

مدل‌سازی ارتباط شاخص‌های پیوند از دور با ناهنجاری‌های دمایی فصل گرم در ایران با استفاده از وایازی چندمتغیره

محمدامین حیدری^۱ - دانشجوی دکتری آب‌وهوا شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

فرامرز خوش‌اخلاق - دانشیار آب‌وهوا شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۲/۲۷

چکیده

در رخداد ناهنجاری‌های آب‌وهوایی، نوسانات جوی و اقیانوسی جوی و اقیانوسی مؤثر هستند. یکی از انواع مهم این ناهنجاری‌ها دماهای ناهنجار و گرماهای کم سابقه به‌ویژه در فصل گرم سال است. برخی از چرخه‌های جوی و اقیانوسی در فزونی و تشدید ناهنجاری دما در این فصل مؤثر هستند. این پژوهش با هدف مدل‌سازی وایازی ارتباط مهم‌ترین شاخص‌های اقیانوسی و جوی با ناهنجاری‌های فراگیر دمای هوا در فصل گرم سال (ابتدای ماه مه تا انتهای ماه سپتامبر) در پهنه ایران انجام شده است. در این پژوهش رابطه همبستگی و توابع بهینه وایازی بین ۱۷ شاخص جوی و اقیانوسی و مقادیر استاندارد شده دما در ۳۰ ایستگاه هم‌مدید کشور با دوره آماری بیش از ۵۰ سال داده (۱۹۶۱-۲۰۱۰) و با روش پیرسون و در چهارگام زمانی متفاوت (به ترتیب گام هم‌زمان، یک، دو و سه ماه پیشتر) به‌منظور تبیین و پیش‌بینی ناهنجاری دمای هوا در ایران ارائه شده است. بر این اساس تحلیل همبستگی عددی بین شاخص‌های مورد بررسی و ناهنجاری دمایی ایستگاه‌ها در فصل گرم سال در پهنه ایران نشان داد، شاخص‌های NINO3، NINO1+2، GLOBAL MEAN TEMPERATURE، GBI، NINO4، NINO3.4، از مهم‌ترین شاخص‌های اقیانوسی-جوی مرتبط با ناهنجاری دمایی فصل گرم در منطقه مورد مطالعه هستند. همچنین در این پژوهش توابع وایازی خطی برای ارتباط شاخص‌ها و ناهنجاری ماهانه و متوسط دمای ایران ارائه گردیده، که به‌وسیله آن می‌توان تغییرات دمایی ایران را تبیین و پیش‌بینی کرد. صحت عملکرد این توابع با استفاده از مطابقت داده‌های واقعی و مدل‌سازی شده (برآورد مقادیر r^2 همبستگی، مقدار RMSE و MBE) با میزان آریبی قابل قبولی مورد تأیید قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی آماری، وایازی چندمتغیره، ناهنجاری دما، شاخص‌های پیوند از دور، ایران.

