ها را پیش‌بینی کنند.

[1] Magnetic Resonance Imaging
[2] Computed Tomography Scan

افزون بر این، سیستم‌های هوش مصنوعی که به تشخیص بیماری‌ها کمک می‌کنند، بر اساس داده‌های واقعی و آموزش‌های ماشین، توانایی شناسایی نشانه‌های اولیه بیماری‌ها را افزایش می‌دهند.

این سیستم‌ها به پزشکان این امکان را می‌دهند که تصمیمات بهینه‌تری را در مورد درمان بیمار اتخاذ کنند و دقت تشخیص را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند.

به طور کلی، ادغام نظریه کنترل در سیستم‌های تشخیصی پزشکی به مانند یک پل ارتباطی بین داده‌های بالینی و تصمیم‌گیری‌های پزشکی عمل کرده و باعث بهبود کیفیت خدمات درمانی می‌شود[۳۹و۴۰].

۲-۲-۴- کنترل درمان و مدیریت دارو

نظریه کنترل در مدیریت دارو و درمان به عنوان ابزاری حیاتی برای بهینه‌سازی فرآیندهای پزشکی و ارتقاء کیفیت زندگی بیماران به کار می‌رود. یکی از اصلی‌ترین کاربردهای آن، کنترل خودکار دوز دارو، به ویژه در بیماران دیابتی است.سیستم‌های پمپ انسولین می‌توانند به‌طور پیوسته سطح قند خون را اندازه‌گیری و دوز مناسب انسولین را بر اساس داده‌های ورودی تنظیم کنند.

همچنین، در مدیریت درمان بیماری‌های مزمن، الگوریتم‌های کنترل می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های کلینیکی و تاریخچه پزشکی بیمار، دوز دارو را بر اساس نیازهای فردی تنظیم کنند.این شخصی‌سازی درمان می‌تواند به کاهش عوارض جانبی و افزایش اثربخشی درمان کمک کند.

در سیستم‌های نظارت بر بیمار، کنترل دقیق برای ردیابی علائم حیاتی و تنظیم درمان‌های فوری مانند تجویز داروهای مسکن یا آرام بخش ضروری است. این سیستم‌ها می‌توانند در مواقع بحرانی به صورت خودکار برای بیمار اقدامات لازم را انجام دهند.

در پلتفرم‌های داروسازی هوشمند، نظریه کنترل با هدف بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع دارو، زمان‌بندی و اطمینان از صحیح بودن دوز مصرفی به کار می‌رود.

علاوه بر این، استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی در کنترل درمان، به علاوه اطلاعات بزرگ و یادگیری ماشین، امکان پیش‌بینی عوارض جانبی و پیشنهاد تغییرات در برنامه درمانی را فراهم می‌آورد.

در نهایت، با ترکیب نظریه کنترل در درمان و مدیریت دارو، بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها قادر به بهبود کیفیت و سرعت خدمات درمانی شده و می‌توانند نتایج بهتری را برای بیماران ارائه دهند[۴۱].

۳-۴-کاربردهای نظریه کنترل در اقتصاد

نظریه کنترل در اقتصاد به تحلیل و بهینه‌سازی فرآیندهای اقتصادی و تصمیم‌گیری‌های مالی کمک می‌کند. یکی از کاربردهای کلیدی آن، مدل‌سازی سیاست‌های اقتصادی است که دولت‌ها و بانک‌های مرکزی از آن برای تنظیم نرخ بهره و کنترل تورم استفاده می‌کنند. این مدل‌ها به شناسایی سیگنال‌های اقتصادی و پیش‌بینی رفتار بازار کمک می‌کنند.

همچنین، در مدیریت مالی و سرمایه‌گذاری، سیستم‌های کنترلی برای بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری و کاهش خطرات مالی به‌کار می روند. این سیستم‌ها می‌توانند نوسانات بازار را تحلیل کرده و استراتژی‌های مناسبی برای سرمایه‌گذاری انتخاب کنند.

در اقتصاد کلان، نظریه کنترل به توسعه مدل‌های دینامیکی کمک می‌کند که تعاملات بین متغیرهای اقتصادی مانند قیمت‌ها، تولید و اشتغال را شبیه‌سازی می‌کند.

در زمینه تحلیل ریسک‌های اقتصادی، با استفاده از کنترل‌های پیشرفته، تحلیل‌گران می‌توانند سناریوهای مختلف را شبیه‌سازی کرده و تأثیرات متغیرهای مختلف اقتصادی بر ثبات مالی را ارزیابی کنند.

علاوه بر این، سیستم‌های هوشمند تصمیم‌گیری در بازارهای مالی به‌کار می‌روند تا اطلاعات بلادرنگ را تحلیل کنند و به سرمایه‌گذاران در اتخاذ تصمیم‌های سریع و هوشمند کمک کنند.

نظریه کنترل همچنین در مدیریت زنجیره تأمین و بهینه‌سازی عملیات شرکت‌های بزرگ، برای کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی فرآیندهای عملیاتی در نظر گرفته می‌شود.

در نهایت، ادغام نظریه کنترل در اقتصاد به تحقق تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده و بهینه‌سازی روندهای اقتصادی منجر می‌شود که می تواند اثرات مثبت گسترده‌ای بر روی رشد و پایداری اقتصادی داشته باشد[۴۲و۴۳].

۱-۳-۴-پیش‌بینی الگوها

پیش‌بینی الگوها در اقتصاد با استفاده از نظریه کنترل به شناسایی و تحلیل روندهای اقتصادی و رفتارهای بازار کمک می‌کند. این فرآیند شامل جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های اقتصادی مانند تولید، اشتغال، و قیمت‌ها است.با استفاده از مدل‌های دینامیکی، اقتصاددانان می‌توانند روابط پیچیده میان این متغیرها را شبیه‌سازی کرده و نتایج مختلف را پیش‌بینی کنند.

مدل‌های کنترل پیش‌بین به عنوان ابزارهای کلیدی برای ارزیابی و پیش‌بینی نوسانات اقتصادی عمل می‌کنند. به‌طور خاص، این مدل‌ها می‌توانند نقاط عطفی را شناسایی کنند که نشان‌دهنده تغییرات مهم در چرخه‌های اقتصادی است، زیرا شرایط اقتصادی ممکن است تحت تأثیر عوامل داخلی و خارجی قرار گیرد.

