مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
ص ۲۷۱-۲۵۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۳
تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۸/۲۳

تأثیر فاز گرم پدیده ENSO بر شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار در استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان

❖ **محمد انصاری قوجقار؛** دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **مسعود پورغلام آمیجی*؛** دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **شهاب عراقی‌نژاد؛** دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **ایمان بابائیان؛** استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، مشهد، ایران.

❖ **عبدالمجید لیاقت؛** استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **علی سلاجقه؛** استاد دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

با توجه به پیامدهای زیست‌محیطی و خسارت‌های اقتصادی طوفان‌های گردوغبار، بررسی و تحلیل این پدیده هواشناسی از اهمیت بسزایی برخوردار است. تحقیقات بسیاری اثر سیگنال‌های اقلیمی بر شدت، مدت و زمان وقوع پدیده‌های هیدرولوژیکی را نشان داده‌اند اما رابطه بین پدیده ENSO و طوفان‌های گردوغبار، حلقه مفقوده این مطالعات بوده است. واضح و مبرهن است که پدیده ENSO بر رژیم هیدرولوژیکی و اقلیمی نقاط مختلف کره زمین مؤثر می باشد اما اینکه شدت این تأثیر در نقاط مختلف به چه اندازه است، هنوز پاسخی به آن داده نشده و لذا این تحقیق در جهت پاسخ به این سوال مهم انجام شده است. در این پژوهش با استفاده از شاخص نینوی اقیانوسی (ONI)، تأثیر فاز مثبت النینو-نوسانات جنوبی اقیانوس آرام (ENSO) بر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSD) در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در دو استان خوزستان و سیستان و بلوچستان در بازه زمانی ۴۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۸۰) بررسی شده است. بدین منظور از داده‌های ساعتی گردوغبار، کدهای سازمان جهانی هواشناسی، سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) و تغییرات زمانی شاخص FDSD در دو فاز خنثی و وقوع النینو استفاده شد. نتایج برآورد مدل ANFIS و مقادیر مشاهداتی شاخص FDSD نشان داد که در زمان وقوع النینو در استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان به ترتیب در ۳۳ و ۱۷ واقعه، مقادیر مشاهداتی متغیر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار کمتر از مقادیر برآوردشده آن به ثبت رسیده است. همچنین نتایج نشان داد که فاز مثبت ONI، بر طوفان‌های گردوغبار استان خوزستان نسبت به استان سیستان و بلوچستان تأثیرگذارتر است. از این رو، در زمان وقوع فاز گرم ENSO باید اقدامات بیشتری را در زمینه کنترل و مدیریت طوفان‌های گردوغبار و اثرات مخرب آن در مناطقی که منشا طوفان گردوغبار آن به صورت خارجی است، اتخاذ نمود.

کلید واژگان: شاخص ONI، شاخص FDSD، گردوغبار، ANFIS، انسو.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۳۹۰۲۳۶۴۲۳۳
Email: mpourgholam6@ut.ac.ir

۱. مقدمه

هوای پاک و عاری از آلودگی یکی از حیاتی‌ترین نیازهای انسان است و گردوغبار یکی از منابع آلوده‌کننده آن به شمار می‌رود [۳]. ذرات ریز گردوغبار تحت تأثیر عوامل گوناگونی از جمله شرایط جوی (باد، بارش و دما)، مشخصات سطح زمین (توپوگرافی، رطوبت سطح، طول زبری و پوشش گیاهی) و ویژگی‌های خاک (بافت، تراکم، ترکیب و کاربری اراضی) وارد جو می‌شوند [۲۰]. به دلیل تلفات سنگین مالی و انسانی ناشی از طوفان‌های گردوغبار، تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های مختلف آن‌ها پیوسته مورد توجه پژوهشگران بوده است. بنابراین درک صحیح از فرایندهای دخیل در زمان وقوع، بزرگی و تداوم طوفان‌های گردوغبار برای مدیریت و کنترل این پدیده از اهمیت بسزایی برخوردار است. در سال‌های اخیر، تأثیر پدیده‌های اقلیمی بر وقوع طوفان‌های گردوغبار بیش از پیش مورد توجه واقع شده است [۶، ۸ و ۳۵] که در این پژوهش اثر یکی از همین پدیده‌های مهم اقلیمی بر وقوع و تشکیل طوفان‌های گردوغبار در نواحی بحرانی و مستعد این پدیده مورد بررسی قرار گرفته است.

پدیده‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی ممکن است رژیم وقوع متغیرهای هیدرولوژیکی را از طریق تغییرات الگوهای انتقال رطوبت جوی در دوره‌های خشکی و ترسالی و به دنبال آن تغییر ویژگی‌های احتمالی این متغیرها در یک سال معین و در یک مکان مشخص را تحت تأثیر قرار دهند [۱۸]. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به پدیده النینو-نوسانات جنوبی (انسو[1]) اشاره کرد که وقوع آن سبب بروز ناهنجاری‌های اقلیمی در بسیاری از نقاط کره زمین می‌شود [۱۵]. از دیدگاه علمی، گرم شدن بیش از معمول آب‌های شرقی و مرکزی اقیانوس آرام که از دوام و پایداری کافی زمانی برخوردار باشد، النینو گویند. لانینا، عکس وضعیت النینو را نشان می‌دهد و به شرایطی گفته می‌شود که در آن دمای سطح آب در نواحی شرقی اقیانوس آرام خیلی کمتر از حد معمول و فشار هوا نیز به میزان زیادی بیشتر از میانگین درازمدت شود [۵، ۱۰ و ۲۸].

پدیده النینو-نوسان جنوبی مهمترین برهم‌کنش شناخته‌شده و پیچیده اقیانوس-جو در قسمت استوایی اقیانوس آرام است که بخش اقیانوسی آن النینو و بخش جوی آن نوسان جنوبی می‌باشد [۱۲]. تغییرات الگوی وقوع پدیده ENSO یا النینو-نوسانات جنوبی، از مهمترین عوامل تغییردهنده اقلیمی در مقیاس جهانی است که باعث به وجود آمدن تغییرات درازمدت و معنی‌داری در وضعیت بارندگی و دمای کره زمین شده است [۱۱ و ۱۴]. در لحظه وقوع النینو، دمای سطحی آب در اقیانوس آرام گرم‌تر از حالت نرمال بوده اما در هنگام وقوع لانینا، دمای سطحی آب سردتر از شرایط عادی می‌باشد. در یک تعریف کلی باید گفت که فاز گرم پدیده ENSO را النینو و فاز سرد آن را لانینا می‌نامند [۱۵].

در شرایط حاضر پدیده ENSO (النینو نوسانات جنوبی) به عنوان مهمترین شاخص روی زمین که می‌تواند تغییرات سال به سال خشکی و بارندگی و دیگر پارامترهای مهم اقلیمی را توجیه نماید، توسط پژوهشگران مختلفی از جمله [۱۱]، [۱۴]، [۱۳]، [۲۲] و [۳۳] گزارش است. تأثیر پدیده ENSO بر عوامل مختلف محیطی و انسانی به طور گسترده‌ای در سطح جهان صورت پذیرفته که می‌توان به گردباد و تگرگ [۵]، رسوب تجمعی رودخانه [۱]، سلامت انسان [۲۱]، بازده محصولات کشاورزی [۳۰]، تغییرات بارش [۲۰] و تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی [۲۷] اشاره کرد.

