



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مکانیک

## استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) در حل معادلات حاکم بر ذرات در میدان جریان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک گرایش تبدیل انرژی

حمید بنی‌طالبی دهکردی

استاد راهنما  
دکتر محسن دوازده امامی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه  
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

## فهرست

|   |              |
|---|--------------|
| آ | فهرست مطالب  |
| ج | فهرست شکل ها |
| د | فهرست جداول  |
| ۱ | چکیده        |

## فصل اول کلیات

|    |   |
|----|---|
| ۲  | مقدمه   |
| ۳  | ۱-۱ روش های رهگیری ذرات   |
| ۳  | ۱-۱-۱ روش اویلری - لاگرانژی   |
| ۳  | ۱-۱-۲ روش اویلری - اویلری   |
| ۴  | ۲-۱ انتخاب مدل رهگیری ذرات  |
| ۴  | ۱-۲-۱ اثر میزان بارگیری ذرات $\beta$  |
| ۵  | ۲-۲-۱ عدد استوکس  |
| ۵  | ۳-۱ کاربرد هوش مصنوعی در حل جریان های احتراقی تک فاز و دوفازی                     |
| ۶  | ۱-۳-۱ هوش مصنوعی، از پیدایش تاکنون  |
| ۸  | ۲-۳-۱ دلایل انتخاب شبکه های عصبی مصنوعی   |
| ۱۰ | ۳-۳-۱ شبکه عصبی مصنوعی  |
| ۱۲ | ۴-۱ کارهای انجام شده در زمینه کاربرد شبکه های عصبی در احتراق                      |
| ۱۲ | ۱-۴-۱ طراحی حسگر آرایه ای به منظور تخمین گازهای سبک با ترکیبات آلی و گازهای سمی   |
| ۱۳ | ۲-۴-۱ بهینه سازی کارایی سیستم های حرارتی منازل                                    |
| ۱۴ | ۳-۴-۱ کنترل ناپایداری   |
| ۱۵ | ۴-۴-۱ بررسی تشکیل دوده در شعله های پیش مخلوط                                      |
| ۱۸ | ۵-۴-۱ کارهای انجام شده در نیروگاه های حرارتی                                      |
| ۲۰ | ۶-۴-۱ کارهای انجام شده در زمینه احتراق بویلر                                      |
| ۲۴ | ۷-۴-۱ کارهای انجام شده در موتورهای درونسوز  |
| ۲۷ | ۸-۴-۱ مدل سازی دی اکسید کربن در یک فرآیند احتراقی                                 |
| ۲۸ | ۵-۱ کارهای انجام شده در زمینه کاربرد شبکه های عصبی در حل معادلات دیفرانسیل معمولی |
| ۳۱ | ۶-۱ کارهای انجام شده در پایان نامه حاضر   |
| ۳۱ | ۷-۱ محتوای فصل های بعد  |

## فصل دوم معادلات حاکم بر جریان های احتراقی دوفازی

|    |                              |
|----|------------------------------|
| ۳۲ | مقدمه                        |
| ۳۲ | ۱-۲ معادلات حاکم بر فاز گازی |
| ۳۲ | ۱-۱-۲ معادله بقای جرم        |

|    |  |
|----|--|
| ۳۳ | ۲-۱-۲ معادله بقای نمونه‌های جرمی               |
| ۳۳ | ۳-۱-۲ معادله بقای مومتم                        |
| ۳۴ | ۴-۱-۲ معادله بقای انرژی                        |
| ۳۴ | ۲-۲ روش‌های مختلف حل جریان‌های مغشوش           |
| ۳۵ | ۱-۲-۲ مدل‌سازی اثر اغتشاش بر جریان             |
| ۳۶ | ۳-۲ مدل احتراقی                                |
| ۳۷ | ۴-۲ شرایط مرزی                                 |
| ۳۷ | ۱-۴-۲ شرایط مرزی در ورودی                      |
| ۳۷ | ۲-۴-۲ شرط مرزی در خروجی                        |
| ۳۷ | ۳-۴-۲ دیواره جامد                              |
| ۳۹ | ۴-۴-۲ مرز تقارن                                |
| ۳۹ | ۵-۲ معادلات حاکم بر فاز ذره                    |
| ۳۹ | ۱-۵-۲ معادله بقای جرم ذره                      |
| ۳۹ | ۲-۵-۲ معادله بقای مومتم                        |
| ۴۳ | ۳-۵-۲ معادله بقای انرژی                        |
| ۴۳ | ۶-۲ واکنش ذره و دیواره                         |
| ۴۴ | ۱-۶-۲ انعکاس و چسبیدن ذره                      |
| ۴۴ | ۲-۶-۲ غلتش و لغزش ذره                          |
| ۴۴ | ۷-۲ نحوه حل معادلات دیفرانسیل مربوط به فاز ذره |
| ۴۵ | ۸-۲ شرایط اولیه                                |

## فصل سوم معادلات دیفرانسیل سخت

|    |   |
|----|---|
| ۴۶ | مقدمه   |
| ۴۷ | ۱-۳ معادلات سخت   |
| ۴۷ | ۱-۱-۳ شکل معادلات سخت   |
| ۴۷ | ۲-۳ مفهوم سختی  |
| ۴۸ | ۱-۲-۳ سختی محاسباتی   |
| ۴۹ | ۳-۳ کاربرد در پدیده‌های فیزیکی  |
| ۵۰ | ۴-۳ روش‌های حل معادلات سخت  |
| ۵۱ | ۱-۴-۳ انواع روش عددی  |
| ۵۱ | ۵-۳ بررسی رفتار روش‌های عددی  |
| ۵۲ | ۶-۳ پایداری   |
| ۵۲ | ۷-۳ قابلیت روش‌های حل عددی  |
| ۵۳ | ۸-۳ کارهای انجام شده در زمینه کاربرد روش‌های عددی متنوع در حل معادلات دیفرانسیل سخت |