۱. مقدمه

آب‌وهوای کره زمین مجموعه‌ای نظام‌مند و یکپارچه است، که در آن بازیگران زیادی نقش‌آفرینی می‌کنند. دریاها و اقیانوس‌ها یکی از بازیگران مهم این مجموعه به حساب می‌آیند. دریاها و اقیانوس‌ها قادر هستند بخش بسیار زیادی از انرژی تابشی خورشید را در خود ذخیره سازند و همچنین با توجه به ماهیت سیال بودن، این توانایی را دارند که این انرژی را به سایر بخش‌ها و قسمت‌های کره زمین به طرق گوناگون (جریان سطحی، جریان زیر سطحی، همرفت و فرارفت رطوبت) منتقل سازند. از این‌رو نوسان رفتار اقیانوسی موجب تغییر در الگوهای جوی نیز می‌گردد که در ادامه آن می‌تواند وضعیت آب‌وهوایی کوتاه و درازمدت مناطق مختلف را دچار نوسان نماید. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته دمای آب و در برخی نواحی ویژگی‌های جوی متأثر از آن (از جمله فشار جو) در نواحی مشخصی از جهان موجب تغییراتی در رفتار سامانه آب‌وهوا در مقیاس ماهانه، فصلی، سالانه و حتی چندساله می‌گردد، و در نتیجه این تغییرات مؤلفه‌های جو زیرین نیز متأثر از آن می‌گردند. با توجه به اهمیت بحث پیوند از دور در دهه‌های اخیر همواره پژوهشگران آب‌وهواشناسی در تلاش بوده‌اند تا ضمن شناسایی نقاط حساس و مؤثر رابطه جو و اقیانوس در مناطق مختلف کره زمین، اثر این رابطه بر مؤلفه‌های سطحی و کیفیت فعالیت بشر را بررسی نمایند. الگوی پیوند از دور ماهیت سیاره‌ای دارند و سراسر اقیانوس‌ها و قاره‌ها را در بر گرفته و بسیاری نیز در ارتباط با همدیگر عمل می‌نمایند (چهره آرا ضیابری، ۱۳۹۱). تمامی الگوهای پیوند از دور پدیده‌هایی طبیعی و حاصل سرشت آشوبمند جو و منبعث از پویایی درونی آن می‌باشند. این الگوها معرف تغییرات کلان در الگوهای امواج جوی و رودبادهای بوده و بر الگوی دما، بارش، مسیر رگبار و موقعیت و شدت رودبادهای وسیع تأثیر می‌گذارند. به همین دلیل الگوهای پیوند از دور موجب ناهنجاری‌هایی هستند که همزمان در نواحی خیلی دور از هم دیده می‌شوند (عساکره، ۱۳۸۶؛ ۴۸). در واقع تغییرپذیری رفتار جو برآیندی از مجموعه رفتار و تعامل اقیانوس و جو می‌باشد، از این‌رو شاخص‌هایی که به تبیین ناهنجاری رفتار اقیانوس و در نتیجه آن جو می‌پردازد، می‌توانند کمک شایانی به شناسایی علل و ماهیت رخداد ناهنجاری‌های کوتاه و بلندمدت آب‌وهوایی در یک منطقه نمایند. مطالعه ناهنجاری‌های فراگیر دمای هوا در فصل گرم در ایران در ارتباط با مهم‌ترین شاخص‌های اقیانوسی و جوی شناخته شده جهان مسئله اساسی این پژوهش می‌باشد. تاکنون پژوهش‌های گوناگونی در زمینه ارتباط ناهنجاری بارش ایران و شاخص‌های پیوندازدور صورت گرفته، اما در این زمینه به دمای هوا توجه کمتری شده است. به‌طور مشخص دمای هوا و به‌ویژه در فصل گرم مهم‌ترین عنصر اقلیمی در ایران محسوب می‌شود که در زمینه مباحث مربوط به تبخیر و ناهنجاری‌های دمایی و همچنین مباحث مربوط به تأمین آب، و شناسایی ارتباط و رفتار دما و پیش‌یابی آن به‌وسیله شاخص‌های پیوندازدور می‌تواند کمک شایانی به مدیریت بهتر کشور در زمینه زیست‌محیطی و آب‌وهوایی نماید. در زمینه شاخص‌های پیوند از دور تاکنون پژوهش‌های بسیار زیادی صورت گرفته که در اینجا به تعدادی از

آن‌ها اشاره می‌گردد. پژوهش‌های زیادی در زمینه شاخص‌های پیوند از دور انجام شده است که در این بخش تنها به ارائه خلاصه‌ای از مهم‌ترین آن‌ها اکتفا می‌گردد. رابرت و همکاران (۱۹۹۹) اثر شاخص انسو را بر تغییرات پهنه یخ در دریای برینگ مورد بررسی قرار دادند، و نشان دادند دوره‌های مثبت شاخص انسو معمولاً با وسعت پهنه یخ در منطقه مورد اشاره دارای همبستگی معکوس می‌باشد.

کای و همکاران (۲۰۰۱) اثر انسو را بر نوسانات بارش شمال استرالیا بررسی کردند و نشان دادند که ارتباط قوی بین تغییرپذیری بارش شمال استرالیا و شاخص‌های پیوند از دور انسو وجود دارد. کوتیل و همکاران (۲۰۰۲) الگوی دریای شمال-دریای خزر را شناسایی و فازهای مثبت آن را با کاهش دما و افزایش بارش و فاز منفی آن را با افزایش دما و کاهش بارش در بالکان و خاورمیانه مؤثر دانستند. جان و جیانگ (۲۰۰۲) تغییرپذیری دمای جو منطقه حاره و اثرات آن‌ها را بر روی اقلیم مناطق برون حاره در ارتباط با انسو بررسی کرده و گرمایش جو آزاد درون حاره‌ای را متأثر از النینو دانسته‌اند. تانگ و نیلین (۲۰۰۴) اثر انسو را بر رخداد توفندهای اقیانوس اطلس بررسی کردند و انسو را عاملی برای شدت تغییرپذیری و فراوانی آن‌ها در اقیانوس اطلس دانستند.

