

## مدلسازی تلفات جرم زغال سنگ با استفاده از انفیس

مهدی بیدآبادی<sup>۱</sup>، سعیده محمدی<sup>۲</sup>، اباذر وحدت آزاد<sup>۳</sup>، جلیل فریدونی<sup>۴</sup>

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

(\*سعید محمدی: saeedmohammadi144@yahoo.com)

### چکیده

با توجه به افزایش روزافزون کاربرد صنعتی مصرف زغال سنگ و اهمیت پیدا کردن توسعه فن آوری انرژی پاک زغال سنگ، مدلسازی مشخصه‌های احتراقی آن بسیار مهم است. در این مقاله مدلسازی تلفات جرم<sup>۵</sup> (یکی از مشخصه‌های مهم احتراق زغال سنگ) ذرات زغال سنگ معادن مختلف با و بدون در نظرگیری نقش فرسایش<sup>۶</sup> در فن آوری بستر سیال<sup>۷</sup> با استفاده از انفیس انجام شده است. داده‌های تجربی زغال سنگ‌های معادن موجود براساس پارامترهای کیفیت زغال سنگ یعنی مواد فرار، خاکستر، رطوبت و زغال سنگ ثابت تعریف شده اند که این کار قابلیت تعمیم مدلسازی را برای کلیه زغال سنگ‌ها فراهم می کند و مدلسازی تلفات جرم براساس این پارامترها، زمان و نرخ جریان مواد جامد در کوره انجام می شود که نرخ جریان مواد جامد برای توصیف نقش فرسایش در احتراق بستر سیال می باشد. داده‌های تجربی مورد استفاده در این مقاله برای قطر ذرات ۱۰ میلی متر و دمای کوره ۸۵۰ درجه می باشند. این داده‌های تجربی برای آموزش و واریسی انفیس استفاده می شوند. نتایج بدست آمده از این مدلسازی برای ورودی‌های درصد رطوبت، کربن ثابت، زمان و نرخ جریان مواد جامد کمترین خطای ۰/۰۷۹۶ را بدست می دهد. تلفات جرم به صورت درصدی در نظر گرفته شده است که برای زغال سنگ‌های مختلف قابل بیان باشد. مدل حاصل می تواند برای پیش بینی تلفات جرم و زمان رسیدن به مصرف کامل زغال سنگ‌های مختلف استفاده گردد و هزینه‌های آزمایشات تجربی را بکاهد.

واژه‌های کلیدی: احتراق - زغال سنگ - تلفات جرم - بستر سیال - فرسایش سطحی - انفیس - بویلر با سوخت زغال سنگ<sup>۸</sup>

### ۱- مقدمه

آنالیز منابع شناخته شده سوخت‌های فسیلی در سراسر جهان و همه پیش بینی‌های مربوط به تولید انرژی منجر به این نتیجه می شود که زغال سنگ، علیرغم مشکلاتش با احتراق و استخراج، احتمالاً منبع اصلی انرژی در دهه بعدی باشد [۱ و ۲]. بنابراین مطالعه زغال سنگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

<sup>۱</sup> دانشیار، دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی مقطع دکتری، دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران

<sup>۴</sup> دانشجوی مقطع دکتری، دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران

<sup>۵</sup> Mass loss

<sup>۶</sup> erosion

<sup>۷</sup> Fluidized bed

<sup>۸</sup> CFB

از تعاریف زغال سنگ داریم که زغال سنگ یک جامد شکننده و یک سنگ سیاه رسوبی کربن دار است که می سوزد [۳]. زغال سنگ از مخلوط پیچیده ای از ترکیبات ارگانیک و غیر ارگانیک تشکیل شده است. ترکیبات ارگانیک موجود در زغال سنگ از عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، گوگرد و مقدار بسیار کمی از انواع عناصر دیگر تشکیل شده است [۴]. زغال سنگ ها از اجزای یکسانی تشکیل نشده اند. انواع مختلف زغال سنگ با خواص منحصر به فردی که دارند نتایج مختلفی را هنگام اشتعال تولید می کنند. این خواص به صورت تجربی با آزمایش های کیفیت زغال سنگ مشخص می شوند. پایه ای ترین تست آنالیز تقریبی یا آنالیز شیمیایی است که مقدار رطوبت، مواد فرار، کربن ثابت و خاکستر موجود در زغال سنگ را مشخص می کند [۳] که در این مقاله زغال سنگ ها بر اساس این آنالیز و این پارامترها از هم متمایز می شوند. سهم زغال سنگ در تولید انرژی روز به روز در حال افزایش است و با توجه به مشکلات آلودگی فن آوری انرژی پاک زغال سنگ را باید در نظر گرفت، مانند احتراق در بستر سیال، که ارزش قابل توجهی در صنعت برق جهان دارد. با وجود نزدیک به بیست سال پژوهش، فرآیند احتراق در بستر سیال هنوز به طور کامل با توجه به ویژگی آن شناخته نشده است. پودرسازی زغال سنگ در داخل محفظه ی احتراق یک پارامتر بسیار مهم تعیین کننده در فرآیند احتراق در بستر سیال است. پودر سازی نتیجه فرآیند فرسایش می باشد. پودرسازی بر روی بازده و همچنین در سطح تولید آلاینده ها از محفظه احتراق (CFB) <sup>۱</sup> تاثیر مستقیمی دارد [۵].