### فصل چهارم شبکه‌های عصبی مصنوعی

|    |       |   |
|----|-------|---|
| ۵۵ | ..... | مقدمه   |
| ۵۶ | ..... | ۱-۴ تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی                          |
| ۵۸ | ..... | ۲-۴ ساختار نرون‌های محاسباتی در شبکه‌های عصبی             |
| ۶۰ | ..... | ۳-۴ دسته‌بندی لایه‌های شبکه‌های عصبی                      |
| ۶۱ | ..... | ۴-۴ ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی                            |
| ۶۱ | ..... | ۱-۴-۴ قابلیت یادگیری                                      |
| ۶۱ | ..... | ۲-۴-۴ قابلیت تعمیم  |
| ۶۲ | ..... | ۳-۴-۴ مقاوم بودن  |
| ۶۲ | ..... | ۳-۴-۴ امکان پردازش به طور موازی                           |
| ۶۲ | ..... | ۵-۴ آموزش شبکه  |
| ۶۲ | ..... | ۱-۵-۴ هدف از آموزش شبکه                                   |
| ۶۳ | ..... | ۲-۵-۴ آموزش نظارت شده                                     |
| ۶۳ | ..... | ۳-۵-۴ آموزش غیرنظارت شده                                  |
| ۶۴ | ..... | ۶-۴ مقایسه سرعت تکنیک‌های آموزش شبکه                      |
| ۶۵ | ..... | ۷-۴ معرفی روش‌های موثر در آموزش شبکه عصبی                 |
| ۶۵ | ..... | ۸-۴ آموزش شبکه‌های عصبی به کمک روش نزول گرادیانی          |
| ۶۵ | ..... | ۱-۸-۴ روش نزول گرادیانی                                   |
| ۶۶ | ..... | ۹-۴ روش پس انتشار خطا                                     |
| ۶۷ | ..... | ۱-۹-۴ فرمول‌بندی روش پس انتشار خطا                        |
| ۷۰ | ..... | ۲-۹-۴ ملاحظات در مورد الگوریتم پس انتشار خطا              |
| ۷۱ | ..... | ۳-۹-۴ اصلاحاتی در الگوریتم پس انتشار خطا                  |
| ۷۲ | ..... | ۱۰-۴ آموزش گروهی الگوهای آموزشی                           |
| ۷۲ | ..... | ۱۱-۴ آموزش با ضریب یادگیری متغیر                          |
| ۷۳ | ..... | ۱۲-۴ شیوه‌های نوین آموزش شبکه                             |
| ۷۳ | ..... | ۱-۱۲-۴ روش نیوتن  |
| ۷۴ | ..... | ۱۳-۴ آموزش شبکه به روش پس انتشار خطا                      |
| ۷۴ | ..... | ۱-۱۳-۴ فرمول‌بندی روش لونیبرگ-مارکووت                     |
| ۷۶ | ..... | ۱۴-۴ آموزش شبکه به روش گرادیان مزدوج                      |
| ۷۷ | ..... | ۱-۱۴-۴ فرمولاسیون روش گرادیان مزدوج (الگوریتم فلتچر-ریوز) |
| ۷۸ | ..... | ۱۵-۴ بررسی برخی مشکلات آموزشی شبکه‌ها                     |
| ۷۸ | ..... | ۱-۱۵-۴ بروز وضعیت فرا انطباقی یا تحت انطباقی              |

- ۷۸..... ۲-۱۵-۴ طولانی شدن تعداد دوره‌های آموزشی
- ۷۹..... ۳-۱۵-۴ آموزش شبکه با نمونه‌های مطلق

### فصل پنجم نتایج شبیه‌سازی عددی

- ۸۰..... مقدمه
- ۸۱..... ۱-۵ معادلات فاز گاز
- ۸۱..... ۲-۵ معادلات فاز ذره
- ۸۴..... ۳-۵ الگوریتم حل برنامه
- ۸۶..... ۴-۵ نحوه انتخاب اطلاعات آموزشی
- ۹۱..... ۵-۵ جزییات شبکه عصبی طراحی شده
- ۹۳..... ۶-۵ روش محاسبه خطا به منظور به دست آوردن شبکه عصبی بهینه
- ۹۳..... ۷-۵ مراحل انتخاب شبکه عصبی بهینه
- ۹۳..... ۱-۷-۵ مقدار بهینه نرون لایه میانی
- ۹۷..... ۲-۷-۵ مقدار بهینه لایه‌های مخفی
- ۱۰۰..... ۳-۷-۵ نرمال‌سازی اطلاعات ورودی
- ۱۰۱..... ۴-۷-۵ ارزیابی اطلاعات ورودی هنگام آموزش شبکه
- ۱۰۳..... ۸-۵ پاسخ شبکه در برابر اغتشاش
- ۱۰۴..... ۹-۵ نتایج شبیه‌سازی عددی فاز گسسته با استفاده از شبکه عصبی
- ۱۰۴..... ۱-۹-۵ تبخیر اسپری سوخت مایع
- ۱۱۰..... ۲-۹-۵ احتراق اسپری سوخت مایع
- ۱۱۵..... ۳-۹-۵ انتقال، پخش و رسوب ذرات جامد در کانالی با حضور مانع

### فصل ششم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

- ۱۲۱..... ۱-۶ نتیجه‌گیری کلی
- ۱۲۳..... ۲-۶ ارائه پیشنهادهایی برای کارهای آتی

### مراجع

- ۱۲۴..... مراجع

## فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) روش‌های متداول مهندسی سیستم‌های خبره جهت حل مسائل ..... ۹
- شکل (۲-۱) قابلیت استفاده روش‌های مختلف جهت حل مسائل براساس دسترسی اطلاعات و تجربه ..... ۹
- شکل (۳-۱) شکل (a) مدل نرون و شکل (b) شبکه عصبی پس انتشار خطا ..... ۱۳
- شکل (۴-۱) شبکه عصبی پیش‌خورده با یک لایه مخفی ..... ۱۳
- شکل (۵-۱) شبکه عصبی سه لایه ..... ۱۶
- شکل (۶-۱) ساختار شبکه عصبی چند لایه ..... ۱۷
- شکل (۷-۱) شبکه عصبی پرسپتون چند لایه پیش‌خورده ..... ۱۷
- شکل (۸-۱) ساختار یک شبکه عصبی تک لایه پیش‌خورده برای ترکیبات سوخت جت ..... ۱۸
- شکل (۹-۱) یک شبکه پرسوسور منطقی شامل لایه مخفی گره‌های AND و OR منفرد ..... ۱۹
- شکل (۱۰-۱) مدل نرون و ساختار شبکه عصبی پیش‌خورده ..... ۲۰
- شکل (۱۱-۱) طرح کنترلی نرو-فازی برای کنترل احتراق بر پایه مدل رفتاری ..... ۲۱
- شکل (۱۲-۱) شبکه عصبی پیشنهادی بر اساس آنالیز  $O_2$  ..... ۲۱
- شکل (۱۳-۱) نمایی از دیاگرام شبکه عصبی پیش‌بینی خورد سه لایه ..... ۲۲
- شکل (۱۴-۱) شبکه نرو-فازی استفاده شده ..... ۲۲
- شکل (۱۵-۱) نمایی از شبکه عصبی سه لایه جهت تخمین میزان  $NO_x$  ..... ۲۳
- شکل (۱۶-۱) ساختار مدل فازوری جهت پیش‌بینی عمر مفید ..... ۲۴
- شکل (۱۷-۱) ساختار شبکه یک سیستم تشخیصی ..... ۲۴
- شکل (۱۸-۱) ساختار شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه مخفی ..... ۲۶
- شکل (۱۹-۱) شبکه عصبی مصنوعی با ۴ پارامتر ورودی، ۲ لایه مخفی و ۱ متغیر خروجی ..... ۲۶
- شکل (۲۰-۱) ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای موتور گازویلی ..... ۲۷
- شکل (۲۱-۱) نمایی از مدل هیبریدی ..... ۲۸
- شکل (۲۲-۱) ساختار شبکه عصبی پیش‌خورده استاندارد برای تخمین معادلات غیر خطی ..... ۲۸
- شکل (۲۳-۱) دیاگرام بلوکی شبکه عصبی طراحی شده برای حل معادله سیلوستر ..... ۲۹
- شکل (۲۴-۱) ساختار شبکه عصبی پیش‌خورده جهت حل معادلات یک سیستم دینامیکی ..... ۳۰
- شکل (۲۵-۱) ساختار پرسپترون چند لایه طراحی شده ..... ۳۱
- شکل (۱-۳) مقایسه نتایج روش‌های عددی ..... ۵۳
- شکل (۱-۴) دیاگرام بلوکی نرون ..... ۵۹
- شکل (۲-۴) مدل ریاضی نرون ..... ۵۹
- شکل (۳-۴) ساختار نرون با بردار ورودی ..... ۵۹
- شکل (۴-۴) تابع انتقال تانزانت سیگموئید ..... ۶۰
- شکل (۵-۴) تابع انتقال لگاریتم سیگموئید ..... ۶۰
- شکل (۶-۴) ساختار شبکه تک لایه پیش‌ورو با  $k$  نرون ..... ۶۰
- شکل (۷-۴) ساختار یک شبکه سه لایه پیش‌ورو ..... ۶۱