شب بر (۲۰۰۶) نقش انسو را بر اقلیم کانادا بررسی کرده و اثر النینو را بر روی دما، بارش و جنبه‌های اقتصادی رخداد النینو مطالعه کرده است. ویکتور و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر شاخص PDO^۱ بر تابستان‌های آمریکای شمالی پرداختند و نشان دادند اثر این شاخص بر تابستان‌های این منطقه معنادار و محسوس می‌باشد. کلی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر شاخص‌های پیوند از دور اقلیمی بر تغییرپذیری بارش در حوضه آبریز فلینت (جنوب‌شرق ایالات متحده) پرداختند و نشان دادند شاخص انسو یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در این ارتباط می‌باشد. جیانگ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی بارش‌های سنگین غرب ایالات متحده در رابطه با شاخص‌های پیوند از دور اقیانوس آرام و اطلس پرداختند. هانس و همکاران (۲۰۱۳) اثر پیوند از دور شاخص NAO را بر اقلیم تابستانه شرق آسیا مؤثر دانستند.

از جمله دیگر پژوهش‌ها در زمینه پیوند از دور در وقوع ناهنجاری‌های آب‌وهوایی در مناطق مختلف کره زمین می‌توان به کارهای سوزان^۲ و همکاران ۲۰۱۱، آجای^۳ و همکاران ۲۰۱۳، گلسر^۴ و همکاران ۲۰۱۳، آلهیت^۵ و همکاران ۲۰۱۳، واپنیکا^۶ و همکاران ۲۰۱۰، شیمودا^۷ و همکاران ۲۰۱۳، رمانو^۸ و همکاران ۲۰۱۱، آگلسی^۹ و

