

مدلسازی و کنترل یک سیستم غیرخطی چند ورودی چند خروجی به کمک محاسبات نرم

حامد صحرائی

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت ملی نفت مناطق نفت خیز جنوب

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۰۱

پیام‌نگار: sahraie.h@nisoc.ir

چکیده

تحقیقات محاسبات نرم در زمینه کاربرد همزمان ابزارهای هوش مصنوعی (شبکه‌های عصبی، فناوری فازی، الگوریتمهای ژنتیک و دیگر اندازه‌های هوش مصنوعی) در یک قالب ترکیبی- تکمیلی بر حل مشکلات دنیای واقعی متمرکز است. در این مقاله، دو ابزار توانمند محاسبات نرم (شبکه‌های عصبی و منطق فازی) برای مدلسازی و کنترل یک سیستم غیرخطی به‌کار گرفته شده است. سیستم مورد مطالعه، یک برج تقطیر چندجزئی واقع در پالایشگاه تهران است. در ابتدا، با استفاده از داده‌های واقعی سیستم از طریق شبکه عصبی برگشتی مدلسازی شده، و شبکه بهینه به کمک معیار خطای ریشه میانگین مربعی خطا (RMSE) انتخاب می‌شود. سپس، پنج کنترل‌کننده فازی شبه PID برای تأمین نیازهای سیستم طراحی شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که می‌توان از روشهای محاسبات نرم با انعطاف و قدرت بالایی به ویژه برای سیستمهای غیرخطی سود جست.

کلیدواژه‌ها: محاسبات نرم، مدلسازی، کنترل فازی، برج تقطیر، سیستم غیرخطی

۱. مقدمه

یکی از مشکلات برای کنترل سیستم‌های غیرخطی، از جمله برجهای تقطیر، فقدان مدل دقیق است. به طور کلی، دو روش برای مدلسازی سیستم‌های غیرخطی وجود دارد؛ اولی بر پایه استفاده از دانش فرایندی، و دیگری بر پایه داده‌های ورودی/ خروجی استوار است. استفاده دقیق از روش اول همیشه میسر نیست، زیرا همیشه اصول ترمودینامیکی ترکیبات، تعادلات بخار مایع، مشخصه‌های فیزیکی، و سایر روابط در دسترس نیستند. علاوه بر روشهای کلاسیک شناسایی، از قبیل مدلسازی Narmax^[۱] و [۲،۳]. در این اواخر از روشهای جدید دیگری چون روشهای محاسبات نرم

کارکنان پالایشگاهها به اهمیت بهینه‌سازی خودکاری فرایندها آگاه شده‌اند، زیرا در صورت وجود سیستم کنترل دقیق، به سود بیشتر خواهند رسید و کیفیت محصول آنها بالاتر خواهد رفت. تقطیر مخلوطهای چند ترکیبی یکی از رایج ترین عملیات جداسازی در صنایع شیمیایی و پالایشگاهی به‌شمار می‌آید. تقطیر فرایندی مقید چند متغیره، به هم پیوسته، غیرخطی، پویا با ساختار دینامیکی پیچیده است. برجهای تقطیر مقدار زیادی انرژی مصرف می‌کنند که یک کنترل دقیق می‌تواند به میزان زیادی از مصرف انرژی در پالایشگاهها بکاهد [۱].

* اهواز، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، واحد فنی و مهندسی

1. Nonlinear Autoregressive Moving Average Model with eXogenous inputs

برای از بین بردن نوفه‌های حلقه کنترل بهره بردند و یوسف و همکاران^۸ [۸] برج تقطیر را از طریق منطق فازی مدلسازی کرده‌اند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، پارامترهای مدل فازی را به‌دست آوردند. میکیو و کنزا^۹ [۹] با استفاده از کنترل‌کننده PID^{۱۰} فازی نوع اول و دوم، یک برج تقطیر دوجزئی را کنترل کردند. در کار آنها مدل به‌کار رفته، ولی ریاضی با مشخصات غیرخطی یادشده در بالا و عدم قطعیت پارامترها بوده است. تمرکز اصلی این مقاله بر رویه تنظیم پیشنهاد شده از جانب مؤلفان و نیز توسعه روش اصلی جانزن^{۱۱} در ارتباط با کنترل‌کننده فازی نوع اول و دوم، به خصوص با ورودی تابع عضویت گاوسی نوع دوم، است. آنگاه، عملکرد کنترل‌کننده نوع ۱ با نوع ۲ مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی، پایداری و کنترل موثر هر کدام از کنترل‌کننده‌های فازی را نشان می‌دهد.

ریکو و همکاران^{۱۱} [۱۰]، روی مدلسازی و کنترل یک برج تقطیر پیوسته از طریق روشهای فازی کار کردند. برجهای تقطیر پیوسته تحت تاثیر تغییراتی در مشخصات خوراک ورودی‌اند که باعث پایین آمدن کیفیت محصول یا مصرف انرژی بیشتر می‌شود. بنابراین، استفاده از کنترل‌کننده فازی به‌منظور کنترل عملکرد فرایند مورد توجه است.

دوراه و همکاران^{۱۲} [۱۱]، در زمینه کنترل یک سیستم فرایندی، شامل دو برج تقطیر به هم پیوسته، تحقیق کردند. آنان، به‌جای استفاده از کنترل‌کننده PID رایج، از کنترل‌کننده هوشمند بر پایه یادگیری احساساتی مغز (BELBIC)^{۱۳} بهره بردند. سپس، مقادیر BELBIC و PID را با استفاده از روش بهینه‌سازی دسته ای ذرات (PSO)^{۱۴} با کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا برای تمام حلقه‌ها، به‌دست آورده‌اند.

