

# مدلسازی و پیش‌بینی تشکیل آزون در هوای شهرستان مشهد با استفاده از شبکه (عصبی - فازی) بر پایه سیستم‌های استنتاج (فازی - تطبیقی)<sup>۱</sup>

ناصر ثقه الاسلامی<sup>۱\*</sup>، محمود موسوی<sup>۱</sup>، مسیح اعلمی<sup>۲</sup>

۱- مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی شیمی

۲- اصفهان، مرکز تحقیقات انرژی اتمی اصفهان

پیام نگار: slami@um.ac.ir

## چکیده

در این تحقیق، هدف آن است که برای پیش‌بینی تشکیل آزون در هوای شهر مشهد و با توجه به عوامل محیطی، از سیستم‌های (عصبی - فازی) بر پایه استنتاج (فازی - تطبیقی) استفاده شود و بهترین نتایج با حداقل خطای مورد نظر و کمترین میزان داده‌ها و با قابلیت روزآمد کردن بانک اطلاعاتی به‌دست آید. مدل ارائه شده دارای پنج ورودی (غلظت‌های هیدروکربور غیر از متان، غلظت  $NO_x$ ، دمای هوا، سرعت و جهت باد) و یک خروجی (غلظت آزون) می‌باشد. مقدار خطای به‌دست آمده برای شبکه طراحی شده در این تحقیق بر روی مجموعه داده‌های آموزشی ۱/۱۸٪ و برای داده‌های آزمایشی ۲/۴٪ است. نتایج این تحقیق، همچنین، نشانگر آن است که در الگوریتم پس انتشار، خطا نسبت به الگوریتم ترکیبی، جواب‌هایی مناسب‌تر و با درصد خطای کمتر ایجاد می‌کند.

کلمات کلیدی: مدلسازی، آلودگی هوا، آزون، سیستم‌های (عصبی - فازی)، سیستم استنتاج (فازی - تطبیقی)

## ۱- مقدمه

مدلسازی بخاطر همبستگی اساسی بین متغیرهای مختلف از گونه متفاوت بسیار پیچیده هستند که زمینه ساز یک شبکه پیچیده روابط می‌باشند. معمول است تا یک وابستگی چندمتغیره با رفتار ناخطی داشته باشیم. لذا تلاشهای بسیاری برای اعمال ساده‌سازی در مدلسازی‌ها انجام گرفته که از آن جمله می‌توان از ثابت در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی نام برد. روشهای آماری استاندارد ممکن است به اندازه کافی رفتار پیچیده و ناخطی مدل را پیش‌بینی نکنند. لذا شبکه‌های عصبی به‌صورت گسترده‌ای در شبیه‌سازی‌ها استفاده می‌شوند بخاطر اینکه توانایی آنها در مدلسازی داده‌های ناخطی و غیرقابل اعتماد و براساس معادلات مفروض قبلی زیاد است. روش بررسی دیگر، روش منطق فازی است. جهت استفاده از این روش

تأثیر آلودگی هوا و مسائل زیست محیطی بر سلامت عمومی یکی از مهمترین موضوعات مورد مطالعه در بسیاری از شهرهای جهان است. نظر به اینکه آزون می‌تواند تأثیر مخربی بر روی گیاهان، درختان، مواد و سلامت افراد بشر داشته باشد، توجه جهانیان به میزان آزون سطحی زمین در سالهای اخیر افزایش یافته است. به منظور مدلسازی فرایند فوق، در ابتدا مدل‌های پیش‌بینی مورد نظر تنها شامل همبستگی ساده داده‌های تجربی بودند. ولی امروزه حجم وسیع اطلاعات، امکان گنجانیدن مدل‌های پیش‌بینی را در شبیه‌سازی‌های آلودگی هوا ارائه کرده است. داده‌های محیطی برای

1. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) با یک خروجی توسط قوانین ناخطی را به یک سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) با چند خروجی گسترش داد. جوان و لین یک شبکه استنتاج (عصبی - فازی) خود ساختار را گسترش دادند. عبدالرحیم و یاهگی در سال ۲۰۰۱ از روش ترکیب اصلی برای خارج کردن اطلاعات تکراری از فضای ورودی استفاده کردند. مورایتو مدلی را که نمایشگر روابط مختلف در تولید مجدد تعامل‌های محلی می‌باشد پیشنهاد کرده است که قادر به پیش‌بینی تکامل دوره کوتاه مدت تشکیل آلاینده‌ها به جهت ممانعت از ایجاد سطوح حدی بالای آلاینده‌های مضر می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهند که سیستم خوشه سازی نرم افزار متلب<sup>۱</sup> به ما این امکان را می‌دهد که مدل درجه اول از نوع سوگنو را که تا درجه زیادی به‌وسیله معرفی مستقیم آموزش با به‌کارگیری زبان متلب<sup>۲</sup> قابل بهبود می‌باشد، بکار ببریم. مینا ربوک و همکاران، روش دیگری را جهت نمایش نتایج مدل برنامه دیده بان و ارزیابی اروپایی<sup>۳</sup> به‌عنوان یک سطح پاسخ با استفاده از روش تولید قانون فازی بدست آورده‌اند که هدف آن ساخت تعدادی قوانین فازی در مورد روابط گیرنده به منبع انتشارات پیش سازان و غلظت‌های آزون تروپوسفری روزانه می‌باشد [۱۳ و ۱۲].