در طول بیست سال گذشته مدارک بسیاری مربوط به فرآیند پودرسازی زغال سنگ در راکتورهای سیالی منتشر شده است. که با توجه به مرجع [۶] فرسایش یک پدیده است که به موجب آن ذرات ریز، از سطح ذرات مادر به علت تماس با مواد جامد بستر و دیواره های داخلی محفظه احتراق ساییده می شوند.

مقاله ارائه شده مربوط به تلفات جرم ذرات زغال سنگ است که در جریان دو فازی مواد بی اثر سوزانده می شوند. مواد بی اثر مشخصه ای برای توصیف شرایط بستر سیال است. تلفات جرم ارائه شده به صورت انطباق دو فرآیند جدا از هم یعنی احتراق و فرسایش سطحی می باشد. که این مقادیر بدست آمده توسط مدل و داده های تجربی سطح تطابق مناسبی را نشان می دهند [۷ و ۵] که در این مقاله نرخ جریان مواد بی اثر برای مشخص کردن نقش فرسایش به عنوان یک ورودی آورده شده است.

برای پی بردن به اهمیت تلفات جرم در احتراق با توجه به مقاله [۸] در فرآیند تجزیه حرارتی - وزنی، تلفات جرم، زمان و درجه حرارت به طور همزمان ثبت می شوند، که برای تولید پروفیل احتراق مورد استفاده قرار می گیرند. از پروفیل احتراق، پارامترهای حرارتی، شامل درجه حرارت شروع اشتعال ( $T_i$ )، درجه حرارت سوزش ( $T_b$ ) و حداکثر درجه حرارت ( $T_{max}$ )، برای توصیف فرآیند احتراق بدست می آیند. این پارامترها منعکس کننده رفتار حرارتی ماده آلی زغال سنگ در احتراق و مشخص کننده احتراق یا سوزش نهایی هستند.

تلفات جرم زغال سنگ و انتشار برخی از عناصر مانند کربن، هیدروژن و نیتروژن موجود در زغال سنگ پودر شده، که تحت تاثیر تولید و خواص مواد فرار و چار قرار دارد، به نوع زغال سنگ و شرایط تجزیه در اثر حرارت بستگی دارد. تلفات جرم ذغال سنگ با افزایش ماده فرار اولیه زغال در شرایط یکسان تجزیه در اثر حرارت افزایش می یابد [۹].

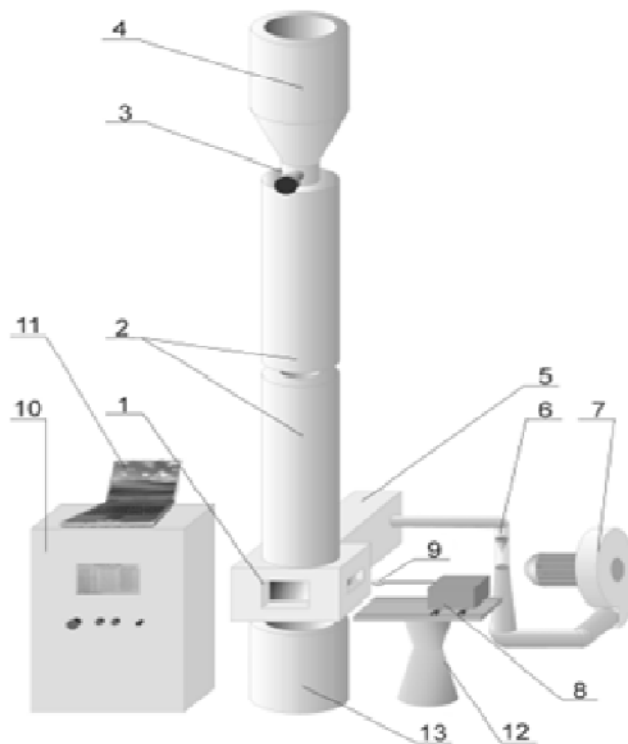
در راستای مطالعات در زمینه تلفات جرم ذرات زغال سنگ کارهای متنوعی انجام شده است که به بررسی تلفات جرم ذرات زغال سنگ با روش های مختلف و تحت شرایط مختلف می پردازند. اما در زمینه احتراق در بستر سیال و فن آوری احتراق پاک زغال سنگ کارهای کمتری صورت گرفته است، بنابراین در این مقاله هدف بررسی تلفات جرم زغال سنگ در شرایط وجود فرسایش (که در حقیقت همان وجود احتراق در بستر سیال است) و برای زغال سنگ های مختلف بر اساس پارامترهای کیفیت زغال سنگ مدلسازی با انفیس بر حسب زمان انجام شده است.

<sup>1</sup> Coal fired boiler

انفیس برای مدلسازی فرآیندهای متنوعی در زمینه های مختلف مهندسی بکار گرفته شده است. مدلسازی و کنترل موتورهای احتراق داخلی با روش هوشمند [۱۰]، کنترل احتراق مبتنی بر مدل نوروفازی [۱۱] و کاربرد تکنیک نوروفازی برای فرآیند جذب دی اکسید کربن [۱۲] از جمله کاربردهای مدلسازی با انفیس در زمینه احتراق می باشد. در این تحقیق تلفات جرم ذرات زغال سنگ های مختلف با توجه به پارامترهای کیفیت زغال سنگ و تحت شرایط مختلف جریان مواد بی اثر و در زمان های مختلف مدلسازی شده است، که می توان با توجه به اهمیت تلفات جرم زغال سنگ تاثیر هر کدام از این پارامترها را بررسی کرد و به درک مناسبی از این فرآیند رسید و می توان از آن برای تعیین مشخصات احتراق زغال سنگ استفاده کرد.