1 Pacific Decadal Oscillation (PDO)

2 Suzan

3 Ajay

4 Gelcer

5 Alheit

6 Wachnicka

7 Shimoda

8 Romano

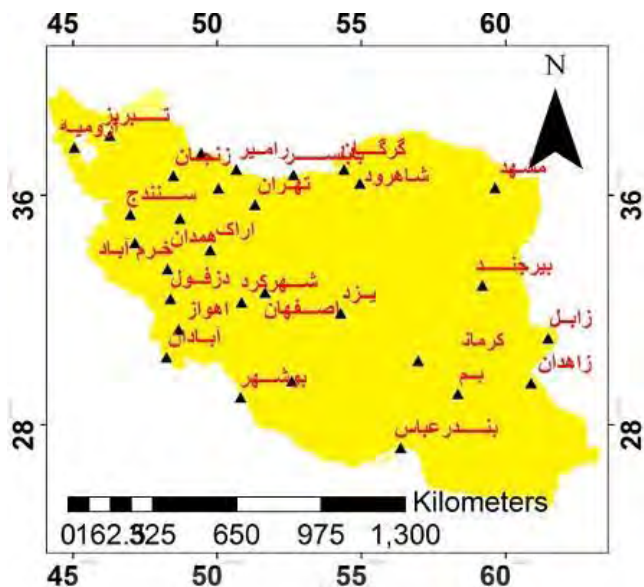
9 Oglesby

همکاران ۲۰۱۲، هوبر^۱ و همکاران ۲۰۱۲، فریدل^۲ ۲۰۱۲، رستریو^۳ ۲۰۱۳، ترمبلاي^۴ و همکاران ۲۰۱۱، اشاره نمود. در زمینه پژوهش‌های داخلی نیز می‌توان به پژوهش خوش اخلاق و همکاران (۱۳۷۷) در بررسی ارتباط شاخص انسو و بارش ایران اشاره نمود، که به‌ویژه در مورد رخداد خشکسالی همبستگی قوی را نشان داد. غیور و عساکره (۱۳۸۰) اثر نوسان اطللس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهانه دمای جاسک را مؤثر ارزیابی نمودند. همچنین پژوهش خسروی و همکاران (۱۳۸۱) در مورد نقش انسو بر اقلیم جنوب شرق ایران نشان داد شاخص انسو با بارش‌های موسمی این منطقه ارتباط معنی‌داری دارد. ناظم السادات و قاسمی (۱۳۸۲) نیز تأثیر انسو را بر بارش شش ماهه سرد در ایران، و همچنین پژوهش خورشید دوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۳) در مورد اثر انسو بر تغییر پذیری بارش‌های فصلی آذربایجان، و همچنین مسعودیان (۱۳۸۴) ارتباط بارش ایران را با شاخص چند متغیره انسو را مورد تحلیل قرار دادند، که در مجموع بر اساس نتایج کار ایشان ارتباط مناسبی بین شاخص انسو و بارش ایران دیده شد. در زمینه این پژوهش نیز اکبری و مسعودیان (۱۳۸۴) نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی را بر دمای ایران مطالعه کردند و نشان دادند هیچ یک از شاخص‌های پیوند از دور نیمکره شمالی در این رابطه دارای رابطه معنادار و قابل اتکایی نیستند. علیزاده و همکاران (۱۳۹۰) در مدلسازی ارتباط الگوهای پیوند از دور با دما و بارش شهر مشهد به روش وایزی گام‌به‌گام نشان دادند در مقیاس ماهانه ارتباط این شاخص‌ها نسبت به مقیاس فصلی بیشتر است. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثر الگوی نوسانی دریای شمال-خزر بر دمای پیشینه ایران به روش وایزی پرداختند، نتایج کار ایشان نشان داد، ارتباط قوی در اکثر ایستگاه‌ها (به‌ویژه در دوره سرد سال) با الگوی مورد مطالعه وجود دارد. همچنین قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۲) به ترتیب اثر الگوی یاد شده را بر دمای کمینه ایران، بارش سواحل جنوبی دریای خزر، و بارش منطقه شمال غرب ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش‌های ایشان نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار بین الگوی یاد شده و ناهنجاری‌های آب‌وهوایی در ایران بود. با توجه به پیشینه پژوهشی اشاره شده، تاکنون پژوهش گسترده‌ای در زمینه تحلیل ارتباط زمانی و مکانی ناهنجاری‌های دمایی تابستانه کل کشور با شاخص‌های پیوند از دور صورت نگرفته است.

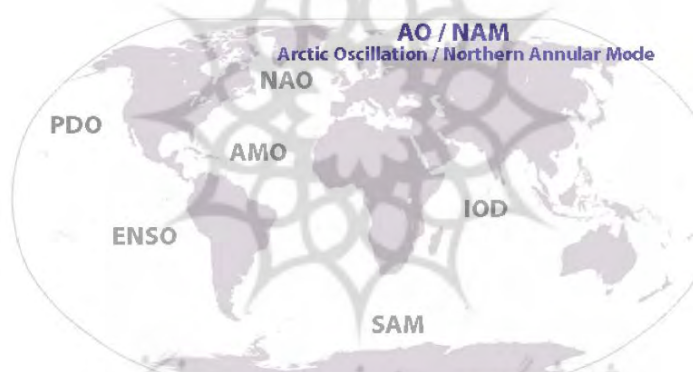
۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه پژوهش شامل کل کشور ایران می‌باشد (شکل ۱). شکل ۱ نقشه ایستگاه‌های همید بکار گرفته شده در پهنه ایران را که دارای دوره آماری ۵۰ ساله داده (۱۹۶۱-۲۰۱۰) بوده‌اند را نشان می‌دهد، و همچنین شکل ۲ به صورت مختصر به موقعیت مکانی برخی از مهم‌ترین شاخص‌های بکار گرفته شده را بر روی نقشه نشان داده است.

- 1 Huber
- 2 Friedel
- 3 Restrepo
- 4 Tremblay



شکل ۱. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه جهانی و موقعیت برخی از شاخص‌های مورد مطالعه (منبع، حلبیان و محمدی ۱۳۹۱)

۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از دو پایگاه داده متفاوت شامل داده‌های ایستگاه‌های هم‌دید کشور با دوره آماری ۵۰ ساله (۱۹۶۱-۲۰۱۰) و داده‌های شاخص‌های پیوند از دور جوی و اقیانوسی مرکز داده گواری NOAA وابسته به مرکز مطالعات جو و اقیانوس ایالات متحده استفاده گردید. با توجه به دوره آماری طولانی مدت (۵۰ ساله) تعداد ۳۰ ایستگاه در کل کشور که دارای دوره آماری مذکور بودند انتخاب گردیدند. در مرحله بعد با توجه به الگوی سالانه دما در کل پهنه ایران در طول فصل گرم به مدت ۵ ماه از ماه مه تا سپتامبر (به تقریب نیمه اردیبهشت تا نیمه مهرماه)

انتخاب و مقادیر دمای ماه‌های اشاره شده در هر ایستگاه به صورت مقدار استاندارد شده شاخص Z توسط رابطه ۱ تبدیل شد.