- شکل (۱-۵) الگوریتم بکارگرفته شده در حل فاز گسسته ..... ۸۴
- شکل (۲-۵) اطلاعات آموزشی تکراری در گام زمانی  $10^{-5}$  ..... ۸۷
- شکل (۳-۵) اطلاعات آموزشی مناسب در گام زمانی  $10^{-3}$  ..... ۸۷
- شکل (۴-۵) درصد خطای شبکه آموزش داده شده با اطلاعات تکراری ..... ۸۸
- شکل (۵-۵) گستردگی اطلاعات آموزشی ..... ۸۹
- شکل (۶-۵) توزیع اطلاعات مربوط به جرم ذره ..... ۹۰
- شکل (۷-۵) توزیع اطلاعات مربوط به دمای ذره ..... ۹۰
- شکل (۸-۵) شماتیکی از پرسپترون سه لایه ..... ۹۱
- شکل (۹-۵) تانژانت سیگموئید ..... ۹۱
- شکل (۱۰-۵) نمایی از ورودی و خروجی شبکه عصبی تعداد نورون‌ها ..... ۹۲
- شکل (۱۱-۵) خطای مربع کمینه نرون لایه میانی ..... ۹۴
- شکل (۱۲-۵) خطای مربع کمینه متوسط شبکه با تعداد نرون لایه میانی مختلف ..... ۹۵
- شکل (۱۳-۵) ضریب همبستگی برای  $Y_P$  شبکه با ۲۴ نرون در لایه میانی ..... ۹۶
- شکل (۱۴-۵) ضریب همبستگی برای  $U_P$  شبکه با ۲۴ نرون در لایه میانی ..... ۹۷
- شکل (۱۵-۵) ضریب همبستگی برای  $m_p$  شبکه با ۲۴ نرون در لایه میانی ..... ۹۷
- شکل (۱۶-۵) متوسط خطای مربع کمینه برای شبکه‌های مختلف ..... ۹۸
- شکل (۱۷-۵) خطای مربع کمینه برای پارامترهای خروجی شبکه‌های مختلف ..... ۹۹
- شکل (۱۸-۵) ضریب اطمینان پارامترهای خروجی شبکه بهینه ..... ۱۰۰
- شکل (۱۹-۵) ضریب همبستگی برای شبکه با ورودی‌های نرمال و غیر نرمال ..... ۱۰۰
- شکل (۲۰-۵) خطای مربع کمینه برای شبکه با ورودی‌های نرمال و غیر نرمال ..... ۱۰۱
- شکل (۲۱-۵) مربع خطای کمینه برای دو حالت اطلاعات آموزشی ارزیابی شده و ارزیابی نشده شبکه بهینه ..... ۱۰۲
- شکل (۲۲-۵) ضریب همبستگی برای دو حالت اطلاعات آموزشی ارزیابی شده و ارزیابی نشده شبکه بهینه ..... ۱۰۲
- شکل (۲۳-۵) خطای مربع کمینه برای اغتشاش وارد به شبکه ..... ۱۰۳
- شکل (۲۴-۵) ضریب اطمینان برای اغتشاش وارد به شبکه ..... ۱۰۴
- شکل (۲۵-۵) نمایی از هندسی و ابعاد محفظه مورد بررسی (ابعاد بر حسب میلی‌متر) ..... ۱۰۵
- شکل (۲۶-۵) پروفیل سرعت محوری قطرات ..... ۱۰۶
- شکل (۲۷-۵) پروفیل سرعت شعاعی قطرات ..... ۱۰۶
- شکل (۲۸-۵) توزیع قطر متوسط قطرات ..... ۱۰۷
- شکل (۲۹-۵) شار جرمی قطره در مقاطع مختلف ..... ۱۰۸
- شکل (۳۰-۵) نمایش مسیر حرکت قطرات درون محفظه ..... ۱۰۸
- شکل (۳۱-۵) تغییرات مربع قطر قطرات به مربع قطر اولیه بر حسب زمان، الف) روش حل متعارف، ب) روش شبکه عصبی ..... ۱۰۹
- شکل (۳۲-۵) تغییرات زمانی درصد جرم قطرات تبخیر شده به کل جرم قابل تبخیر، الف) روش حل متعارف، ب) روش شبکه عصبی ..... ۱۰۹
- شکل (۳۳-۵) نمایی از هندسه و ابعاد کوره (بر حسب میلی‌متر) ..... ۱۱۰



- شکل (۳۴-۵) نمایی از پروفیل‌های سرعت محوری سیال..... ۱۱۱
- شکل (۳۵-۵) نمایی از پروفیل‌های سزعت مماسی سیال..... ۱۱۲
- شکل (۳۶-۵) پروفیل‌های دمای سیال در مقاطع مختلف..... ۱۱۳
- شکل (۳۷-۵) نمایش مسیر حرکت ذرات درون محفظه..... ۱۱۴
- شکل (۳۸-۵) تغییرات قطر سه دسته قطره بر حسب زمان به روش شبکه عصبی..... ۱۱۴
- شکل (۳۹-۵) تغییرات درصد جرم قطر قطره تبخیر شده..... ۱۱۵
- شکل (۴۰-۵) نمایی از هندسه مساله..... ۱۱۵
- شکل (۴۱-۵) مقایسه زمان اجرای روش رانگ-کوتا و شبکه عصبی..... ۱۱۶
- شکل (۴۲-۵) خطوط جریان..... ۱۱۶
- شکل (۴۳-۵) میدان سرعت برای ذرات به قطر ۱ نانو..... ۱۱۷
- شکل (۴۴-۵) سرعت محوری سیال در جهت طول کانال..... ۱۱۷
- شکل (۴۵-۵) نمایش کانتور انرژی توربولانس..... ۱۱۷
- شکل (۴۶-۵) خط مسیر ذرات ۱۰۰ نانو..... ۱۱۸
- شکل (۴۷-۵) خط مسیر ذرات ۱ نانو..... ۱۱۸
- شکل (۴۸-۵) مقایسه زمان اجرای برنامه بدون نیروی برآنی..... ۱۱۹
- شکل (۴۹-۵) مسیر حرکت ذرات ۱ نانو..... ۱۱۹
- شکل (۵۰-۵) مقایسه زمان اجرای برنامه بدون نیروی لیفت..... ۱۲۰