زو و شین^{۱۵} [۱۲] در حوزه طراحی کنترل‌کننده خودتنظیم برای سیستمهای چند ورودی- چند خروجی کار کرده‌اند. آنان یک کنترل‌کننده فازی چند متغیره پیشنهاد کردند که از دو موتور کنترل‌کننده متعامد ساخته شده بود. موتور کنترل‌کننده فازی افقی برای به‌روز رسانی پارامترها به صورت بر خط، و تنظیم متغیرهای

برای شناسایی و کنترل سیستمهای دینامیکی استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی، سیستمهای فازی، و سیستم عصبی فازی نمونه‌هایی از روشهای محاسبات نرم به حساب می‌آیند. کاربرد شبکه‌های عصبی در دو دهه اخیر به دلایل زیر گسترش یافته است: پیشرفت‌های جاری در فناوری رایانه و پردازش موازی، بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی را نسبت به گذشته بسیار مقرون به صرفه کرده است. از آنجا که شبکه‌های عصبی ترکیبی از توابع غیرخطی‌اند، از این توانایی برخوردارند که به‌خوبی فرایندها را از طریق داده‌های نمونه بدون نیاز به دانش پیشین مدلسازی می‌کنند و امکان بالقوه حل مسائل پیچیده را هم، که از روشهای سنتی قابل حل نبودند، دارد [۴].

در مهندسی شیمی، از وقتی شبکه‌های عصبی فرایندهای غیرخطی پیچیده را به‌خوبی مدلسازی کردند، این روش همواره برای مدلسازی مسائل پیچیده به‌کار گرفته می‌شود. از این روشها در سیستم کنترلی به عنوان ابزار کمکی برای مدلسازی یا به عنوان کنترل‌کننده نیز بهره می‌گیرند. کنترل‌کننده‌های فازی در سالهای اخیر، در زمینه‌های گوناگونی از سیستمهای خودکاری و رباتیک تا مهندسی فرایند، کاربردهای گسترده‌ای یافته‌اند. با این احوال، روش استاندارد برای تبدیل تجارب بشری به قوانین پایه ای در سیستم کنترل فازی وجود ندارد. اما، می‌توان از طریق روش سعی و خطا اصطلاحات زبانی را به توابع تعلق (عضویت) تبدیل و اندیس عملکرد^۱ آن را بهینه کرد. در سیستم‌های مهندسی شیمی، به‌طور کلی منطق فازی در مطالعات کنترلی استفاده شده است. از آنجا که کنترل منطق فازی (FLC)^۲ به مدل نیاز ندارد و کنترل بر پایه تجربیات انسانی استوار است، در بسیاری از صورتهای کنترلی به‌کار گرفته شده است. در مدلسازی نیز کاربرد گسترده‌ای دارد.

زو و یانگ^۳ [۵] روی روش آنالیز تداخل برای سیستم غیرخطی کلی چند ورودی- چند خروجی، بر پایه مدل قوانین فازی بحث کرده‌اند و سیستم MIMO^۴ غیرخطی، در ابتدا به کمک شبکه توابع فازی بر اساس قوانین اگر- آنگاه یا داده‌ها مدلسازی می‌شود. فابرو و همکاران^۵ [۶] با بهره‌گیری از شیوه‌های کنترل هوشمند، یک برج تقطیر را راهاندازی کردند. های و همکاران^۶ [۷] از منطق فازی

7. R. Yusof et al.
8. M. Miccio, B. Cosenza
9. Proportional-Integral-Derivative
10. Jantzen
11. F. Barceló-Rico et al.
12. H. T. Dorrah et al.
13. Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller
14. Particle Swarm Optimization
15. C. Xu, Y. C. Shin

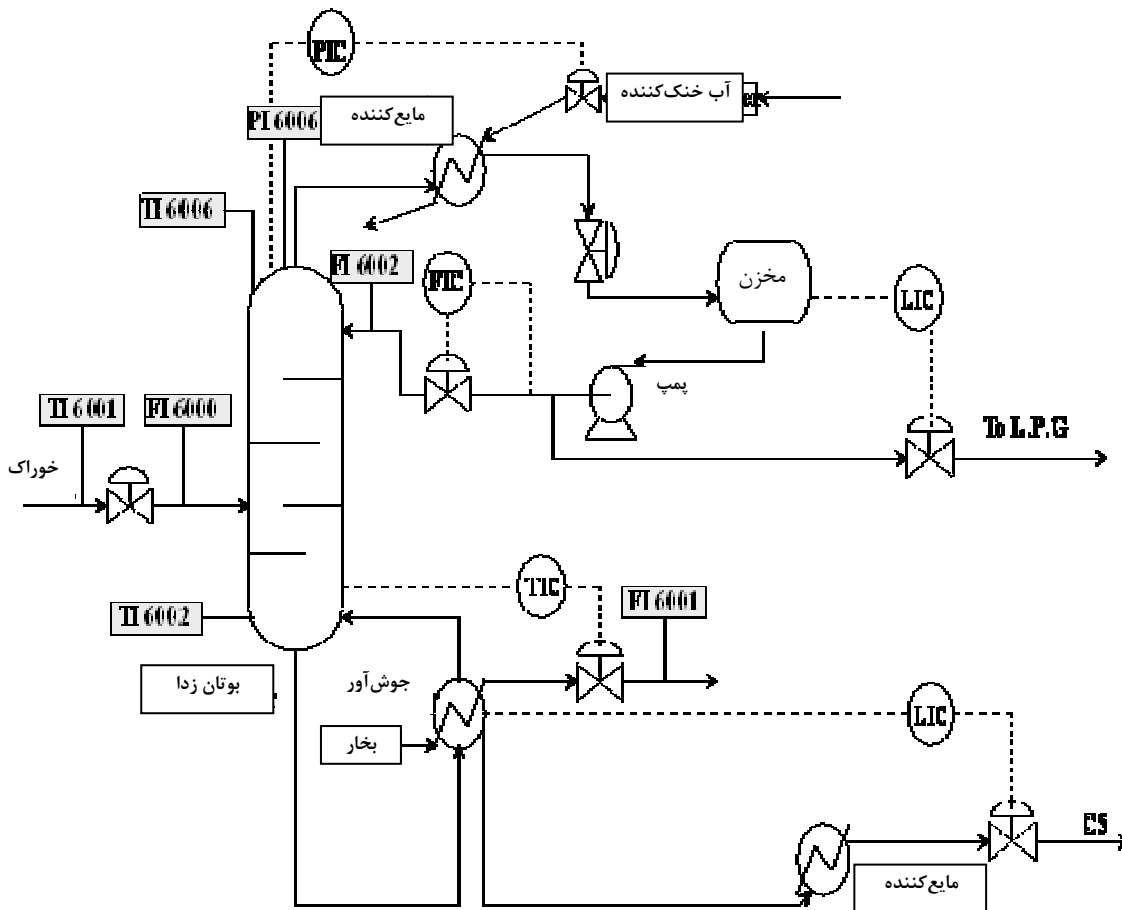
1. Index Performance
2. Fuzzy Logic Control
3. C. Xu & C. S. Yung
4. Multi Input Multi Output
5. J. A. Fabro et al.
6. G. Hay et al.