## ۲- داده های تجربی

به منظور تعیین تلفات جرم واقعی ذرات ذغال سنگ در فرایند احتراق در یک جریان از مواد بی اثر، مدل آزمایشگاهی از یک محفظه احتراق در بستر سیال ساخته شده است [۵]. دیاگرام شماتیک از دستگاه آزمایش در شکل ۱ نشان است. عناصر اصلی دستگاه آزمایش به شرح زیر هستند:



شکل ۱- دیاگرام شماتیک از دستگاه آزمایش [۵]

۱- محفظه احتراق، ۲- لوله شتاب، ۳- دریچه تنظیم، ۴- مخزن فوقانی مواد بی اثر ۵- هیتر هوا، ۶- روتامتر، ۷- دمنده هوا، ۸- غلظت سنج، ۹- ترموکوپل، ۱۰- صفحه کنترل، ۱۱- PC - کامپیوتر، ۱۲- پایه، ۱۳- مخزن پایینی مواد بی اثر این آزمایشات بر روی زغال سنگ هایی از لهستان انجام شده است که خواص آنها در جدول ۱ ارائه شده است. در این آزمایش ذرات کروی استفاده شده اند که از ذرات زغال سنگ طبیعی به طور تصادفی انتخاب شده اند و سپس به صورت دستی جلا داده شده اند. که قطر ذرات آزمایش ۱۰ میلی متر می باشد. در ابتدا ذرات از نوع زغال سنگ انتخاب شده در هوای جو

بدون مواد بی اثر می سوزند. سپس آزمایش با مواد بی اثر انجام می شود. از ثبت سیگنال دوره ای تلفات جرم واقعی ذرات با کم کردن تعامل مکانیکی مواد بی اثر مجزا می شود.

مرحله اول تحقیقات احتراق ذرات ذغال بدون تاثیر مواد بی اثر در هوای اتمسفر در دمای ۸۵۰ درجه انجام شده است. به همین دلیل شیر کنترل جریان مواد جامد در حالی که فقط هوا گرم شده بود بسته می شود آزمایشات بر روی هفت نمونه زغال سنگ انجام می شود در شرایط مشابه پس از آن، آزمایش تلفات جرم ذرات زغال سنگ در شرایط جریان مواد بی اثر انجام می شود که نتایج به دست می آیند [۷و۵].

جدول ۱- نتایج آنالیز تقریبی زغال سنگ های تست شده [۵].

نام معدن	ماده فرار (V%)	رطوبت (W%)	خاکستر (A%)	کربن ثابت (FC%)	ارزش گرمایی
Belchatow	۴۲.۵	۱۴.۵	۱۸.۵	۲۴.۵	۱۸۴۶۰
Julian	۳۷.۵	۷.۶	۵.۹	۵۹.۳	۲۹۰۲۶
Ziemowit	۲۶.۹	۷.۶	۲۰.۷	۴۴.۸	۲۱۱۷۹
Sobieski	۲۷.۹	۱۲.۴	۱۶.۷	۴۸.۴	۲۱۵۵۸
Czczot	۲۹.۳	۹.۵	۱۴.۶	۴۶.۶	۲۳۰۰۰
Miechowice	۳۰.۲	۶.۷	۱۲.۰	۴۵.۱	۲۳۰۰۰
Bogdanka	۲۷.۸	۲.۹	۲۵.۴	۴۳.۹	۲۲۵۴۲
Pokoj	۳۱.۵	۱.۹	۲.۷	۶۱	۳۱۵۰۰

### ۳- سیستم های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی (ANFIS)

نظریه مجموعه های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده، دانشمند ایرانی تبار و استاد دانشگاه برکلی آمریکا عرضه شد [۱۳]. در سیستم های پیچیده ای که درک آنها مشکل می باشد و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم گیری و استنباط بشری هستند، منطق فازی به عنوان ابزاری مؤثر به شمار می رود. انتخاب یک روش و رویکرد مناسب برای مدل سازی یک سیستم، کاملاً بستگی به میزان پیچیدگی آن سیستم دارد و پیچیدگی نیز ارتباط معکوس با میزان دانش و شناخت ما از آن سیستم دارد. همیشه تلاش انسان بر این بوده که سیستم را با بیشترین دقت ممکن مدلسازی کند، اما چنانچه شناخت کافی نسبت به آن نداشته باشد، مجبور است دقت مورد نظر از مدل را با میزان شناخت خود از سیستم، منطبق نماید [۱۴].

دیدگاه شبکه های عصبی در دهه ۴۰ قرن بیستم آغاز شد که وان مک کلوت<sup>۱</sup> و والتر پیتز<sup>۲</sup> نشان دادند که شبکه های عصبی می توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه نمایند. شبکه های عصبی مصنوعی با مدل سازی ارتباطات سیناپسی و ساختار نرونی مغز انسان، رویکردی برای پیاده سازی مصنوعی ویژگی های فیزیولوژیک آن است. هرچند که شبکه های عصبی مصنوعی با مدل واقعی مغز فاصله زیادی دارند، اما توانایی این شبکه ها در کشف روابط غیر خطی میان داده های ورودی و استخراج مدل دینامیک غیر خطی حاکم بر داده ها قابل ملاحظه بوده و در مقایسه با مدل های مرسوم، این مدل ها به ورودی های کمتر و تلاش محاسباتی اندکی نیاز دارند.