## فهرست جداول

- جدول (۱-۱) زمان و حافظه مورد نیاز ..... ۱۰
- جدول (۲-۱) کمیت‌های ثبت شده در هر آزمایش ..... ۱۴
- جدول (۱-۲) مقدار ضریب استوکس-کانینگهام برای چند قطره مختلف و  $\lambda = 0.7 \text{ m}\mu$  ..... ۴۰
- جدول (۱-۴) مقایسه سرعت الگوریتم‌های آموزش شبکه ..... ۶۴
- جدول (۱-۵) ضرایب دیفیوژن و ترم منبع برای معادله انتقال ..... ۸۱
- جدول (۲-۵) اطلاعات مربوط به ماتریس حل دستگاه معادلات سخت ..... ۸۵
- جدول (۳-۵) مقایسه نتایج آموزش شبکه با داده‌های تکراری و شبکه بهینه ..... ۸۸
- جدول (۴-۵) دامنه نرمال‌سازی اطلاعات ..... ۹۲
- جدول (۵-۵) تغییرات ضریب همبستگی با تغییر نرون لایه میانی ..... ۹۶
- جدول (۶-۵) مقایسه زمان‌های شبیه‌سازی تبخیر اسپری از روش شبکه عصبی و رانگ - کوتا ..... ۱۰۴
- جدول (۷-۵) ابعاد محفظه و شرایط جریان ورودی ..... ۱۰۵
- جدول (۸-۵) مقایسه زمانهای شبیه‌سازی احتراق اسپری سوخت مایع سبک از روش شبکه عصبی و رانگ - کوتا ..... ۱۱۰
- جدول (۹-۵) خصوصیات جریان ..... ۱۱۵
- جدول (۱۰-۵) مقایسه زمان اجرای برنامه به دو روش مختلف برای ۱۰۰۰ دسته قطره ..... ۱۱۶
- جدول (۱۱-۵) مقایسه زمان اجرای برنامه به دو روش مختلف برای ۱۰۰ دسته قطره ..... ۱۱۸
- جدول (۱۲-۵) مقایسه زمان اجرای برنامه در حضور نیروی برانی و عدم حضور نیروی برانی ..... ۱۱۸
- جدول (۱۳-۵) مقایسه زمان اجرای برنامه در حضور نیروی لیفت و عدم حضور نیروی لیفت ..... ۱۲۰

## چکیده

در فرآیندهای احتراقی بهینه‌سازی و شبیه‌سازی عددی احتراق سوخت‌های مایع حائز اهمیت می‌باشد. یکی از مشکلات شبیه‌سازی یک فرآیند احتراقی همراه با پیچیدگی‌های موجود در آن، زمان‌بر بودن محاسبات می‌باشد. در نتیجه یکی از راه‌های موثر در بهینه‌سازی این فرآیندها، کاهش زمان محاسبات بدون تغییر در دقت می‌باشد. برای این منظور روش‌های حسگر نرم‌افزاری (Soft Sensing) توسعه یافته‌اند، که از جمله آنها روش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. در تحقیق حاضر، با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی به حل معادلات ذرات در جریان‌های احتراقی که سوخت مصرفی آنها سبک و یا سنگین بوده، پرداخته شد. سپس سعی شده که بر اساس این الگوریتم معادلات ذرات در جریان در ابعاد نانو حل شود. در ابتدا با توسعه یک کد کامپیوتری به زبان مطلب (Matlab) یک شبکه عصبی طراحی شد. سپس اثر افزایش تعداد نوروں و تعداد لایه میانی و همچنین اثر اغتشاش برای این شبکه بررسی شده تا بر اساس آن یک مدل مناسب جهت استفاده در برنامه اصلی بدست آید. در مرحله بعدی، این زیر برنامه به برنامه اصلی اضافه شده و برای چند نمونه سوخت، در دو حالت با زیر برنامه شبکه عصبی و بدون آن، همراه با تدوین اطلاعات ورودی و شرایط مرزی، اقدام به شبیه‌سازی شده است. هدف از این کار بررسی دقت و سرعت روش جدید در حل معادلات ذرات می‌باشد. در مرحله آخر بر اساس همین الگوریتم و با در نظر گرفتن کلیه نیروهای وارد بر ذره یک زیر برنامه جدید برای حل معادلات ذرات در بعد نانو نوشته شده و برای یک نمونه بررسی شده است.

# فصل اول

## کلیات

### مقدمه

بررسی و مطالعه حرکت ذرات در جریان سیال به دلیل کاربرد گسترده آن در فرآیندهایی نظیر آلودگی محیط زیست، احتراق سوخت‌های جامد و مایع، رسوب ذرات بر روی سطح، جریان ذرات گرد و غبار در داخل فیلترها و جداکننده‌های سیلیکونی، تکنولوژی پودر، صنایع داروسازی، چاپگرهای لیزری، غبارگیرهای الکتریکی و ... از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. ذراتی که در هوا شناور هستند انواع مختلف دارند مانند ذرات معلق خاک، ذرات دود حاصل از احتراق در نیروگاه‌های تولید قدرت، ذرات شیمیایی، ذرات نمک و ابرهای جوی تشکیل شده از ذرات یخ یا قطرات آب. این ذرات بر اساس قابلیت‌هایشان نه تنها بر روی هوای اتمسفر و آب و هوا اثر می‌گذارند بلکه نقش مهمی در سلامتی و کیفیت زندگی ما دارند. از همین رو مطالعه رفتار این ذرات در حالت‌های مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است [۱].

به این منظور در دهه‌های اخیر مطالعات وسیعی در زمینه جریان‌های دو فازی صورت گرفته است. در این میان بررسی حرکات ذرات در هنگام احتراق و تبخیر و نیز بررسی رفتار ذرات در جریان‌های دما ثابت از اهمیت بالایی برخوردار است.

اهمیت سوخت‌های مایع را می‌توان در استفاده از مشعل‌ها به عنوان یکی از پرکاربردترین تجهیزات مکانیکی

دانست. این تجهیز مکانیکی در اکثر کارخانه‌های فولادسازی، نیروگاه‌ها، کارگاه‌های ریخته‌گری و سیستم‌های تهویه منازل استفاده می‌شود. در حال حاضر تقریباً اکثر موتورهای احتراق داخلی نیز بوسیله سوخت‌های مایع کار می‌کنند. یکی دیگر از کاربردهای سوخت‌های مایع و به ویژه نفت خام به عنوان یک منبع جهت تولید مواد شیمیایی، رنگرزی می‌باشد. دیگر اجزای نفت خام که سنگین‌تر می‌باشند روغنی شکل بوده و در رده روغن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند که پارافین، کروزین، یا نفتا نامیده می‌شوند و برای توربین‌های جت مناسب می‌باشند.