برج بوتان زدایی^۳ پالایشگاه تهران است. داده‌های مورد نیاز به صورت برخط و واقعی از برج در حال کار گرفته شده است. برج بوتان زدایی برجی چندجزئی است که در آن پروپان (C3) و بوتان (C4) از ترکیبات سنگین تر جدا می‌شوند. برای این که محصول برج به مرحله بعد برود، باید ترکیب محصول در ناحیه معینی قرار گرفته و مقدار ترکیب پنتان (C5) در آن از مقدار مشخصی کمتر باشد. در این صورت، ترکیب محصول خروجی باید کنترل شود. از آنجا که اندازه‌گیری بر خط ترکیبات، کاری زمان بر و پرهزینه است، در بیشتر موارد از کنترل استنتاجی برای این کار استفاده می‌شود. یعنی، با استفاده از پارامترهایی که قابلیت اندازه‌گیری ارزان و سریع را دارند، برای کنترل ترکیبات استفاده می‌شود. شکل نمادین برج همراه با مدارهای کنترلی و حسگرهای اندازه‌گیری در شکل (۱) نشان داده شده است. در جدول (۱) کمیتهای قابل اندازه‌گیری برج تقطیر درج شده است.

ناشناخته سیستم برای هردو سیستم ورودی- خروجی یک ساختار سلسله مراتبی دارد. موتور کنترل فازی عمود بر آن که بر پایه سیستم^۱ RGA طراحی شده است، برای حذف اثر برهم کنش چند متغیره به کار گرفته می‌شود. کرول و شولت^۲ [۱۳] روی مسائل نمونه شبیه‌سازی و کنترل به کمک محاسبات نرم کار کرده اند و برای کاربرد از این روش به صورت استاندارد، پیشنهاداتی ارائه کرده اند. با توجه به کارهای انجام شده در حوزه فرایند و نفت و گاز، در این مقاله مدلسازی و کنترل برج تقطیر همزمان از طریق روشهای محاسبات نرم صورت گرفته است. این روش در صورتی می‌تواند به کار گرفته شود که بخواهیم از روی یک سیستم موجود نمونه برداری کنیم یا نمونه آزمایشگاهی سیستم یادشده وجود داشته باشد.

۲. معرفی نمودار مورد مطالعه

برج تقطیری که برای این مطالعه در نظر گرفته شده است،



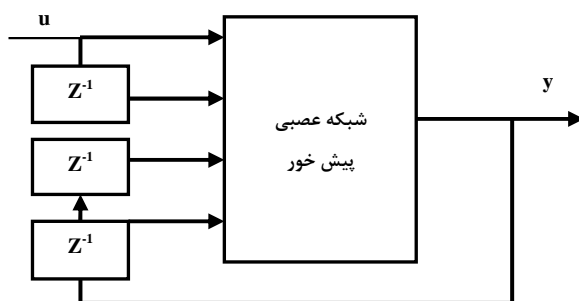
شکل ۱. شکل نمادین برج بوتان زدایی و جزئیات آن.

1. Relative Gain Array

2. A. Kroll, H. Schulte

3. Debutanizer

که در آن p تعداد داده‌های ورودی/خروجی است، t_p ، p آمین خروجی موردنظر، و o_p ، p آمین خروجی شبکه است. تعداد گره‌های لایه‌های مخفی، از روش سعی و خطا به دست می‌آید. با توجه به این که در این مدل ۵ خروجی وجود دارد و به دست آوردن یک مدل از ۶ ورودی و ۵ خروجی کار پیچیده ایست و شبکه پیچیده‌ای ایجاد می‌کند، در نتیجه، از ۵ مدل با یک خروجی بهره برده شده است. کمینه مقدار RMSE در بین شبکه‌های آزمایش شده در جدول زیر درج شده است. در شکل (۲) طرح نموداری مدل شبکه عصبی دینامیکی را مشاهده می‌کنید. شکل (۳) نمودارهای مربوط به مدل ساخته شده به کمک شبکه عصبی را نشان می‌دهد که در آن خروجی‌های واقعی و خروجی‌های شبیه‌سازی شده برای هر یک از متغیرها از طریق داده‌های معتبرسازی، ترسیم شده است. مدل به کار گرفته شده در این مقاله پیشتر توسط صحرائی و همکاران [۱۴] بررسی و در آن مقاله روش شبکه عصبی مصنوعی با روش $NARX^T$ مقایسه شده است.



شکل ۲. شبکه عصبی پویا.

جدول ۲. حداقل مقدار RMSE برای داده‌های معتبرسازی (تأیید) مدل شبکه عصبی.