نظریه کنترل همچنین به توسعه مدل‌های آمار اقتصادی کمک می‌کند که به تحلیل رفتار بازار و شناسایی الگوهای تکراری می‌پردازند. این مدل‌ها به ویژه در شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و پیش‌بینی تأثیر سیاست‌های اقتصادی جدید بسیار مؤثر هستند.

در بازارهای مالی، پیش‌بینی الگوها می‌تواند به سرمایه‌گذاران در شناسایی روندهای مهم و نقاط خرید یا فروش استراتژیک کمک کند. الگوهای شناسایی شده می‌توانند معیارهایی برای تصمیم‌گیری‌های مالی بهتر باشند.

علاوه بر این، در تحلیل ریسک، پیش‌بینی الگوهای اقتصادی به شناسایی نقاط ضعف و تهدیدات احتمالی کمک می‌کند و به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که استراتژی‌های مؤثرتر برای مدیریت ریسک اتخاذ کنند.

در نهایت، ادغام نظریه کنترل در پیش‌بینی الگوها، به تصمیم‌گیری‌های اقتصادی مبتنی بر داده و بهبود پایداری و رشد اقتصادی کمک می‌کند و نمایی روشن‌تر از آینده اقتصادی فراهم می‌کند[۴۴و۴۵].

۲-۳-۴-مدیریت منابع مالی و انسانی

مدیریت منابع مالی و انسانی یکی از زمینه‌های کلیدی کاربرد نظریه کنترل در اقتصاد است که به بهینه‌سازی فرآیندها و منابع کمک می‌کند. در حوزه مدیریت مالی، استفاده از مدل‌های کنترلی می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا تخصیص بهینه منابع مالی خود را انجام دهند. به‌این‌ترتیب، تصمیم‌گیری‌های مالی می‌تواند بر اساس بررسی‌های دقیق و شبیه‌سازی‌های اقتصادی انجام گیرد تا از هزینه‌ها کاسته شود و بازده مناسبی به‌دست آید.

در بخش مدیریت منابع انسانی، نظریه کنترل به بررسی و تحلیل عملکرد کارکنان و شناسایی نیازهای آموزشی و پیشرفت حرفه‌ای کمک می‌کند.با استفاده از سیستم‌های ارزیابی و نظارت، می‌توان به بهبود راندمان کار و افزایش رضایت شغلی دست یافت.

مدل‌های کنترلی همچنین در تعیین استراتژی‌های استخدام و حفظ استعداد مؤثر هستند. این سیستم‌ها می‌توانند پیش‌بینی کنند که کدام افراد و مهارت‌ها برای ایجاد ارزش بیشتر در سازمان ضروری هستند.

در توسعه برنامه‌های آموزشی و مربی‌گری برای کارکنان، استفاده از تحلیل‌های کنترلی می‌تواند به شناسایی مؤثرترین روش‌ها و محتوای آموزشی کمک کند.

علاوه بر این، مدیریت زمان و منابع در پروژه‌ها به کمک نظریه کنترل می‌تواند به تخصیص بهینه وظایف و منابع منجر شود و به کاهش هزینه‌ها و زمان ناکارآمدی کمک کند.

نهایتاً، ادغام نظریه کنترل با رویکردهای مدرن مدیریت منابع انسانی می‌تواند به تقویت عملکرد سازمانی و بهبود همکاری بین تیم‌ها منجر شود، که در نهایت به رشد و موفقیت پایدار سازمان کمک می‌کند[۴۶-۴۸].

۵-چالش‌ها و شکاف‌های موجود در تحقیقات

تحقیقات در حوزه نظریه کنترل و کاربردهای آن با چالش‌های متعددی روبه‌رو است که مانع از پیشرفت سریع‌تر این علم می‌شود. یکی از چالش‌های اصلی، کمبود داده‌های دقیق و جامع است که باعث می‌شود مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌های اقتصادی دقت لازم را نداشته باشند. نبود داده‌های قابل‌اعتماد می‌تواند تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست شود.

علاوه بر این، توسعه مدل‌های کنترلی پیچیده که قادر به انطباق با شرایط متغیر و دینامیک محیط‌های اقتصادی باشند، به دانش، زمان و منابع زیادی نیاز دارد. این موضوع می‌تواند به تأخیر در اجرای راهکارهای نوآورانه منجر شود.

چالش دیگر، عدم هم‌افزایی بین رشته‌ها است .پژوهشگران گاهی اوقات در طراحی مطالعات بین‌رشته‌ای ناکام می‌مانند؛ در حالی که ترکیب نظریه کنترل با رشته‌هایی نظیر اقتصاد، علوم داده و مهندسی می‌تواند به نتایج بهتری منجر شود.

همچنین، عدم تأکید بر جنبه‌های انسانی در مدیریت منابع انسانی، یکی از شکاف‌های موجود در تحقیقات است. تمرکز بیش از حد بر داده‌ها و مدل‌ها می‌تواند از دیدگاه‌های مهم انسانی غافل شود که در تصمیم‌گیری‌های سازمانی حیاتی هستند.

هزینه بالای تحقیقات و آزمایش‌ها نیز یکی از موانع مهم است، به ویژه در کشورهای در حال توسعه که از نظر مالی محدودیت دارند.

در نهایت، انتقال نتایج تحقیقات به عمل و پیاده‌سازی آنها در صنعت، چالشی است که نیاز به همکاری بیشتر بین دانشگاه‌ها و بخش‌های صنعتی دارد. ایجاد پل ارتباطی میان تحقیق و عمل می‌تواند به تسریع پذیرش نوآوری‌ها و ارتقاء کیفیت تحقیقات کمک کند[۴۹-۵۶].

۵-۱-عدم انسجام در ادغام رویکردها

عدم انسجام در ادغام رویکردهای مختلف یکی از چالش‌های کلیدی در تحقیقات مرتبط با نظریه کنترل و کاربردهای آن است. بسیاری از روش‌ها و فنون نظریه کنترل در رشته‌های مختلف، به‌ویژه در حوزه‌های اقتصادی و پزشکی، وجود دارند اما این رویکردها به‌ندرت به طور مؤثر با یکدیگر ترکیب می‌شوند. این عدم هم‌افزایی می‌تواند به بهینه‌سازی ناقص فرآیندها و تصمیم‌گیری‌های نادرست منجر شود.

