

جغرافیا و توسعه شماره ۳۸ بهار ۱۳۹۴

وصول مقاله : ۱۳۹۱/۹/۱۸

تأیید نهایی : ۱۳۹۳/۴/۸

صفحات : ۱۲۳ - ۱۲۸

## بررسی گرد و غبار و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن بر اساس روش‌های آماری و مدل ANFIS در ایستگاه زابل

دکتر بهروز سبحانی<sup>۱</sup>، دکتر برومند صلاحی<sup>۲</sup>، اکبر گل دوست<sup>۳</sup>

### چکیده

پدیده‌ی گرد و غبار یکی از زیان‌بارترین بلایای طبیعی است که مشکلات محیطی عدیده‌ای را در مناطق مختلف جهان به وجود می‌آورد. در ایران، منطقه‌ی زابل به شدت تحت تأثیر این پدیده قرار دارد. مطالعه‌ی حاضر، با هدف شناخت ویژگی‌های زمانی و بررسی امکان پیش‌بینی پدیده‌ی گرد و غبار در ایستگاه زابل، به عنوان گردوغباری‌ترین ایستگاه کشور صورت گرفته است. در این راستا ابتدا به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری داده‌های مربوط به فراوانی ماهانه، فصلی و سالانه‌ی روزهای توأم با گرد و غبار ایستگاه زابل با آمار ۴۱ ساله پرداخته شد. از روش تجزیه‌ی روند سری‌های زمانی برای تبیین نوسانات زمانی عنصر مورد مطالعه استفاده شده و طبقه‌بندی ماهانه‌ی روزهای توأم با گرد و غبار با استفاده از روش آماری چند متغیره‌ی تحلیل خوشه‌ای انجام گرفت. پیش‌بینی گرد و غبار با استفاده از روش سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی یا انفیس (ANFIS) با اختصاص ۷۰ درصد داده‌ها به آموزش و ۳۰ درصد آن‌ها به تعیین اعتبار مدل انجام شد. نتایج نشان داد در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه‌ی ماه جولای و آگوست گرد و غباری‌ترین ماه‌های سال می‌باشند. بر اساس تحلیل خوشه‌ای انجام شده، ماه‌های جولای و آگوست با بیشترین روزهای گرد و غباری در یک خوشه‌ی مجزا قرار گرفته‌اند. روند سری ماهانه، فصلی و سالانه‌ی گرد و غبار در این ایستگاه، افزایشی می‌باشد. نتایج پیش‌بینی گرد و غبار با مدل انفیس، نشان از قابلیت بالای آن در پیش‌بینی گرد و غبار در این ایستگاه می‌باشد. ساختار سیستم استنتاج فازی (FIS) تعیین شده با چهار تابع عضویت به شکل قوسی با روش آموزش هیبرید، با اطمینان حدود ۹۳ درصد گرد و غبار ایستگاه زابل را پیش‌بینی می‌کند.

کلیدواژه‌ها: گرد و غبار، بررسی آماری، پیش‌بینی، مدل ANFIS، ایستگاه زابل.

## مقدمه

طیف وسیعی از بلایای طبیعی که محیط زیست را مورد تهاجم خود قرار داده و به سوی ناپایداری سوق می‌دهند، به بلایای ناشی از پدیده‌های افراطی جوی اختصاص دارند. یکی از این پدیده‌ها گرد و غبار می‌باشد. به گفته‌ی سونگ<sup>۱</sup> (به نقل از جمالی‌زاده تاج‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰۵)، طوفان‌های گرد و خاک حوادث طبیعی هستند که در مناطق خشک، نیمه‌خشک و بیابانی دنیا به فراوانی رخ می‌دهند. در زمان‌های مختلف، گردوغبار در ایران یکی از مسائل و پدیده‌هایی بوده است که باعث بروز خسارات و آسیب‌های جانی و مالی شده است. این پدیده در ایران بطور کامل شناسایی نشده و هنوز نواحی مختلف کشور از نظر ویژگی گرد و غباری نیاز به بررسی دارند. منطقه زابل یکی از مناطقی است که از این پدیده متاثر می‌شود. شناخت و پیش‌بینی موفق این رخداد می‌تواند کمک زیادی به بهبود زندگی این مناطق نماید و در مقابله با این بلیه و کاهش خسارات حاصل از آن، کارساز باشد.

پدیده‌ی گرد و غبار، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی جوی از ابعاد مختلفی مورد توجه محققان قرار گرفته است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به مطالعه‌ی طوفان‌های گرد و غبار در کشور ترکمنستان (اروسکی<sup>۲</sup>، ۱۹۶۲: ۹۷-۸۳)، بررسی ویژگی‌ها و ترکیبات اجزای سازنده‌ی طوفان‌های گرد و غبار در شهر ریاده<sup>۳</sup> (از شهرهای کشور عربستان سعودی)، (مودیش<sup>۴</sup>، ۱۹۹۷: ۲۲۳-۲۱۱)، مطالعه‌ی گرد و غبار و تأثیر آن بر آب و هوای کشور چین (وای هانگ و شاونشی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱: ۱۲۲۹-۱۲۱۶) و بررسی ماهیت و اثرات گرد و غباری صحرای آفریقا (گودی و میدلتون<sup>۶</sup>، ۲۰۰۱: ۲۰۴-۱۷۹)، اشاره نمود. همچنین روابط بین

شکل‌گیری طوفان‌های گرد و غبار و تحول سینوپتیک آن‌ها در شمال شرق آسیا بررسی شده و مشخص گردید که در قطاع گرم سیکلون‌ها به علت صعود هوا، شدت گرد و غبار بیشتر از قطاع سرد آنها می‌باشد (وانگ، ۲۰۰۵: ۲۰). بررسی کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی گرد و غبار شمال غرب چین نشان داد که حداکثر اطمینان حاصل از این روش در پیش‌بینی، ۷۱/۶ درصد می‌باشد (هانگ و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۱۶). بررسی بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان نشان داد، منشأ ایجاد این بادهای وجود یک ناحیه‌ی پرفشار در شمال شرقی ایران و دریای خزر، و وجود یک مرکز کم فشار در شرق ایران است و عامل اصلی ایجاد طوفان‌های گرد و غباری منطقه سیستان بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد (حسین‌زاده، ۱۳۷۶: ۱۰۳). همچنین جهت بادهای در طوفان‌های منطقه سیستان، بطور عمده بین ۳۳۹ تا ۳۴۶ درجه می‌باشد که با جهت عمومی بادهای در ایستگاه زابل هماهنگی دارد (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۵). بررسی‌ها نشان داد که منشأ طوفان‌های ماسه‌ای دشت سیستان سه منطقه در محل ورود رودخانه‌ی هیرمند به هامون‌ها می‌باشد (فتیاض، ۱۳۸۴: ۴۱). بر اساس تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران، مهم‌ترین عوامل سینوپتیک تأثیرگذار بر گرد و غبار منطقه، پرفشار آزر همراه با سیستم‌های مهاجر بادهای غربی به شمار می‌روند (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴: ۱۷۳). پیش‌بینی کوتاه‌مدت آلودگی هوا با کمک شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، خط حافظه‌دار تأخیر، گاما و ANFIS<sup>۷</sup> با روش‌های ترکیبی آموزشی مبتنی بر PSO، نشان داد که روش ترکیبی بر اساس PSO و فیلتر کالمن برای آموزش شبکه‌ی ANFIS، توانایی مناسبی در بهبود عملکرد پیش‌بینی داراست (علیاری و همکاران، ۱۳۸۷: ۱).