لذا با توجه به اثرات سوء تشکیل آزون در کلان شهرها، هدف از این تحقیق پیش‌بینی آزون تولید شده در شهر مشهد به‌وسیله پیش واکنشگرها و همچنین سایر عوامل مؤثر در تشکیل آزون است. با توجه به اینکه مدل نمودن تولید آزون بسیار پیچیده است و نظریه‌های موجود نیز جوابگوی این پیچیدگی‌ها نمی‌باشد. بنابراین در این پژوهش از سیستم‌های ترکیبی موسوم به سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) که در جعبه ابزار نرم افزار متلب تعبیه گردیده استفاده شده است.

## ۲- نظریه شبکه (عصبی - فازی) سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی)

یکی از اولین سیستم‌های (عصبی- فازی) برای تخمین توابع مبنا در قوانین سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) سیستم استنتاج فازی برمبنای شبکه وفق‌پذیر است، که اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط

بایستی داده‌ها به کمک الگوریتم‌های خوشه سازی استوار بر بهینه سازی تکرار شونده مرتب شوند [۶-۱].

منطق فازی اولین بار توسط پرفسور لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی در سال ۱۹۶۵ در مقاله ای به نام «مجموعه‌های فازی» معرفی گردید. لطفی زاده پس از معرفی مجموعه فازی در سال ۱۹۶۵، مفاهیم الگوریتم‌های فازی در سال ۱۹۶۸، تصمیم گیری فازی در سال ۱۹۷۰، و ترتیب فازی را در سال ۱۹۷۱ مطرح کرد. وی در سال ۱۹۷۳ مقاله ای دیگری به عنوان «طرح یک راه حل جدید برای تجزیه تحلیل سیستم‌های پیچیده و فرایندهای تصمیم گیری منتشر کرد. این مقاله مفهوم متغیرهای زبانی و استفاده از قواعد (اگر - آنگاه) را برای فرمول‌بندی دانش بشری معرفی نمود. در سال ۱۹۷۵، ممدانی و آسلیلیان چهارچوب اولیه ای را برای کنترل‌کننده فازی مشخص کردند. آنها دریافتند که ساخت کنترل‌کننده فازی بسیار ساده بوده و بخوبی نیز کار می‌کند. اولین پیاده‌سازی نظریه فازی در یک کاربرد عملی، کنترل کوره سیمان در سال ۱۹۷۵ در دانمارک توسط هلم بلاد و آسترگارد بود. نظریه فازی در ابتدا در آمریکا مورد توجه قرار نگرفت، ولی برعکس در ژاپن این نظریه مورد استقبال دانشمندان و بخصوص مهندسان کمپانی‌های مختلف واقع شد تا جایی که دو نفر از مهندسان شرکت هییتاچی در طی یک شبیه‌سازی قدرت سیستم فازی را در کنترل یک قطار مترو نشان دادند و آن را در سال ۱۹۸۷ در متروی سندیا به طور عملی پیاده کردند. در فوریه ۱۹۹۲ اولین کنفرانس بین المللی انجمن مهندسين برق<sup>۱</sup> در زمینه سیستم‌های فازی در سان دیگو برگزار گردید. این یک اقدام سمبلیک در مورد پذیرفتن سیستم‌های فازی به‌وسیله بزرگترین سازمان مهندسی، یعنی انجمن مهندسين برق، بود. از لحاظ تئوری، سیستم‌های فازی و کنترل در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ رشد چشمگیری پیدا کرد و پیشرفتهایی در زمینه برخی مشکلات اساسی سیستم‌های فازی صورت گرفت. به‌عنوان مثال تکنیک‌های شبکه عصبی برای تعیین و تنظیم توابع تعلق استفاده شدند. این نظریه تاکنون گسترش‌های بسیار زیادی پیدا کرده و مباحث زیادی در آن مطرح شده است [۷-۱۱].

بسیاری از مطالعات بر روی گسترش دادن مدل‌های (عصبی- فازی) انفیس بوده و یا آنرا تغییر داده است. میزوتانی در سال ۱۹۹۷،

2. MATLAB GENFIS

3. MATLAB ANFIS

4. EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme)

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

درجه فعالیت نسبی نرمالیزه را محاسبه می کند  $(\bar{w}_r, r=1,2,\dots,R)$ :

$$\bar{w}_r = \frac{w_r}{\sum_{j=1}^R w_j} \quad (3)$$

هر واحد در لایه سوم به تمام قوانین لایه دوم متصل است.

لایه چهارم: واحدهای این لایه به همه ورودیهای لایه سوم بعلاوه یک متصل اند. هر واحد در این لایه نتیجه  $o_r$  خروجی  $r$  امین قانون را توسط رابطه ذیل محاسبه می کند:

$$o_r = \bar{w}_r y_r = \bar{w}_r (a_{0r} + a_{1r} x'_{1r} + \dots + a_{nr} x'_{nr}) \quad (4)$$

لایه پنجم: این لایه شامل یک واحد است که خروجیهای  $(y^a)$  سیستم را توسط جمع همه خروجیهای لایه چهارم محاسبه می کند:

$$y^a = \sum_{r=1}^R O_r \quad (5)$$

برای یادگیری سیستم استنتاج (فازی - تطبیقی) مخلوط، از دو روش پس انتشار<sup>۲</sup> استفاده می شود. پس انتشار یادگیری پارامترهای پایه (پارامترهای توابع عضویت ورودی) و پس انتشار برای تعیین ضرایب ترکیبهای خطی. مرحله یادگیری دو قسمت دارد:

- نمونههای ورودی منتشر می شوند و پارامترهای پیرو بهینه توسط روش تکرار کوچکترین میانگین مربعات محاسبه می شوند در حالیکه پارامترهای پایه ثابت فرض شده اند.
- نمونهها دوباره منتشر می شوند و در این دوره، از روش پس انتشار استفاده می شود. برای تصحیح پارامترهای پایه، در حالیکه پارامترهای قسمت پیرو ثابت باقی می ماند، این روشها تکرار می شوند.