به‌علاوه، فقدان یک چارچوب نظری کلی که بتواند این رویکردهای متفاوت را به یکدیگر مرتبط سازد، منجر به ایجاد شکاف‌های قابل توجهی در تحقیقات شده است.محققان غالباً به صورت جزیره‌ای کار می‌کنند و تبادل ایده‌ها و داده‌ها بین حوزه‌های مختلف به حداقل می‌رسد.

همچنین، عدم وجود یک زبان مشترک در میان پژوهشگران در زمینه‌های گوناگون می‌تواند درک و همکاری میان آنها را دشوار سازد. این مسئله باعث می‌شود که نتایج تحقیقات نتوانند به راحتی به عمل منتقل شوند و در عمل پیاده‌سازی شوند.

علاوه بر این، تفاوت در رویکردهای تحلیلی و تجربی، نتایج متناقضی را به همراه دارد که ممکن است تحلیل‌های آینده را تحت تأثیر قرار دهد.

به منظور رفع این چالش، نیاز به مشارکت‌های بین‌رشته‌ای و تلاش برای ایجاد یک فهم مشترک از رویکردهای نظری و عملی در تحقیقات اقتصادی و پزشکی وجود دارد.

در نهایت، ایجاد یک پلتفرم مشترک برای تبادل اطلاعات و تجربیات بین محققان، می‌تواند به بهبود ادغام رویکردهای مختلف کمک کند و نتایج بهینه‌تری را برای حل مسائل پیچیده ارائه دهد[۵۷-۵۹].

۵-۲-محدودیت‌های موجود در ابزارهای موجود

محدودیت‌های موجود در ابزارهای تحقیقاتی یکی از چالش‌های اصلی در حوزه نظریه کنترل و کاربردهای آن در اقتصاد و پزشکی است. بسیاری از این ابزارها به دلیل قدیمی بودن یا طراحی ناکافی نمی‌توانند نیازهای پیچیده و متغیر محیط‌های فعلی را برآورده کنند. این موضوع باعث می‌شود که محققان نتوانند به دقت و صحت لازم در تحلیل‌ها و مدل‌سازی‌های خود دست یابند.

همچنین، کمبود قابلیت‌های تحلیلی و پردازشی در برخی از ابزارهای موجود، استفاده از داده‌های بزرگ و پیچیده را دشوار می‌سازد. این کمبودها می‌تواند به ناتوانی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های اقتصادی و بالینی منجر شود.

به علاوه، بسیاری از ابزارها نیاز به آموزش تجویزی دارند و محققان و کاربران ممکن است با توانایی عملیاتی آنها آشنا نباشند. عدم وجود منابع آموزشی مناسب می‌تواند مانع از استفاده مؤثر از این ابزارها شود.

وجود نگرانی‌های مالی نیز از دیگر محدودیت‌هاست، زیرا تجهیز و به‌روز رسانی ابزارهای تحقیقاتی هزینه‌بر بوده و برای بسیاری از موسسات، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، قابل تأمین نیست.

علاوه بر این، عدم یکپارچگی در طراحی سیستم‌ها باعث می‌شود که داده‌ها و مدل‌های مختلف به‌سختی با یکدیگر سازگار شوند، که می تواند به نتایج غیرقابل اعتماد منجر شود.

در نهایت، در مواجهه با این محدودیت‌ها، لازم است که پژوهشگران و سازمان‌ها به دنبال توسعه و بهبود ابزارهای موجود باشند و روش های جدیدی برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها ایجاد کنند تا بتوانند به بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌ها و نتایج در زمینه‌های مختلف کمک کنند[۶۰-۶۷].

۵-۳- نیاز به پژوهش‌های بین‌رشته‌ای

نیاز به پژوهش‌های بین‌رشته‌ای یکی از چالش‌های اساسی در تحقیقات نظریه کنترل و کاربردهای آن در حوزه‌های مختلف مانند اقتصاد و پزشکی است. این تحقیقات به دلیل پیچیدگی‌های موجود در فرآیندها و سیستم‌ها، نیاز به ادغام دیدگاه‌ها و شیوه‌های مختلف علمی دارند. در حالی که هر رشته به تنهایی می‌تواند دیدگاه‌های خاصی ارائه دهد، اما ترکیب این دیدگاه‌ها می‌تواند به درک بهتری از پدیده های پیچیده کمک کند[۶۸].

در زمینه مدیریت منابع انسانی و مالی، برای حل مسائل اقتصادی یا مشکلات پزشکی، همکاری نزدیک میان متخصصان اقتصاد، مهندسی، پزشکی و روانشناسی به ایجاد استراتژی‌های موثرتر منجر می‌شود.عدم وجود این همکاری می‌تواند منجر به نتایج ناقص و غیرقابل‌اعتماد گردد.

همچنین، در تحلیل داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی، نیاز به متخصصان از رشته‌های مختلف وجود دارد تا از تکنیک‌ها و ابزارهای متنوع بهره ببرند و به تحلیل دقیقتری دست یابند. تلاش برای ایجاد مدل‌های جامع‌تری که قادر به پوشش‌دهی جنبه‌های مختلف یک مسئله باشد، نیازمند همکاری میان رشته‌هایی نظیر علوم کامپیوتر، ریاضیات، و علوم اجتماعی است.

عدم توجه کافی به پژوهش‌های بین‌رشته‌ای همچنین می‌تواند به کپی‌برداری از اشتباهات گذشته و تکرار آنها منجر شود و دقت و اثربخشی پژوهش‌ها را کاهش دهد.

در نهایت، ایجاد پلتفرم‌های مشترک و کنفرانس‌های بین‌رشته‌ای می‌تواند به تبادل ایده‌ها و تجارب مختلف کمک کند و به دانشمندان و پژوهشگران امکان دهد تا به ساختارهای جدید و نوآورانه دست یابند. این رویکرد نه‌تنها به غنی‌تر شدن تحقیقات کمک می‌کند، بلکه به پیشبرد مسائل اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی در جوامع نیز منجر می‌شود[۶۹-۷۱].

۶-نوآوری‌ها و روندهای آینده

در سال‌های اخیر، نوآوری‌ها و روندهای جدید در نظریه کنترل و کاربردهای آن در اقتصاد و پزشکی به طور چشم‌گیری افزایش یافته است[۷۲]. یکی از مهم‌ترین روندها، استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های اقتصادی است که به پژوهشگران این امکان را می‌دهد تا الگوهای پیچیده را به‌راحتی شناسایی کنند و نتایج دقیق‌تری ارائه دهند.