- 1- Song
- 2- Orlovsky
- 3 - Riyadh
- 4- Modaihsh
- 5- Weihong & Shaoyinshi
- 6 -Goudie & Midelton

نشان داد که تنها استفاده از سری‌های زمانی مشابه سال قبل شاخص خشکسالی SPI در پیش‌بینی خشکسالی‌های ۱۲ ماهه مؤثر است و از بین شاخص‌های اقلیمی مورد بررسی، شاخص Nino4 مناسب‌ترین نتایج را ارائه می‌دهد (حسین پورنیکتام و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۱).

بررسی پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که گرد و غبار و باد ۱۲۰ روزه‌ی منطقه سیستان به کرات مورد مطالعه محققان قرار گرفته است و هر کدام ابعادی از این موضوع را روشن کرده‌اند. با این حال نیاز به بررسی بیشتر این پدیده‌ها در منطقه احساس می‌شود. از این رو در تحقیق حاضر سعی می‌شود ضمن بررسی آماری گرد و غبار در ایستگاه زابل، امکان پیش‌بینی آن ارزیابی شود. مطالعات مختلف حاکی از توان بالای مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی در پیش-بینی‌های مختلف می‌باشد. با توجه به توان بالای مدل مذکور در امر پیش‌بینی و با عنایت به این‌که از این مدل در پیش‌بینی پدیده‌هایی چون گرد و غبار استفاده نشده است، توان این مدل در پیش‌بینی گرد و غبار منطقه مورد مطالعه، ارزیابی می‌شود.

### مواد و روش

در این مطالعه، ابتدا بر اساس داده‌های مجموع سالانه‌ی روزهای همراه با گرد و غبار در ۱۷۷ ایستگاه سینوپتیک سراسر کشور با طول دوره‌ی آماری از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۵، پهنه‌بندی روزهای گرد و غباری ایران صورت گرفت. برای این منظور، در محیط GIS<sup>۱</sup> از روش میان‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله<sup>۲</sup> استفاده شد. به این ترتیب، ویژگی مناطق مختلف کشور از نظر تعداد روزهای گرد و غبار در سال مشخص شد. قسمتی از شرق و جنوب شرق کشور به عنوان گرد و غباری‌ترین منطقه و ایستگاه زابل به نمایندگی از این منطقه با بیشترین روزهای گرد و

با بررسی وقوع طوفان‌های گرد و خاک در منطقه سیستان پس از وقوع خشکسالی‌های تناوبی، جهت باد غالب این منطقه شمال تا شمال‌غربی عنوان شد. همچنین مشخص شد که پس از وقوع خشکسالی شاخص غبارناکی در منطقه‌ی مورد مطالعه، ۵ برابر افزایش نشان می‌دهد (میری و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۲۹).

در برآورد ضریب دبی سرریزهای جانبی با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی در شرایط آزمایشگاهی مشخص شد که اضافه کردن منطق فازی به شبکه‌ی عصبی با تابع عضویت قوسی و روش آموزش هیبرید با سه قانون فازی، می‌تواند خطای تخمین ضریب دبی سرریز جانبی تخت و مایل را کاهش دهد (هنر و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۶۹). با بهره‌گیری از سامانه‌ی استنباط فازی-عصبی تطبیقی می‌توان ۹۰ درصد بارش بهاره‌ی استان خراسان رضوی را بر پایه‌ی الگوهای سینوپتیکی پیوند از دور با دقت قابل قبولی برآورد نمود (فلاح‌قاهری و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۵). نتایج پیش‌بینی وقوع طوفان گرد و خاک و میزان دید حداقل روزانه در شهر زابل با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان داد که روش مورد استفاده، در پیش‌بینی کوتاه‌مدت وقوع طوفان‌ها موفقیت بیشتری نشان می‌دهد (جمالی‌زاده‌تاج‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰۵).

در مطالعه‌ی خشکسالی پاییزه‌ی زاهدان با استفاده از مدل فازی-عصبی پیش‌بینی شد. ورودی‌های این مدل، مقادیر پیشین شاخص خشکسالی SPI، مقدار بارندگی و ۱۹ مورد از شاخص‌های اقلیمی بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده، در تاخیر زمانی صفر، بارندگی و شاخص اقلیمی Nino3، در تاخیر زمانی ۱ ماهه، بارندگی و شاخص خشکسالی SPI و شاخص اقلیمی AMO، در تاخیر زمانی ۲ ماهه، شاخص اقلیمی SOI و در تاخیر زمانی ۳ ماهه، شاخص اقلیمی AMO مناسب‌ترین ورودی‌های مدل برای پیش‌بینی بوده‌اند (ژدردی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۱). پیش‌بینی خشکسالی یک‌ساله‌ی زاهدان با استفاده از مدل فازی-عصبی

لایه‌ی اول، گره‌های ورودی: در این لایه، درجه‌ی عضویت گره‌های ورودی به بازه‌های مختلف فازی با استفاده از تابع عضویت مشخص می‌گردد (رابطه ۱ و ۲).

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad i = 1, 2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$O_i^1 = \mu_{A_{i-2}}(x) \quad i = 3, 4 \quad \text{رابطه (۲)}$$

پارامترهای هر گره، تعیین کننده‌ی شکل تابع عضویت مجموعه‌ی فازی آن گره است. تابع عضویت مجموعه‌های فازی، معمولاً توسط توابع زنگوله‌ای شکل به صورت رابطه ۳ زیر بیان می‌شود:

$$\mu_A = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^{2b_i}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه،  $x$  معرف مقدار ورودی به گره  $i$  و مجموعه‌ی  $S_i = \{a_i, b_i, c_i\}$  پارامترهای تطبیقی نامیده می‌شوند.

لایه‌ی دوم، گره‌های قاعده: هر گره در این لایه، درجه‌ی فعالیت یک قانون را محاسبه می‌کند (رابطه ۴):

$$O_i^2 = W_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y) \quad i = 1, 2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه،  $\mu_{A_i}(x)$  معرف درجه‌ی عضویت  $x$  در مجموعه‌ی  $A_i$  و  $\mu_{B_i}(y)$  معرف درجه‌ی عضویت  $y$  در مجموعه‌ی  $B_i$  است.

لایه‌ی سوم، گره‌های متوسط: در این لایه،  $\lambda$  امین گره، نسبت درجه‌ی فعالیت قانون  $\lambda$ ام به مجموعه‌ی درجه‌ی فعالیت کلیه‌ی قوانین را به صورت زیر نرمال‌سازی می‌کند (رابطه ۵)

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad i = 1, 2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه،  $w_i$  معرف درجه‌ی فعالیت نرمال شده‌ی قانون  $\lambda$ ام می‌باشد.