## ۱-۱ روش‌های رهگیری ذرات

پیشرفت‌های مکانیک سیالات موجب ایجاد دیدگاه‌های مناسب در بررسی جریان‌های چند فاز شده است. در حال حاضر دو روش برای بررسی عددی جریان‌های چند فاز وجود دارد:

- روش اویلری - لاگرانژی
- روش اویلری - اویلری

### ۱-۱-۱ روش اویلری - لاگرانژی

در این روش میدان سیال به عنوان یک محیط پیوسته با حل معادلات نویر - استوکس<sup>۱</sup> متوسط‌گیری شده، از لحاظ زمانی<sup>۲</sup> بررسی می‌شود، در حالی که فاز پراکنده بوسیله رهگیری تعداد زیادی از ذرات ارزیابی می‌شود. فرض اساسی که در گسترش این مدل وجود دارد این است که فاز پراکنده شده کسر جرمی پایینی را اشغال می‌کند، حتی زمانی که کسر جرمی زیادی از فاز ثانویه در فاز اولیه بارگیری شده است. ( $\dot{m}_{particle} > \dot{m}_{fluid}$ ) تحت این شرایط این مدل برای شبیه‌سازی خشک‌کن‌های اسپری<sup>۳</sup> احتراق سوخت مایع و زغال، و بعضی از جریان‌های حاوی ذرات مناسب است، اما از آن برای شرایطی مثل، اختلاط دو مایع، بسترهای شارانیده<sup>۴</sup> و یا هر شرایطی که از کسر حجمی فاز دوم نتوان صرف‌نظر کرد، نمی‌توان استفاده کرد.

### ۱-۱-۲ روش اویلری - اویلری

در این روش فازهای مختلف به صورت ریاضی به عنوان محیط‌های پیوسته قابل نفوذ در هم، بررسی می‌شوند. چون حجم یک فاز با دیگر فازها قابل کوپل شدن نیست، در اینجا مفهوم کسر حجمی فاز<sup>۵</sup> معرفی می‌شود. فرض شده است که این کسرهای حجمی تابع پیوسته‌ای از زمان و مکان بوده و مجموع آنها برابر یک است. معادلات بقا برای هر فاز نوشته می‌شوند تا یکسری معادلات مشابه برای همه فازها بدست آیند. این معادلات بوسیله یکسری روابط اساسی که از اطلاعات تجربی بدست آمده‌اند، یا در حالت جریان‌های گرانول<sup>۶</sup> با اعمال تئوری جنبشی، بسته می‌شوند. سه روش پرکاربرد چند فازی در حالت اویلری عبارتند از:

1 Navier - Stokes

2 Reynolds - Averaged Navier - Stokes (RANS)

3 Spray dryers

4 Fluidized - bed

5 Phase volume fraction

6 Granular

الف) مدل VOF: این مدل یک تکنیک رهگیری سطح است، که به یک شبکه محاسباتی ثابت اوپلری اعمال می-گردد. این مدل برای دو یا چند سیال آمیخته نشدنی، که موقعیت سطح مشترک بین سیالها مورد توجه است، طرح شده است. کاربرد این مدل جریانهای لایه‌ای<sup>۱</sup> سطح آزاد، حرکت حباب‌های بزرگ در یک سیال، حرکت سیال بعد از شکستن سد و ... می‌باشد.

ب) مدل مخلوط: این مدل برای توصیف دو یا چند فاز سیال-ذره طراحی شده است. با توجه به این که در مدل‌های اوپلری فازها به صورت محیط‌های پیوسته قابل نفوذ درهم تحلیل می‌گردند، این مدل برای معادله مومنتوم مخلوط حل می‌گردد و سرعت‌های نسبی را برای توصیف فازهای پراکنده شده بکار می‌برد. کاربرد این مدل برای توصیف جریان‌های حاوی ذرات با بارگیری کم، جریان‌های پرحباب، ایجاد رسوب و برخی از جداکننده‌ها<sup>۲</sup> است.

ج) مدل اوپلری: این مدل پیچیده‌ترین مدل چند فازی است. در این روش  $n$  معادله پیوستگی و مومنتوم برای هر فاز حل شده و کوپلی بین معادلات فشار و ضریب تبادل فاز میانی بدست می‌آید. برای مدل گرانولی، خواص از تئوری جنبشی بدست می‌آید. کاربرد این مدل شامل ستون‌های حاوی حباب، مدل تعلیق ذرات و بسترهای شارانیده است.

## ۱-۲ انتخاب مدل رهگیری ذرات

در یک توضیح کلی می‌توان گفت که برای جریان‌هایی که کسر حجمی جریان ثانویه کمتر یا برابر ۱۰٪ است، مدل اوپلری - گرانولی مناسب‌تر است و برای جریان‌هایی که کسر حجمی فاز ثانویه بیشتر از ۱۰٪ است، بهتر است از روش‌های اوپلری - اوپلری استفاده گردد، اما در حالات خاص می‌توان با استفاده از محدودیت‌ها و روابط ذکر شده در این قسمت، بهترین شیوه مدل کردن را از بین دو روش ذکر شده انتخاب کرد. از پارامترهایی که در این امر به ما کمک می‌کنند، می‌توان به عدد بارگیری ذرات<sup>۳</sup>، در جریان  $\beta$  و عدد استوکس<sup>۴</sup>  $St$  اشاره کرد.

### ۱-۲-۱ اثر میزان بارگیری ذرات $\beta$

$\beta$  میزان تقابل بین فازها را نشان می‌دهد و به صورت نرخ جرمی فاز پراکنده شده  $d$ ، به فاز حامل  $c$ ، تعریف می‌گردد:

$$\beta = \frac{\alpha_d \rho_d}{\alpha_c \rho_c} \quad (1-1)$$

نسبت دانسیته مواد برابر است با:

$$\gamma = \frac{\rho_d}{\rho_c} \quad (2-1)$$

این نسبت برای جریان‌های گاز - جامد (فاز جامد فاز ثانویه) بیشتر از ۱۰۰۰ است، برای جریان‌های مایع - جامد حدود یک و برای جریان‌های گاز - مایع (فاز گاز فاز ثانویه) کمتر از ۰/۰۰۱ می‌باشد. بسته به میزان  $\beta$ ، درجه

<sup>۱</sup> Stratified flow

<sup>۲</sup> Cyclone

<sup>۳</sup> Particulate loading

<sup>۴</sup> Stokes Number

تقابل بین فازها به سه دسته تقسیم می‌گردد:

الف) دربار گذاری‌های پایین، کوپل بین فازها یک راهه است یعنی سیال حامل ذرات را از طریق درگ و توربولانس تحت تاثیر قرار می‌دهد، اما ذرات بر سیال حامل تاثیر ندارند. مدل‌های فاز گسسته، کسر مخلوط و اویلری بدین منظور قابل استفاده‌اند و این نوع مسائل را درست تحلیل می‌کنند. چون در بین این روش‌ها مدل اویلری پرهزینه است، دو روش دیگر توصیه می‌گردد.

ب) برای بارگذاری‌های متوسط، کوپل‌ها دو راهه است، یعنی سیال حامل فاز ذرات را از طریق درگ و توربولانس تحت تاثیر قرار می‌دهد، اما ذرات در گردش نیز از طریق کاهش مومنتم و توربولانس متوسط سیال حامل را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای تشخیص بهترین مدل باید از عدد استوکس استفاده کرد.