همچنین، توسعه الگوریتم‌های پیشرفته برای تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، به سازمان‌ها و محققان کمک می‌کند تا از این داده‌ها به صورت کارآمدتر بهره‌برداری کنند و تصمیمات بهینه‌تری اتخاذ کنند.

در پزشکی، نسل جدید سیستم‌های هوشمند برای پایش وضعیت بیماران به صورت بلادرنگ در حال ظهور است. این سیستم‌ها به کمک حسگرهای پیشرفته و یادگیری عمیق می‌توانند تغییرات جزئی در علائم بیماران را شناسایی و به مدیران پزشکی هشدار دهند.

مدل‌های اقتصادی قابل انطباق که قادر به واکنش سریع به تغییرات بازار هستند، نیز به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند و این امکان را فراهم می‌کنند که استراتژی‌های اقتصادی به طور مداوم به‌روز شوند.

استفاده از تحلیل‌های فضایی و جغرافیایی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و بهداشتی، به تجزیه و تحلیل داده‌ها در بسترهای جغرافیایی کمک می‌کند و امکان شناسایی الگوهای فضایی و نواحی آسیب‌پذیر را فراهم می‌آورد.

با توجه به افزایش علاقه به پایداری و مسئولیت اجتماعی، رویکردهای جدیدی به سمت بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش تأثیرات منفی بر محیط‌زیست شکل می‌گیرد[۷۳و۷۴].

در نهایت، همکاری‌های بین‌رشته‌ای و ایجاد کنسرسیوم‌های پژوهشی می‌تواند به تسریع روند نوآوری و توسعه تکنیک‌های جدید منجر شود که پاسخگوی چالش‌های پیچیده امروز باشند. این تحولات، در نهایت می‌تواند به بهبود کارایی و اثر بخشی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و پزشکی کمک کند[۷۵].

۶-۱- ادغام هوش مصنوعی و داده‌کاوی

ادغام هوش مصنوعی و داده‌کاوی به‌عنوان یکی از نوآوری‌های برجسته در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی در حال شکل‌گیری است. این ترکیب به پژوهشگران و تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که از حجم‌های بالای داده‌های موجود بهره‌برداری کنند و الگوها و

بینش‌های مهمی را استخراج نمایند.هوش مصنوعی با الگوریتم‌های پیشرفته خود، می‌تواند فرآیند تحلیل داده‌ها را تسریع بخشد و به شناسایی رابطه‌ها و الگوهای پیچیده‌ای پردازد که ممکن است به‌راحتی قابل شناسایی نباشند.

این ادغام به‌ویژه در حوزه‌های اقتصادی و پزشکی دارای اهمیت خاصی است؛ به عنوان مثال، در اقتصاد، می‌توان از طریق تحلیل داده های بزرگ بازار، روندهای اقتصادی و نیازهای مصرف‌کنندگان را پیش‌بینی کرد.در پزشکی نیز، هوش مصنوعی می‌تواند به پردازش و تحلیل اطلاعات بیماران و بهبود دقت تشخیص بیماری‌ها کمک کند.

همچنین، استفاده از یادگیری ماشین درداده کاوی[1] می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندها و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری منجر شود.با این روش ها، سازمان‌ها می‌توانند تصمیمات بهتری مبتنی بر داده و تحلیل‌های عمیق اتخاذ کنند.

چالش‌هایی نیز وجود دارد؛ مانند نیاز به داده‌های با کیفیت و مناسب و توجه به مسائل حریم خصوصی. در نهایت، این روند تسریع در ادغام هوش مصنوعی و داده‌کاوی می‌تواند به شکل‌گیری راهکارهای نوآورانه و کارآمدتر در بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌ها کمک کند و به پیشرفت‌های چشمگیری در حوزه‌های مختلف منجر شود[۷۶].

۲-۶- توسعه تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه

توسعه تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه به عنوان یکی از روندهای نوآورانه در نظریه کنترل و کاربردهای آن در اقتصاد و علوم پزشکی در حال شکل‌گیری است. در بسیاری از موقعیت‌ها، تصمیم‌گیری بهینه نه تنها بر اساس یک هدف، بلکه نیازمند در نظر گرفتن چندین هدف مختلف و اغلب متضاد است. این موضوع به ویژه در زمینه‌های پیچیده‌ای مانند مدیریت منابع طبیعی، بهداشت عمومی و ارزیابی سیاست‌های اقتصادی اهمیت دارد.

این تکنیک‌ها به کمک مدل‌سازی ریاضی و الگوریتم‌های پیشرفته می‌توانند به شناسایی راه‌حل‌های بهینه‌ای بپردازند که منجر به دستیابی به چندین هدف همزمان می‌شود. به عنوان مثال، در مدیریت مالی، سازمان‌ها می‌توانند همزمان حداکثرسازی سود و کاهش ریسک را مدنظر قرار دهند.

استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بهینه‌سازی چندهدفه نیز افزایش یافته است[۷۷و۷۸]. این تکنیک‌ها با تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و شناسایی الگوها، می‌توانند به محققان و تصمیم‌گیرندگان در رسیدن به نتایج ترکیبی بهینه کمک کنند.

به‌علاوه، توسعه الگوریتم‌های ژنتیک و برنامه‌ریزی پویا در این راستا به بهبود کارایی و سرعت در جستجوی راه‌حل‌های بهینه کمک کرده است. این روش‌ها قادر به یافتن تعادلی میان اهداف متضاد و ارائهٔ گزینه‌های متنوع برای تصمیم‌گیری هستند.

چالش‌های موجود در بهینه‌سازی چندهدفه که شامل ناهمگونی اهداف و پیچیدگی محاسبات است، هنوز نیازمند تحقیقات بیشتر و ابزارهای بهبود یافته است.

در نهایت، پیشرفت در این تکنیک‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت تصمیم‌گیری در زمینه‌های مختلف منجر شود و به مدیران این امکان را دهد که با اطمینان بیشتری گزینه‌هایی متوازن و کارآمد انتخاب کنند[۷۹].