در مطالعه دیگری نتیجه گرفته شد که طولانی شدن فاز لانینا و نیز آب‌های گرم غیرمعمول در غرب اقیانوس آرام، باعث خشک‌سالی بی‌سابقه در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ در مرکز و جنوب غرب آسیا (شامل ایران) بوده است [۹]. در تحقیق دیگری دریافتند که در مناطق جنوب اروپا، شمال آفریقا و خاورمیانه، افزایش (کاهش) بارش، عموماً با فاز گرم (سرد) ENSO همراه است و در

[1] El Nino Southern Oscillation, ENSO

پاییز قبل از تکمیل فاز ENSO رخ می‌دهد [۲۳]. همچنین در پژوهشی بیان شد که اساساً پدیده النینو، شدت و احتمال وقوع خشک‌سالی (ترسالی) پاییزی را مخصوصاً در مناطق جنوبی ایران کاهش (افزایش) می‌دهد و شرایط در حالت لانینا برعکس است؛ به طوری که لانینای شدید، احتمال وقوع خشک‌سالی شدید پاییزی را افزایش می‌دهد. همچنین در حالت النینو، بارش در اکثر مناطق کشور بیشتر از حد خشک‌سالی است؛ به جز در شمال غرب و جنوب شرق ایران که احتمال وقوع خشک‌سالی زمستانی بالا است. همچنین در حالت لانینا احتمال و شدت وقوع خشک‌سالی در غرب و شمال غرب ایران کم است [۲۷ و ۲۸].

ویژگی‌های مهم پدیده ENSO و تأثیر آن بر بارندگی پاییزه و زمستانه بسیاری از نقاط ایران بررسی شده است [۲، ۴، ۲۶، ۲۸، ۳۲، ۳۴ و ۳۶]. نتیجه کلی این بررسی‌ها گویای آن است که وقوع پدیده النینو (یا لانینا) موجب افزایش (یا کاهش) بارش پاییزه در بسیاری از نقاط کشور می‌شود. افزون بر این، مشخص شده است که تأثیر این پدیده در فصل زمستان عموماً ضعیف‌تر از پاییز بوده و در موارد زیادی بر خلاف پاییز، وقوع النینو (یا لانینا) موجب کاهش (یا افزایش) بارندگی می‌شود. در همین رابطه، در مطالعه‌ای به بررسی میزان ارتباط تغییر اقلیم با پدیده ENSO و ارتباط آن با نوسانات بارندگی و دما در استان خراسان پرداخته شد. بدین منظور از رابطه همبستگی سالانه و فصلی شاخص نوسانات جنوبی (SOI[1]) استفاده کردند. نتایج نشان داد که میانگین ضرایب همبستگی پارامترهای بارندگی و دما با مقادیر SOI به طور سالانه و فصلی منفی است و این پارامترها نسبت به پدیده ENSO واکنش معنی‌داری نشان می‌دهند. با توجه به افزایش بارندگی و دمای مناطق مختلف استان (به طور فصلی و سالانه) در زمان فعالیت فاز منفی ENSO (شرایط النینو)، تغییرات بارش و دمای استان در این شرایط را می‌توان به دگرگونی الگوی وقوع پدیده ENSO در اثر تغییرات اقلیمی در سطح جهان مرتبط دانست [۲۴].

در پژوهشی تأثیر پدیده ENSO بر تغییرات دمای ماهانه و فصلی نیمه جنوبی کشور مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های دمای دوره ۵۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۵۱) در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک، داده‌های شاخص نوسانات جنوبی (SOI) و شاخص انتقالی ENSO (TNI) استفاده شد. نتایج نشان داد که تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار دمای هوا با شاخص TNI، به مراتب بیشتر از شاخص SOI بود. همچنین در دو مقیاس زمانی، بیشترین همبستگی معنی‌دار از نوع منفی بود که بیانگر کاهش دمای هوا با افزایش مقادیر شاخص‌های ENSO است. در مقیاس فصلی نیز دامنه همبستگی SOI و TNI به ترتیب ۰/۳۶۵- در فصل بهار تا ۰/۴۵۹ در فصل پاییز و ۰/۵۳۰- تا ۰/۳۸۴ در فصل تابستان متغیر بود [۳۷]. همچنین نقش پدیده‌های جوی-اقیانوسی ENSO در وقوع خشک‌سالی‌های کشور بر اساس اطلاعات ۳۰ ایستگاه همدید در یک بازه زمانی بلندمدت از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه تعداد وقوع خشک‌سالی در فازهای گرم (النینو) و سرد (لانینا) ENSO نشان داد که تعداد وقوع خشک‌سالی در فاز لانینا بیش از النینو بود که مؤید آن است که وقوع فاز النینو منجر به کاهش خشک‌سالی کشور شده است [۱۷]. در تحقیق دیگری نیز با استفاده از شاخص نینوی اقیانوسی (ONI)، تأثیر فاز مثبت النینو نوسانات جنوبی اقیانوس آرام بر وقوع سیلاب‌ها در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو به‌عنوان اقلیم مرطوب و مدیترانه‌ای و همچنین حوضه طشک-بختگان-مهارلو به‌عنوان اقلیم خشک و نیمه‌خشک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج توزیع گامبل و دبی حداکثر لحظه‌ای، تأثیر النینو را با تعداد ۲۳ واقعه در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو و ۸ واقعه در حوضه طشک-بختگان-مهارلو نشان داد. همچنین بر اساس نتایج، فاز مثبت ONI بر سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای حوضه گرگان‌رود-قره‌سو نسبت به حوضه طشک-بختگان-مهارلو تأثیرگذارتر بود [۲].

[1] Southern Oscillation Index

در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط تأثیر پدیده ENSO بر خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها در استان‌های ساحلی جنوب ایران پرداخته شد. هدف از این تحقیق بررسی ارتباط بارش در فصول مرطوب سال (شش‌ماهه سرد سال) با پدیده النینو نوسانات جنوبی (ENSO) در حوضه خلیج‌فارس و دریای عمان بود. نتایج نشان داد که ترسالی‌ها در فاز گرم و خشک‌سالی‌ها با فاز سرد به وقوع پیوستند [۳۴]. تأثیر النینو بر افزایش ریسک سیلاب در پایین‌دست رودخانه می‌سی‌سی‌پی[1] مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از خروجی‌های مدل سیستم جامعه زمین (CESM[2]) استفاده شده و آسیب‌پذیری بالای قسمت پایین‌دست رودخانه مذکور در برابر سیل همراه با وقوع فاز گرم ENSO مورد ارزیابی قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که با وقوع این پدیده، بارش در قسمت پایین‌دست رودخانه افزایش یافته و به تبع آن موجب افزایش رطوبت و در نهایت موجب افزایش سیلاب در پایین‌دست رودخانه می‌سی‌سی‌پی شده است [۲۵].

در رابطه با طوفان‌های گردوغبار، در پژوهشی به پیش‌بینی فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در مقیاس زمانی فصلی در شش ایستگاه همدید زابل، آبادان، اهواز، زاهدان، بستان و مسجدسلیمان پرداخته شد. بدین منظور از چهار روش هوش مصنوعی شامل شبکه عصبی پرسپترونی چندلایه (MLP[3])، سیستم استنباط عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS[4])، شبکه عصبی مبتنی بر توابع پایه شعاعی (RBF[5]) و شبکه عصبی رگرسیون تعمیم‌یافته (GRNN[6]) استفاده شد. در مجموع با مقایسه نتیجه مدل‌های مورد استفاده، ANFIS بهترین عملکرد و بعد از آن GRNN بهترین نتیجه را ارائه نمود [۶].