غباری در طول سال مشخص می‌باشد. از این رو، با توجه به این‌که زابل بیشتر از نواحی دیگر کشور در معرض گرد و غبار بوده است، به بررسی ویژگی‌های آماری گرد و غبار در این منطقه پرداخته می‌شود. طول دوره‌ی آماری مورد استفاده در این پژوهش، ۴۱ ساله (سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ م) می‌باشد. پس از اطمینان از صحت داده‌های مورد استفاده، اقدام به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی روزهای توأم با گرد و غبار گردید. در این پژوهش، علاوه بر آمار تحلیلی، با استفاده از روند خطی و چندجمله‌ای مرتبه‌ی ۶، روند عنصر مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مختلف مشخص شد. گروه‌بندی ماهانه‌ی روزهای توأم با گرد و غبار، با استفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای صورت گرفته است. پس از بررسی ویژگی‌های آماری گرد و غبار، پیش‌بینی این پدیده با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. سیستم فازی، یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی "شرط-نتیجه" است که با استفاده از مفهوم متغیرهای زبانی و روند تصمیم‌گیری فازی، فضای متغیرهای ورودی را بر فضای متغیرهای خروجی تصویر می‌کند. ترکیب سیستم‌های فازی (مبتنی بر قواعد منطقی) و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند)، منجر به ارائه‌ی سیستم استنتاج تطبیقی عصبی شده است. در شکل ۱، سیستم فازی سوگنو با دو ورودی، یک خروجی، دو قانون و سیستم انفیس معادل آن آمده است. این سیستم، دارای دو ورودی  $x$  و  $y$  و یک خروجی  $f$  می‌باشد. اگر خروجی هر لایه به صورت  $O_{i1}$  باشد ( $i$  و  $\lambda$  امین گره از لایه  $j$ )، ساختار انفیس از پنج لایه به شرح زیر تشکیل می‌شود (احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۷۹):

و تست به حداقل برسد. به دست آوردن مقدار این پارامترها معمولاً در دو گام صورت می‌گیرد. در گام اول که تا لایه‌ی چهارم پیش می‌رود و گام رو به جلو نامیده می‌شود، مجموعه پارامترهای  $S_1$  ثابت فرض شده و مجموعه‌ی پارامترهای  $S_2$  با استفاده از الگوریتم حداقل مجذور خطاها (LSE) محاسبه می‌شوند. در گام دوم که گام رو به عقب نامیده می‌شود، مجموعه‌ی پارامترهای  $S_2$  ثابت فرض شده و مجموعه‌ی پارامترهای  $S_1$  با استفاده از الگوریتم شیب کاهشی به دست می‌آیند. انتخاب تابع عضویت بر اساس تست انواع مختلف توابع عضویت صورت می‌گیرد؛ به این معنی که توابع عضویت، هر کدام جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند و مدل انفیس برای هر کدام از این توابع عضویت، به صورت جداگانه آموزش می‌بیند. در پایان، میزان خطای مدل‌های حاصل با هم مقایسه می‌شوند و تابعی که کمترین میزان خطا را در کمترین زمان آموزش حاصل کند، به عنوان تابع عضویت برگزیده خواهد شد.

لایه‌ی چهارم، گره‌های نتیجه: در این لایه، خروجی هر گره برابر است با رابطه شماره‌ی ۶:

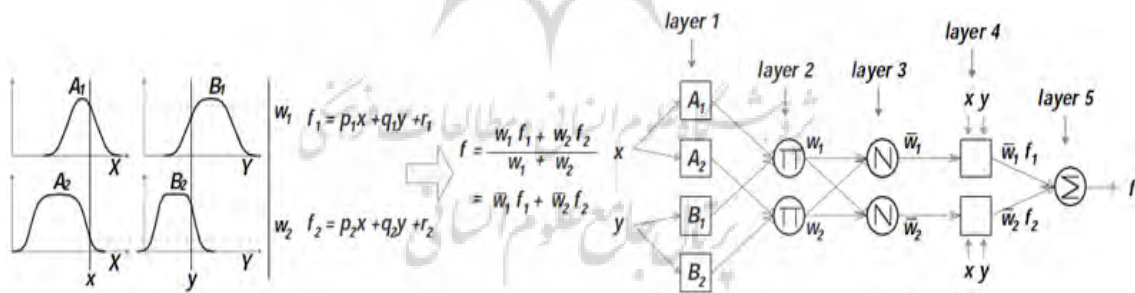
$$O_i^4 = \bar{w}_i \int i = \bar{w}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \quad i = 1, 2 \quad (۶)$$

که در آن، مجموعه‌ی  $S_2 = \{p_i, q_i, r_i\}$  پارامترهای متعاقب نامیده می‌شوند.

لایه‌ی پنجم، گره‌های خروجی: در این لایه، هر گره، مقدار خروجی نهایی را به صورت زیر محاسبه می‌نماید (تعداد گره‌ها برابر تعداد خروجی‌ها است):

$$O_i^5 = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i \int i \quad (۷)$$

به گفته‌ی جانگ (به نقل از احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۸۱)، در مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی، زمانی عمل شبیه‌سازی به درستی انجام می‌شود که مجموعه‌ی پارامترهای تطبیقی  $S_1$  و مجموعه‌ی  $d$  پارامترهای متعاقب  $S_2$  طوری تخمین زده شوند که مقدار تابع خطای مدل در بخش آموزش



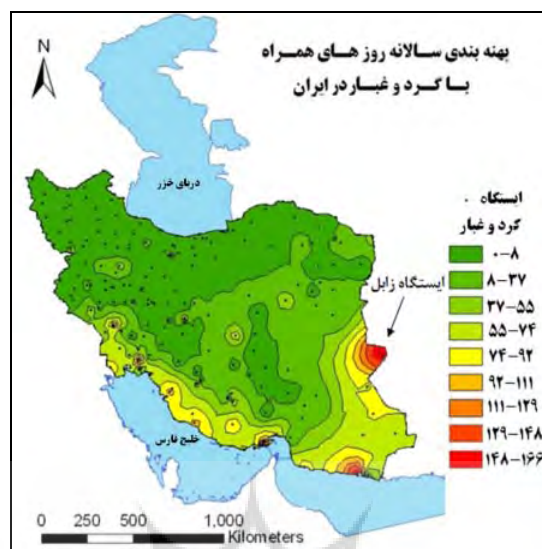
شکل ۱: یک سیستم فازی سوگنو با تابع عضویت فوسی و سیستم ANFIS معادل با آن

مأخذ: Jang, 1993

۱۴۸ تا ۱۶۶ روز از سال دارای گرد و غبار می‌باشد. بنابراین، بر اساس طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه، گرد و غباری‌ترین ایستگاه در ایران شناخته می‌شود. در سواحل شمالی و شمال غرب، مرکز و قسمتی از شرق و غرب کشور، کمتر از ۳۷ روز از سال گرد و غبار دیده می‌شود.

### – یافته‌های آماری پژوهش

نقشه‌ی پهنه‌بندی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایران در شکل ۲ آمده است. قسمت‌های جنوب شرق و جنوب غرب ایران دارای بیشترین روز گرد و غبار در سال می‌باشند. در این قسمت، ایستگاه زابل دارای بیشترین روزهای گرد و غباری در سال بوده و



شکل ۲: نقشه‌ی پهنه‌بندی سالانه‌ی روزهای توأم با گرد و غبار در ایران

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

شاخص‌های گرایش به مرکز و پراکندگی داده‌های زمانی ماهانه، محاسبه و در جدول ۱ درج گردیده مربوط به فراوانی روزهای توأم با گرد و غبار در مقیاس است.