۳-۶-تاثیر تحولات تکنولوژیک بر روی نظریه کنترل

[1] Data Mining

تحولات تکنولوژیک تأثیر عمیق و مثبتی بر نظریه کنترل و کاربردهای آن داشته‌اند و این روند همچنان در حال پیشرفت است. یکی از عمده‌ترین تأثیرات، افزایش توان محاسباتی و سرعت پردازش داده‌ها است که به پژوهشگران این امکان را می‌دهد تا مدل‌های پیچیده تری را توسعه دهند و داده‌های بزرگ را به‌طور مؤثرتری تحلیل کنند[۸۰و۸۱].

استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در نظریه کنترل نیز به شکل‌گیری الگوریتم‌های جدید و بهینه منجر شده است که می توانند به تصمیم‌گیری‌های خودکار و افزایش دقت پیش‌بینی‌ها کمک کنند. این استراتژی‌های هوشمند می‌توانند به شناسایی الگوهای پنهان در داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیندهای پیچیده در زمان واقعی بپردازند.

علاوه بر این، دستگاه‌های حسگر و اینترنت اشیاء (IoT)به گسترش قابلیت‌های جمع‌آوری داده‌ها و پایش وضعیت در زمان واقعی کمک کرده‌اند. این تکنولوژی‌ها می‌توانند اطلاعات زنده و دقیقی را به سیستم‌های کنترلی ارائه دهند و به بهبود کارایی و پاسخگویی آنها کمک کنند.

در حوزه‌های پزشکی، این تحولات به سیستم‌های پایش سلامت و ایجاد روش‌های درمانی فردمحور منجر شده است که می‌تواند به بهبود کیفیت درمان و مدیریت بیماری‌ها کمک کند.

تکنولوژی‌های مانند بلاک‌چین نیز پتانسیل بالایی برای افزایش شفافیت و امنیت در فرآیندهای کنترلی دارند و می‌توانند به اعتمادسازی در تصمیمات اقتصادی و اجتماعی کمک کنند.

با وجود این امکانات پیشرفته، باید به چالش‌های مربوط به حفظ امنیت داده‌ها و حریم خصوصی نیز توجه کرد .در نهایت، تأثیر تحولات تکنولوژیک بر نظریه کنترل، امکان ایجاد سیستم‌های پاسخگو و کارآمدتر را فراهم کرده و به شکل‌دهی آینده‌ای نوین در فرآیندهای تصمیم‌گیری کمک می‌کند[۸۲-۸۴].

۷-نتیجه‌گیری

نظریه کنترل به‌عنوان یک چارچوب علمی محوری، به ما ابزارهای ضروری برای مدیریت و تحلیل پیچیدگی‌های اقتصادی و پزشکی ارائه می‌دهد. این نظریه با استفاده از نوآوری‌ها و تکنیک‌های جدید، امکان تصمیم‌گیری بهینه و عملکرد بهبود یافته در سیستم‌های مختلف را فراهم می‌کند. چالش‌های موجود، از جمله عدم انسجام در ادغام رویکردها و محدودیت‌های ابزارهای تحقیقاتی، نیاز به تحقیقات بیشتر و بین‌رشته‌ای را برجسته می‌کند.

توسعه تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه و تأثیر تحولات تکنولوژیک بر نظریه کنترل، نشان‌دهنده یک افق جدید در شیوه‌های تحقیق و کاربردهای عملی است. پیشرفت‌هایی نظیر هوش مصنوعی و جمع‌آوری داده‌های بزرگ، این امکان را می‌دهد که به حل مسائل پیچیده و چندبعدی بپردازیم. در این راستا، همکاری بین‌رشته‌ای میان محققان و متخصصین از رشته‌های مختلف به افزایش کارایی و دقت در تصمیم‌گیری کمک خواهد کرد.

درنهایت ،آینده نظریه کنترل وابسته به انطباق با تحولات تکنولوژیک و آماده‌سازی برای چالش‌های جدید است. با توجه به روندهای کنونی، می‌توان انتظار داشت که نظریه کنترل در بهینه‌سازی تصمیمات اقتصادی و پزشکی نقش مهم‌تری را ایفا کند و به بهبود کیفیت زندگی بشر کمک کند.

۸-پیشنهادها برای تحقیقات آینده

۱- توسعه الگوریتم‌های یادگیری تقویتی برای بهینه‌سازی کنترل در سیستم‌های دینامیکی پیچیده

۲- ایجاد سیستم‌های کنترل هوشمند فازی برای بهبود دقت و پاسخگویی در شرایط عدم قطعیت

۳- استفاده از اینترنت اشیاء (IoT) به‌منظور پایش و کنترل لحظه‌ای سیستم‌های دینامیکی

۴- تحلیل داده‌های بزرگ برای شناسایی الگوهای حرکتی و بهینه‌سازی فرآیند کنترل

۵- ادغام حسگرهای پیشرفته برای افزایش دقت و کارایی سیستم‌های کنترلی

۶- پژوهش در زمینه یادگیری عمیق برای طراحی کنترلرهای هوشمند در سیستم‌های خودران

۷- ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی دقیق به‌منظور بررسی و بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌ها

۸- ارزیابی روش‌های کنترل تطبیقی برای بهبود سیستم‌های دینامیکی در شرایط متغیر

۹- تحقیقات درباره امنیت سایبری در سیستم‌های کنترل هوشمند برای جلوگیری از تهدیدات

۱۰-توسعه استانداردهای بین‌المللی برای اطمینان از کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های کنترلی هوشمند

منابع

[1] SARKER, Iqbal H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. *SN Computer Science*, 2022, 3.2: 158.

[2] LAMNABHI-LAGARRIGUE, Francoise, et al. Systems & control for the future of humanity, research agenda: Current and future roles, impact and grand challenges. *Annual Reviews in Control*, 2017, 43: 1-64.

[3] LYSHEVSKI, Sergey E. *Control systems theory with engineering applications*. Springer Science & Business Media, 2012.

[4] STRASSER, Thomas, et al. A review of architectures and concepts for intelligence in future electric energy systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, 62.4: 2424-2438.

[5] MITTAL, Sumit. Framework for Optimized Sales and Inventory Control: A Comprehensive Approach for Intelligent Order Management Application. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 2024, 72.3: 61-65.

[6] LIU, Yang, et al. Artificial intelligence in smart logistics cyber-physical systems: State-of-the-arts and potential applications. *IEEE Transactions on industrial cyber-physical systems*, 2023, 1: 1-20.

[7] ARAI, Kohei (ed.). *Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2023 Intelligent Systems Conference (IntelliSys)*. Springer Nature, 2024.