### ۳- داده ها و روند تغییرات متغیرهای مدلسازی

برای شبیه سازی شبکه سیستم استنتاج (فازی - تطبیقی) به یک سری داده نیاز می باشد که در اینجا پنج متغیر به عنوان ورودی شبکه در نظر گرفته شده که شامل غلظت هیدروکربنهای غیر

جانگ مطرح شد [۲]. مبنای سیستم استنتاج (فازی - تطبیقی) سیستم فازی از نوع سوگنو<sup>۱</sup> است. شکل قوانین در سیستم استنتاج (فازی - تطبیقی) به صورت زیر است:

$$\text{If } (x_1 \text{ is } A_{1r}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_{nr}) \text{ THEN } y_r = a_{or} + a_{1r}x_1 + \dots + a_{nr}x_n$$

که در آن  $A_{ir}, i=1,2,3,\dots,n$  مجموعههای فازی ای هستند که بیان می کنند توضیحات زبانی ورودیهای  $x_i$  را در  $r$  امین قانون  $(r = 1,2,\dots,R)$  سیستم استنتاج (فازی - تطبیقی)، فقط توابع عضویت قسمتهای پایه قوانین و پارامترهای قسمت پیرو قوانین تنظیم می کند [۱۴ و ۱۵].

ساختار یک سیستم استنتاج (فازی - تطبیقی) با  $n$  ورودی و  $R$  قانون، شامل پنج لایه می باشد، که ساختمان هر لایه در زیر توضیح داده شده است:

لایه اول: هر واحد در این لایه شامل سه پارامتر  $a_{ir}, b_{ir}, c_{ir}$  می باشد که تابع عضویت را به صورت زیر تعریف می کند:

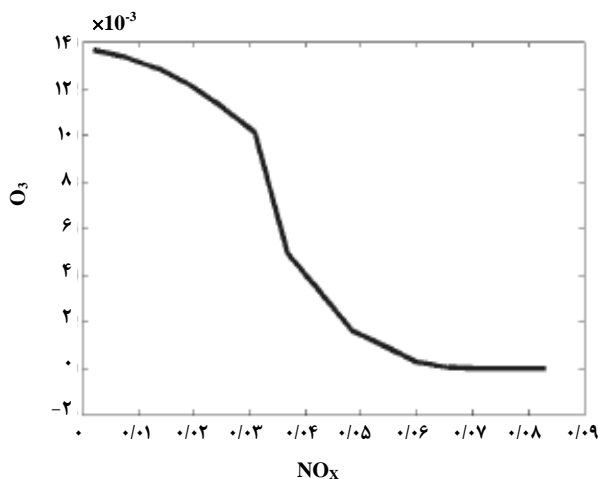
$$\mu_{A_{ir}}(x_i) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{x_i - c_{ir}}{a_{ir}} \right]^{b_{ir}}} \quad (1)$$

هدف واحدهای این لایه، محاسبه درجه عضویت دادههای ورودی معمولی  $x_1, x_2, \dots, x_n$  در مجموعههای فازی  $A_{ir}$  می باشند که پایه قوانین فازی هستند.

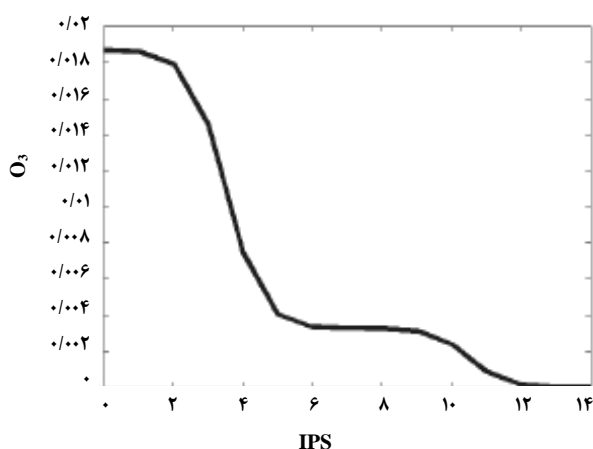
لایه دوم: هر قانون فازی توسط یک واحد در این لایه ارائه می شود. هر واحد در این لایه به تمام واحدهای لایه قبل (که مربوط به پایه قوانین فازی است) متصل است، هدف این لایه محاسبه درجه فعالیت هر قانون فازی است. تساوی  $w_r, r = 1,2,\dots,R$  از یک قانون فازی در سیستم اجرا می شود. عملگر AND از تابع product برای ترکیب کردن استفاده می کند، در اینجا:

$$\bar{w} = \prod_{i=1}^n \mu_{A_{ir}}(x_i) \quad (2)$$

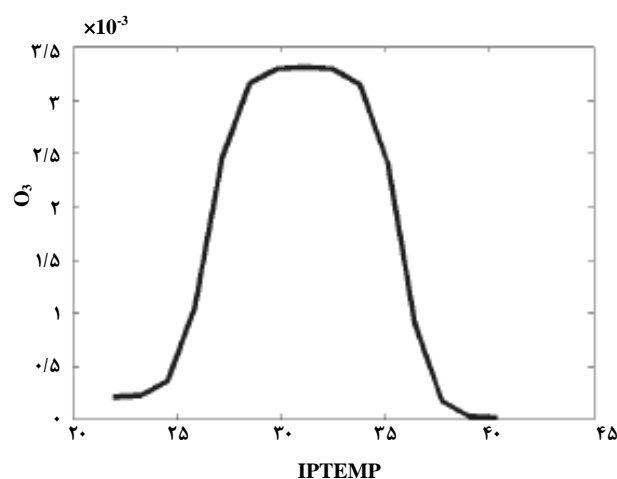
لایه سوم: در این لایه برای هر قانون یک واحد موجود است که