RMSE کمینه	ساختار شبکه	متغیر خروجی
۰/۹۵۶۲	۶_۱۰_۱	(°C) دمای بالای برج
۰/۷۵۴۸	۶_۴_۱	(°C) دمای پایین برج
۰/۱۳۹۷	۶_۱۱_۱	(bar) فشار برج
۲/۸۵۲۷	۶_۹_۱	سطح مایع داخل جوش‌آور (% از ارتفاع کل)
۴/۵۶۵۶	۶_۱۳_۱	سطح مایع داخل ظرف استوانه شکل (% از ارتفاع کل)

2. Nonlinear Autoregressive Exogenous Model

جدول ۱. توضیحات مربوط به کمیت‌های قابل اندازه‌گیری برج بوتان زدایی.

کد دستگاه	توضیحات	واحد
TI 6001	دمای خوراک	°C
FI 6001	جریان خوراک	Kbbl/day
TI 6002	دمای پایین برج	°C
TI 6006	دمای بالای برج	°C
PI 6006	فشار بالای برج	Bar
FI 6002	جریان برگشتی به برج	m ³ /hr
FI 6001	جریان بخار	m ³ /hr

۳. مدلسازی برج تقطیر به کمک شبکه عصبی پویا

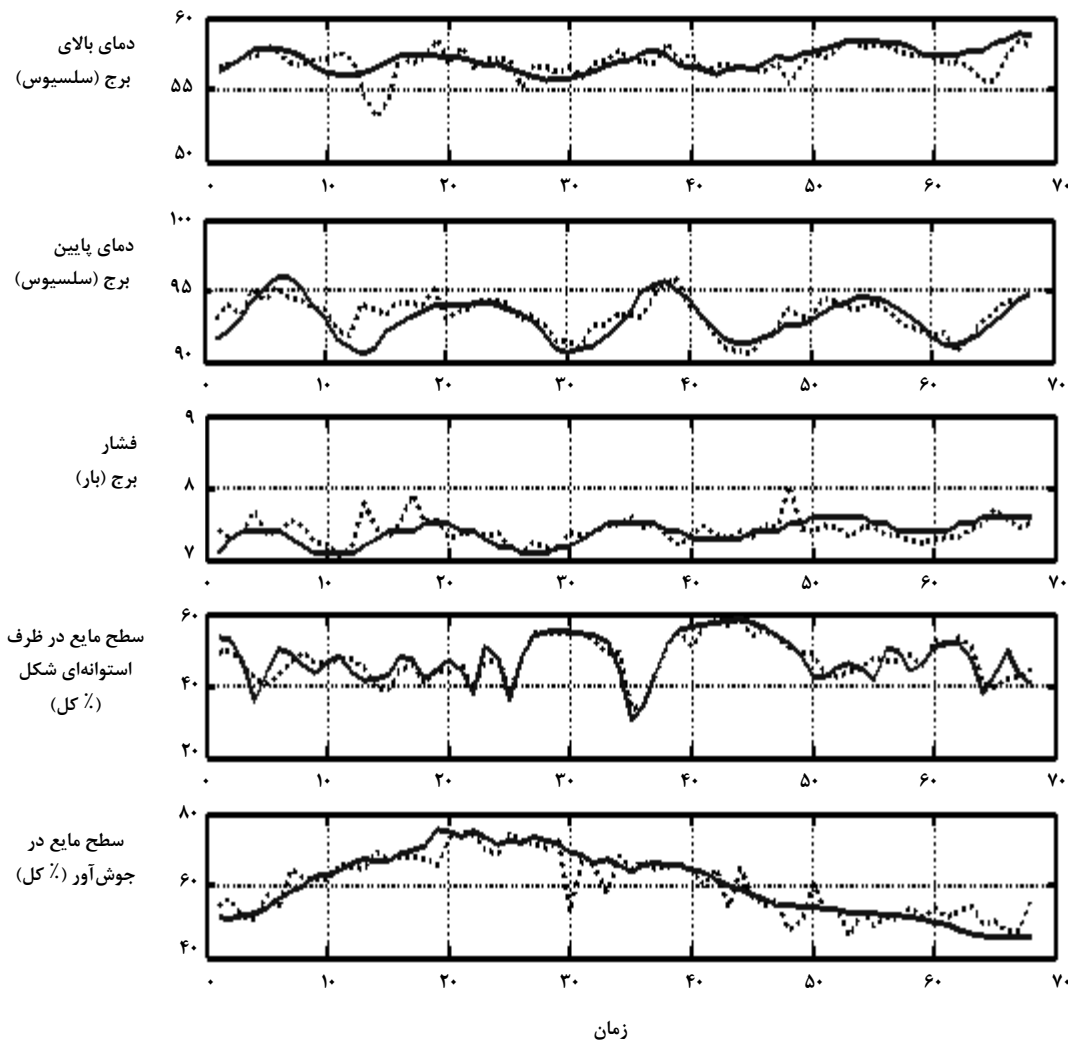
معادله‌ای برای مدلسازی برج به قرار زیر در نظر گرفته شده است:

$$y(t) = f[u(t), u(t-1), u(t-2), y(t-1), y(t-2)] \quad (1)$$

که u شامل ورودیها (سرعت خوراک ورودی، سرعت بخار آب جوش‌آور، سرعت آب خنک میعان کننده، سرعت جریان برگشتی، سرعت محصولات بالا و پایین برج) است و y خروجیها (دمای پایین برج، دمای بالای برج، فشار برج، سطح مایع داخل ظرف استوانه‌ای شکل و جوش‌آور) است. حدود ۳۴۰ جفت داده برای ساخت این مدل به کار رفته است، که حدود ۷۰ درصد آنها برای آموزش شبکه و ۳۰ درصد برای امتحان صحت مدل به کار گرفته شده است. پیش از آموزش و امتحان صحت مدل، تمام داده‌ها در بازه [۰، ۱] قرار می‌گیرند. عملکرد شبکه بستگی به ساختار شبکه از جمله تعداد لایه‌ها و تعداد گره‌ها در هر لایه دارد. پس برای انتخاب شبکه بهینه باید معیاری برگزینیم. معیاری که اینجا استفاده شده است، خطای ریشه میانگین مربعی (RMSE) است، که بنابر تعریف عبارت است از:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_p (t_p - o_p)^2} \quad (2)$$

1. Root Mean Square Error



شکل ۳. خروجی‌های واقعی و خروجی‌های شبیه‌سازی شده برای هر یک از متغیرها داده‌های معتبرسازی (خط ممتد: خروجی‌های واقعی، خط چین: خروجی‌های شبیه‌سازی شده).