[8] SCHINDEL, William D. Innovation, Risk, Agility, and Learning, Viewed as Optimal Control and Estimation. *INSIGHT*, 2024, 27.4: 33-42.

[9] FADLULLAH, Zubair Md, et al. State-of-the-art deep learning: Evolving machine intelligence toward tomorrow's intelligent network traffic control systems. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19.4: 2432-2455.

[10] MOMOH, James A. Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control. In: *2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*. IEEE, 2009. p. 1-8.

[11] GROUMPOS, P. Why model complex dynamic systems using fuzzy cognitive maps?. *Robot Autom Eng J*, 2017, 1.3: 555563.

[12] VANLEHN, Kurt, et al. Learning how to construct models of dynamic systems: an initial evaluation of the dragoon intelligent tutoring system. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2016, 10.2: 154-167.

[13] PALKOVICS, László; FRIES, Ansgar. Intelligent electronic systems in commercial vehicles for enhanced traffic safety. *Vehicle System Dynamics*, 2001, 35.4-5: 227-289.

LEITAO, Paulo, et al. Smart agents in industrial cyber–physical systems. Proceedings of the IEEE, 2016, 104.5: 1086-1101. [14]
SAPATY, Peter Simon. *Providing Integrity, Awareness, and Consciousness in Distributed Dynamic Systems*. CRC Press, 2024. [15]
LYSHEVSKI, Sergey E. *Control systems theory with engineering applications*. Springer Science & Business Media, 2012. [16]
NANAYAKKARA, Thrishantha; SAHIN, Ferat; JAMSHIDI, Mo. *Intelligent control systems with an introduction to system of systems engineering*. Crc Press, 2018. [17]
LIU, Derong, et al. Adaptive dynamic programming for control: A survey and recent advances. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2020, 51.1: 142-160. [18]
MBUNGU, Nsilulu T., et al. Control and estimation techniques applied to smart microgrids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023, 179: 113251. [19]
GARAKANI, Spalding. *Optimal Control Theory and Applications in Infectious Disease Modeling*. 2024. Master's Thesis. The University of Texas at San Antonio. [20]
ADENIRAN, A. O.; ONANAYE, A. S.; ADELEKE, O. J. Optimal control of Cocoa Black pod disease: A multi-pronged approach. *Franklin Open*, 2024, 7: 100100. [21]
CARPANZANO, Emanuele; KNÜTTEL, Daniel. Advances in artificial intelligence methods applications in industrial control systems: Towards cognitive self-optimizing manufacturing systems. *Applied Sciences*, 2022, 12.21: 10962. [22]
TANG, Jian, et al. An Overview of Artificial Intelligence Application for Optimal Control of Municipal Solid Waste Incineration Process. *Sustainability*, 2024, 16.5: 2042. [23]
GHAMARI, Seyyedmorteza, et al. Design of An Adaptive Robust PI Controller for DC/DC Boost Converter using Reinforcement-Learning Technique and Snake Optimization Algorithm. *IEEE Access*, 2024. [24]
PRASAD, Lal Bahadur; TYAGI, Barjeev; GUPTA, Hari Om. Modelling and simulation for optimal control of nonlinear inverted pendulum dynamical system using PID controller and LQR. In: *2012 Sixth Asia Modelling Symposium*. IEEE, 2012. p. 138-143. [25]
MOUSA, M. E.; EBRAHIM, Mohamed Ahmed; MOUSTAFA HASSAN, M. A. Optimal fractional order proportional—integral—differential controller for inverted pendulum with reduced order linear quadratic regulator. *Fractional Order Control and Synchronization of Chaotic Systems*, 2017, 225-252. [26]
SRIVASTAVA, Saurabh, et al. An optimal PID controller via LQR for standard second order plus time delay systems. *ISA transactions*, 2016, 60: 244-253. [27]
MANDIĆ, Petar D., et al. A new optimisation method of PIDC controller under constraints on robustness and sensitivity to measurement noise using amplitude optimum principle. *International Journal of Control*, 2024, 97.1: 36-50. [28]
CHEN, Guangjun; DONG, Jiuxiang. Approximate optimal adaptive prescribed performance control for uncertain nonlinear systems with feature information. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2024. [29]
HE, Zhaoyu; GUO, Weimin; ZHANG, Peng. Performance prediction, optimal design and operational control of thermal energy storage using artificial intelligence methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 156: 111977. [30]
VLADAREANU, Luige, et al. Advanced Intelligent Control in Robots. *Sensors*, 2023, 23.12: 5699. [31]
AUTSOU, Siarhei, et al. Principles and Methods of Servomotor Control: Comparative Analysis and Applications. *Applied Sciences*, 2024, 14.6: 2579. [32]
AL-QAOUD, Fatima, et al. The Development of the Artificial Intelligence in The Fields of Engineering, Medicine and Manufacturing Industries. In: *Proceedings of the 3rd International Multi-Disciplinary Conference:"Integrated Sciences and Technologies", IMDC-IST 2023, 25-27 October 2023, Yola, Nigeria*. 2024. [33]
ENGELBERG, Shlomo. *Mathematical Introduction To Control Theory, A*. World Scientific, 2024. [34]
DELLA SANTINA, Cosimo; DURIEZ, Christian; RUS, Daniela. Model-based control of soft robots: A survey of the state of the art and open challenges. *IEEE Control Systems Magazine*, 2023, 43.3: 30-65. [35]
LENG, Jiewu, et al. Unlocking the power of industrial artificial intelligence towards Industry 5.0: Insights, pathways, and challenges. *Journal of Manufacturing Systems*, 2024, 73: 349-363. [36]
GEN, Mitsuo; LIN, Lin. Nature-inspired and evolutionary techniques for automation. In: *Springer Handbook of Automation*. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 483-508. [37]
WONG, Kelvin KL. *Cybernetical intelligence: Engineering cybernetics with machine intelligence*. John Wiley & Sons, 2023. [38]