شکل ۲- نمودار وابستگی ( $\text{NO}_x\text{-O}_3$ )



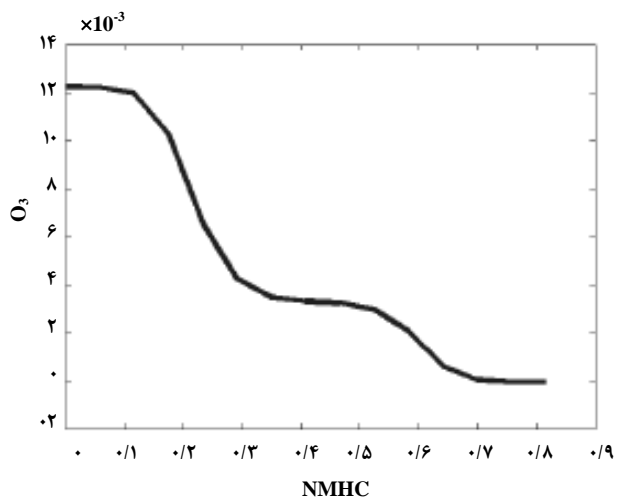
شکل ۳- نمودار وابستگی ( $\text{IPS-O}_3$ )



شکل ۴- نمودار وابستگی ( $\text{IPTEMP-O}_3$ )

متانی<sup>۱</sup>، غلظت  $\text{NO}_x$ ، سرعت باد، جهت باد، دمای هوا به عنوان متغیرهای ورودی و غلظت آزون به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد.

در شکل‌های (۱) و (۲) همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، هر چه میزان  $\text{NO}_x$  و هیدروکربن‌های غیر متانی کمتر باشد میزان آزون بالاتری خواهیم داشت که نشان‌دهنده پیشرفت واکنش تعادلی تولید آزون به سمت چپ می‌باشد. تأثیر سرعت هوا بر آزون تولید شده برای شرایط این تحقیق در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۴) نیز می‌توان تأثیر دمای هوا را بر آزون تولید شده مشاهده کرد. شکل‌های (۵) تا (۷) اثر ۲ متغیر را بر میزان آزون تولیدی نمایش می‌دهد. پارامتر بسیار مهمی که مدنظر می‌باشد پراکندگی و توزیع مناسب داده‌های موجود در محدوده مورد بحث می‌باشد. با مشاهده پایگاه داده‌ها درمی‌یابیم که تعداد داده‌ها جهت استفاده در شبکه عصبی کافی نیست و همچنین دانش دقیقی نسبت به سیستم جهت استفاده از قواعد فازی نداریم. بمنظور آنکه بتوان به جواب مطلوب دست پیدا کرد به‌طور کلی دو راه وجود دارد: راه اول استفاده از یک روش که قادر باشد از روی مجموعه اطلاعات ورودی و خروجی ماهیت سیستم را مدل کند، مانند استفاده از شبکه (عصبی - مصنوعی). راه دیگر بهینه‌سازی سیستم فازی است که در این تحقیق گزینه اول انتخاب گردید [۱۶].



شکل ۱- نمودار وابستگی هیدروکربن‌های غیر متانی با  $\text{O}_3$

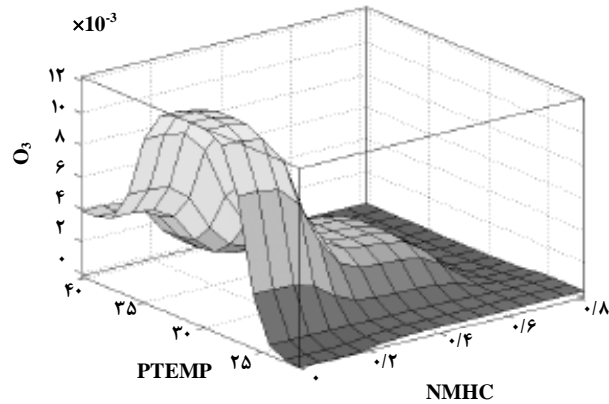
1. NMHC (Non-Methane Hydrocarbons)

#### ۴- نتایج شبیه‌سازی و بحث

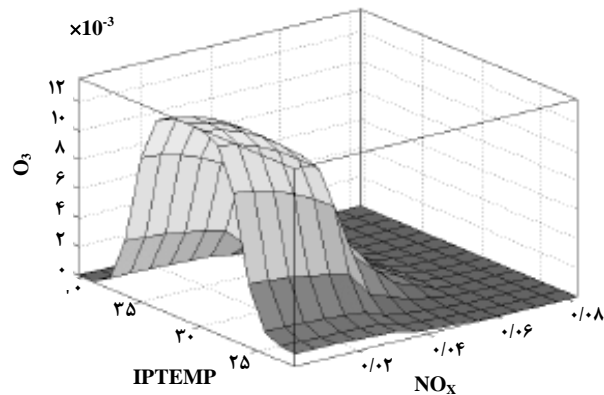
در مدل‌سازی و شبیه‌سازی توسط سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) می‌بایستی در ابتدا ساختار کلی مدل را که شامل تعداد ورودی و خروجی و تابع مدل است تعیین کرد. سپس در مرحله بعد، تعدادی از داده‌های هواشناسی را به عنوان داده‌های آموزشی به سیستم وارد نمود. در این تحقیق، داده‌های آموزشی به صورت یک ماتریس به سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) ارائه می‌شوند (تعداد ستونهای ماتریس ۱+۵ و تعداد ردیف‌ها ۶۲ است). در عمل با دادن داده‌های آموزشی محدود، مقداری برای هر کدام از ورودیها و خروجیها مشخص می‌شود. مرحله بعد ساختن یک سیستم فازی و تعیین تعداد و نوع توابع عضویت در محدوده هر کدام از ورودیها و خروجیها برای مدل‌سازی تشکیل ازون است که در جدول (۱) و شکل (۸) نشان داده شده است.