۴. کنترل فازی برج تقطیر

برای هر یک از متغیرها یک کنترل‌کننده فازی شبه PID در نظر گرفته شده است. با توجه به این که تحلیل ریاضی موتور استنتاج سوگینو راحت تر است، و پیوستگی سطح خروجی را تضمین می‌کند، موتور استنتاج سوگینو به کار گرفته شده است. اثبات شده است که توابع نوع مثلثی و دوزنقه‌ای نسبت به توابع با درجه بالاتر از چون درجه دوم و درجه سوم نزد افراد اهل فن و نظریه پردازان منطق فازی از اقبال بیشتری برخوردارند. دلیلی که برای این امر ممکن است وجود داشته باشد، از این قرار است که سادگی این توابع اغلب امکان پیش‌بینی محاسبه خروجی سیستم فازی را به ما می‌دهد. دلیل دیگر از این قرار است که صافی و همواری بیشتری که

به کمک مجموعه‌های فازی با درجه بالاتر به دست می‌آید که نیاز به محاسبات بیشتری دارند، ضرورتاً در کیفیت خروجی مدل فازی نمایان نمی‌شود؛ یعنی استفاده از توابع با درجه بالاتر همیشه و به طور مشهود تأثیری بر خروجی مدل فازی نخواهد داشت. در هر صورت، مشکل انتخاب نوع تابع عضویت هنوز از لحاظ نظری و ریاضی حل نشده است [۱۵]. با توجه به نکاتی که ذکر شد، در طراحی کنترل‌کننده از تابع عضویت مثلثی استفاده شده است. معادله‌ای که برای یک کنترل‌کننده PID معمولی به دست می‌آید، از این قرار است:

$$u(k) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t) + K_d * \Delta e(t) \quad (3)$$

می‌کنیم. این مقدار آنقدر بزرگ است که بتواند پویایی برج را به طور کامل در بر گیرد. خروجی هر کدام از متغیرها در شکل‌های (۴) تا (۸) آمده است. نمودارهای زیر نشان می‌دهند که کنترل کننده فازی قادر به حفظ خروجی هدف در محدوده دلخواه برای اغتشاشات مختلف ورودی است.

جدول ۳. مقادیر نهایی ضرایب PID برای برج تقطیر.

تناسبی (Kp)	انتگرالی (Ki)	دیفرانسیلی (Kd)	
۰/۴۹	۲/۱۷	۰/۱	کنترل کننده دمای بالای برج
۰/۸	۱۰۰	۵	کنترل کننده دمای پایین برج
۱۷	۶۰	۰	کنترل کننده فشار
۱	۱/۲	۰/۱	کنترل کننده ارتفاع مایع جوش‌آور
۰/۲	۲/۵	۰	کنترل کننده ارتفاع مایع ظرف استوانه‌ای شکل

که K_d و K_i و K_p ضرایب تناسبی و انتگرالی و دیفرانسیلی اند. مزیت استفاده از دیفرانسیل و انتگرال خطا، به ترتیب، کاهش فراجهدش و از بین بردن خطای حالت یکنواخت است.

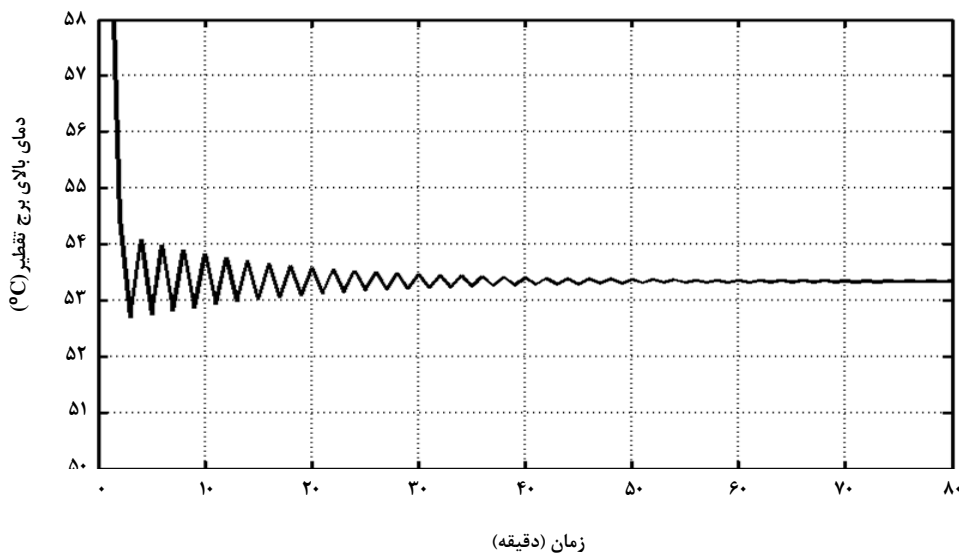
ابتدا کنترل کننده‌های برج تقطیر مانند کنترل کننده‌های PID کلاسیک طراحی می‌شوند، با این تفاوت که ورودی آنها ورودیهای فازی اند. ضرایب کنترل کننده PID با استفاده از روش کوهن و کن به دست می‌آید [۱۶]. سپس می‌توان ضرایب به دست آمده را با روش سعی و خطا تعدیل کرد. مقادیر نهایی به دست آمده برای کنترل کننده‌های برج تقطیر در جدول (۳) درج شده است. در جدول (۴) نقطه تنظیم و متغیر تنظیم شونده را برای متغیرهای کنترل شونده برج تقطیر درج کرده‌ایم.