DING, Steven X. *Advanced methods for fault diagnosis and fault-tolerant control*. Springer Berlin Heidelberg, 2021. [39]
KORBICZ, Józef, et al. (ed.). *Fault diagnosis: models, artificial intelligence, applications*. Springer Science & Business Media, 2012. [40]
DAS, Anusmita, et al. An optimally controlled chemotherapy treatment for cancer eradication. *International Journal of Modelling and Simulation*, 2024, 44.1: 44-59. [41]
ADAMA, Henry Ejiga, et al. Economic theory and practical impacts of digital transformation in supply chain optimization. *International Journal of Advanced Economics*, 2024, 6.4: 95-107. [42]
PETROPOULOS, Fotios, et al. Operational Research: methods and applications. *Journal of the Operational Research Society*, 2024, 75.3: 423-617. [43]
XUEMEI, Li, et al. A summary of grey forecasting and relational models and its applications in marine economics and management. *Marine economics and management*, 2019, 2.2: 87-113. [44]
ALEKSEEVA, Tatiana. Forecasting and control in nonlinear economic models with application to economic policy. 2024. [45]
FRINK, Dwight D.; KLIMOSKI, Richard J. Advancing accountability theory and practice: Introduction to the human resource management review special edition. *Human resource management review*, 2004, 14.1: 1-17. [46]
ARMSTRONG, Michael; TAYLOR, Stephen. *Armstrong's handbook of human resource management practice: A guide to the theory and practice of people management*. Kogan Page Publishers, 2023. [47]
BUDI, Mustafa, et al. The Influence of Human Resource Competency, Regional Finance Accounting System Implementation and Internal Control System on the Quality of Regional Financial Statement at Government Work Agencies (Skpk) of Bener Meriah Regency, Province of Aceh, Indonesia. *East African Scholars Journal of Economics, Business and Management Abbreviated Key Title: East African Scholars J Econ Bus Manag*, 2020, 3: 609-616. [48]
LAMNABHI-LAGARRIGUE, Francoise, et al. Systems & control for the future of humanity, research agenda: Current and future roles, impact and grand challenges. *Annual Reviews in Control*, 2017, 43: 1-64. [49]
AMIN, S. Massoud. Smart grid: Overview, issues and opportunities. advances and challenges in sensing, modeling, simulation, optimization and control. *European Journal of Control*, 2011, 17.5-6: 547-567. [50]
PARVIN, Khadija, et al. Intelligent controllers and optimization algorithms for building energy management towards achieving sustainable development: challenges and prospects. *IEEE Access*, 2021, 9: 41577-41602. [51]
KOUFOS, Konstantinos, et al. Trends in intelligent communication systems: review of standards, major research projects, and identification of research gaps. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2021, 10.4: 60. [52]
LEE, Min-Fan Ricky. A Review on intelligent control theory and applications in process optimization and smart manufacturing. *Processes*, 2023, 11.11: 3171. [53]
ADLER, Rasmus, et al. A research roadmap for trustworthy dynamic systems of systems-motivation challenges and research directions. *Fraunhofer IESE, Germany, Tech. Rep*, 2023, 1. [54]
ALLGÖWER, Frank, et al. Position paper on the challenges posed by modern applications to cyber-physical systems theory. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 2019, 34: 147-165. [55]
ANTSAKLIS, Panos. Defining intelligent control. *Report of the Task Force on Intelligent Control IEEE Control Systems Society*, 1993. [56]
MOLINA, Arturo, et al. Next-generation manufacturing systems: key research issues in developing and integrating reconfigurable and intelligent machines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2005, 18.7: 525-536. [57]
OSPINA CIFUENTES, Bayron Jesit, et al. Analysis of the Use of Artificial Intelligence in Software-Defined Intelligent Networks: A Survey. *Technologies*, 2024, 12.7: 99. [58]
OUESLATI, Raja, et al. Chaos Game Optimization: A comprehensive study of its variants, applications, and future directions. *Computer Science Review*, 2024, 53: 100647. [59]
SAMAD, Tariq; BALAS, Gary (ed.). *Software-enabled control: information technology for dynamical systems*. John Wiley & Sons, 2003. [60]
JENNINGS, Nicholas R.; WOOLDRIDGE, Michael. Applications of intelligent agents. *Agent technology: foundations, applications, and markets*, 1998, 3-28. [61]
SCHINDEL, William D. Innovation, Risk, Agility, and Learning, Viewed as Optimal Control and Estimation. *INSIGHT*, 2024, 27.4: 33-42. [62]
OLADOSU, Temidayo Lekan, et al. Energy management strategies, control systems, and artificial intelligence-based algorithms development for hydrogen fuel cell-powered vehicles: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, 61: 1380-1404. [63]

