

طراحی آزمایش فرمولاسیون فوم آتش نشانی

به روش هوش مصنوعی و تاگوجی، مزایا و چالش ها

سعید ایران پور^{۱*}، رامین حسنان^۲

۱- دانشگاه تهران، دانشکده فنی، جهاد دانشگاهی، گروه پژوهشی فرآیندهای شیمیایی

۲- تهران، اداره آموزش و پرورش منطقه ۸

مقدمه

طراحی فرمولاسیون یکی از مهم ترین مراحل در توسعه محصولات مختلف از جمله داروها، مواد غذایی، محصولات آرایشی و بهداشتی، و مواد صنعتی است. در این فرآیند، هدف اصلی دستیابی به ترکیب بهینه ای از مواد اولیه است که بتواند خواص مطلوب محصول نهایی را تضمین کند. یکی از ابزارهای کلیدی برای دستیابی به این هدف، طراحی آزمایش (Design of Experiments DOE) است که نقش بسیار مهمی در بهبود کارایی و کیفیت فرمولاسیون ها ایفا می کند. طراحی آزمایش یک روش سیستماتیک و علمی برای برنامه ریزی، اجرا و تحلیل آزمایش ها است که به محققان کمک می کند تا تأثیر متغیرهای مختلف را بر پاسخ های مورد نظر بررسی کنند. این روش با استفاده از مدل های آماری و ریاضی، امکان شناسایی تعاملات بین عوامل مختلف و تعیین شرایط بهینه را فراهم می سازد. یکی از اولین گام ها در طراحی فرمولاسیون، شناسایی عواملی است که بیشترین تأثیر را بر ویژگی های محصول دارند. به کمک طراحی آزمایش، می توان تأثیر هر عامل را به صورت جداگانه و همچنین تأثیرات متقابل آن ها را ارزیابی کرد. این امر منجر به کاهش هزینه ها و زمان صرف شده برای انجام آزمایش های غیر ضروری می شود. در فرآیند طراحی فرمولاسیون، معمولاً با تعداد زیادی از متغیرها و ترکیبات سروکار داریم. این متغیرها می تواند شامل نوع و مقدار مواد اولیه، شرایط فرآیند تولید، و حتی شرایط ذخیره سازی محصول نهایی باشد. طراحی آزمایش با ارائه یک چارچوب ساختاریافته، امکان مدیریت این پیچیدگی ها را فراهم می کند. هدف نهایی در طراحی فرمولاسیون، دستیابی به یک ترکیب بهینه است که خواص مطلوبی مانند پایداری، کارایی، ایمنی و هزینه مناسب را داشته باشد. در روش های سنتی طراحی فرمولاسیون، معمولاً نیاز به انجام تعداد زیادی آزمایش برای بررسی تمامی ترکیبات ممکن وجود دارد که زمان بر و پرهزینه است. طراحی آزمایش تعداد آزمایش های مورد نیاز را به حداقل می رساند. در این مقاله، ضمن بررسی کاربرد هوش مصنوعی در طراحی آزمایش فرمولاسیون فوم آتش نشانی بدون فلئور، به مزایا، معایب و چالش های مرتبط با این روش در مقایسه با روش تاگوجی با استفاده از نرم افزار مینی تب نیز پرداخته ایم.

بخش تجربی

در این تحقیق با استفاده از فرمولاسیون های پیشنهادی در کتب مرجع و منابع معتبر، تعداد پارامترها و سطوح اولیه جهت بکارگیری در طراحی آزمایش تعیین شد. بر اساس مطالعات انجام شده اجزای تشکیل دهنده فرمولاسیون کف های آتش نشانی غیرفلئوره شامل، مواد فعال سطحی، حلال و مواد افزودنی هستند. برای طراحی آزمایش فوم آتش نشانی لازم است عوامل مؤثر و سطوح آن ها در نظر گرفته شود. بر اساس بررسی های انجام شده و جهت سهولت تحقیق برای طراحی این موضوع ۳ عامل اصلی (سورفکتانت، حلال، افزودنی) و ۳ سطح (انواع مختلف) در نظر گرفته شد. جهت طراحی آزمایش به روش تاگوجی از نرم افزار مینی تب و از هوش مصنوعی GPT(-40) استفاده شد. با توجه به پیشنهاد های ابزار هوش مصنوعی، ضمن بررسی مقایسه ای هر یک از روشها مزایا و چالشهای دو روش بیان شد. جدول (۱) اجزای اصلی تشکیل دهنده فوم آتش نشانی را نشان می دهد.

جدول (۱) - اجزای اصلی فوم آتش نشانی فاقد ترکیبات فلزوره

ردیف	سورفکتانت (A)	حلال (B)	مواد افزودنی (C)
۱	A ₁ سدیم لوریل سولفات	B ₁ آب	C ₁ مواد نانو
۲	A ₂ سدیم لوریل اتر سولفات	B ₂ ایزوپروپانل	C ₂ صمغ گوار
۳	A ₃ کوکو آمیدوپروپیل بتائین	B ₃ اتیلن گلیکول	C ₃ صمغ زانتان

جدول (۲) - طراحی آزمایش به روش تاگوچی با نرم افزار Minitab

ردیف	سورفکتانت	حلال	مواد افزودنی	توضیحات
۱	A ₁	B ₁	C ₁	طراحی آزمایش به روش تاگوچی با نرم افزار Minitab® 21.4.2 انجام شد.
۲	A ₁	B ₂	C ₂	
۳	A ₁	B ₃	C ₃	
۴	A ₂	B ₁	C ₂	
۵	A ₂	B ₂	C ₃	
۶	A ₂	B ₃	C ₁	
۷	A ₃	B ₁	C ₃	
۸	A ₃	B ₂	C ₁	
۹	A ₃	B ₃	C ₂	

جهت استفاده از هوش مصنوعی در طراحی فرمولاسیون لازم است از پرامپت (Prompt) مناسب استفاده شود. جدول (۲) دو مسیر جهت رسیدن به نتیجه مطلوب را نشان میدهد.