ساختار عصبی مدل‌سازی تشکیل ازون توسط سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی)، همان‌طور که در شکل (۹) مشخص گردیده است، مبتنی بر ساختار شبکه عصبی مدل‌سازی و شبیه‌سازی توسط سیستم (فازی- عصبی) یک پرسپترون چهار لایه است به طوری که تعداد نورونهای لایه اول برابر با مجموع تعداد توابع عضویت ورودیهاست (۱۵ نورون) و هر نورون به‌عنوان یک تابع عضویت می‌باشد (شکل (۱۰)). تعداد نورونهای لایه دوم برابر با تعداد قوانین ساخته شده توسط سیستم فازی است ( $3^5 = 243$ ). از آنجا که در تمامی قوانین از عملکرد منطقی سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) استفاده شده است هر نورون در این لایه سیگنالهای حدودی را در هم ضرب می‌کند و با ضرایب وزنی (Wi) برابر ۱ خارج می‌شود. در لایه سوم ۲۴۳ نورون موجود است که خروجی هر نورون  $f_i(w_i)$  است و در این مدل‌سازی از تابع نوع پس انتشار به‌عنوان تابع  $f_i$  استفاده می‌شود. وظیفه این لایه تخمین پارامترهای توابع عضویت و تعیین نورونهای مناسب برای لایه دوم می‌باشد.

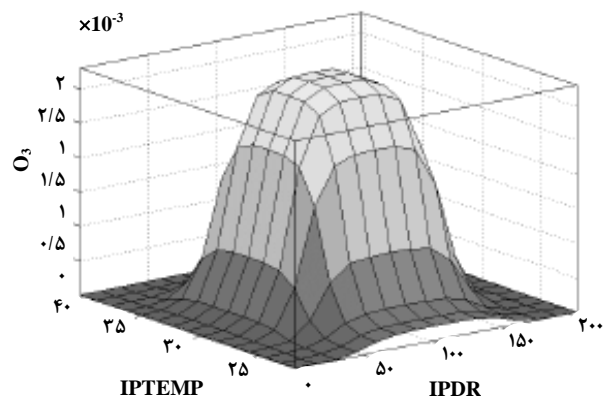
لایه چهارم که از یک نورون تشکیل شده است، تمام سیگنالهای ورودی را با یکدیگر جمع می‌کند که خروجی این لایه برابر با  $\sum f_i(w_i)$  است. شکل (۱۱) خطای حاصل از آموزش شبکه پس از ۲۰ تکرار را نشان می‌دهد. شکل (۱۲) که در آن از داده‌های موجود جهت بررسی عملکرد شبکه استفاده گردیده نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مناطقی که نقاط اپتیمم (بهینه) و می‌نیمم وجود دارد، پیش‌بینی شبکه خطای بیشتری نسبت به



شکل ۵- بررسی اثر تغییرات غلظت ازون در مقابل تغییرات هیدروکربنهای غیر متانی و دمای هوا



شکل ۶- بررسی اثر تغییرات غلظت ازون در مقابل تغییرات اکسیدهای نیتروژن و دمای هوا



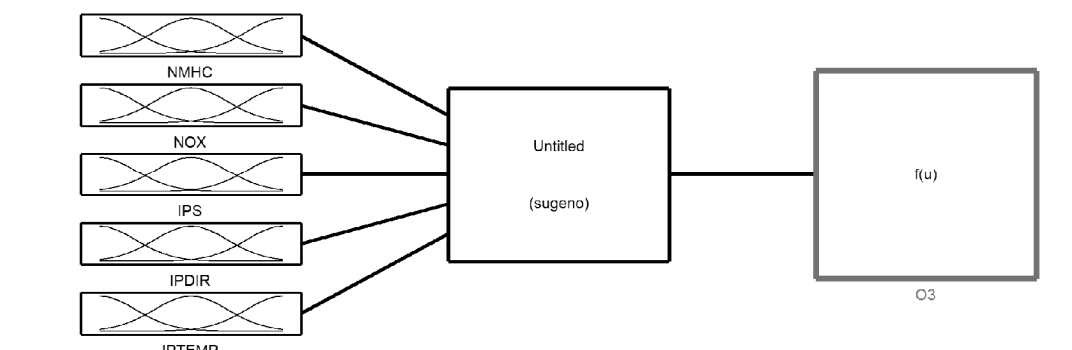
شکل ۷- بررسی اثر تغییرات غلظت ازون در مقابل تغییرات جهت باد و دمای هوا

انتشار، خطا نسبت به الگوریتم ترکیبی، جوابهای مناسبتر و با درصد خطای کمتر ایجاد می‌کند. همان‌طور که مشخص است جواب‌های به‌دست آمده از مدل فازی انطباق خوبی با واقعیت ندارند. دلایل آنرا می‌توان در مدلسازی توسط سیستم فازی دانست که نیاز به قوانین دقیق می‌باشد. در حالیکه در مورد مدل آلودگی هوا، اطلاعات نظری دقیق با توجه به پیچیدگی مدل و اثر پارامترهای فراوان در دسترس نیست.