جدول ۱: برخی شاخص‌های گرایش به مرکز و پراکندگی گرد و غبار ماهانه در ایستگاه زابل

دامنه‌ی تغییرات	واریانس	انحراف استاندارد	حداکثر	حداقل	میانگین (روز)	جمع (روز)	ژانویه
۱۱	۹/۵	۳/۰۹	۱۱	۰	۴/۴	۱۸۳	ژانویه
۱۳	۱۲/۲	۳/۵	۱۳	۰	۶/۲	۲۵۸	فوریه
۱۲	۱۲/۳	۳/۵	۱۵	۳	۸/۸	۳۶۲	مارس
۱۹	۱۷/۷	۴/۲	۲۱	۲	۱۱	۴۵۸	آوریل
۲۴	۲۸/۱	۵/۳	۲۶	۲	۱۸/۲	۷۵۰	می
۲۴	۳۸	۶/۱	۳۰	۶	۲۲/۸	۹۳۷	ژوئن
۱۶	۹/۸	۳/۱	۳۱	۱۵	۲۸/۲	۱۱۶۰	جولای
۱۶	۱۹/۸	۴/۴	۳۱	۱۵	۲۶/۸	۱۱۰۱	اگوست
۲۲	۳۰	۵/۵	۳۰	۸	۲۱/۳	۸۷۵	سپتامبر
۲۲	۲۷/۵	۵/۲	۲۴	۲	۱۳/۷	۵۶۵	اکتبر
۱۹	۱۶/۷	۴/۰۹	۱۹	۰	۷/۳	۳۰۲	نوامبر
۱۰	۷/۰۷	۲/۶	۱۰	۰	۴	۱۶۷	دسامبر

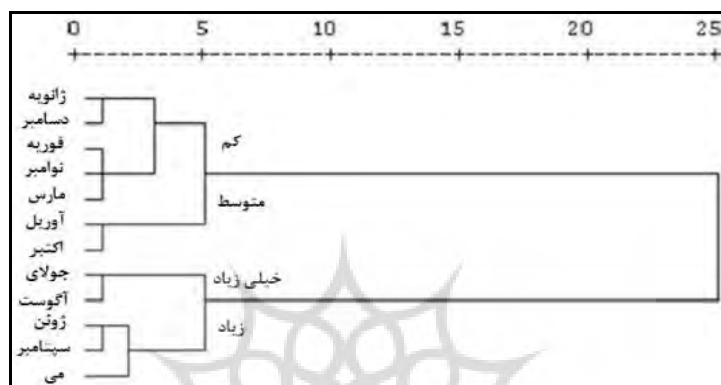
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

آماري بوده است. این اعداد نشان می‌دهند که در طول دوره‌ی آماری ۴۱ ساله، در ماه‌های جولای و اگوست، به ترتیب ۹۱/۲ و ۸۶/۶ درصد روزها گرد و غبار داشته است.

با توجه به جدول شماره‌ی ۱، بیشترین روزهای گرد و غبار به ترتیب در ماه‌های جولای و اگوست اتفاق افتاده است. ماه جولای دارای ۱۱۶۰ روز و ماه اگوست دارای ۱۱۰۱ روز گرد و غباری در طول دوره‌ی

بدین منظور، از روش تحلیل خوشه‌ای ادغام بر اساس روش وارد و معیار فاصله‌ی اقلیدسی استفاده شد. درخت خوشه‌بندی (دندروگرام) حاصل از روش مذکور در شکل ۳ نشان داده شده است.

میانگین ماهانه برای ماه‌های فوق به ترتیب ۲۸/۲ و ۲۶/۸ روز می‌باشند. حداقل روز گرد و غباری ۱۵ روز در ماه و حداکثر آن ۳۱ روز، یا یک ماه کامل بوده است. برای طبقه‌بندی فراوانی ماهانه‌ی وقوع گرد و غبار، اقدام به تحلیل خوشه‌ای گرد و غبار گردید.

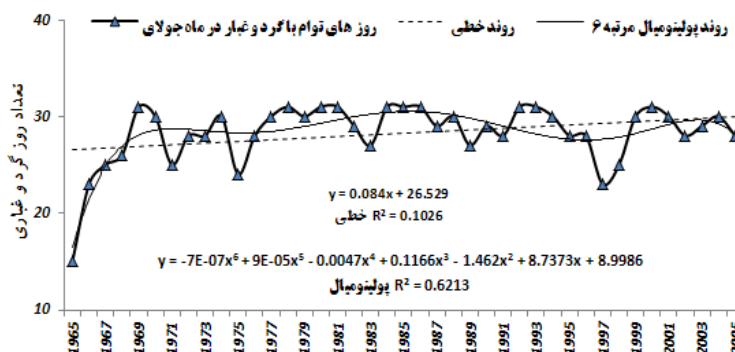


شکل ۳: دندروگرام ماهانه گرد و غبار در ایستگاه سینوپتیک زابل

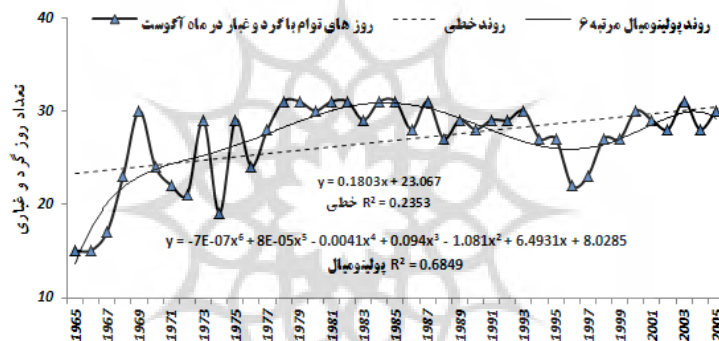
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

غبار هستند (ماه‌های جولای و آگوست) ترسیم شده و معادلات روند خطی و پولی نومیال مرتبه‌ی ۶ سری داده‌ها مشخص شده است (شکل ۴ و ۵). شکل منحنی نوسانی و محل تقاطع منحنی‌های روند خطی و پولی نومیال و اوج و حضیض‌های ایجاد شده نشان می‌دهد که روند مقدار فراوانی مؤلفه‌ی مورد مطالعه در ماه آگوست، نوسانات شدیدتری نسبت به ماه جولای داشته و نیز روند گرد و غبار در هر دو ماه افزایشی می‌باشد.

بر اساس درخت خوشه‌بندی، عضویت هر یک از ماه‌های سال در خوشه‌های مختلف گرد و غباری مشخص شد. در اولین گروه‌بندی، ماه‌های سال را می‌توان در دو خوشه‌ی با روزهای گرد و غباری کم و زیاد قرار داد. در گام بعدی، هر گروه، دوباره به دو گروه دیگر تقسیم می‌شود (شکل ۳). در این نمودار، ماه‌های جولای و آگوست با بیشترین روزهای گرد و غباری در یک گروه مجزا قرار گرفته‌اند. برای شناخت بهتر نوسانات زمانی فراوانی روزهای وقوع گرد و غبار، مدل‌های نوسانی و خطی ماه‌هایی که دارای حداکثر فراوانی وقوع گرد و



شکل ۴: مدل نوسانی و روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای گرد و غباری در ماه جولای  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۵: مدل نوسانی و روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای گرد و غباری در ماه آگوست  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

تجزیه و تحلیل فصلی و سالانه غبار در بازه‌ی زمانی فصلی و سالانه ارائه شده است. در جدول شماره ۲، شاخص‌های آماری وقوع گرد و

جدول ۲: برخی شاخص‌های گرایش به مرکز و پراکندگی گرد و غبار به صورت فصلی

جمع (روز)	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف استاندارد	واریانس	دامنه‌ی تغییرات
۸۰۳	۱۹/۵	۶	۳۵	۷/۰۴	۴۹/۶	۲۹
۲۱۴۵	۵۲/۳	۱۳	۷۱	۱۳/۲	۱۷۴/۹	۵۸
۳۱۳۶	۷۶/۴	۳۸	۹۱	۱۱/۷	۱۳۸/۸	۵۳
۱۰۳۴	۲۵/۲	۴	۴۳	۸/۸	۷۷/۵	۳۹
۷۱۱۸	۱۷۳/۶	۶۱	۲۱۴	۳۳/۲۸	۱/۱	۱۵۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