هرکدام از سیستم های فازی و شبکه های عصبی مصنوعی، دارای مزایا و نواقصی هستند. سیستم فازی قادر به استفاده از زبان بشری می باشد و می تواند از تجربیات بشری و افراد متخصص و خیره استفاده کند در حالی که قادر به یادگیری

<sup>1</sup> Warren McCulloch

<sup>2</sup> Walter Pitts

نمی باشد. به عبارت دیگر با استفاده از داده های مشاهده ای نمی توان سیستم فازی را آموزش داد. اما شبکه های عصبی با استفاده از مجموعه داده ها، قابلیت خودآموزی دارند. در عین حال شبکه های عصبی غیرصریح هستند و قادر به استفاده از زبان بشری نمی باشند [۱۵]. اولین بار جانگ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۳ توانست از قدرت زبانی سیستم های فازی و آموزش شبکه های عصبی استفاده نماید و سیستمی تحت عنوان سیستم های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی ارائه نماید [۱۶] این سیستم ها به سیستم های انفیس معروف شده اند.

غالباً سیستمهای انفیس را با استفاده از یک سیستم فازی تاکاگی-سوگنو -کانگ ( $TSK$ ) به صورت ساختار شبکه ای پیش رونده به کار میبرند. اگر خروجی هر لایه به صورت  $O_k^1$  (خروجی  $k$  امین گره از لایه  $l$ ) باشد، ساختار مدل انفیس با دو قانون و دو ورودی  $x, y$  که هر کدام با دو تابع عضویت توصیف می شوند، از پنج لایه به شرح زیر تشکیل می شود [۱۷]:

**لایه اول:** (گره های ورودی) در این لایه درجه عضویت گره های ورودی به بازه های مختلف فازی با استفاده از تابع عضویت، مشخص می گردد:

$$O_k^1 = \mu_{A_k}(x) \quad k = 1, 2 \quad (1-1)$$

$$O_k^1 = \mu_{B_{k-2}}(y) \quad k = 3, 4 \quad (2-1)$$

که در آن در  $\mu_{A_k}(x)$ ، درجه عضویت  $x$  در مجموعه فازی  $A_k$ ،  $\mu_{B_{k-2}}(y)$ ، درجه عضویت  $y$  در مجموعه فازی  $B_{k-2}$  می باشد. توابع عضویت می توانند به صورت تابع زنگوله ای<sup>۲</sup>، مثلثی، دوزنقه ای و انواع دیگر باشند.

**لایه دوم:** (گره های قاعده) هر گره در این لایه درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می کند:

$$O_k^2 = w_k = \mu_{A_k}(x) \times \mu_{B_k}(y) \quad k = 1, 2 \quad (2)$$

که در آن  $\mu_{B_k}(y)$ ، درجه عضویت  $y$  در مجموعه فازی  $B_k$  و  $w_k$  درجه فعالیت قانون  $k$  ام است.

لایه سوم: (گره های متوسط) در این لایه  $k$  امین گره، نسبت درجه فعالیت قانون  $k$  ام را به مجموع درجه فعالیت کلیه قوانین به صورت زیر نرمال سازی می کند:

$$O_k^3 = \overline{w_k} = \frac{w_k}{\sum_{k=1}^N w_k} \quad (3)$$

که در آن  $\overline{w_k}$ ، درجه فعالیت نرمال شده قانون  $k$  ام می باشد.

**لایه چهارم:** (گره های نتیجه) در این لایه خروجی هر گره برابر است با:

$$O_k^4 = \overline{w_k} f_k = \overline{w_k} (p_k x + q_k y + r_k) \quad k = 1, 2 \quad (4)$$

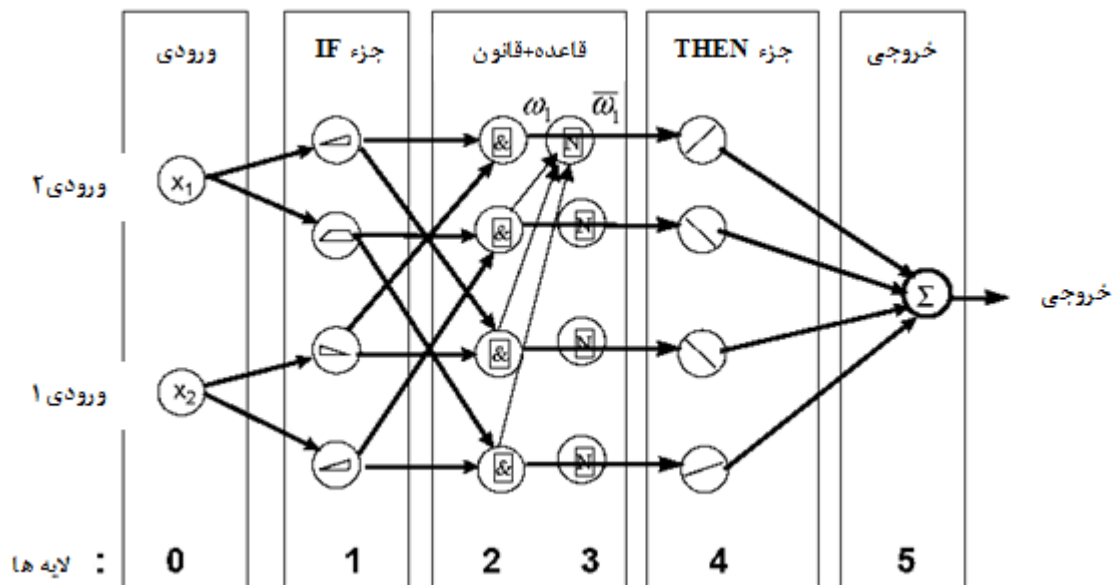
<sup>1</sup> Jang

<sup>2</sup> Bell Function

لایه پنجم: (گره های خروجی) در این لایه هر گره مقدار خروجی نهایی را به صورت زیر محاسبه می نماید (تعداد گره ها برابر تعداد خروجی هاست):

$$O_k^5 = \sum_{k=1}^N \bar{w}_k f_k \quad (5)$$

در شکل شماره (۲) الگوریتم ساده ای از عملکرد و ارتباط بین لایه ها در مدل استنتاج عصبی فازی تطبیقی آورده شده است.