بر اساس بررسی منابع موجود، می‌توان بیان کرد که پدیده ENSO بر رژیم هیدرولوژیکی و اقلیمی نقاط مختلف کره زمین مؤثر است. شدت این تأثیر در نقاط مختلف، متفاوت گزارش شده است. در پژوهش حاضر با استفاده از شاخص نینوی اقیانوسی (ONI)، تأثیر فاز مثبت النینو-نوسانات جنوبی اقیانوس آرام بر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSD[7]) در دو استان خوزستان و سیستان و بلوچستان با اعتبارسنجی داده‌های سری زمانی، مقایسه تغییرات داده‌ها با شاخص ONI، تحلیل و بررسی شاخص FDSD با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) و بررسی تغییرات زمانی بین زمان وقوع النینو و حالت خنثی بررسی شده است. قابل ذکر است چنین مطالعه‌ای در مورد رابطه بین پدیده ENSO و فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در ایران صورت نگرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

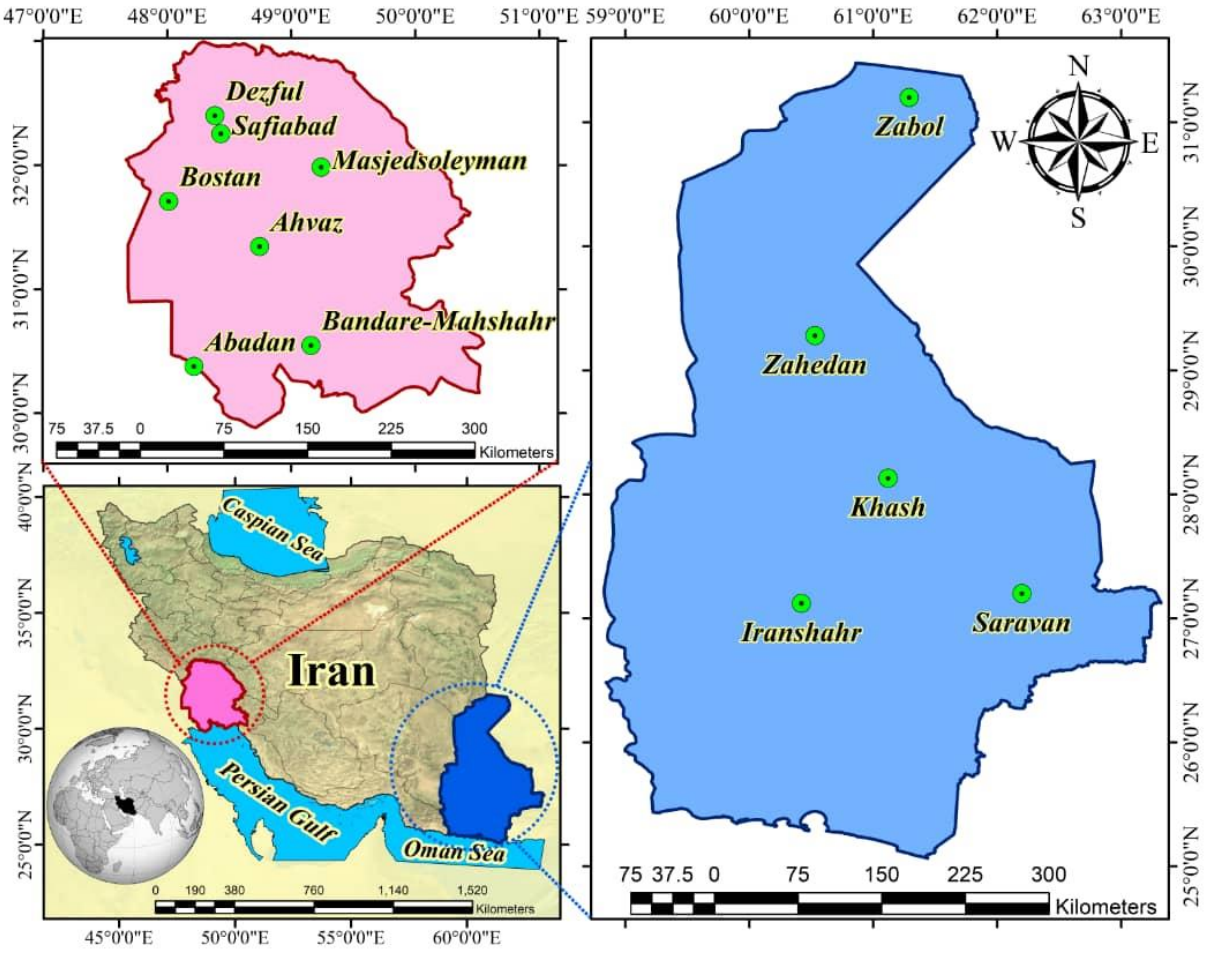
۱.۲. منطقه مورد مطالعه

بعد از انتخاب ایستگاه‌ها و بررسی داده‌ها در بازه زمانی ۴۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۸۰)، تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSD) به ترتیب برای هفت و پنج ایستگاه هواشناسی استان خوزستان و سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های دید افقی و کدهای سازمان جهانی هواشناسی محاسبه شد. ایستگاه‌های هواشناسی، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و متوسط شاخص FDSD در مقیاس سالانه در جدول (۱) نشان داده شده است. ضمن اینکه شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان را نشان می‌دهد.

[1] Mississippi River
[2] Community Earth System Model
[3] Multi-Layer Perceptron
[4] Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
[5] Radial Basis Function
[6] Generalized Regression Neural Network
[7] Frequency of Dust Stormy Days

جدول ۱. فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۰۱۹-۱۹۸۰)

استان	ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین سالانه FDSD (روز)
خوزستان	آبادان	۳۰/۳۸	۴۸/۲۱	۶/۶	۱۶/۹۶
	اهواز	۳۱/۳۴	۴۸/۷۴	۲۲/۵	۱۳/۷۶
	بستان	۳۱/۷۱	۴۸/۰۱	۷/۸	۱۲/۱۶
	بندر ماهشهر	۳۰/۵۵	۴۹/۱۶	۶/۲	۱۱/۵۶
	مسجدسلیمان	۳۱/۹۸	۴۹/۲۴	۳۲۰/۵	۱۱/۴۸
	صفی آباد	۳۲/۲۵	۴۸/۴۳	۸۲/۹	۹/۷۲
	دزفول	۳۲/۴۰	۴۸/۳۸	۱۴۳	۷/۵۲
سیستان و بلوچستان	زابل	۳۱/۲۰	۶۱/۲۹	۴۸۹/۲	۲۷/۶۰
	زاهدان	۲۹/۲۸	۶۰/۵۳	۱۳۷۰	۱۵/۸۰
	ایرانشهر	۲۷/۱۲	۶۰/۴۲	۵۹۱/۱	۸/۴۴
	خاش	۲۸/۱۳	۶۱/۱۲	۱۳۹۴	۷/۴۴
	سراوان	۲۷/۲۰	۶۲/۲۰	۱۱۹۵	۵/۱۶



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و معرفی ایستگاه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر