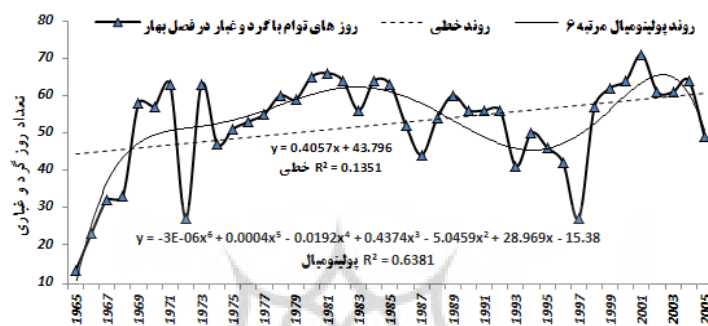
دوره‌ی آماری ۴۱ ساله، به ترتیب ۲۱۴۵ و ۳۱۳۶ روز گرد و غباری بوده است. با توجه به این‌که بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان در این فصول می‌وزند بنابراین به

جدول ۲ نشان می‌دهد که تابستان و بهار دارای بیشترین فراوانی وقوع گرد و غبار هستند. در فصل تابستان و بهار، از مجموع روزهای هر فصل در طول

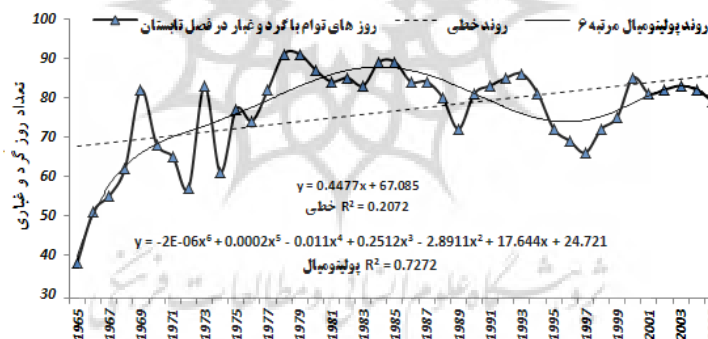


مشاهده شده است. مدل نوسانی و روند تغییرات زمانی فراوانی وقوع گرد و غبار به صورت فصلی و سالانه در شکل ۶ تا ۱۰ ترسیم شده است. بر اساس این اشکال، روند گرد و غبار در مقاطع سالانه و فصلی افزایشی می‌باشند.

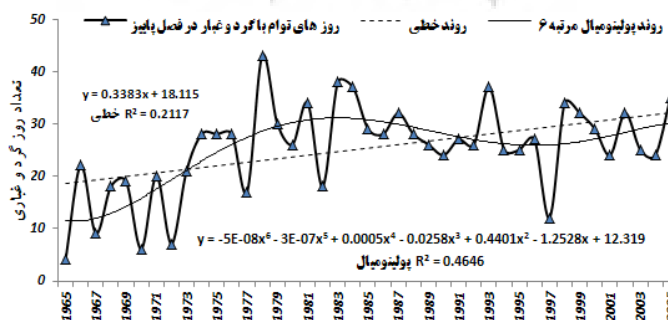
احتمال زیاد، علت افزایش گرد و غبار در فصل بهار و تابستان متأثر از این باد باشد. دامنه‌ی تغییرات روزهای گرد و غباری در فصل بهار بیشتر از تابستان و فصل‌های دیگر می‌باشد. در بررسی سالانه، از مجموع روزهای مورد بررسی در طول ۴۱ سال، ۷۱۱۸ روز گرد و غبار



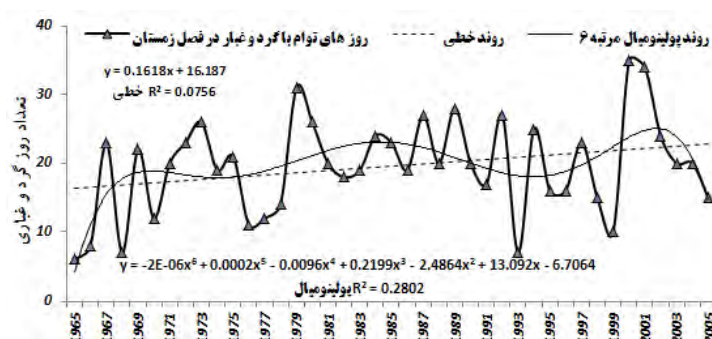
شکل ۶: مدل نوسانی و روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای گرد و غباری در فصل بهار  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۷: مدل نوسانی و روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای گرد و غباری در فصل تابستان  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

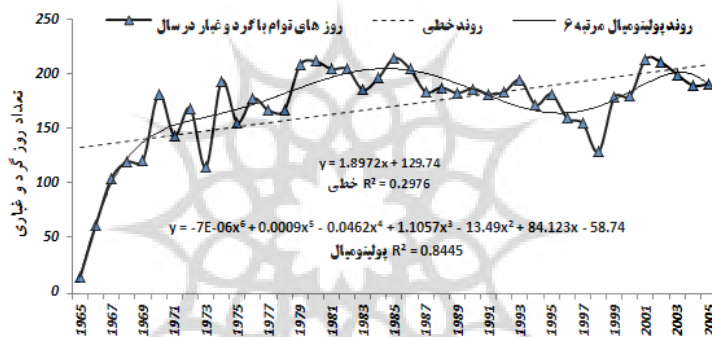


شکل ۸: مدل نوسانی و روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای گرد و غباری در فصل پاییز  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۹: مدل نوسانی و روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای گرد و غباری در فصل زمستان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۱۰: مدل نوسانی و روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای گرد و غباری سالانه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

داده‌های پیشین گرد و غبار می‌باشد. بر این اساس مدل با استخراج پارامترهای مختلف آماری پیشین گرد و غبار، شرایط آتی را پیش‌بینی می‌کند. برای این منظور، ابتدا داده‌های گرد و غبار جهت پیش‌بینی و ورود به مدل تنظیم گردیدند. این داده‌ها به صورت سری زمانی ماهانه به طول ۴۹۲ ماه (۴۱×۱۲=۴۹۲) تنظیم شد. سری‌های زمانی مربوطه در سه ستون ایجاد شده که ستون اول، سال‌های مربوط به سری زمانی، ستون دوم، ماه‌هایی که سری زمانی در آن مشاهده شده و ستون سوم، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار را نشان می‌دهد. در مرحله بعد، داده‌های آموزش و اعتبارسنجی تعیین شدند. گرچه اجماع کلی در مورد چگونگی تقسیم داده‌ها برای آموزش و

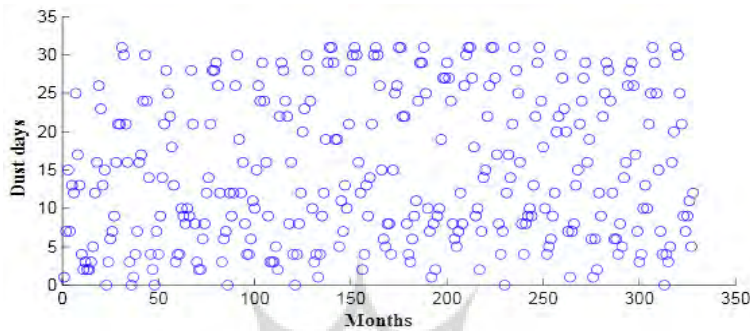
با مقایسه‌ی روند خطی و پویانومیال و محل تلاقی آن‌ها، نوسانات جزئی‌تر گرد و غبار ایستگاه زابل در بازه‌های زمانی فصلی و سالانه معلوم می‌گردد. هر یک از نقاط تلاقی مذکور، نقطه‌ی عطفی در روند تغییرات زمانی روزهای گرد و غباری محسوب می‌شود که فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی عطف متوالی، اوج و حوضیض در روند زمانی وقوع روزهای گرد و غباری را مشخص می‌کند.