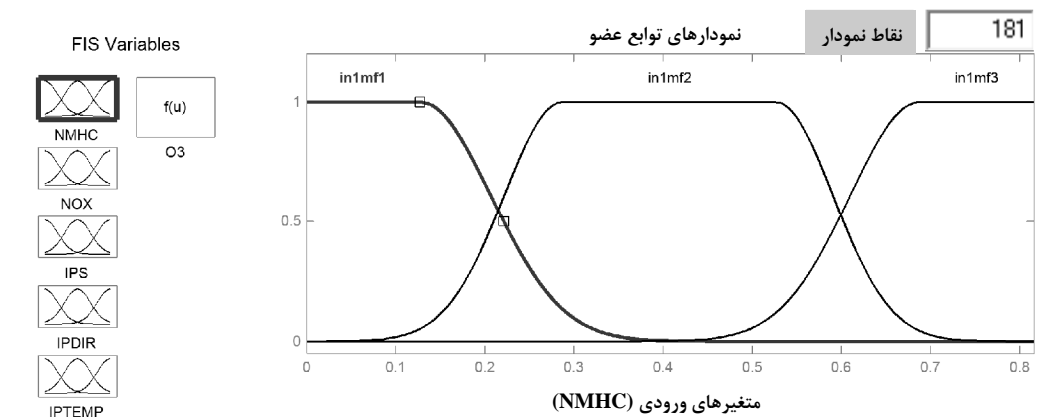
جاهای دیگر دارد. شکل (۱۳) مقایسه پراکندگی داده‌های آزمایشی و خروجی پیش‌بینی شده از شبکه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در جاهایی که پراکندگی داده‌ها بیشتر می‌باشد، پیوستگی داده‌ها حفظ گردیده و شبکه عملکرد خوبی را نشان می‌دهد. مقدار خطای حاصل برای شبکه طراحی شده روی مجموعه داده‌های آموزشی ۱/۸٪ و برای داده‌های آزمون ۲/۴٪ است که خطای تعیین شده از روش میانگین حداقل مربعات تعیین گردیده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در آموزش شبکه الگوریتم پس

جدول ۱- متغیرهای ورودی و خروجی و نوع و تعداد توابع عضویت

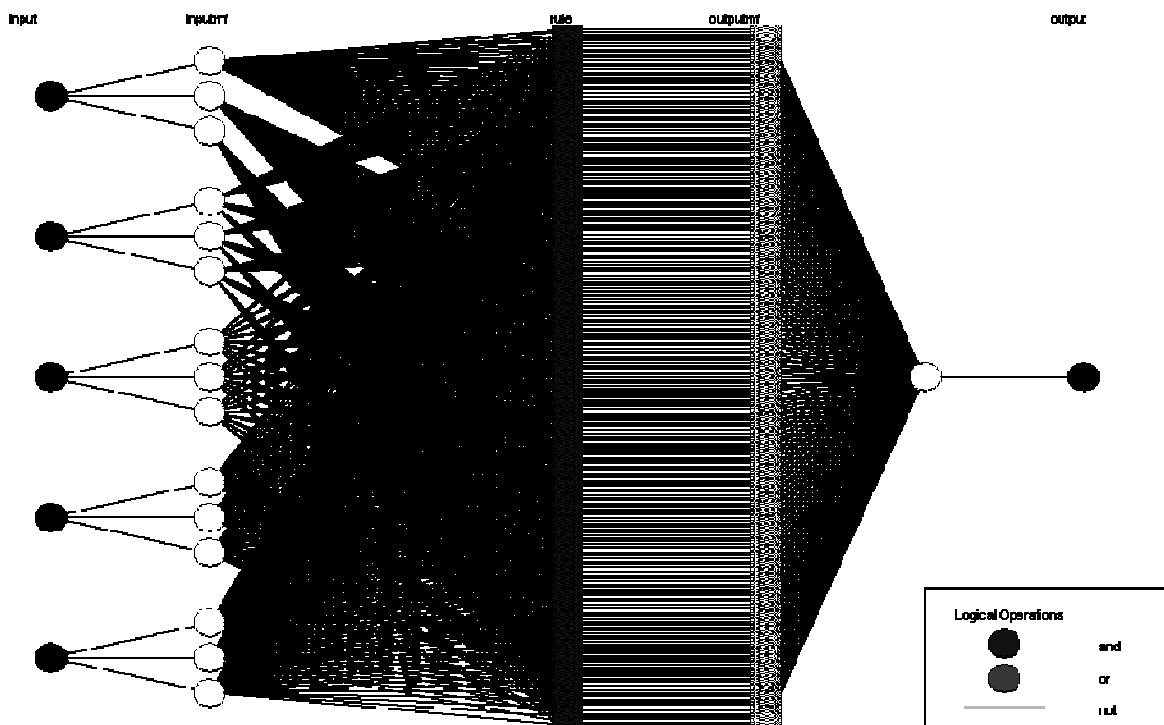
NMHC	NO <sub>x</sub>	IPS	IPDIR	IPTEMP	O <sub>3</sub>
۳	۳	۳	۳	۳	
Gauss2	Gauss2	Gauss2	Gauss2	Gauss2	