۲.۲. اطلاعات جمع‌آوری‌شده

در این پژوهش به بررسی مقایسه فاز گرم ENSO بر شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار در هفت ایستگاه هواشناسی خوزستان (شامل آبادان، اهواز، بستان، بندر ماهشهر، مسجدسلیمان، صفی آباد و دزفول) و پنج ایستگاه هواشناسی استان سیستان و بلوچستان (شامل زابل، زاهدان، ایرانشهر، خاش و سراوان) که طبق نتیجه مطالعه [۸]، بیشترین فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار در کشور را شامل می‌شوند با جامعه آماری بلندمدت ۴۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۸۰) پرداخته شد. بدین منظور از داده‌های ساعتی قدرت دید افقی، کدهای سازمان جهانی هواشناسی (WMO[1]) و داده‌های شاخص ONI استفاده شد. مشاهدات پدیده‌های هواشناسی به فاصله سه ساعت یک‌بار و در مجموع هشت بار در شبانه‌روز ثبت می‌شود. در این مشاهدات، پدیده‌های بصری آب و هوا بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی در ۱۰۰ کد (۹۹-۰۰) تعریف شده که از این ۱۰۰ کد به‌طورکلی به‌منظور ثبت و گزارش پدیده گردوغبار در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی از ۱۱ کد استفاده می‌شود [۲۹]. کدهای مربوط به طوفان‌های گردوغبار در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به اینکه داده‌های گردوغبار به‌صورت تفکیک نشده از سایر پدیده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی در اختیار قرار می‌گیرد، بنابراین در وهلهٔ اول کدهای مربوط به گردوغبار از سایر پدیده‌های اقلیمی در ساعات مختلف همدیدی جدا شد. بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار به روزی گفته می‌شود که حداقل در یکی از هشت سینوپ (گزارش‌های سه‌ساعته دیده‌بانی)، یکی از کدهای مربوط به گردوغبار (۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در بخش هوای حاضر گزارش شده باشد. البته به شرط اینکه داده‌های قدرت دید افقی متناظر با آن کد گردوغبار کمتر از ۱۰۰۰ متر به ثبت رسیده باشد [۱۶]. در این مطالعه برای تشخیص طوفان‌های گردوغباری از فاکتور قدرت دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر برای همه کدهای هواشناسی گردوغبار استفاده شده است.

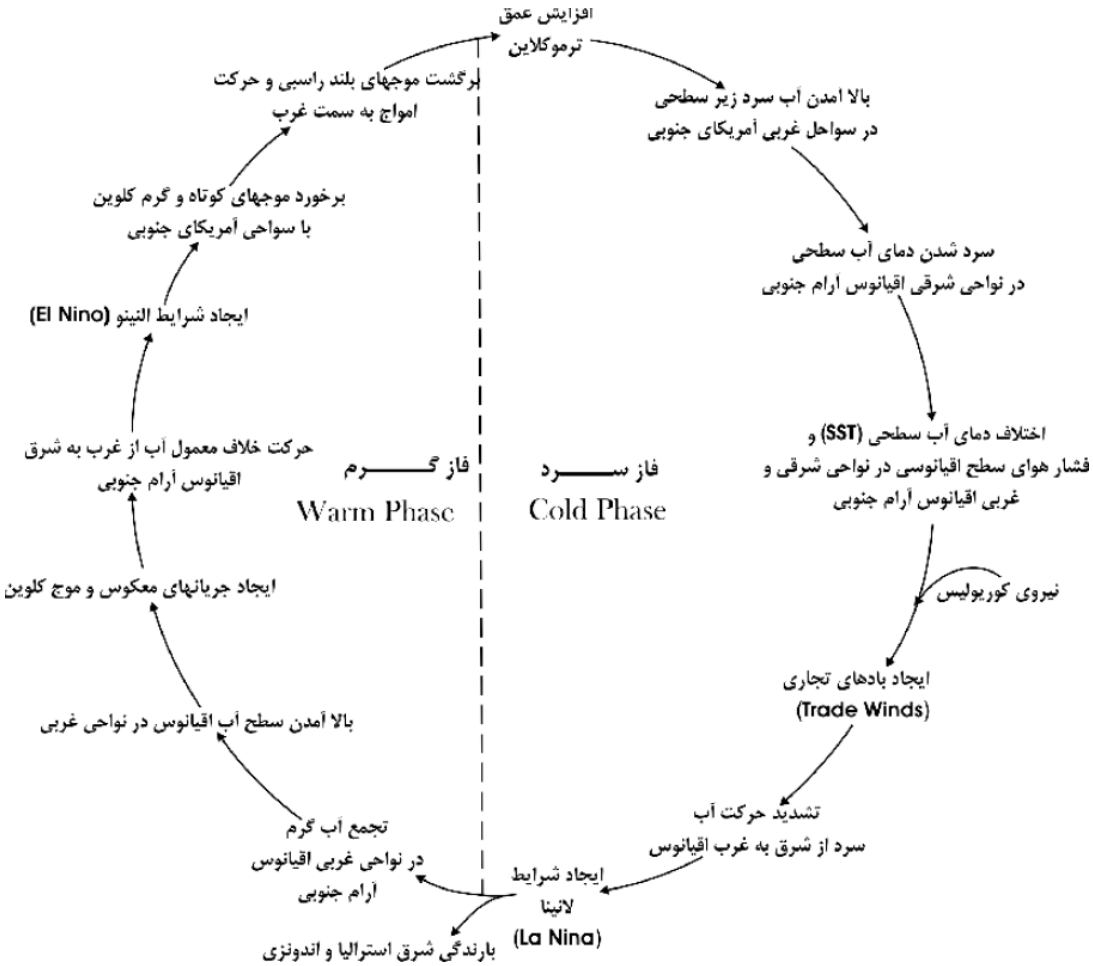
جدول ۱. کدهای سازمان جهانی هواشناسی مرتبط با پدیده‌های گردوغبار [۲۹]

کد	توضیحات
۰۶	رخداد طوفان گردوخاک گسترده در خارج از ایستگاه هواشناسی
۰۷	خاک یا شن برخاسته از زمین در محدوده ایستگاه هواشناسی
۰۸	مشاهده گردباد در محدوده ایستگاه هواشناسی یا خارج از آن در زمان دیدبانی یا طی ساعت گذشته
۰۹	طوفان شن یا خاک در زمان دیدبانی در خارج از ایستگاه یا طی ساعت گذشته در محدوده ایستگاه هواشناسی
۳۰	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر، همراه با کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۱	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک بی تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ ولی بیش از ۲۰۰ متر
۳۲	طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۳	طوفان شدید شن یا خاک همراه با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر
۳۴	طوفان شدید شن یا خاک بی تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر
۳۵	طوفان شدید شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر
۹۸	رعدوبرق بدون بارش همراه با طوفان شن یا خاک (هبوب)

[1] World Meteorological Organization

۳.۲. معرفی شاخص ONI

پدیده ENSO پدیده نوسانات جنوبی اقیانوس آرام است که برای بررسی آن از شاخص‌های اندازه‌گیری ONI[1] و SOI[2] استفاده می‌شود. شاخص SOI حاصل از اختلاف فشار بین دو منطقه تاهیتی و داروین واقع در اقیانوس آرام است. اگر فشار تاهیتی منهای فشار داروین عددی مثبت شود، شرایط لانینا بوده و اگر فشار تاهیتی منهای فشار داروین عددی منفی شود، شرایط النینو برقرار است. پدیده مذکور دارای سه فاز گرم، سرم و خنثی است. به فاز گرما النینو و فاز سرد لانینو گفته می‌شود. در این پژوهش از شاخص ONI برای ارزیابی پدیده ENSO بهره گرفته شد. شاخص نینوی اقیانوسی (ONI) عبارت است از میانگین سه‌ماهه از داده‌های دمای سطح دریا (NOAA ERSST.v2 SST) در منطقهNINO 3.4 در طول و عرض جغرافیایی (5N-5S, 120-170W) که بر مبنای دوره سالیانه است. در شکل (۲)، نحوه گذار از فاز گرم به سرد پدیده ENSO و بالعکس نشان داده شده است. همچنین باید افزود که در این پژوهش از داده‌های سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۰ شاخص ONI استفاده شد که برای اطلاعات بیشتر و استخراج داده‌ها می‌توان به درگاه زیر مراجعه کرد.
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