ج) برای بارگذاری‌های بالا، یک کوپل چهار راهه، شامل یک کوپل دو راهه بعلاوه فشار ذرات و تنش‌های ویسکوز ناشی از ذرات را باید در نظر گرفت. در چنین حالتی تنها روش اویلری این شرایط را درست تحلیل می‌کند.

### ۱-۲-۲ عدد استوکس

برای سیستم‌های دارای بارگیری متوسط، استفاده از عدد استوکس می‌تواند به تشخیص بهترین مدل کمک کند. عدد استوکس بوسیله رابطه بین زمان پاسخ ذره،  $\tau_d$ ، و زمان پاسخ سیستم،  $t_s$ ، توصیف می‌شود:

$$S_t = \frac{\tau_d}{t_s} \quad (3-1)$$

که:

$$\tau_d = \frac{\rho_d d_d^2}{18\mu_c} \quad (4-1)$$

و  $t_s$  براساس طول مشخصه،  $L_s$ ، و سرعت مشخصه،  $V_s$ ، سیستم تحت مطالعه بدست می‌آید:

$$t_s = \frac{L_s}{V_s} \quad (5-1)$$

برای  $St \leq 1$  ذرات به دقت جریان را پی می‌گیرند و هر کدام از سه مدل قابل استفاده‌اند. برای  $St \geq 1$  ذرات مستقل از سیال حرکت کرده و هر کدام از روش‌های اویلری و یا اویلری - لاگرانژی استفاده می‌شوند.

### ۱-۳ کاربرد هوش مصنوعی<sup>۱</sup> در حل جریان‌های احتراقی تک‌فازی و دوفازی

انسان اشرف موجودات عالم است، تفاوت اصلی او با سایر موجودات، سیستم تصمیم‌گیری و قدرت تفکر و اندیشه می‌باشد. اگر بتوان با استفاده از روشی این توانایی بشر را به سیستم‌های ساخته شده توسط خود او منتقل کرد، شاهد یک عملکرد خوب و منطقی در آن سیستم خواهیم بود و هر چقدر این توانایی‌ها در یک سیستم بیشتر پیاده

شود، عملکرد سیستم بهبود بیشتری می‌یابد. از سالها پیش بشر همواره به دنبال اختراع ماشینی بوده که توانایی فکر کردن داشته باشد. در سال ۱۶۳۷ دکارت<sup>۱</sup> ریاضیدان و فیلسوف فرانسوی ادعا کرد که این کار عملی نمی‌باشد. اما در سال ۱۹۵۰ آلن تورینگ<sup>۲</sup> ریاضیدان و از اولین متخصصین رایانه کشور انگلستان [۲] پیش‌بینی کرد که ماشینی ساخته می‌شود که همانند هوش انسان در هر زمینه‌ای عمل خواهد کرد. تاکنون تلاش‌های بسیاری در زمینه بکارگیری توانایی‌های یک موجود هوشمند در ساخته‌های بشر، صورت گرفته و پیشرفت‌های قابل توجه تئوری و عملی حاصل گردیده است.

هوش مصنوعی به عنوان یک ماشین یا ساخته بشر در انجام کارهایی مشابه اندیشه انسان تعریف می‌شود. بر اساس تعریف بار<sup>۳</sup> و فیگونام<sup>۴</sup> [۳]، هوش مصنوعی بخشی از علم رایانه می‌باشد که با طراحی سیستم‌هایی دارای خصوصیات مشابه طرز رفتار، فهم، آموزش، استنباط، بیان و حل مساله یک موجود هوشمند درگیر است.

### ۱-۳-۱ هوش مصنوعی، از پیدایش تاکنون

سال‌های اولیه پس از پیدایش رسمی هوش مصنوعی، سال‌های موفقیت و دست‌آوردهای غیرقابل تصور بود. توسعه نرم‌افزار حل‌کننده مسائل، منجر به آن شد که برای برخی از مسائل ریاضی راه حل‌های جدیدی توسط ماشین ارائه شود که قبلاً هیچ انسانی به آن پی نبرده بود. این در زمان خود سر و صدای زیادی به راه انداخت و حتی نتایج کار در رسانه‌های عمومی مطرح شد. آرتور ساموئل<sup>۵</sup> [۴] با اختراع الگوریتم بازی چکر دنیای بازی‌های کامپیوتری را متحول ساخت. او توانست با استفاده از یادگیری ماشینی قابلیت به برنامه خود بدهد که پس از چندین بار بازی کردن حتی از خالق خود برود! این رویداد نیز در زمان خود هیاهوی بسیاری به پا کرد. در سال ۱۹۵۸ میلادی مک کارتی<sup>۶</sup> به دانشگاه ماساچوست<sup>۷</sup> رفت و در آنجا زبان برنامه‌نویسی به نام لیسپ<sup>۸</sup> برای هوش مصنوعی را اختراع کرد. این زبان هنوز در دنیا یکی از زبان‌های مشهور در قلمرو هوش مصنوعی است.

پس از او مینسکی<sup>۹</sup> نیز به این دانشگاه نقل مکان کرد و به همراه مک کارتی تا سال‌ها به فعالیت پرداخت. اگر چه بعداً به علت اختلاف نظر تئوری بین آنها جدایی افتاد و در نهایت مک کارتی به دانشگاه استنفورد<sup>۱۰</sup> نقل مکان کرد. این موفقیت‌های پی‌درپی باعث جسارت بیش از حد متفکرین این قلمرو شد. بیابید نگاهی به گفتار هربرت سیمون<sup>۱۱</sup> در سال ۱۹۵۷ میلادی داشته باشیم:

هدف من متعجب کردن و یا شوکه کردن نیست، اما ساده‌ترین راهی که من می‌توانم حرفم را خلاصه کنم گفتن این مطلب است که اکنون در دنیا ماشین‌هایی وجود دارند که می‌توانند فکر کنند، یاد بگیرند و خلق کنند.

پیش‌بینی از آینده درخشان هوش مصنوعی در آن سال‌ها، ناشی از دست‌آوردهای اولیه بود. پیشرفت هوش

1 Deckartes

2 Alan Turing

3 Barr

4 Feigenbaum

5 Samuel Arthor

6 McCarthy

7 Masachuset Institute of Technology (MIT)

8 LISP

9 Minsky

10 Stanford

11 Helbert Simon



مصنوعی و گذشت زمان ثابت کرد که کار به این سادگی نخواهد بود. داستان ترجمه ماشینی نمونه‌ای از یک اشتیاق زود هنگام بود که پس از چند سال به شکست منتهی شد. دولت آمریکا در سال ۱۹۶۶ میلادی تصمیم گرفت سرمایه-گذاری خود در این زمینه را متوقف کند. دولت انگلیس نیز در یک گزارش جنجالی بنام لایت هیل<sup>۱</sup> تصمیم به اتمام تحقیقات در زمینه هوش مصنوعی در آن کشور را گرفت. زمستان هوش مصنوعی فرا رسیده بود این دوران زمستانی تنها ناشی از خوش‌باوری اولیه و توقعات غیرقابل قبول افراد از این دانش تازه شکفته بود.