DING, Steven X. *Advanced methods for fault diagnosis and fault-tolerant control*. Springer Berlin Heidelberg, 2021. [39]
KORBICZ, Józef, et al. (ed.). *Fault diagnosis: models, artificial intelligence, applications*. Springer Science & Business Media, 2012. [40]
DAS, Anusmita, et al. An optimally controlled chemotherapy treatment for cancer eradication. *International Journal of Modelling and Simulation*, 2024, 44.1: 44-59. [41]
ADAMA, Henry Ejiga, et al. Economic theory and practical impacts of digital transformation in supply chain optimization. *International Journal of Advanced Economics*, 2024, 6.4: 95-107. [42]
PETROPOULOS, Fotios, et al. Operational Research: methods and applications. *Journal of the Operational Research Society*, 2024, 75.3: 423-617. [43]
XUEMEI, Li, et al. A summary of grey forecasting and relational models and its applications in marine economics and management. *Marine economics and management*, 2019, 2.2: 87-113. [44]
ALEKSEEVA, Tatiana. Forecasting and control in nonlinear economic models with application to economic policy. 2024. [45]
FRINK, Dwight D.; KLIMOSKI, Richard J. Advancing accountability theory and practice: Introduction to the human resource management review special edition. *Human resource management review*, 2004, 14.1: 1-17. [46]
ARMSTRONG, Michael; TAYLOR, Stephen. *Armstrong's handbook of human resource management practice: A guide to the theory and practice of people management*. Kogan Page Publishers, 2023. [47]
BUDI, Mustafa, et al. The Influence of Human Resource Competency, Regional Finance Accounting System Implementation and Internal Control System on the Quality of Regional Financial Statement at Government Work Agencies (Skpk) of Bener Meriah Regency, Province of Aceh, Indonesia. *East African Scholars Journal of Economics, Business and Management Abbreviated Key Title: East African Scholars J Econ Bus Manag*, 2020, 3: 609-616. [48]
LAMNABHI-LAGARRIGUE, Francoise, et al. Systems & control for the future of humanity, research agenda: Current and future roles, impact and grand challenges. *Annual Reviews in Control*, 2017, 43: 1-64. [49]
AMIN, S. Massoud. Smart grid: Overview, issues and opportunities. advances and challenges in sensing, modeling, simulation, optimization and control. *European Journal of Control*, 2011, 17.5-6: 547-567. [50]
PARVIN, Khadija, et al. Intelligent controllers and optimization algorithms for building energy management towards achieving sustainable development: challenges and prospects. *IEEE Access*, 2021, 9: 41577-41602. [51]
KOUFOS, Konstantinos, et al. Trends in intelligent communication systems: review of standards, major research projects, and identification of research gaps. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2021, 10.4: 60. [52]
LEE, Min-Fan Ricky. A Review on intelligent control theory and applications in process optimization and smart manufacturing. *Processes*, 2023, 11.11: 3171. [53]
ADLER, Rasmus, et al. A research roadmap for trustworthy dynamic systems of systems-motivation challenges and research directions. *Fraunhofer IESE, Germany, Tech. Rep*, 2023, 1. [54]
ALLGÖWER, Frank, et al. Position paper on the challenges posed by modern applications to cyber-physical systems theory. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 2019, 34: 147-165. [55]
ANTSAKLIS, Panos. Defining intelligent control. *Report of the Task Force on Intelligent Control IEEE Control Systems Society*, 1993. [56]
MOLINA, Arturo, et al. Next-generation manufacturing systems: key research issues in developing and integrating reconfigurable and intelligent machines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2005, 18.7: 525-536. [57]
OSPINA CIFUENTES, Bayron Jesit, et al. Analysis of the Use of Artificial Intelligence in Software-Defined Intelligent Networks: A Survey. *Technologies*, 2024, 12.7: 99. [58]
OUESLATI, Raja, et al. Chaos Game Optimization: A comprehensive study of its variants, applications, and future directions. *Computer Science Review*, 2024, 53: 100647. [59]
SAMAD, Tariq; BALAS, Gary (ed.). *Software-enabled control: information technology for dynamical systems*. John Wiley & Sons, 2003. [60]
JENNINGS, Nicholas R.; WOOLDRIDGE, Michael. Applications of intelligent agents. *Agent technology: foundations, applications, and markets*, 1998, 3-28. [61]
SCHINDEL, William D. Innovation, Risk, Agility, and Learning, Viewed as Optimal Control and Estimation. *INSIGHT*, 2024, 27.4: 33-42. [62]
OLADOSU, Temidayo Lekan, et al. Energy management strategies, control systems, and artificial intelligence-based algorithms development for hydrogen fuel cell-powered vehicles: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, 61: 1380-1404. [63]

[64] OSPINA CIFUENTES, Bayron Jesit, et al. Analysis of the Use of Artificial Intelligence in Software-Defined Intelligent Networks: A Survey. *Technologies*, 2024, 12.7: 99.
[65] AHMED, Ijaz, et al. A review on enhancing energy efficiency and adaptability through system integration for smart buildings. *Journal of Building Engineering*, 2024, 109354.
[66] ZOU, Zhengping, et al. Application of artificial intelligence in turbomachinery aerodynamics: progresses and challenges. *Artificial Intelligence Review*, 2024, 57.8: 222.
[67] GUNES, Volkan, et al. A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, 2014, 8.12: 4242-4268.
[68] KUSTERS, Remy, et al. Interdisciplinary research in artificial intelligence: challenges and opportunities. *Frontiers in big data*, 2020, 3: 577974.
[69] CALEGARI, Roberta, et al. Logic-based technologies for intelligent systems: State of the art and perspectives. *Information*, 2020, 11.3: 167.
[70] ARAGHI, Farhang Motallebi, et al. Identifying and assessing research gaps for energy efficient control of electrified autonomous vehicle Eco-Driving. *Machine Learning and Optimization Techniques for Automotive Cyber-Physical Systems*, 2023, 759-786.
[71] BITTENCOURT, João Carlos N., et al. A Survey on Adaptive Smart Urban Systems. *IEEE Access*, 2024.
[72] NJEGOVANOVIĆ, Ana. Complex Systems in Interdisciplinary Interaction. *Financ. Mark. Institutions Risks*, 2024, 8: 94-107.
[73] BITTENCOURT, João Carlos N., et al. A Survey on Adaptive Smart Urban Systems. *IEEE Access*, 2024.
[74] NICA, Ionuț; DELCEA, Camelia; CHIRIȚĂ, Nora. Mathematical Patterns in Fuzzy Logic and Artificial Intelligence for Financial Analysis: A Bibliometric Study. *Mathematics*, 2024, 12.5: 782.
[75] EYO-UDO, N. Leveraging artificial intelligence for enhanced supply chain optimization. *Open Access Research Journal of Multidisciplinary Studies*, 2024, 7.2: 001-015.
[76] Intelligent control of dynamic systems: innovations and optimization applications in today's world, integration of artificial intelligence and data mining
[77] PARVIN, Khadija, et al. Intelligent controllers and optimization algorithms for building energy management towards achieving sustainable development: challenges and prospects. *IEEE Access*, 2021, 9: 41577-41602.
[78] DEB, Kalyanmoy. Multi-objective evolutionary algorithms. *Springer handbook of computational intelligence*, 2015, 995-1015.
[79] FAROKHI, A.; MAHMOODABADI, M. J. Optimal fuzzy inverse dynamics control of a parallelogram mechanism based on a new multi-objective PSO. *Cogent Engineering*, 2018, 5.1: 1443675.
[80] SARKER, Iqbal H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. *SN Computer Science*, 2022, 3.2: 158.
[81] BOTHRA, Priyanka, et al. How can applications of blockchain and artificial intelligence improve performance of Internet of Things?–A survey. Computer Networks, 2023, 224: 109634.
[82] GILL, Sukhpal Singh, et al. Transformative effects of IoT, Blockchain and Artificial Intelligence on cloud computing: Evolution, vision, trends and open challenges. *Internet of Things*, 2019, 8: 100118.
[83] KUMARI, Shabnam; MUTHULAKSHMI, P. Artificial Intelligence—Blockchain Enabled Technology for Internet of Things: Research Statements, Open Issues, and Possible Applications in the Near Future. *Privacy Preservation of Genomic and Medical Data*, 2023, 433-480.
[84] SINGH, Sunil Kr, et al. Evolving requirements and application of SDN and IoT in the context of industry 4.0, blockchain and artificial intelligence. *Software Defined Networks: Architecture and Applications*, 2022, 427-496.