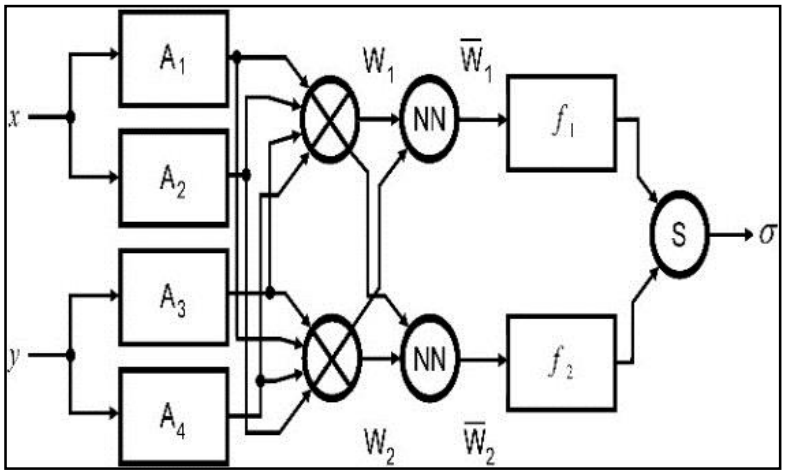


شکل ۲. چرخه وقوع فازهای گرم و سرد پدیده ENSO در اقیانوس آرام جنوبی [۲۴]

[1] Oceanic Nino Index
[2] Southern Oscillation Index

۴.۲. سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS)

سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) توسط [۱۹] معرفی شد. ANFIS شبیه به یک شبکه عصبی چندلایه است با این تفاوت که علاوه بر الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی از منطق فازی نیز بهره می‌گیرد. یک مدل ANFIS از پنج لایه تشکیل شده است؛ این پنج لایه به ترتیب عبارتند از: لایه ورود اطلاعات، لایه محاسبه وزن قوانین فازی، لایه نرمال سازی وزن‌های قوانین به‌دست‌آمده، لایه محاسبه قوانین، لایه جمع‌بندی و خروجی شبکه. در این تحقیق تابع عضویت در نظر گرفته‌شده، تابع عضویت ذوزنقه‌ای و الگوریتم آموزش شبکه، روش هیبریدی در نظر گرفته شد. شکل (۳) شماتیکی از ANFIS را نشان می‌دهد.



شکل ۳. شماتیک ANFIS [۱۹]

۵.۲. آماده‌سازی داده‌ها جهت برآورد شاخص FDSD توسط مدل ANFIS

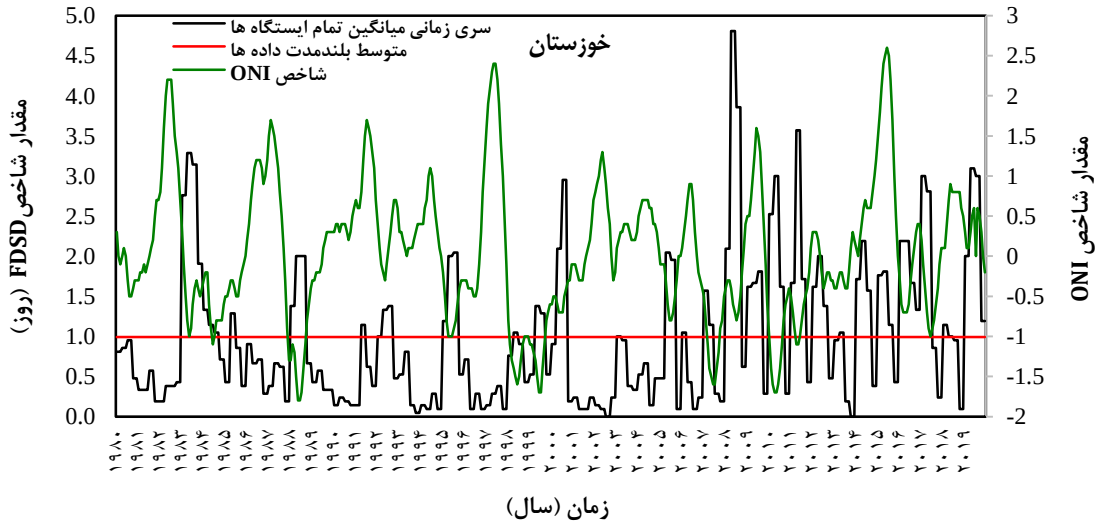
پس از بررسی و کنترل کیفی آمار ایستگاه‌ها و رفع نواقص آماری، همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون Run Test ارزیابی و تصادفی بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد پذیرفته شد. در ادامه با توجه به وجود سری زمانی متغیر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار، اقدام به برآورد سالانه آن با استفاده از فرامدل ANFIS شد. در این پژوهش، ۸۰ درصد داده‌ها برای مرحله آموزش و ۲۰ درصد آن برای آزمون مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای مناسب روش‌های مختلف از طریق آزمون و خطا تعیین شد. همچنین به منظور جلوگیری از بیش برازش، از صحت‌سنجی متقاطع استفاده شد. در روش صحت‌سنجی متقاطع در هر بار اجرای مدل برای پیش‌بینی با یک پارامتر مشخص، یک یا تعدادی از داده‌های مجموعه آموزش کنار گذاشته می‌شوند (به عنوان داده‌های صحت‌سنجی) و مدل بر اساس داده‌های باقیمانده آموزش می‌بیند [۷]. سپس داده‌های کنار گذاشته‌شده به مجموعه آموزش برگردانده شده و داده یا مجموعه دیگری از داده‌های آموزش به عنوان داده صحت‌سنجی از این مسیر جدا می‌شوند و بار دیگر شبکه آموزش داده می‌شود. این فرایند تا زمانی که تمام داده‌های آموزش در قسمت صحت سنجی استفاده شوند، ادامه می‌یابد. پس از آن بر اساس میانگین خطای مدل در تخمین داده‌های صحت سنجی، پارامتر (های) مناسب شبکه عصبی تعیین می‌شوند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. مقایسه تغییرات داده‌ها با استفاده از شاخص ONI

به منظور بررسی تأثیر فاز گرم النینو بر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه، از تغییرات میانگین سالانه شاخص FDSD در تمام ایستگاه‌ها نسبت به شاخص ONI استفاده شد. بدین منظور، اقدام به ایجاد سری زمانی میانگین ماهانه تمام ایستگاه‌ها شد تا با مقایسه این سری زمانی با مقادیر شاخص ONI و متوسط بلندمدت داده‌های فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار، به بررسی تأثیر فاز گرم پدیده ENSO بر مقادیر شاخص FDSD در ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شود. مقادیر استفاده شده در این قسمت برای استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده است.