اواخر دهه ۶۰ میلادی دوران رشد مجدد هوش مصنوعی در شاخه سیستم‌های خبره بود. برنامه دندرال<sup>۲</sup> اولین نمونه از این گروه از نرم‌افزارهای کاربردی بود که در دانشگاه استنفورد در زمینه شیمی مولکولی شکل گرفت. پس از آن نرم‌افزار مای کین<sup>۳</sup> در زمینه تشخیص بیماری‌های عفونی طراحی شد که با تعریف ۴۵۰ قانون در آن توانست جایگاه قابل قبولی برای خود پیدا کند. متعاقب آن سیستم‌های متعددی در این عرصه ارائه شد که توانست در بازار تجاری نیز جا پیدا کند.

اولین سیستم خبره تجاری توسط شرکت دک<sup>۴</sup> ساخته شد که قادر به پیشنهاد قطعات مناسب برای ساخت سخت‌افزار کامپیوتر بود. این نرم‌افزار توانست سودی معادل ۴۰ میلیون دلار در سال ۱۹۸۶ برای شرکت مذکور به همراه داشته باشد.

این تحول مهمی در تاریخ هوش مصنوعی بود، چون هوش مصنوعی را از آزمایش‌های تحقیقاتی به بازار تجاری رساند. تا قبل از این دوران هوش مصنوعی بیشتر در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گرفت و کسی به آن به عنوان دانش کاربردی نگاه نمی‌کرد. با پیدایش سیستم‌های خبره این علم رویکرد کاربردی نیز پیدا کرد. پیدایش کامپیوترهای قدرتمند نسل پنجم که در آن از زبان پرولوگ<sup>۵</sup> (یکی از زبان‌های رایج در هوش مصنوعی) استفاده شده بود، تحول مهمی بود که به کاربردی شدن هوش مصنوعی تسریع بخشید.

به موازات استفاده تجاری از سیستم‌های خبره بکارگیری هوش مصنوعی در بینایی ماشین نیز رواج یافت. ساخت روبات‌هایی که قابلیت بینایی داشتند در صنایع کاربردی گسترده پیدا کردند و به سرعت جایگاه خود را یافتند. شرکت‌هایی بزرگی همانند زیراکس، تگزاس اینسترومنت<sup>۶</sup> و غیره سرمایه‌گذاری گسترده‌ای در این راستا انجام دادند. با بازگشت مجدد شبکه عصبی مصنوعی در اوایل دهه ۸۰ میلادی، طیف گسترده‌ای از کاربردها مطرح شد که به دنبال بکارگیری از هوش مصنوعی بودند. در مقطع تاریخی دهه ۸۰ میلادی به یکباره رشد غیرقابل تصویری در مورد توجه به هوش مصنوعی اتفاق افتاد. برای مثال شرکت کنندگان در کنفرانس ملی هوش مصنوعی در آمریکا، به بیش از ۵۰۰۰ نفر رسید که این مقدار چند برابر نسبت به سال‌های قبل افزایش داشت.

باز هم همانند دهه ۶۰ میلادی انتظارات از هوش مصنوعی مدرن بالا گرفت و چون این انتظارات غیرمنطقی بود دوران دلسردی آغاز شد. این دوران که به زمستان مجدد هوش مصنوعی مشهور است، از اواخر دهه ۸۰ میلادی آغاز شد و در اوایل دهه ۹۰ به اوج خود رسید. از اواسط دهه ۹۰ زمستان هوش مصنوعی رو به پایان گذاشت و

1 Light Hill

2 DENDRAL

3 MYCIN

4 DEC

5 Prologue

6 Texas Instrument

مجدداً این دانش رو به شکوفایی گذاشت. امروزه بیشترین توجه به هوش مصنوعی در عرصه‌هایی است که جنبه کاربردی داشته و نمی‌توان منکر شد که صنعت جوامع پیشرفته بدون توجه به هوش مصنوعی هرگز قادر به پیشرفت-های کنونی نمی‌شد [۴].

امروزه روش‌های هوش مصنوعی به عنوان روش‌هایی دارای دید جدید جهت حل مسائل پیچیده تعریف می‌شود. این روش‌ها می‌توانند داده‌های موجود در نمونه‌های عددی، تجربیات افراد متخصص و جملات کیفی زبان محاوره‌ای را به زبان ریاضی ترجمه کنند و به پیش‌بینی و عمومیت بخشی با سرعت بالا پردازند. این روش‌ها به طور خاص در مدل‌سازی و شناسایی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده مفید هستند.

هوش مصنوعی شاخه‌های بسیار گسترده‌ای از جمله سیستم‌های خیره، شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی<sup>۱</sup>، الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup>، الگوریتم‌های مورچه‌های مهاجر<sup>۳</sup> و سیستم‌های ترکیبی<sup>۴</sup> که شامل دو یا چند روش هوشمند هوشمند می‌باشند، را شامل می‌شود.

### ۱-۳-۲ دلایل انتخاب شبکه‌های عصبی مصنوعی

در مقایسه روش‌های هوش مصنوعی، شبکه عصبی یک حل عمومی، فشرده و سریع برای مدل‌سازی سیستم‌های دینامیکی پیچیده می‌باشد. این شبکه به نتایج خوبی در زمینه‌هایی که برنامه‌نویسی کلاسیک در آن به شکست انجامیده، ارائه می‌دهد. ویژگی اصلی شبکه‌های عصبی مصنوعی در قابلیت مدل‌سازی پیچیده و مسائل غیرخطی و همچنین ایجاد الگو برای ورودی و خروجی می‌باشد.

سیستم‌های هوشمند مختلفی برای دستیابی به حل برای مسائل وجود دارد، آنچه مهم است مسیرها و سیستم‌هایی است که بتواند مسائل را به خوبی حل کند و بتواند قلمروی تعریف را با فضای حل با یک نگاهت مناسب مرتبط سازد. در شکل (۱-۱) روش‌های متداول مهندسی سیستم‌های خبره آورده شده است. همانطور که دیده می‌شود خط مسیرهای مختلفی برای حل مسائل نشان داده شده است که هر کدام از این روش‌ها این مسیر را با ارتباط برقرار کردن با دیگر سیستم‌های هوشمند طی می‌کنند. بر اساس شکل شبکه‌های عصبی این توانایی را دارند که با تمام سیستم‌ها جهت پوشش تمام ناحیه حل مساله، ارتباط برقرار کرده و این یکی از ویژگی‌های مثبت این سیستم‌ها می‌باشد.