۵. نتایج کنترل و شبیه‌سازی

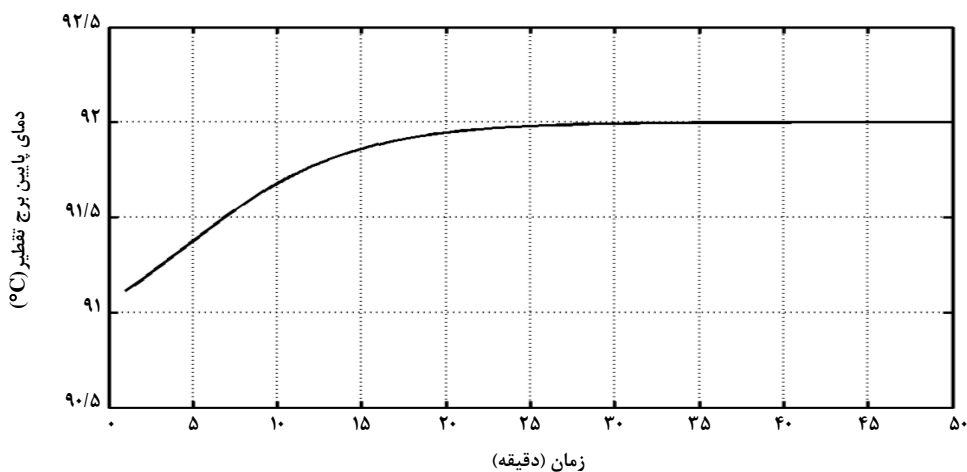
جریان خوراک ورودی که محصول فرایند گذشته است، در این مدل تنها متغیری به شمار می‌آید که هیچ حلقه کنترلی ندارد؛ در نتیجه، به عنوان یک ورودی متغیر در نظر گرفته می‌شود. برای این که خروجیهای برج را به دست آوریم، به ورودی جریان خوراک یک ورودی پله واحد وارد می‌کنیم. ورودی را از مقدار حالت یکنواخت، 6500 bbl/day به 7500 bbl/day تغییر می‌دهیم و نتایج را بررسی

جدول ۴. نقطه تنظیم کننده و متغیر تنظیم شونده برای هر متغیر کنترل شونده.

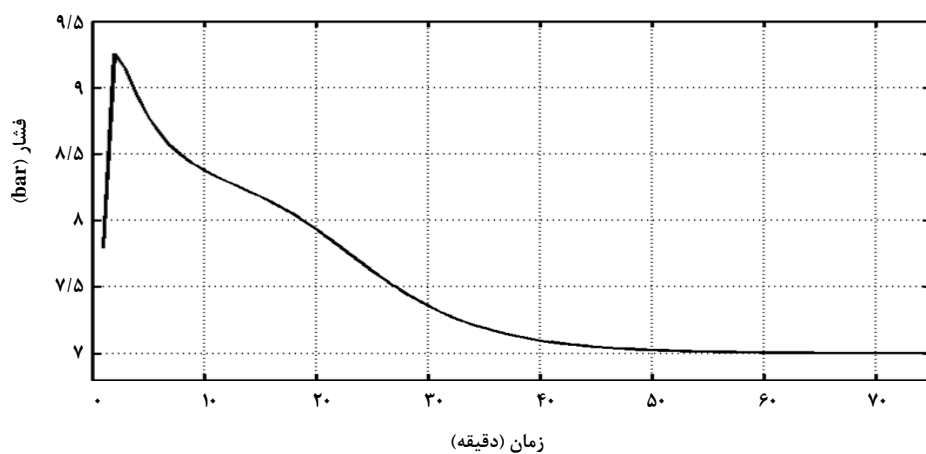
متغیر کنترل شونده	متغیر تنظیم شونده	واحد	نقطه تنظیم
دمای بالای برج	جریان مایع برگشتی به برج	درجه سلسیوس	۵۴
دمای پایین برج	جریان بخار ورودی به جوش‌آور	درجه سلسیوس	۹۲
فشار	جریان آب سرد ورودی به میعان کننده	بار	۷
ارتفاع مایع جوش‌آور	جریان محصول خروجی از پایین برج	٪ سطح کل	۴۵
ارتفاع مایع ظرف استوانه‌ای شکل	جریان محصول خروجی از بالای برج	٪ سطح کل	۵۰



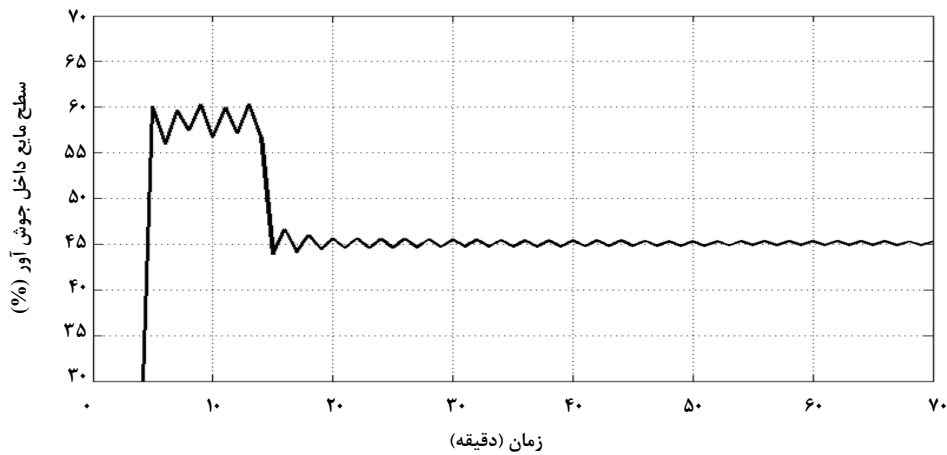
شکل ۴. تغییرات دمای بالای برج (سلسیوس) به ورودی پله‌ای جریان خوراک ورودی.