#### – پیش‌بینی گرد و غبار

پس از بررسی آماری گرد و غبار در ایستگاه مورد مطالعه، امکان پیش‌بینی آن با مدل انفیسی ارزیابی شد. جهت پیش‌بینی، از مدل انفیسی با الگوریتم یک ورودی و یک خروجی استفاده شده است. ورودی مدل

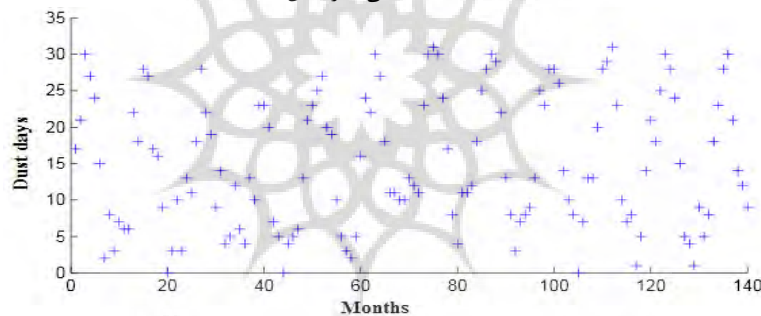
به عنوان داده‌های آموزشی و از ۳۰ درصد آن‌ها به عنوان داده‌های اعتبارسنجی استفاده شد. شکل‌های ۱۱ و ۱۲، به ترتیب، نمودار داده‌های Train و Test را نشان می‌دهند.

اعتبارسنجی الگوهای عصبی وجود ندارد، اما تمامی مطالعات، بخش عمده‌ی داده‌ها (بطور معمول ۷۰٪، ۸۰٪ یا ۹۰٪) را به داده‌های آموزش<sup>۱</sup> و باقیمانده‌ی داده‌ها را به آزمون یا اعتبارسنجی<sup>۲</sup> الگو اختصاص می‌دهند. از این رو، در این مطالعه، از ۷۰ درصد داده‌ها



شکل ۱۱: داده‌های آموزشی تعیین شده گرد و غبار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۱۲: داده‌های اعتبارسنجی تعیین شده گرد و غبار

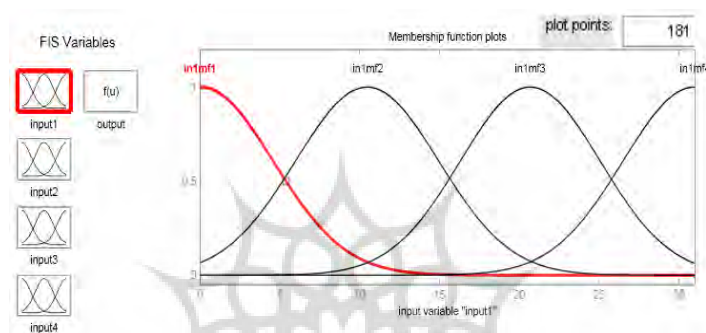
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

مدل و در پی آن، امکان پیش‌بینی دقیق‌تر، بیشتر می‌باشد. پس از تعیین داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی و قبل از شروع رول آموزش سیستم استنتاج فازی، باید ساختار اولیه‌ی FIS<sup>۳</sup> تعیین شود. در کل، برای تعیین این ساختار دو روش گسسته‌سازی شبکه‌ای<sup>۴</sup> و خوشه‌بندی جزئی<sup>۵</sup> وجود دارد. تفاوت عمده‌ی این دو روش، در چگونگی تعیین تابع عضویت فازی است. در روش جداسازی شبکه‌ای، نوع و تعداد تابع عضویت بردار اطلاعات ورودی توسط کاربر تعیین می‌شود و در روش خوشه‌بندی جزئی، نوع تابع عضویت با توجه به خصوصیات بردار اطلاعات ورودی و دسته‌بندی‌های

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲، محور X نمودارها نشان‌دهنده‌ی سری ماهانه‌ی گرد و غبار می‌باشد که در شکل ۱۱ (همچنین در شکل ۱۵)، عدد صفر، معادل اولین ماه داده‌های آموزشی و در شکل ۱۲ (همچنین در شکل ۱۷)، معادل اولین ماه از ماه‌های تعیین شده برای اعتبارسنجی می‌باشند. نحوه‌ی پراکندگی داده‌ها در فضاهای آموزش به‌صورتی می‌باشد که تقریباً داده‌ها در کل فضا پراکنده هستند و در قسمت‌های خاصی متمرکز نمی‌باشند (شکل ۱۱ و ۱۲). در این صورت، داده‌ها جوانب زیادی از فضای مدل‌سازی را نشان خواهند داد و در چنین مواردی، امید به آموزش بهتر

مشخص است تعداد توابع عضویت<sup>۱</sup>، چهار تابع بوده و نوع تابع<sup>۲</sup> به شکل قوسی<sup>۳</sup> انتخاب شد. تعداد توابع و نوع توابع انتخابی بستگی به محقق داشته و با آزمون و خطا تعیین می‌شود. در صورت عدم کسب نتیجه‌ی مطلوب در پیش‌بینی، این موارد قابل تغییر هستند تا به نتیجه مطلوب برسند.

موجود در آن‌ها توسط خود مدل استنتاج فازی - عصبی تطابقی تعیین می‌گردد (کومی و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۹). در این تحقیق، با استفاده از روش گسسته‌سازی شبکه‌ای یا روش پارتیشن‌بندی، نوع و تعداد توابع عضویت ورودی و خروجی مشخص شده و توابع عضویت ساختار سیستم استنتاج فازی انتخاب شده به صورت شکل ۱۳ تعیین شد. همانطور که

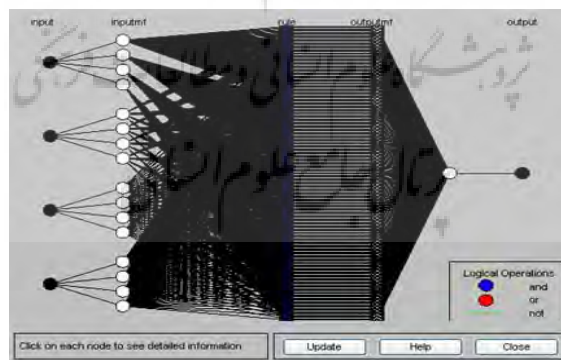


شکل ۱۳: تعداد و شکل توابع عضویت ساختار FIS انتخاب شده

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

در این ساختار قابل مشاهده می‌باشد. از این ساختار برای پیش‌بینی گرد و غبار استفاده شد.