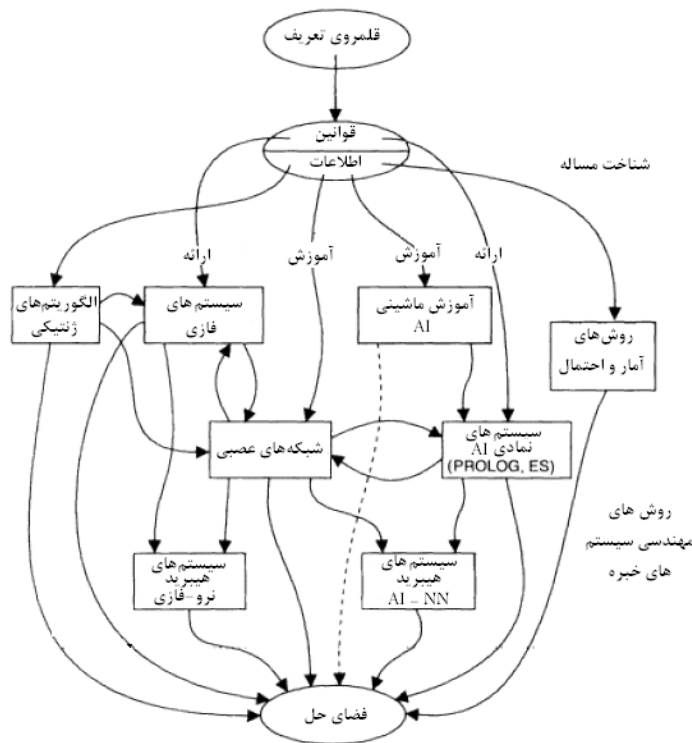
---

1 Fuzzy Logic

2 Genetic Algorithm

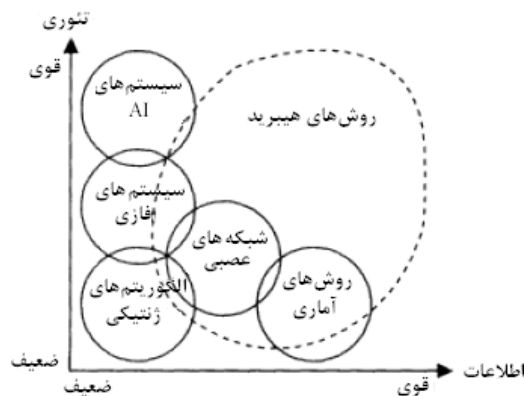
3 Ant Colony Algorithm

4 Hybrid Systems



شکل (۱-۱) روش‌های متداول مهندسی سیستم‌های خیره جهت حل مسائل [۵]

در نمودار شکل (۱-۲) نیز می‌توان سیستم بیان شده در بالا را از لحاظ تئوری استفاده از اطلاعات، مورد ارزیابی قرار داد. همان‌طور که دیده می‌شود در نگاه اول روش‌های هیبرید که ترکیبی از روش‌های مختلف هستند از کارایی بالاتری نسبت به بقیه روش‌ها برخوردارند. حال اگر ترکیب روش‌ها (روش‌های هیبرید) در نظر گرفته نشود، روش شبکه‌های عصبی، روش نسبتاً خوبی می‌باشد.



شکل (۱-۲) قابلیت استفاده روش‌های مختلف جهت حل مسائل براساس دسترسی اطلاعات و تجربه [۵]

امروزه افزایش قدرت و دسترسی سریع به کامپیوتر باعث افزایش استفاده از این روش در زمینه مدل‌سازی احتراق توربولان شده است. به عنوان مثال نشان دادن یک تصویر کافی از واکنش‌های شیمیایی یکی از مسائل ناتمام در مبحث احتراق می‌باشد. یک مکانیزم سینتیک مناسب برای شرح واکنش‌های شیمیایی یک سوخت ساده مثل هیدروژن ممکن است شامل دهها واکنش و بیش از ده گونه باشد. برای واکنش متان - هوا با ۳۲ گونه و ۱۷۷ واکنش اولیه داریم [۶]. اگر چه مکانیزم جزئیات ممکن است شناخته شده باشند و به طور دقیق از طریق سیستم معادلات

دیفرانسیل معمولی<sup>۱</sup> شرح داده شده باشند، اما حل جریان احتراقی توربولان عملاً با مشکلات زیادی مواجه می‌باشد. زیرا سیستم معادلات دیفرانسیل معمولی نیازمند زمان بسیار زیادی برای حل می‌باشد. در جدول زیر زمان و حافظه<sup>۲</sup> مورد نیاز (کیلوبایت) دو روش مختلف با هم مقایسه شده است [۷].

جدول (۱-۱) زمان و حافظه مورد نیاز [۷]

| روش حل                     | حافظه (کیلوبایت) | زمان (ثانیه) |
|----------------------------|------------------|--------------|
| Direct Integration         | ۲۴۶              | ۰/۲          |
| Artificial neural network. | ۲۴               | ٪۰۸۳         |

این جدول در گزارشی برای مدل‌سازی احتراق متان\_ هوا توسط بلاسکو<sup>۳</sup> و دیگر محققین در سال ۱۹۹۹ با استفاده از شبکه عصبی تهیه شده است [۷].

### ۱-۳-۳ شبکه عصبی مصنوعی<sup>۴</sup>

شبکه عصبی موجودات هوشمند دارای ساختار پیچیده و مفصلی است که شاید در ابعاد موجود تا سال‌ها قابل پیاده‌سازی سخت‌افزاری نباشد. به طور مثال تخمین زده شده است که در سیستم عصبی مغز انسان بالغ بر ۱۰۰ میلیون (۱۰<sup>۱۱</sup>) نرون<sup>۵</sup> و ۱۰<sup>۱۴</sup> سیناپس<sup>۶</sup> وجود دارد، ولیکن دریافت الهام از نحوه پردازش اطلاعات، انتقال داده‌ها، تصمیم‌گیری و حافظه در مورد آنها یکی از مهمترین دلایل شوق علاقمندان به مطالعه هر چه بیشتر در باب این بخش زیبا و پیچیده از طبیعت می‌گردد. ظهور کامپیوترهای هوشمند به مثابه پدیده‌ای که سعی در تحقیق سخت‌افزاری مغز بشر دارد، مؤید همین نکته است.

همانطور که از نام شبکه‌های عصبی مشخص است. شبکه‌های عصبی مصنوعی الهام گرفته شده از ساختار بیولوژیکی مغز انسان می‌باشند. مغز انسان اطلاعات را در دو سطح پردازش می‌کند [۸]: یکی از آنها پردازش استدلالی منطقی بر حسب نشانه‌ها بوده و ترتیبی می‌باشد. دیگری پردازش موازی است که توسط نرون‌های به هم متصل در قشر خاکستری مخ انجام می‌شود.

کامپیوترهای امروزی توانایی انجام پردازش نوع اول را دارند ولی نوع دوم نیاز به تکنولوژی پیشرفته‌تری در پردازش موازی اطلاعات دارد که البته مطمئناً در آینده‌ای نه چندان دور نظیر کامپیوترهای ترتیبی در دسترس همگان خواهد بود. از دهه ۱۹۸۰ موج جدیدی از تحقیقات برای این بخش از عملکرد مغز آغاز شده است. در طی این سال‌ها محققین مدل‌های مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی با اهداف و توانایی‌های متفاوت را معرفی کرده‌اند.

چند دلیل عمده پیگیری تحقیقات در زمینه شبکه‌های عصبی موارد زیر می‌باشند [۹]:

- عدم توفیق نسبی هوش مصنوعی، بکارگیری ساختاری مشابه مغز را قوت بخشید.
- پیشرفت تکنولوژی میکروالکترونیک، امکان شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی را در زمان قابل قبول فراهم آورد.

1 Ordinary Differential Equation (ode)

2 Ram

3 Blasco

4 Artificial Neural Network (ANN)

5 Neuron

6 Synaps