شکل ۲- شمای ساده ای از مدل انفیس

آموزش این سیستم ها به این مفهوم است که با استفاده از داده های آموزشی پارامترهای غیرخطی مربوط به توابع عضویت فازی در لایه اول و پارامترهای خطی لایه چهارم طوری تعیین شوند که به ازای ورودی دلخواه، خروجی مطلوب حاصل شود. روش آموزش هیبرید<sup>۱</sup> یکی از مهمترین روش های آموزش سیستم های استنتاج فازی برپایه شبکه عصبی تطبیقی می باشد. در این روش جهت آموزش در لایه اول از روش پس انتشار خطا<sup>۲</sup> و در لایه چهارم سیستم از روش تخمین کمترین مربعات<sup>۳</sup> استفاده می شود. برای جزئیات بیشتر می توان به مرجع [۱۸] مراجعه نمود.

#### ۴- مدل انفیس

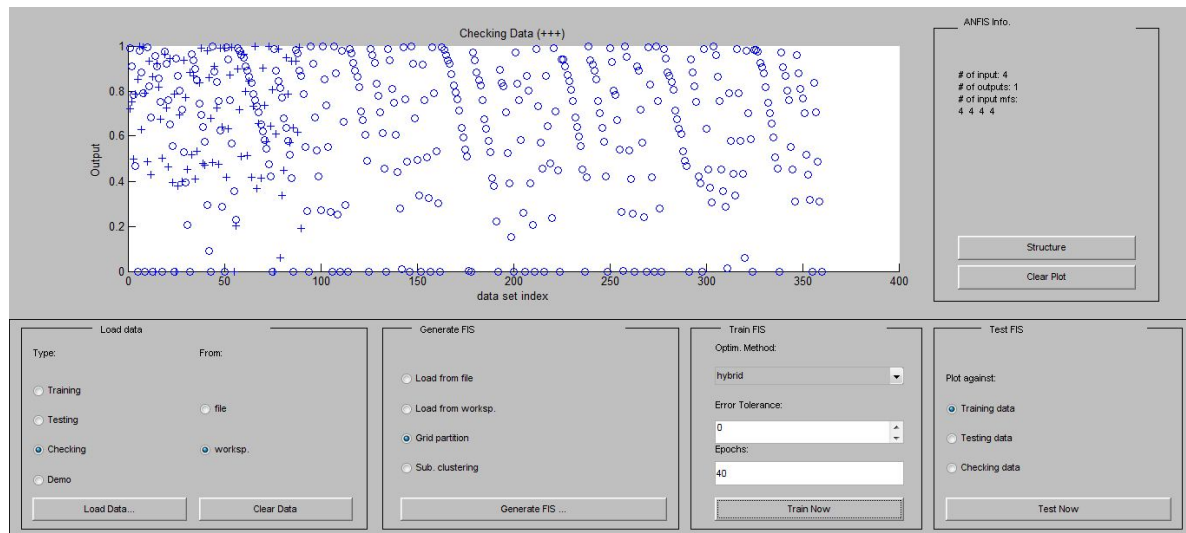
در این مقاله یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم افزار متلب<sup>۴</sup> توسعه داده شده است. تلفات جرم زغال سنگ بر اساس دو پارامتر از کیفیت های زغال سنگ، زمان و اثر فرسایش مدل شده است. ۴۵۰ داده تجربی برای آموزش و اعتبار سنجی وجود دارد که ۳۶۰ یعنی ۸۰٪ را برای آموزش و ۹۰ یعنی ۲۰٪ را برای اعتبار سنجی در نظر گرفته شده اند که بارگذاری این داده ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

<sup>۱</sup>Hybrid Learning

<sup>۲</sup>Back-Propagation(BP)

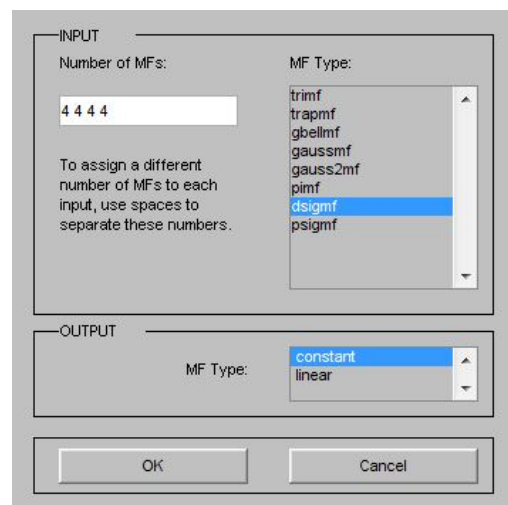
<sup>۳</sup>Least-Squares Estimator(LSE)

<sup>۴</sup>Matlab



شکل ۳- بارگذاری داده های آموزشی و اعتبارسنجی

بعد از بارگذاری، شبکه پارتیشن بندی<sup>۱</sup> می شود و نوع و تعداد توابع عضویت ورودی و خروجی مشخص می شود که با تغییر آن ها می توان کمترین خطا را بدست آورد که بهترین نتیجه از پارتیشن بندی به صورت شکل ۴ بدست آمد.