جدول (۲) - طراحی آزمایش به روش تاگوچی با هوش مصنوعی (GPT-40)

ردیف	سورفکتانت	حلال	مواد افزودنی	توضیحات
۱	A ₁	B ₁	C ₁	الف) Taguchi Array Factors: 3 L ₉ (3 ³) Runs: 9 ب) پرامپت به صورت جمله کامل مثلا: میخواهم طراحی آزمایش برای فرمولاسیونی با روش تاگوچی انجام دهم با توجه به اینکه سه فاکتور اصلی A، B و C در این فرمولاسیون نقش دارند این عوامل با انواع مختلف و درصد ترکیبهای مختلف میتوانند در فرمولاسیون تاثیر بگذارند. طراحی فرمولاسیون با رسم جدول کامل
۲	A ₁	B ₂	C ₂	
۳	A ₁	B ₃	C ₃	
۴	A ₂	B ₁	C ₂	
۵	A ₂	B ₂	C ₃	
۶	A ₂	B ₃	C ₁	
۷	A ₃	B ₁	C ₃	
۸	A ₃	B ₂	C ₁	
۹	A ₃	B ₃	C ₂	

یافته ها

یافته های این تحقیق نشان می دهد که علی رغم داشتن برخی مزایا، استفاده از هوش مصنوعی در طراحی آزمایش فرمولاسیون ترکیبات شیمیایی، معایب و چالش هایی نیز وجود دارد. یکی از بزرگترین چالش ها در استفاده از هوش مصنوعی، تعریف صحیح و دقیق پارامترها است. هرگونه اشتباه در تعیین ورودی ها (عدم دقت در پرامت نویسی) می تواند منجر به نتایج نادرست شود. همانطور که در جداول (۲) و (۳) مشاهده می شود. علاوه بر این استفاده دقیق و مناسب در انتخاب پرامت می تواند نتایج کاملاً مشابه از طریق نرم افزار و هوش مصنوعی را مشاهده کرد. همچنین مدل های هوش مصنوعی برای عملکرد دقیق نیازمند حجم بالایی از داده های معتبر هستند. کمبود داده یا کیفیت پایین آنها ممکن است منجر به نتایج غیرقابل اعتماد شود.

نتیجه گیری

طراحی آزمایش یک ابزار قدرتمند برای حل مسائل پیچیده در فرآیند طراحی فرمولاسیون است. این روش نه تنها باعث صرفه جویی در زمان و هزینه می شود، بلکه کیفیت محصول نهایی را نیز تضمین می کند. با توجه به رقابت فزاینده در صنایع مختلف، استفاده از رویکردهای علمی مانند طراحی آزمایش می تواند یک مزیت رقابتی مهم برای شرکت ها ایجاد کند. بنابراین، سرمایه گذاری در آموزش و پیاده سازی این روش ها می تواند تأثیر قابل توجهی بر موفقیت پروژه های تحقیقاتی و توسعه ای داشته باشد. استفاده از هوش مصنوعی و روش تاگوچی در طراحی آزمایش فرمولاسیون فوم آتش نشانی یک رویکرد نوین و مؤثر است که می تواند منجر به دستیابی به نتایج بهتر شود. با این حال، موفقیت در این مسیر نیازمند توجه به چالش ها و محدودیت هایی مانند پرامت نویسی دقیق، نیاز به داده های معتبر و شناخت نقاط ضعف ابزارهایی مانند مینی تب است. با رفع این چالش ها و بهره گیری صحیح از فناوری های موجود، می توان گامی مؤثر در جهت طراحی آزمایش جهت فرمولاسیون مواد از جمله فوم های آتش نشانی برداشت. به طور خلاصه، روشهای سنتی برای مسائل ساده و کاهش هزینه مناسب هستند، در حالی که روشهای نوین برای مدلسازی پیچیده تر و افزایش دقت توصیه میشوند. ترکیب این دو رویکرد (مثلاً استفاده از طراحی آزمایش سنتی برای جمع آوری داده و سپس کاربرد هوش مصنوعی برای مدلسازی و بهینه سازی) بهره وری و دقت را افزایش میدهد.

واژه های کلیدی: هوش مصنوعی، طراحی آزمایش، تاگوچی، فرمولاسیون، فوم آتش نشانی، نرم افزار مینی تب.

منابع

[1] Baum. Z. J, Yu. X, Artificial Intelligence in Chemistry: Current Trends and Future Directions, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 61, 7(2021).

[۲] ایرانپور، سعید؛ ایرانپور، فرحناز؛ مقدمه ای بر مواد فعال سطحی (سورفکتانت ها)، انتشارات میعاد اندیشه، (۱۳۹۸).

[۳] استاندارد شماره ۱-۳۷۷۸، مواد خاموش کننده آتش -کنسانتره های کف -قسمت ۱- کنسانتره های کف با قابلیت انبساط کم- برای کاربرد در مایعات غیر قابل حل در آب -ویژگیها، سازمان ملی استاندارد ایران، انتشارات میعاد اندیشه، (۱۳۹۲).