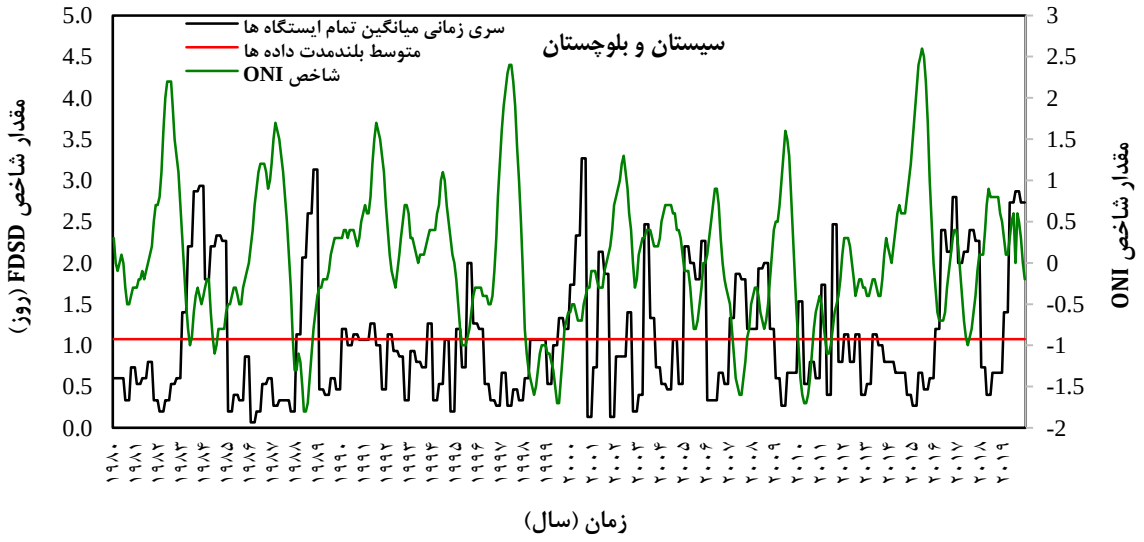
همان‌طور که از شکل (۴) مشخص است، در مواقع بروز فاز مثبت شاخص ONI (النینو)، استان خوزستان در ۶۰ درصد از موارد میانگین شاخص FDSD، مقادیر کمتری از شاخص FDSD در مقیاس بلندمدت ارائه می‌دهد. در همین راستا در سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۸۶، ۱۹۸۷، ۱۹۹۴، ۱۹۹۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ مقادیر حداکثر شاخص FDSD در مقیاس ماهانه برای استان خوزستان به ترتیب ۰/۳، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۳ روز می‌باشد. همچنین در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۹، همبستگی مثبت بین شاخص‌های ONI و FDSD مشاهده می‌شود (شکل ۴)؛ به طوری که با توجه به میانگین سری زمانی بلندمدت شاخص FDSD در مقیاس ماهانه (۰/۹۹ روز)، مقادیر حداکثر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار به وقوع پیوسته در مقیاس ماهانه در این سال‌ها به ترتیب ۲/۸، ۲ و ۳/۲ روز می‌باشد.



شکل ۴. مقایسه سری زمانی داده‌ها با شاخص ONI در استان خوزستان

شکل (۵) به مقایسه سری زمانی داده‌های طوفان گردوغبار با شاخص ONI در استان سیستان و بلوچستان پرداخته است. با توجه به این شکل، در ۶۰ درصد سال‌های وقوع النینو، میانگین شاخص FDSD از میانگین بلندمدت شاخص FDSD در استان سیستان و بلوچستان کمتر است. در سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۸۶، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵، همبستگی منفی بین شاخص‌های ONI و FDSD مشاهده می‌شود؛ به طوری که مقادیر حداکثر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در مقیاس ماهانه در این سال‌ها به ترتیب ۰/۵، ۰/۵، ۰/۳، ۰/۶، ۱، ۰/۷ و ۰/۶

روز می‌باشد. همچنین در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ یک همبستگی مثبت بین شاخص‌های ONI و FDSD وجود دارد؛ به نحوی که مقادیر حداکثر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار به وقوع پیوسته در مقیاس ماهانه در این سال‌ها، به ترتیب ۳/۲، ۲/۸ و ۲/۷ روز می‌باشد.



شکل ۵. مقایسه سری زمانی داده‌ها با شاخص ONI در استان سیستان و بلوچستان

۲.۳. بررسی مقادیر شاخص FDSD با استفاده از مدل ANFIS

تحلیل دیگر انجام‌شده در این پژوهش، استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) بوده است. از این مدل به منظور برآورد مقادیر شاخص FDSD در ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شده است. سپس در ادامه برای بررسی تأثیر فاز گرم ENSO بر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار، مقادیر برآورد شده شاخص FDSD توسط مدل ANFIS با مقادیر مشاهداتی آن در سال‌های وقوع النینو در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مورد مقایسه قرار گرفت. در جدول‌های (۳) و (۴) ایستگاه‌هایی که در آن‌ها مقادیر مشاهداتی شاخص FDSD کمتر از مقادیر برآوردشده آن می‌باشد، به ترتیب برای استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان آورده شده است. با مشاهده جدول (۳) می‌توان دریافت که در سال ۱۹۹۴ در شش ایستگاه مورد مطالعه از استان خوزستان، مقادیر برآورد شده شاخص FDSD از مقادیر مشاهداتی آن تجاوز کرده است. به همین ترتیب برای سال‌های ۱۹۸۲ و ۲۰۱۵ تعداد پنج ایستگاه، سال ۲۰۰۲ تعداد چهار ایستگاه، سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۸ تعداد سه ایستگاه، سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۹ تعداد دو ایستگاه و در سال ۲۰۰۴ تعداد یک ایستگاه از مقادیر مشاهداتی خود تجاوز کرده‌اند. همچنین با توجه به جدول (۴)، در سال ۱۹۸۲ تعداد چهار ایستگاه سینوپتیک واقع در استان سیستان و بلوچستان، مقادیر مشاهداتی کمتری نسبت به مقادیر برآوردشده مدل ANFIS داشته‌اند.

به منظور مقایسه تأثیر فاز گرم ENSO بر شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار در دو استان خوزستان و سیستان و بلوچستان با توجه به جدول‌های (۳) و (۴) می‌توان مشاهده کرد که در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در دو استان خوزستان و سیستان و بلوچستان به ترتیب در ۳۳ و ۱۷ واقعه، مقادیر مشاهداتی فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار کمتر از مقادیر برآوردشده آن به ثبت رسیده است.

جدول ۳. مقایسه شاخص FDSD مشاهداتی و برآورد شده مدل ANFIS در استان خوزستان

ایستگاه	سال النینو	شاخص FDSD (روز)		ایستگاه	سال النینو	شاخص FDSD (روز)	
		مشاهداتی	برآوردی			مشاهداتی	برآوردی
آبادان	۱۹۸۲	۹	۱۳	بندر ماهشهر	۱۹۸۲	۳	۵
	۱۹۸۶	۱۴	۱۷		۱۹۹۴	۱	۳
	۱۹۹۴	۲	۷		۲۰۱۵	۹	۱۲
	۲۰۰۲	۴	۹	مسجدسلیمان	۱۹۸۶	۳	۴
	۲۰۰۵	۲۴	۲۷		۱۹۸۷	۸	۱۳
اهواز	۱۹۸۲	۶	۷		۲۰۰۲	۱	۳
	۱۹۸۷	۱	۳		۲۰۱۵	۱۱	۱۵
	۱۹۹۴	۲	۶		۲۰۱۸	۹	۱۱
	۱۹۹۷	۱	۴	صفی آباد	۱۹۸۲	۲	۳
	۲۰۰۴	۸	۱۱		۱۹۹۴	۱	۵
	۲۰۱۸	۱۲	۱۵		۲۰۰۲	۲	۴
بستان	۱۹۸۲	۴	۸		۲۰۰۹	۱۳	۱۶
	۱۹۹۴	۱	۲		۲۰۱۵	۷	۹
	۱۹۹۷	۲	۵	دزفول	۱۹۸۷	۶	۸
	۲۰۰۲	۱	۲		۱۹۹۴	۴	۵
	۲۰۱۵	۲۴	۲۷		۲۰۰۹	۱۳	۱۷
					۲۰۱۸	۶	۱۰