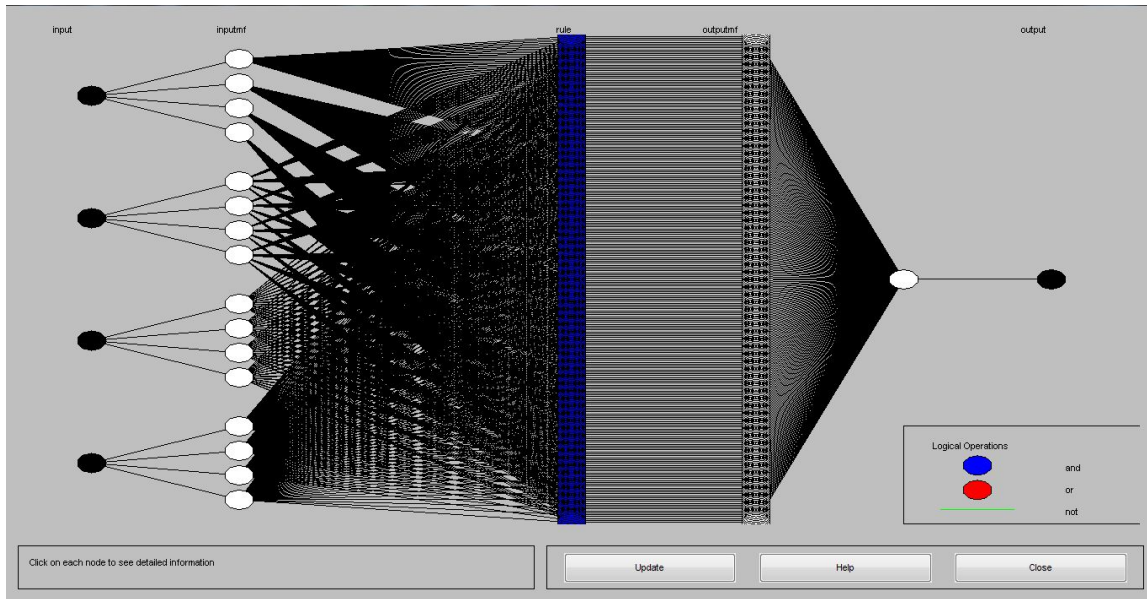


شکل ۴- پارتیشن بندی توابع عضویت

در آموزش ساختار انفیس از روش هیبرید که ترکیب روش حداقل مربعات و روش پس انتشار می باشد استفاده شده است و حد خطا<sup>۲</sup> که برای ایجاد یک معیار توقف آموزش مورد استفاده قرار می گیرد بر روی صفر تنظیم شده است. ساختار انفیس که نتیجه می شود به صورت شکل ۵ می باشد:

<sup>1</sup> Grid partition

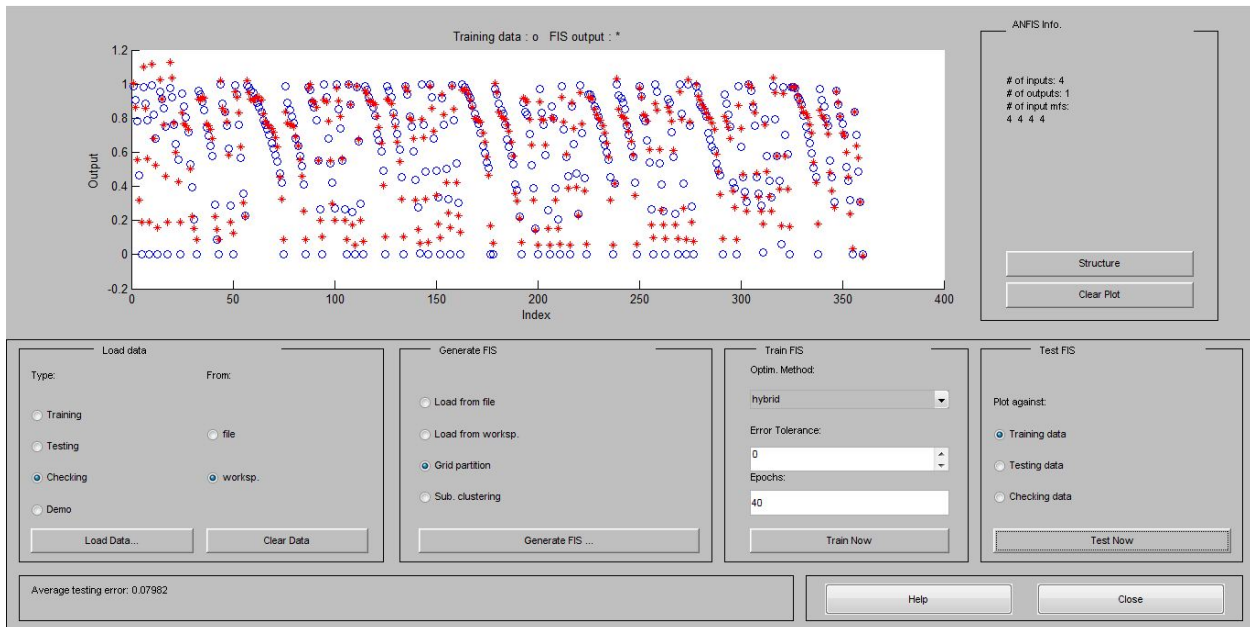
<sup>2</sup> Error Tolerance



شکل ۵- ساختار انفیس

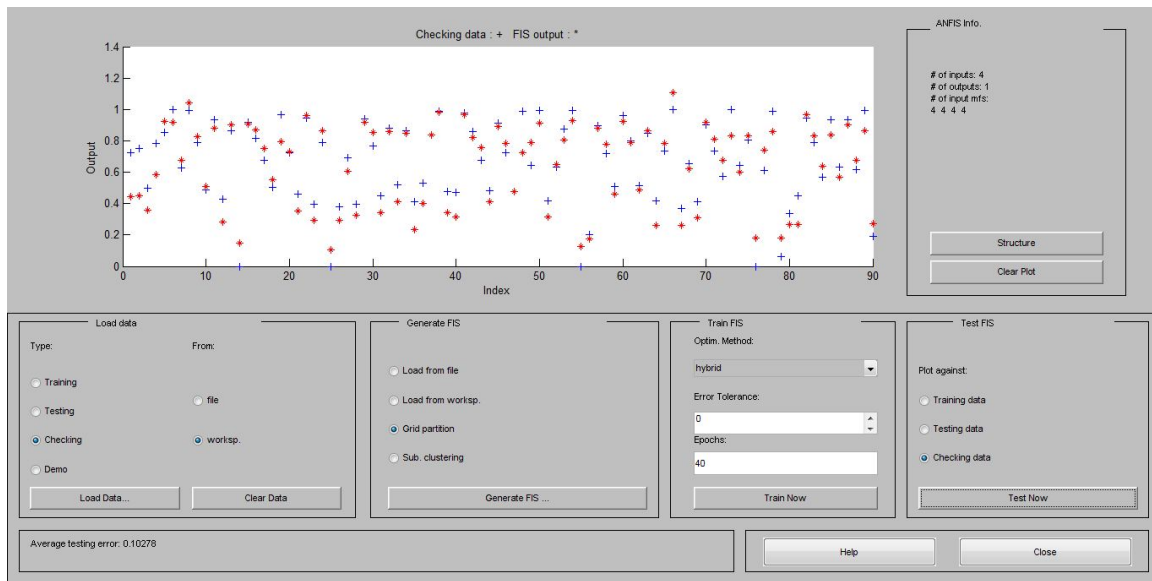
## ۵- بحث و بررسی نتایج

بعد از آموزش و اعتبار سنجی انفیس برای سری ورودی های مختلف مقداری خطا حاصل می شود و مقدار خروجی حاصل از انفیس با داده های آموزشی و واریسی مقایسه می شوند که نتایج مقایسه به صورت اشکال زیر می باشند.



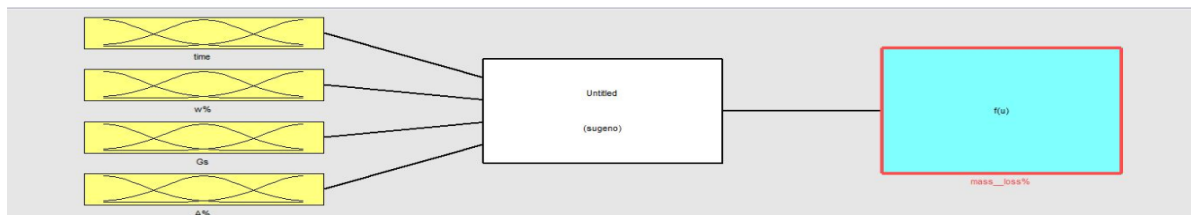
شکل ۶- مقایسه داده مدلسازی شده با انفیس و داده آموزشی



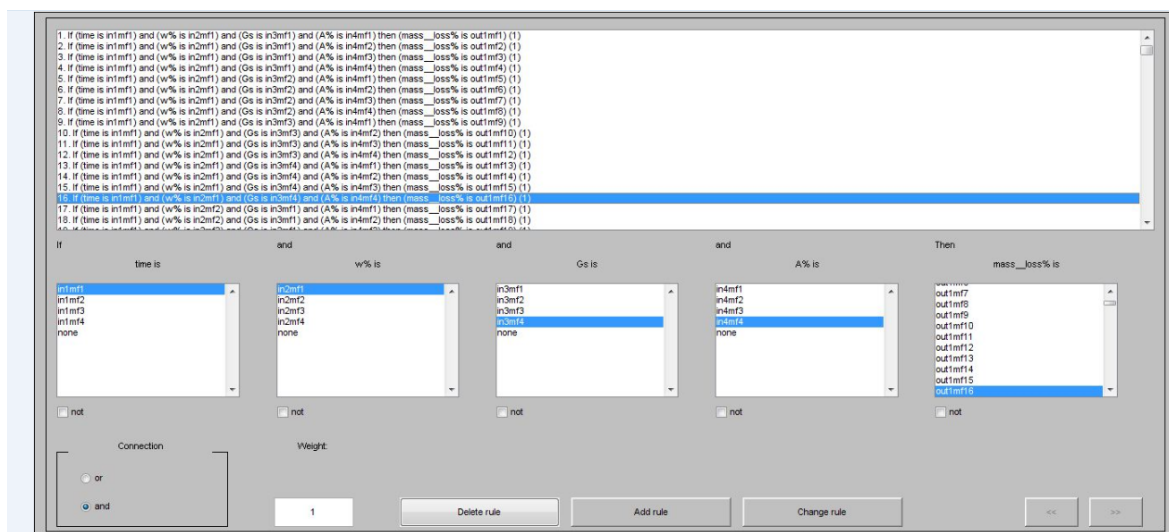


شکل ۷- مقایسه داده مدلسازی شده با انفیس و داده اعتبار سنجی

مدل فازی حاصل شده از این مدلسازی چهار ورودی دارد که دو ورودی آن از پارامترهای کیفیت زغال سنگ و دو پارامتر دیگر آن زمان و نقش فرسایش می باشد. مدل فازی حاصل و قوانین حاصل شده در شکل های ۸-۹ نشان داده شده اند.