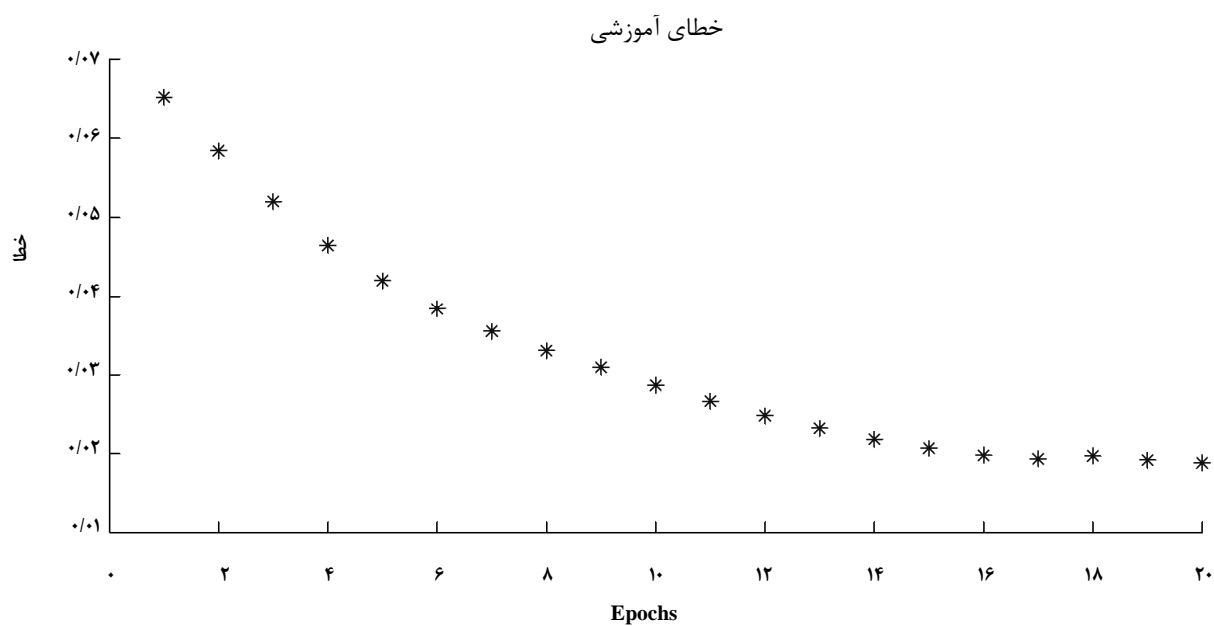
شکل ۸- شمای کلی سیستم (عصبی- فازی) به کار رفته در مدلسازی



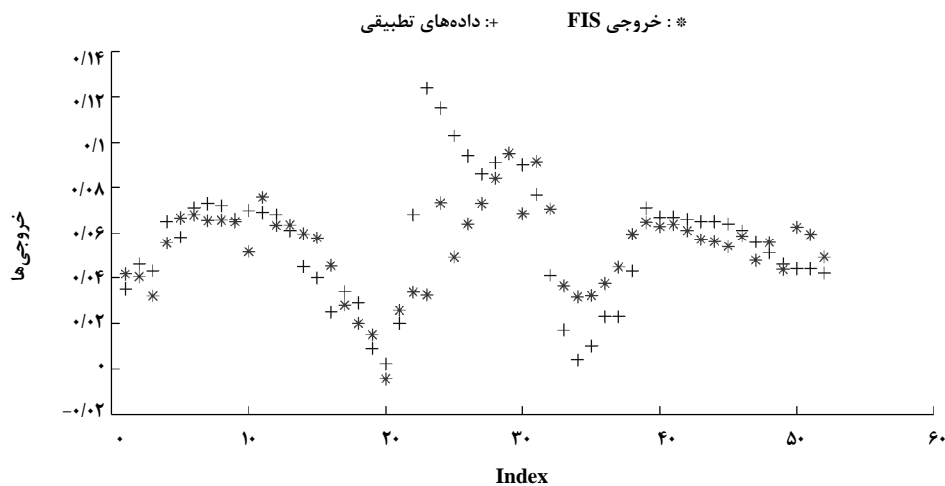
شکل ۹- توابع عضویت به کار رفته در ساختار شبکه



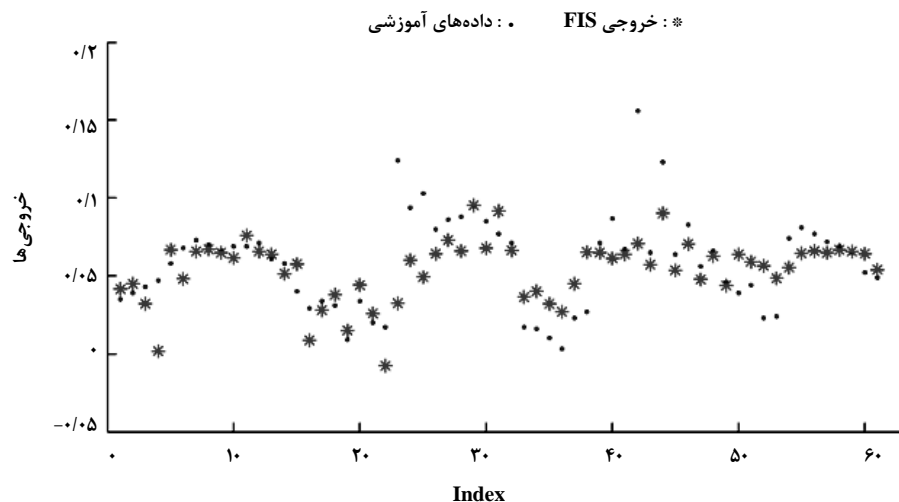
شکل ۱۰- ساختار کلی سیستم استنتاج (فازی-تطبیقی) تشکیل ازون



شکل ۱۱- فرایند آموزش شبکه



شکل ۱۲- مقایسه نتایج بررسی داده‌ها با خروجی سیستم (عصبی- فازی)