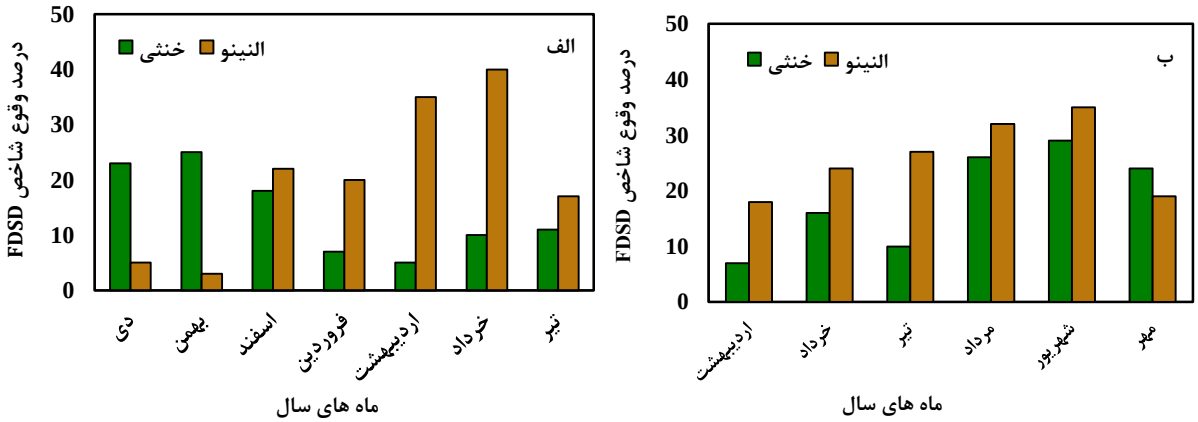
جدول ۴. مقایسه شاخص FDSD مشاهداتی و برآورد شده مدل ANFIS در استان سیستان و بلوچستان

ایستگاه	سال النینو	شاخص FDSD (روز)		ایستگاه	سال النینو	شاخص FDSD (روز)	
		مشاهداتی	برآوردی			مشاهداتی	برآوردی
زابل	۱۹۸۲	۱۷	۲۷	خاش	۱۹۸۲	۱	۳
	۲۰۰۴	۸	۲۱		۱۹۹۱	۱۸	۲۷
	۲۰۱۵	۱۶	۳۳		۲۰۰۹	۴	۵
زاهدان	۱۹۸۲	۷	۱۱	سراوان	۱۹۸۶	۱	۳
	۱۹۸۶	۶	۱۵		۲۰۰۹	۲	۴
	۲۰۰۹	۶	۸		۲۰۱۵	۱	۳
ایرانشهر	۱۹۸۲	۱	۴		۲۰۱۸	۱	۵
	۱۹۹۷	۷	۱۴				
	۲۰۱۵	۲	۱۱				

همچنین بیشترین نسبت مقادیر برآورد شده توسط مدل ANFIS به مقادیر مشاهداتی در استان خوزستان به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های صفی آباد، اهواز و آبادان با مقادیر ۵، ۴ و ۳/۵ است که این ایستگاه‌های سینوپتیک را در زمان وقوع النینو نسبت به سایر ایستگاه‌های استان در تشکیل طوفان‌های گردوغبار، ناتوان‌تر نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نتایج مدل ANFIS در استان سیستان و بلوچستان، دو ایستگاه ایرانشهر و سراوان به ترتیب با مقادیر ۵/۵ و ۵، بیشترین نسبت مقادیر برآوردشده فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار به مقادیر مشاهداتی را به خود اختصاص داده‌اند.

۳.۳. بررسی تغییرات زمانی بین زمان وقوع النینو و حالت خنثی منطقه

مقایسه تغییرات در بعد زمانی در دو فاز سال‌های وقوع النینو و فاز خنثی منطقه، دیگر تحلیل صورت گرفته در این پژوهش بر روی داده‌های شاخص FDSD ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. برای انجام این مهم، روش کار بدین صورت بود که در سطح استان‌های مورد مطالعه، بیشترین فراوانی وقوع شاخص FDSD در یک سال مشخص تعیین شده و در نهایت به مقایسه دو فاز وقوع النینو و خنثی منطقه پرداخته شد. نتایج مربوط به این تحلیل برای استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه شکل (۶-الف) می‌توان نشان داد که از بعد زمانی، در سال‌هایی که پدیده النینو اتفاق افتاده نسبت به شرایطی که خنثی بوده است؛ وقوع طوفان‌های گردوغبار افزایش ۳۰ درصدی در ماه‌های اردیبهشت و خرداد را در استان خوزستان داشته است. نتیجه دیگر این است که در حالت خنثی در این استان، حداکثر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ماه‌های دی و بهمن رخ داده است؛ در صورتی که در سال‌های النینو هیچ شاخص FDSD حداکثری در این ماه‌ها به ثبت نرسیده و به وقوع نپیوسته است.



شکل ۶. بررسی تأثیرات النینو بر روند تغییرات الگوهای زمانی شاخص FDSD در دو استان خوزستان (الف) و سیستان و بلوچستان (ب)

شکل (۶-ب) برای استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی‌ها در دو فاز وقوع النینو و فاز خنثی در منطقه مربوط به ماه‌های مرداد و شهریور بوده است. در این ماه‌ها تغییر خاصی بین دو فاز مذکور مشاهده نمی‌شود ولی در ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر با وقوع پدیده النینو، فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در سطح استان افزایش چشمگیری داشته است؛ در صورتی که در همین شرایط برای ماه مهر معکوس عمل شده و وقوع پدیده النینو در سطح استان سیستان و بلوچستان با کاهش شاخص FDSD همراه بوده است. در

نهایت با مقایسه دو استان مورد مطالعه در دو فاز مذکور می‌توان دریافت که استان خوزستان با وقوع پدیده النینو، دارای پراکندگی زمانی بیشتری بوده و تعداد ماه‌های متأثر از این پدیده در این استان نسبت به استان سیستان و بلوچستان بیشتر است. به طور کلی می‌توان بیان کرد که وقوع پدیده النینو در تعداد روزهای همراه با طوفان گردوغبار استان خوزستان نسبت به استان سیستان و بلوچستان تاثیرگذارتر بوده است.

۴. نتیجه‌گیری

رویداد النینو (فاز گرم ENSO) یکی از مهمترین و شاخص‌ترین رویدادهایی است که منجر به ظهور ناهنجاری‌های بزرگ آب و هوایی در بسیاری از نقاط جهان می‌شود. پدیده ENSO تغییرات زیادی را بر متغیرهای هواشناسی و به تبع آن متغیرهای هیدرولوژیکی و اقلیمی از قبیل شاخص فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSD) در سطح منطقه دارد. این پدیده دارای سه فاز گرم، سرد و خنثی است. فاز گرم را النینو و فاز سرد را لانینا می‌نامند. شاخص‌های اندازه‌گیری پدیده ENSO شاخص ONI و شاخص SOI است. در این مطاالعه با استفاده از شاخص نینوی اقیانوسی (ONI)، تأثیر فاز مثبت النینو-نوسانات جنوبی اقیانوس آرام بر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار (FDSD[1]) در دو استان خوزستان و سیستان و بلوچستان مورد بررسی قرار گرفت که تا کنون چنین تحقیقی در کشور انجام نشده است. همچنین در پژوهش حاضر از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) به منظور برآورد شاخص FDSD و بررسی تغییرات زمانی در دو فاز خنثی و وقوع النینو استفاده شد که یکی از نوآوری‌های دیگر این کار می‌باشد. نتایج حاکی از آن بود که مدل ANFIS با ثبت ۳۳ واقعه برای استان خوزستان و ۱۷ واقعه برای استان سیستان و بلوچستان، تأثیر پدیده ENSO را بر شاخص FDSD نشان داد. در نهایت و به عنوان نتیجه کلی می‌توان بیان کرد که تأثیر فاز مثبت ONI بر فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در استان خوزستان نسبت به استان سیستان و بلوچستان بیشتر است. از این رو، در زمان وقوع فاز گرم ENSO می‌توان به مراتب تمهیدات بیشتری را در زمینه کنترل و مدیریت طوفان‌های گردوغبار و اثرات مخرب آن در استان خوزستان نسبت به استان سیستان و بلوچستان اتخاذ نمود.