شکل ۸- ورودی و خروجی فازی



شکل ۹- قوانین فازی

در این مدلسازی خطا برای انواع سری ورودی های مختلف به صورت جدول ۲ بدست آمد که نتایج تقریباً شبیه به هم می باشند و کمترین خطا برای پارامتر های کیفیت زغال سنگ: درصد رطوبت، کربن ثابت حاصل می شود:

جدول ۲- خطای حاصل از مدلسازی برای ورودی های مختلف

خطا	پارامترهای ورودی	مدلسازی
۰.۰۷۹۸۲	زمان، نقش فرسایش، خاکستر، رطوبت	۱
۰.۰۸۱۳۲	زمان، نقش فرسایش، خاکستر، کربن ثابت	۲
۰.۰۷۹۶۷	زمان، نقش فرسایش، رطوبت، کربن ثابت	۳
۰.۰۸۰۹۲	زمان، نقش فرسایش، مواد فرار، خاکستر	۴
۰.۰۷۹۷۲	زمان، نقش فرسایش، مواد فرار، رطوبت	۵

با این مدلسازی از قوانین فازی حاصل می توان با دادن ورودی های مختلف خروجی را بدست آورد که نتیجه حاصل در شکل ۱۰ نشان داده شده است:



شکل ۱۰- نتیجه حاصل از قوانین فازی که خروجی های مختلف حاصل می شود.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله تلفات جرم زغال سنگ با قطر ذرات ۱۰ میلی متر بر اساس داده های تجربی با استفاده از انفیس مدلسازی شد. دو پارامتر از کیفیت زغال سنگ، زمان و نقش فرسایش به عنوان چهار ورودی به انفیس هستند که براساس پارامترهای کیفیت، پنج مدلسازی انجام شد که با داشتن هر دو پارامتر از کیفیت زغال سنگ و در زمان و فرسایش های مختلف می توان تلفات جرم را بدست آورد. در این تحقیق نشان داده شده است که استفاده از انفیس می تواند به عنوان یک ابزار کارآمد به صورت موفقیت آمیز مورد استفاده قرار گیرد و داده های تجربی تطابق خوبی با نتایج انفیس دارند.

با استفاده از این روش می توان نقش هر کدام از پارامترهای کیفیت زغال سنگ را به صورت جدا و یا دو به دو بر روی تلفات جرم بررسی کرد و همچنین نقش اثر فرسایش در تلفات جرم ذرات زغال سنگ های مختلف قابل بررسی است و مدلسازی جامعی از تلفات جرم برای همه زغال سنگ های معادن مختلف ارائه می دهد .  
روش ارائه شده در این مقاله می تواند به عنوان روشی سریع، دقیق و کم هزینه توسط محققین مورد استفاده قرار گیرد و آزمایشات با هزینه بالا و زمان بر تکرار نشود.

### مراجع

1. Word Energy Outlook 2000, OECD/IEA, 2000.
2. N. Nakicenoric, A. Grubler, A. McDonald, Global Energy Perspectives, Cambridge University Press, Uk, 1998.
3. Coal Mining Glossary, RockTalk Volume 8, Number 2, 2005.
4. Stanley P. Schweinfurth, The National Coal Resource Assessment Overview, Chapter C, An Introduction to coal quality, 2009.
5. P. Pelka, Analysis of mass loss of a coal particle during burning in a flow of inert material, Combustion & Flame 156, 2009.
6. V.N. Blichev, V.V. Strelsov, E.S. Lebedeva, Int. Chem. Eng. 8, 1968.
7. P. Pelka, J. Leszczynshki, Modelling of mass loss of char particles during combustion and interaction with inert material, ECI Conference, New Paradigm in Fluidization Engineering, 2011.
8. Qingzhao Li, Changsui Zhao, Comparison of pulverized coal combustion in air and o<sub>2</sub>/co<sub>2</sub> mixture by thermo-gravimetric analysis, J. Anal. Appl. Pyrolysis 85, 2009.
9. Ping Lu, Shengrong Xu, Pyrolysis property of pulverized coal in an entrained flow reactor during coal reburning, Chem. Eng. And processing 48, 2009.
10. Lee.SH, Howlett.R.J, Modeling and control of internal combustion engines using intelligent techniques, Cybernetics and systems, 2007.
11. Himer.z, Devenyi.G, Control of combustion based on neuro-fuzzy model, Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, 2004.
12. Qing Zhou, Christine W. Chan, An application of neuro-fuzzy technology for anaysis of the co<sub>2</sub> capture process, Fuzzy sets and systems 161, 2010.
13. Zade. L. A, Fuzzy Sets, information and control, 1965.
۱۴. کوره پزان دزفولی، اصول تئوری مجموعه های فازی و کاربرد آن، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیر کبیر، تهران، ۱۳۸۴.
15. Kartalopoulos. S. V, Understanding Neural Net Networks and Fuzzy Logic, Basic Concepts and Applications, IEEE Press, 1996.
16. Jang. J. S. R, ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1993.
17. Jang. J. S. R., Sun. C. T. and Mizutani. E, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, 1997.
18. Jang. J. S. R and Sun. C. T, Neuro-Fuzzy Modeling and Control, Proceedings IEEE, 1997.