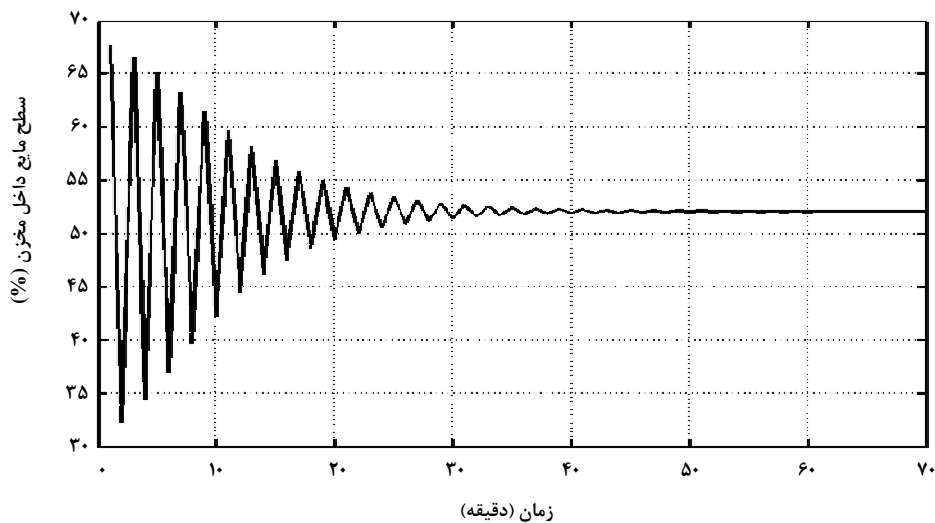
شکل ۵. تغییرات دمای پایین برج (سلسیوس) به ورودی پله‌ای جریان خوراک ورودی.



شکل ۶. تغییرات فشار بالای برج (بار) به ورودی پله‌ای جریان خوراک ورودی.



شکل ۷. تغییرات ارتفاع مایع داخل جوش آور (درصد) به ورودی پله‌ای جریان خوراک ورودی.



شکل ۸. تغییرات ارتفاع مایع داخل مخزن استوانه ای شکل (درصد) به ورودی پله‌ای جریان خوراک ورودی.

را تأیید کرده‌اند، عملکرد کنترل کننده از طریق معیار انتگرال قدر مطلق خطا^۲ (IAE) بر اثر یک ورودی تک پله تعریف می‌شود.

$$\int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (4)$$

که در آن $e(t)$ خطای کنترل نسبت به ورودی تک پله است. به طور کلی، محدوده انتگرال از صفر تا بینهایت است اما این بازه عملی نیست و در عمل بازه طوری در نظر گرفته می‌شود که خطای دیگر چشم پوشیدنی باشد.

در جدول (۵)، مقدار شاخص عملکرد برای حلقه‌های کنترلی

با وجود این که کنترل کننده PID معمولی به طور موفقیت آمیزی در کنترل فرایندها به مدت طولانی کار کرده است و هنوز هم به خاطر سادگی و قابلیت کاربرد به عنوان رایج ترین الگوریتم کنترلی باقی مانده است، اما در واقع، کنترل فازی به طور فزاینده‌ای طیف گسترده‌ای از حوزه‌های کاربری را پوشش می‌دهد. نتایج تجربی در حقیقت تأیید می‌کنند که یک کنترل کننده فازی شبه PID نسبت به کنترل کننده PID معمولی عملکرد بهتری دارد. [۱۷]. ترکیب این دو نوع الگوریتم کنترلی روش مفید و مؤثری برای سیستم‌های فرایندی پیچیده و غیر خطی به شمار می‌آید.

با توجه به پیشنهاد شینسکی^۱ [۱۸] و بسیاری از مقالات که این امر

2. Integral Absolute Error

1. Shinsky

جدول ۵. شاخص عملکرد (IAE) کنترل‌کننده فازی شبه PID در مقایسه با کنترل‌کننده PID معمولی.

ارتفاع مایع ظرف استوانه ای شکل	ارتفاع مایع جوش آور	فشار	دمای پایین برج	دمای بالای برج	
۱۳۰/۵۲	۱۵۵/۷۹	۳۶/۶۱	۷/۰۳	۲۲/۵۸	کنترل‌کننده فازی شبه PID
۱۷۶/۸۵	۲۰۵/۹۵	۴۳/۷۱	۸/۶۸	۲۸/۷۵	کنترل‌کننده PID معمولی
۳۵	۳۲	۱۹	۲۳	۲۷	درصد بهبود شاخص

در پایان، باید گفت که روشهای محاسبات نرم در صورت بهره‌گیری صرف از ابزارهای مطرح شده زمانی قابل استفاده‌اند که داده‌هایی برای مدلسازی وجود داشته باشد، یعنی یا سیستم مورد نظر از قبل به‌منظور نمونه برداری وجود داشته، و یا نمونه آزمایشگاهی آن ساخته شده باشد.

برای کارهای آینده می‌توان به‌منظور بهبود عملکرد مدل و کنترل‌کننده‌ها، پارامترهای آنها را از طریق ابزار الگوریتمهای ژنتیک یا دیگر روشهای هوش مصنوعی بهینه کرد.