۵. سپاس‌گزاری

بدین وسیله از دانشگاه تهران و پژوهشکده اقلیم‌شناسی کشور به دلیل تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

[1] Aalto, R., Maurice-Bourgoin, L., Dunne, T., Montgomery, D.R., Nittrouer, C.A., & Guyot, J. L. (2003). Episodic sediment accumulation on Amazonian flood plains influenced by El Nino/Southern Oscillation. Nature. 425 (6957): 493-497.

[2] Abbasi, M., Araghinejad, Sh., & Ebrahimi, K. (2019). Investigation of the Effect of ENSO Hot Phase on the Instantaneous Floods in Two Climates of IRAN. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(6): 1433-1442. (In Persian)

[1] Frequency of Dust Stormy Days

[3] Abdolshahnejad, M., Khosravi, H., Nazari Samani, A.A., Zehtabian, G.R., & Alambaigi, M. (2020). Determining the Conceptual Framework of Dust Risk Based on Evaluating Resilience (Case Study: Southwest of Iran). Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 5(1): 33-44. (In Persian)

[4] Ahmadi-Givi, F., & Parhizkar, D. (2008). A study of the relationship between ENSO and the distribution of annual precipitation in Iran in the period 1971-2000. Iranian Journal of Geophysics, 2(2): 25-37. (In Persian)

[5] Allen, J.T., Tippett, M.K., & Sobel, A.H. (2015). Influence of the El Niño/Southern Oscillation on tornado and hail frequency in the United States. Nature Geoscience. 8(4): 278-283.

[6] Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M., Bazrafshan, J., Liaghat, A., & Araghinejad, Sh. (2020). Performance Evaluation of Statistical, Fuzzy and Perceptron Neural Network Models in Forecasting Dust Storms in Critical Regions in Iran. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(8): 2051-2063. (In Persian)

[7] Araghinejad, S. (2013). Data-driven modeling: using MATLAB® in water resources and environmental engineering (Vol. 67). Springer Science & Business Media.

[8] Araghinejad, Sh., Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., & Bazrafshan, J. (2019). The Effect of Climate Fluctuation on Frequency of Dust Storms in Iran. Desert Ecosystem Engineering Journal, 7(21): 13-32. (In Persian)

[9] Barlow, M., Cullen, H., & Lyon, B. (2002). Drought in central and southwest Asia: La Niña, the warm pool, and Indian Ocean precipitation. Journal of climate, 15(7): 697-700.

[10] Cayan, D.R., Redmond, K.T., & Riddle, L.G. (1999). ENSO and hydrologic extremes in the Western United States. Journal of Climate. 12 (9): 2881-2893.

[11] Chen, C.C., Wang, Y.R., Guo, Y.L.L., Wang, Y.C., & Lu, M.M. (2019). Short-term prediction of extremely hot days in summer due to climate change and ENSO and related attributable mortality. Science of the Total Environment. 661: 10-17.

[12] Chiew, F.H., Piechota, T.C., Dracup, J.A., & McMahon, T.A. (1998). El Nino/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting. Journal of hydrology, 204(1-4): 138-149.

[13] Cordery, I., & Nazemosadat, M.J. (1999). Forecasting the occurrence of low precipitation. Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating 22: 65.

[14] Dang, V.H., Tran, D.D., Cham, D.D., Hang, P.T.T., Nguyen, H.T., Truong, H.V. ... & Pham, T.B.T. (2020). Assessment of Rainfall Distributions and Characteristics in Coastal Provinces of the Vietnamese Mekong Delta under Climate Change and ENSO Processes. Water. 12(6): 1555.

[15] Diaz, H.F., Diaz, H.F., & Markgraf, V. (Eds.). (1992). El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press.

[16] Goudie, A.S., & Middleton, N.J. (2006). Desert dust in the global system. Springer Science & Business Media.

[17] Ildoromi, A., Nouri, H., & Bayat Varkeshi, M. (2017). Study of Relation between ENSO Phenomenon and Drought Occurrence in Iran. Water and Soil Science, 27(2): 143-156. (In Persian)

[18] Jain, S., & Lall, U. (2001). Floods in a changing climate: Does the past represent the future. Water Resources Research, 37(12): 3193-3205.

[19] Jang, J.S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 23(3): 665-685.

[20] Karegar, M.E., Bodagh Jamali, J., Ranjbar Saadat Abadi, A., Moeenoddini, M., & Goshtasb, H. (2017). Simulation and Numerical Analysis of severe dust storms Iran East. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards. 3(4):101-119. (In Persian)

[21] Kovats, R.S. (2000). El Niño and human health. Bulletin of the World Health Organization. 78(9): 1127-1135.

[22] Kripalani, R.H., & Kulkarni, A. (1997). Rainfall variability over South–east Asia—connections with Indian monsoon and ENSO extremes: new perspectives. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society. 17(11): 1155-1168.

[23] Mariotti, A., Ballabrera-Poy, J., & Zeng, N. (2005). Tropical influence on Euro-Asian autumn rainfall variability. Climate Dynamics, 24(5): 511-521.

[24] Moetamedi, M., Ehteramian, K., & Shahabfar, A. (2007). The Study of Teleconnection between ENSO as a Weather Signals and Rain Fall and Temperature Fluctuations of the Khorasan Province. Environmental Sciences, 4(4): 75-90. (In Persian)

[25] Munoz, S.E., & Dee, S.G. (2017). El Niño increases the risk of lower Mississippi River flooding. Scientific Reports. 7(1): 1772.

[26] Nasiri, B., Naserzadeh, M., Toulabi Nejad, M., & Zaree Chaghabalaki, Z. (2016). The Effect of ENSO Large Scale Atmospheric-oceanic Pattern on Kashkan River Discharge. Hydrogeomorphology, 2(5), 141-166. (In Persian)

[27] Nazemosadat, M.J., & Ghasemi, A.R. (2004). Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran. Journal of Climate. 17(20): 4005-4018.

[28] Nazemosadat, S.M.J. (2001). Winter rainfall in Iran: ENSO and aloft wind interactions. Iranian Journal of Science and Technology, (25)4: 611-624. (In Persian)

[29] O'Loingsigh, T., McTainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J.F., Shinkfield, P., & Tapper, N.J. (2014). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. Aeolian Research. 12: 29-40.

[30] Orlove, B.S., Chiang, J.C., & Cane, M.A. (2000). Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of El Niño on Pleiades visibility. Nature, 403(6765): 68-71.

[31] Power, S., Delage, F., Chung, C., Kociuba, G., & Keay, K. (2013). Robust twenty-first-century projections of El [thinsp] Nino and related precipitation variability. Nature. 502(7472): 541-545.

[32] Rahimi, D., Abdollahi, K., Hasheminasab, S. (2016). Identify Tele-connection Patterns affecting on Rainfall in Karoon Basin. Iranian journal of Ecohydrology, 3(1): 95-105. (In Persian)

[33] Ropelewski, C.F., & Halpert, M.S. (1989). Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. Journal of Climate. 2(3): 268-284.

[34] Samali, R., Bazrafshan, O., Biniaz, M., & Moslemi, H. (2019). Investigation of The Relationship between the Phenomenon of Enso on the Droughts and Wet year In the Douthern Coastal Provinces of Iran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13(1): 217-231. (In Persian)

[35] Sobhani, B., Safarian Zengir, V., & faizollahzadeh, S. (2020). Modeling and prediction of dust in western Iran. Physical Geography Research Quarterly, 52(1): 17-35. (In Persian)

[36] Zareabyaneh, H. (2015). Effect of ENSO Phenomenon on Variability of Surface Water Resources in Hamedan Province. Water and Soil Science, 24(4): 153-167. (In Persian)

[37] Zareabyaneh, H., & Bayat Varkeshi, M. (2012). Effect of ENSO Phenomenon on Monthly Seasonal Temperature Variations of Country Half South. Physical Geography Research Quarterly, 44(2): 67-84. (In Persian)