شکل ۱۳- مقایسه نتایج آزمایش با خروجی سیستم (عصبی- فازی)

## ۵- نتیجه‌گیری

در این شبیه‌سازی، نیاز آن به تعداد زیادی داده می‌باشد و دیگر اینکه این روش هیچ دانشی را از سیستم به ما انتقال نخواهد داد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده از این تحقیق را به‌صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

- هرچه تعداد نواحی پوشش‌دهنده فضای (ورودی- خروجی) بیشتر باشد پیش‌بینی به‌دست آمده از شبیه‌سازی مدل، دقت بالاتری خواهد داشت.
- در نواحی‌ای که ما حداکثر میزان آزون تولیدی را داریم،

هدف از این تحقیق پیش‌بینی آزون تولید شده در شهر مشهد به‌وسیله پیش‌واکنشگرها و همچنین سایر عوامل مؤثر در تشکیل آزون می‌باشد. باتوجه به اینکه مدل نمودن تولید آزون بسیار پیچیده است و نظریه‌های موجود نیز جوابگوی این پیچیدگی‌ها نمی‌باشد. بنابراین در این پژوهش از سیستم‌های ترکیبی موسوم به سیستم استنتاج (فازی- تطبیقی) که در جعبه ابزار نرم‌افزار متلب تعبیه شده استفاده گردیده است. دلیل عدم استفاده از روش شبکه عصبی



- [6] Milford J., Gao D., Dillmann S. et al., "Total reactive nitrogen (NO) as an indicator for the sensitivity of ozone to NO<sub>x</sub> and hydrocarbons", *Journal of Geophysical Research*, vol. 99, pp: 3533, (1994).
- [7] Moussiopoulos N., Power H., Brebbia C.A., "Air pollution, urban pollution, Computational Mechanics Publications, vol. 3, Southampton, UK, (1995).
- [8] Roadknight M., Balls G.R. et al., "Modeling complex environmental data", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 8, No. 4, pp: 852, (1997).
- [9] Werbos P., "Backpropagation through time: what it does and how to do it", *Proceedings of IEEE*, Vol. 78, (1990).
- [9] Jorquera H., Perez R., Cipriano A., Espejo A., Letelier M., Acuna G., "Forecasting ozone daily maximum levels at Santiago, Chile", *Atmospheric Environment*, Vol. 32, No. 20, pp: 3415, (1998).
- [10] Myrabo L.E., Wilson K.R., Trijonis J.C., "Survey of statistical models for oxidant air quality prediction", In *Advances in Environmental Science and Technology*, San Diego, USA, (1976).
- [11] Robeson S.M., Steyn D.G., "Evaluation and comparison of statistical forecast models for daily maximum ozone concentrations", *Atmospheric Environment*, 24B, pp: 303, (1990).
- [12] Heyes C., Schopp W., "Towards a simplified model to describe ozone formation in Europe", Working Paper WP- 95-34, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria, (1996).
- [13] Makowski M., "Modeling paradigms applied to the analysis of european air quality", *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, (2000).
- [14] Yi J., Prybutok V. R., "A neural network model forecasting for prediction of daily maximum ozone concentration in an industrialized urban area", *Environmental Pollution*, Vol. 92, pp: 349, (1996).
- [15] Ryoke M., Nakamori Y. et al., "A simplified ozone model based on fuzzy rules generation", *European journal of Operational Research*, vol. 122, pp: 440, (2000).
- [16] Nakamori Y., Ryoke M., "Identification of fuzzy prediction models through hyperellipsoidal clustering", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 24, No. 8, pp: 1153, (1994).

پیش‌بینی انجام گرفته دقت پایین‌تری دارد.

- باتوجه به کمیت داده‌های در دسترس، بهترین روش استفاده از روش‌های ترکیبی جهت استخراج قواعد از پایگاه داده‌ها خواهد بود.
- نتایج به‌دست آمده از این شبیه‌سازی بیانگر دقت زیاد مدل و سرعت بالای شبیه‌سازی می‌باشند.
- با بررسی نتایج در می‌یابیم که بیشترین میزان ازون تولیدی را به ازای حداقل مقادیر پیش واکنشگرهای واکنش تولید ازون خواهیم داشت.
- باتوجه به مقادیر حدی آستانه و مجاز آلاینده‌ها خصوصاً ازون، می‌توان طرح‌های ترافیکی را در شهر باتوجه به عوامل مؤثر در تشکیل ازون به اجراء گذاشت.

#### ۶- تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانیم که از سازمان هواشناسی شهرستان مشهد جهت در اختیار قرار دادن داده‌های لازم بمنظور انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی کنیم.

#### مراجع

- [1] Bach W., "Atmospheric pollution", McGraw-Hill Book Company, NY, USA, (1972).
- [2] Jang J.S.R., "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference systems", *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 23, No. 3, pp: 665, (1993).
- [3] Morabito F., versaci M., "Fuzzy neural identification and forecasting techniques to process experimental urban air pollution data", *Neural Networks*, vol. 16, pp: 493, (2003).
- [4] Gandolfi E., Masetti M., Vitello C., Zannolli S., "Adaptive fuzzy systems for gas microsensor arrays to be implemented in air pollution monitoring station: first results. advances in fuzzy systems and intelligent technologies", *Proceedings of the WILF' 99*, Maastricht, The Netherlands: Shaker publishing, pp: 139, (2000).
- [5] Marino D., Morabito F.C., "A fuzzy neural network for urban environment monitoring system: The Villa San Giovanni study case, neural nets", *Proceedings of the WIRN workshop*, May, pp: 323, (1999).