مراجع

- [1] Dutta, P., Rhinehart, R. R., "Application of neural network control to distillation and an experimental comparison with other advanced controllers". ISA Transactions; Vol. 38, Issue 3, pp 251-278, (1999).
- [2] Chetouan, Y., "Using artificial neural networks for the modeling of a distillation column". International Journal of Computer Science & Applications; Vol. 4 Issue 3, pp. 119-133, (2007).
- [3] Billing, S. A., Wei, H. L., "The wavelet-NARMAX representation: a hybrid model structure combining polynomial models with multiresolution wavelet decompositions". International Journal of System Science; Vol. 36, Issue 3, pp. 137-152. (2005).
- [4] Himmelblau, D. M., MacMurray, J. C., "Modeling and control of a packed distillation column using artificial neural network", Computers and Chemical Engineering; Vol. 19, Issue 10, pp. 1077-1088, (October 1995)
- [5] Chengying, X., Shin, Y. C., "Interaction analysis for MIMO nonlinear systems based on a fuzzy basis function network model". Fuzzy Sets and Systems; Vol 158, Issue 18, pp 2013-2025, (2007).
- [6] Fabro, J. A., Arruda, L. V. R., Neves, F., "Startup of a distillation column using intelligent control techniques". Computers and Chemical Engineering; . Vol. 30, Issue 2, pp 309-320, (2005).

مختلف سیستم مورد مطالعه و برای دو نوع کنترل‌کننده فازی شبه PID و کنترل‌کننده PID معمولی با ضرایب مشابه کنترل‌کننده فازی محاسبه شده است. به‌طور کلی، بر اساس درصد بهبود شاخص می‌توان نتیجه گرفت کنترل‌کننده فازی شبه PID نسبت به کنترل‌کننده PID معمولی عملکرد بهتری دارد.

۶. نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله، یک برج تقطیر واقعی، در یکی از پالایشگاههای ایران از طریق محاسبات نرم مدلسازی و کنترل شده است. با توجه به این‌که در اکثر مدل‌سازیهای ریاضی معمولاً فرضهای ساده‌کننده‌ای در نظر گرفته می‌شود، روشهای محاسبات نرم این توانایی را دارد که بر اساس داده‌های برگرفته از سیستم در حال کار و بدون در نظر گرفتن هرگونه فرضی، مدلی ایجاد کند که به سیستم واقعی بسیار نزدیک کار خواهد کرد. با بهره‌گیری از شبکه عصبی برگشتی، مدل پویای برج تقطیر به‌دست آمده است. معیاری که برای اندازه‌گیری دقت مدل و انتخاب شبکه بهینه به‌کار گرفته شده است، خطای ریشه میانگین مربعی (RMSE) است. سپس کنترل‌کننده‌های مورد نیاز سیستم طراحی می‌شوند. برای هر حلقه یک کنترل‌کننده فازی شبه PID در نظر گرفته شده است. در ابتدا با استفاده از روش کوهن-کن ضرایب کنترل‌کننده‌ها به‌دست می‌آید، سپس با بهره‌گیری از روش سعی و خطا مقادیر آنها تعدیل می‌شود تا خروجی دقیقتر و نرمتری داشته باشیم. با توجه به این‌که به عنوان اغتشاش جریان خوراک ورودی را حدود ۱۵٪ تغییر می‌دهیم، نتایج مطلوب و راضی‌کننده‌ای به‌دست می‌آید. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که محاسبات نرم، علاوه بر سادگی، روش دقیق و قابل قبولی برای مدلسازی و کنترل سیستمهای بویژه غیرخطی است.

- [7] Hay, G., Svrcek, W., Ross, T., Young, B., "Control loop noise rejection using fuzzy logic". ISA Transactions; Vol. 44, Issue 4, pp 457-64, (2005).
- [8] Yusof, R., Khalid, M., Ibrahim, M. F., "Fuzzy modelling for distillation column". IASTED International Conference on Software Engineering; (2005).
- [9] Miccio, M., Cosenza, B., "Control of a distillation column by type-2 and type-1 fuzzy logic PID controllers". Journal of Process Control; Vol. 24, Issue 5, P. 475-484, (2014)
- [10] Barceló-Rico, F., Gozávez-Zafrilla, J. M., Díez, J. L., Santafé-Moros, A., "Modelling and control of a continuous distillation tower through fuzzy techniques". Chemical Engineering Research and Design; Vol. 89, Issue 1, P. 107-115, (2011).
- [11] Dorrah, H. T., El-Garhy, A. M., El-Shimy, M. E., "PSO-BELBIC scheme for two-coupled distillation column process". Journal of Advanced Research; Vol. 2, Issue 1, P. 73-83, (2011).
- [12] Xu, C., Shin, Y. C., "A self-tuning fuzzy controller for a class of multi-input multi-output nonlinear systems". Engineering Applications of Artificial Intelligence; Vol. 24, Issue 2, P. 238-250, (2011).
- [13] Kroll, A., Schulte, H., "Benchmark problems for nonlinear system identification and control using Soft Computing methods: Need and overview". Applied Soft Computing; Vol. 25, P. 496-513, (2014).
- [14] Sahraie, H., Salehi, G. R., Ghaffari, A., Amidpour, M., "Distillation Column Identification Using Artificial Neural Network". Gas Processing Journal; Vol. 1, Issue 2, P. 31-40, (2013).
- [15] Reznik, L., "Fuzzy controllers". Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, (1997).
- [16] Stephanopoulos, G., "Chemical process control: an introduction to theory and practice". Prentice-Hall; (1984).
- [17] Natsheh, E., Buragga, K. A., "Comparison between conventional and fuzzy logic PID controllers for controlling dc motors". International Journal of Computer Science; Issues 7, P.128-134, (2010).
- [18] Shinsky, F. G., "How good are our controllers in absolute performance and robustness?". Measurement and Control; Vol. 23, P. 114-121, (1990).