پس از ایجاد FIS، بر اساس تعداد و شکل توابع، ساختار مدل به صورت شکل ۱۴ تعیین شد که ساختار انفیس با لایه‌ی پنج‌گانه که در مطالب قبلی بیان شد،

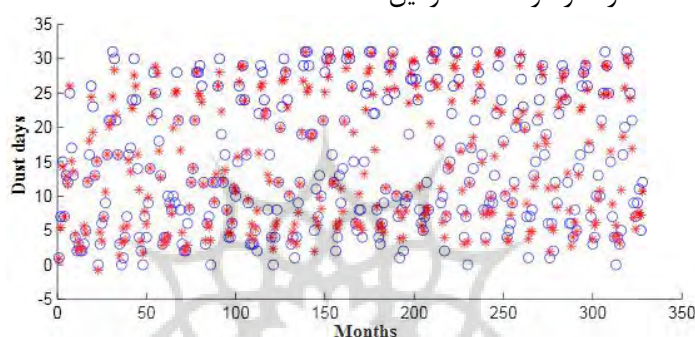


شکل ۱۴: ساختار انفیس بر اساس ساختار اولیه FIS تعیین شده

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

مرحله به بعد، آموزش مدل و پیش‌بینی مؤلفه‌ی مورد نظر، قابل اجراست. طی ساز و کارهای تعیین شده در مراحل قبل، آموزش مدل صورت گرفت که داده‌های مدل‌سازی شده در مقایسه با داده‌های آموزش در شکل ۱۵ مشخص می‌باشد. در این شکل، داده‌های آموزش به شکل دایره و داده‌های مدل‌سازی با علامت ستاره مشخص شده‌اند.

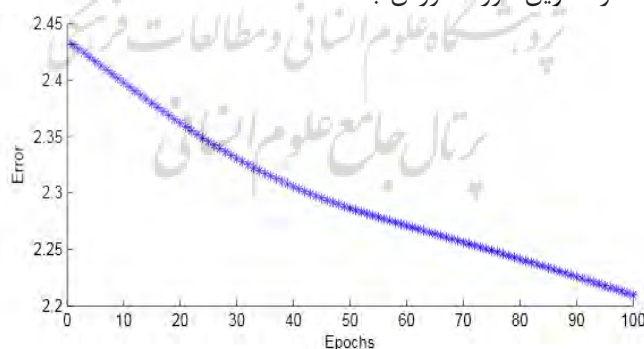
برای آموزش ساختار انفیس از روش هیبرید<sup>۱</sup> استفاده شده است. این روش، از روش‌های بهینه‌سازی برای آموزش پارامترهای تابع عضویت است که ترکیبی از روش حداقل مربعات و روش کاهش شیب پس‌انتشار می‌باشد (کیا، ۱۳۸۹: ۲۵۹). در آموزش سیستم استنتاج فازی، تعداد دوره‌های آموزش<sup>۲</sup> و خطای مطلوب<sup>۳</sup> تعیین می‌شود. در این پژوهش، مقدار خطای مطلوب صفر و تعداد دوره‌های آموزش، ۱۰۰ در نظر گرفته شد. از این



شکل ۱۵: مقایسه داده مدل‌سازی شده و داده آموزشی گرد و غبار در ایستگاه زابل  
مأخذ: مطالعات میدانی نکارندگان، ۱۳۹۱

دست آمده است. میانگین خطای این مدل‌سازی برابر ۲/۳۲ درصد می‌باشد.

شکل ۱۶ میزان خطای آموزشی مدل برای داده‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار خطایی ترسیم شده، کمترین خطا در آخرین دوره آموزش به

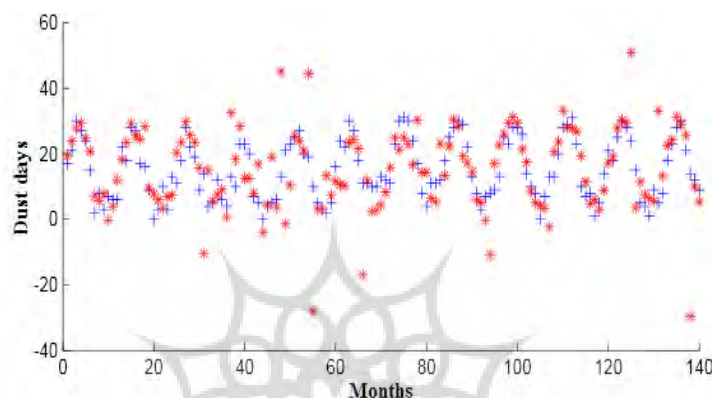


شکل ۱۶: کاهش میزان خطای آموزش مدل با افزایش تعداد تکرار

مأخذ: مطالعات میدانی نکارندگان، ۱۳۹۱

نمودار و مقدار خطای مدل سازی، می توان اعتبار مدل را در پیش بینی تعیین کرد. میانگین خطای پیش بینی به صورت خود کار توسط مدل ارائه می شود. در شکل ۱۷ داده های پیش بینی شده گرد و غبار با داده های اعتبارسنجی مقایسه شده است.

پس از آموزش مدل، عمل اعتبارسنجی پیش بینی صورت گرفت. خروجی مدل به صورت نموداری می باشد که در آن داده های پیش بینی شده توسط مدل با داده های اعتبارسنجی تعیین شده که مقدار واقعی آن در دست است، مقایسه شده اند. با بررسی این



شکل ۱۷: مقایسه داده پیش بینی شده و اعتبارسنجی گرد و غبار در ایستگاه زابل  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

### نتیجه

در این مقاله ابتدا به بررسی آماری گرد و غبار در ایستگاه زابل پرداخته شد و در ادامه امکان پیش بینی آن با مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. مهمترین نتایج حاصل از یافته های مباحث فوق به این شرح می باشد:

- ایستگاه زابل دارای بیشترین روزهای گرد و غباری در ایران می باشد.

- از نظر ماهانه بیشترین میزان گرد و غبار در ایستگاه زابل به ترتیب در ماه های جولای و آگوست رخ می دهد.

- در ایستگاه زابل تابستان و بهار، بیشترین فراوانی وقوع گرد و غبار از نظر فصلی را دارند. با توجه به اینکه بادهای ۱۲۰ روزهی سیستم استنتاج فازی در این فصول می وزند بنابراین به احتمال زیاد، علت افزایش گرد و غبار در فصل بهار و تابستان متأثر از این باد باشد.

در این شکل، داده های اعتبارسنجی با علامت جمع و داده های پیش بینی شده با علامت ستاره مشخص شده است. میانگین خطای پیش بینی برابر ۶/۲ درصد می باشد. طوری که مشخص است مدل سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی از قابلیت بالایی در پیش بینی گرد و غبار در ایستگاه زابل برخوردار می باشد و با اطمینان حدود ۹۳ درصد گرد و غبار را پیش بینی می کند.

همان طوری که در شکل شماره ۱۷ ملاحظه می شود، مدل عمدتاً در پیش بینی ماه هایی با گرد و غبار خیلی کم و خیلی زیاد و همچنین ماه هایی که مقدار آنها بیرون از روند کلی داده ها هستند، دچار خطای بیشتر می باشد. علت این امر از آنجا ناشی می شود که این موارد در دوره ی آموزش مدل کمتر تکرار شده یا اصلاً تکرار نشده است.

بگیرد تا بتوان بر اساس این مطالعات برای برنامه‌ریزی در جهت بهبود شرایط این منطقه گام‌های مثبت و سازنده‌ای برداشت.

### منابع

- احمدزاده، کاوه؛ سیدمحمد میرلطیفی؛ کورش محمدی (۱۳۸۹). مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی ANFIS و ANN در تخمین میزان تبخیر- تعرق گیاه مرجع در مناطق بسیار خشک ایران، شماره ۴. نشریه آب و خاک. دانشگاه فردوسی مشهد. صص ۶۸۹-۶۷۹.
- اژدری‌مقدم، مهدی؛ محمود خسروی؛ حسین حسین‌پور نیک‌نام؛ احسان جعفری‌ندوشن (۱۳۹۱). پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل فازی- عصبی، شاخص‌های اقلیمی، بارندگی و شاخص خشکسالی (مطالعه موردی: زاهدان)، شماره ۲۶. مجله جغرافیا و توسعه. دانشگاه سیستان و بلوچستان. صص ۶۱-۷۲.
- ایرانمنش، فاضل؛ محمود عرب‌خدری؛ مجتبی اکرم (۱۳۸۴). بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آنها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، شماره ۶۷. مجله پژوهش و سازندگی. وزارت جهاد کشاورزی. صص ۳۳-۲۵.
- حسین‌زاده، سیدرضا (۱۳۷۶). بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، شماره ۴۶. مجله تحقیقات جغرافیایی. دانشگاه اصفهان. صص ۱۲۷-۱۰۳.
- حسین‌پور نیک‌نام، حسین؛ مهدی اژدری‌مقدم؛ محمود خسروی (۱۳۹۱). پیش‌بینی خشکسالی یک‌ساله با استفاده از مدل فازی- عصبی، سری‌های زمانی خشکسالی و شاخص‌های اقلیمی (مطالعه موردی: زاهدان)، شماره ۸۲. فصلنامه آب و فاضلاب. مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب. صص ۵۱-۴۲.
- جمالی‌زاده تاج‌آبادی، محمدرضا؛ علیرضا مقدم‌نیا؛ جمشید پیری؛ محمدرضا اختصاصی (۱۳۸۹). پیش‌بینی وقوع طوفان گردو خاک با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: زابل)، شماره ۲. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. صص ۲۲۰-۲۰۵.

- روند تغییرات زمانی فراوانی وقوع گرد و غبار از نظر ماهانه، فصلی و سالانه، افزایشی می‌باشد.
- مدل ANFIS از قابلیت بالایی در پیش‌بینی گرد و غبار در ایستگاه زابل برخوردار می‌باشد و با اطمینان حدود ۹۳ درصد گرد و غبار را پیش‌بینی می‌کند. این نتیجه نشان می‌دهد، ساختار تعیین شده برای مدل با چهار تابع عضویت به شکل قوسی و روش آموزش هیبرید، ساختار و روش آموزش مناسبی جهت پیش‌بینی گرد و غبار در ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد. اختصاص ۹۰ درصد داده‌ها به آموزش و ۱۰ درصد آنها به تعیین اعتبار مدل و استفاده از سه تابع عضویت قوسی شکل و روش آموزش هیبرید، در پیش‌بینی گرد و غبار توفیق چندانی نداشت. در این پیش‌بینی هر چند ۷۰ درصد داده‌ها به آموزش مدل اختصاص یافت، اما استفاده از چهار تابع عضویت کارایی مدل را بسیار افزایش داد. این مطلب نشان می‌دهد که تعداد تابع عضویت نقش مهمی در کارایی مدل در امر پیش‌بینی دارد. البته باید خاطر نشان کرد، چون کار پردازش داده‌ها و انجام مراحل پیش‌بینی در مدل پروسه سنگینی می‌باشد، افزایش تعداد تابع عضویت این پروسه را بسیار سنگین‌تر می‌کند. در کل نتایج حاصل از بررسی‌های آماری صورت گرفته، نشان از فاجعه بار بودن ابعاد شرایط گرد و غباری منطقه زابل می‌باشد. بر اساس مطالعه حاضر، در منطقه زابل حدود نیمی از روزهای سال گرد و غباری می‌باشد که یک شرایط حاد را نشان می‌دهد. بنابراین در ادامه تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود در این منطقه مطالعات جامع و گسترده‌تری در رابطه با شناسایی منشاء گرد و غبار، اثرات و خسارات جانی و مالی حاصل از گرد و غبارهای رخ داده، امکان کاهش گرد و غبارها و بررسی امکان پیش‌بینی آن با روش‌های مطروحه دیگر، جهت انتخاب یک روش پیش‌بینی مناسب و بهتر صورت

- ذوالفقاری، حسن؛ حیدر عابدزاده (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران، شماره ۶. مجله جغرافیا و توسعه. دانشگاه سیستان و بلوچستان. صص ۱۸۸-۱۷۳.
- علیاری، مهدی؛ محمد تشنه‌لب؛ علی خاکی صدق (۱۳۸۷). پیش‌بینی کوتاه‌مدت آلودگی هوا با کمک شبکه‌های عصبی، خط حافظه‌دار تاخیر، گاما و ANFIS با روش‌های ترکیبی آموزشی مبتنی بر PSO. شماره ۱. مجله کنترل. دانشگاه برق صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. صص ۱۹-۱.
- Goudie, A, Midelton, J (2001). Saharan dust storms: nature and consequences, Earth science review, Vol 56, PP.179-204.
- Huang, M, Peng, G, Zhang, J, and Zhang, S (2006). Application of artificial neural networks to the prediction of dust storms in Northwest China, Journal of Global and Planetary Change 52, PP.216-224.
- Jang, S (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, Vol 23, PP.665-685.
- Modaihsh,A(1997).Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh City, Saudi Arabia, J Arid Environ 36: PP.211-223.
- Orlovsky L, (1962). Dust storm in Turkmenistan, Jorنال of Arid Environments, PP.42, 83-97.
- Wang, W (2005). A synoptic model on east Asian dust emission and transport, Atmospheric science and air quality conferences, Beijing, PP.20-25.
- Weihong, Q, and Shaoyinshi, D (2001). Variations of the dust storm in China and its climatic control, Journal of climate, Vol 15, PP. 1216-1229.
- فلاح‌قاهری، غلام‌عباس؛ مجید حبیبی نوخندان؛ جواد خوشحال (۱۳۸۹). پیش‌بینی بارش بهاره استان خراسان رضوی بر پایه الگوهای سینوپتیکی پیوند از دور با بهره‌گیری از سامانه استنباط فازی-عصبی تطبیقی ANFIS، شماره ۱. نشریه مرتع و آبخیزداری. مجله منابع طبیعی ایران. دانشکده منابع طبیعی. صص ۷۴-۵۵.
- فیاض، محمد (۱۳۸۴). بررسی منشأ طوفان‌های ماسه‌ای دشت سیستان با استفاده از اطلاعات دورسنجی، شماره ۱۸. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. صص ۶۲-۴۱.
- کوهی، عذرا؛ حوریه سلیمان‌جاهی؛ شهاب فلاحی؛ حسین ریاحی؛ زهرا مشکات (۱۳۸۹). استفاده از سیستم جدید هوشمند استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) پیش‌بینی قدرت سرطان زایی ویروس پاپیلوما‌ی انسانی، شماره ۴. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک. صص ۱۰۵-۹۵.
- کیا، سیدمصطفی (۱۳۸۹). منطق فازی در MATLAB، چاپ اول. نشر کیان رایانه سبز.
- میری، عباس؛ احمد پهلوانروی؛ علیرضا مقدم‌نیا (۱۳۸۸). بررسی وقوع طوفان‌های گرد و خاک در منطقه سیستان پس از وقوع خشکسالی‌های تناوبی، شماره ۱۶. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. صص ۳۴۲-۳۲۹.
- هنر، تورج؛ محمدحسن طرازکار؛ محمدرضا طرازکار (۱۳۸۹). برآورد ضریب دبی سرریزهای جانبی با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS)، شماره ۲. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. صص ۱۷۶-۱۶۹.