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{S} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا Z مقدار استاندارد شده دمای ماهانه، X و \bar{X} به ترتیب دمای هر ماه و متوسط دمای ماه مورد نظر در طول دوره آماری و S مقادیر انحراف معیار ماه مذکور می‌باشد. در مرحله بعد جهت تعیین ناهنجاری‌های مورد نظر، تابع $0.5 > x > -0.5$ (در واقع ماه‌هایی که مقدار شاخص Z دمای آن‌ها از ۰,۵+ بیشتر و یا از ۰,۵- کمتر باشد) در نرم افزار اکسل تعریف و از بین ۲۵۰ ماه مورد مطالعه مواردی که ۲۰ ایستگاه از ۳۰ ایستگاه کشور ($\frac{2}{3}$) دارای ناهنجاری بالا بودند (۵۷ مورد از ۲۵۰ ماه مورد بررسی در هر ایستگاه از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) به عنوان ناهنجاری فراگیر دمای کشور در بازه ماهانه در فصل گرم در دوره مطالعاتی انتخاب شدند. سپس در مرحله بعد با توجه به گسسته شدن داده‌ها در واقع از روش همبستگی پیرسون ارتباط ۵۷ ماه مورد بررسی در همه ایستگاه با هر ۱۷ شاخص به تفکیک محاسبه گردید. همچنین به منظور ارائه مدل و ایازی شاخص‌های ارائه شده در مدل به روش پسرو وارد شده و بهترین شاخص‌ها جهت ارائه تابع مورد نظر معرفی شده‌اند. جهت اطمینان از چگونگی عملکرد مدل و ایازی با استفاده از داده‌های واقعی و مدل‌سازی شده عملکرد مدل با استفاده از آماره‌های برآورد خطا مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱. شاخص‌های جوی و اقیانوسی استفاده شده در این پژوهش

۱	شاخص دمای سطحی بخش شرقی اقیانوس آرام	NINO3	۱۰	شاخص اقیانوسی نینو	ONI
۲	شاخص نوسانات جنوبی	SOI	۱۱	شاخص دمای سطحی بخش شمالی اقیانوس اطلس	NTA
۳	نوسانات اقیانوس اطلس شمالی	NAO	۱۲	شاخص دمای آب در منطقه کارائیب	CAR
۴	شاخص اقیانوس آرام امریکای شمالی	PNA	۱۳	شاخص انسو چند متغیره	MEI
۵	شاخص دمای سطحی شدید بخش شرقی اقیانوس آرام استوایی	NINO1+2	۱۴	سری زمانی انسو دو متغیره	BEST
۶	شاخص دمای سطحی بخش مرکزی شرق اقیانوس آرام استوایی	NINO3.4	۱۵	نوسان قطب شمال	AO
۷	شاخص دمای سطحی بخش مرکزی اقیانوس آرام استوایی	NINO4	۱۶	متوسط دمای جهانی	G. M.TEMPE RATURE

ادامه جدول ۱

۸	شاخص بلوکی‌نگ گرینلند	GBI ^۱	۱۷	شاخص استخر گرم اقیانوس آرام	Pacific Warm Pool
۹	نوسان اقیانوس آرام شرقی	EPO			

سنجش عملکرد مدل

خطای جذر میانگین مربعات یا انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE^۲) و میانگین خطای بایاس (MBE^۳) اختلاف مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل آماری و مقدار واقعی است. RMSE و MBE ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مدل می‌باشند، از این‌رو در این پژوهش با استفاده از روابط زیر (رابطه ۱ و ۲) مقادیر مربوط به صحت سنجی عملکرد مدل مورد آزمون قرار گرفته است.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این معادلات P_i مقدار برآورد شده توسط مدل، O_i مقدار اندازه‌گیری شده فراسنج مربوطه و n تعداد مشاهدات می‌باشد. حد پایین RMSE و MBE صفر بوده و مقدار آن بیانگر این است که مقادیر پیش‌بینی شده چقدر از مقادیر مشاهده شده انحراف دارد (لازار، ۲۰۰۸).

۴. بحث و نتایج

با توجه به وسعت مباحث پژوهش حاضر، یافته‌های مهم موضوع بحث در سه بخش ارائه گردیده است. در بخش اول رابطه هر یک از شاخص‌ها در چهار گام زمانی متفاوت از ماه همزمان تا سه ماه جلوتر در قالب نمودار و به صورت کمینه بیشینه و متوسط همه ایستگاه‌ها ارائه شده است. در بخش دوم با استفاده از روش وایازی چند متغیره و با روش پسرو توابع مربوطه در چهار گام زمانی اشاره شده مورد بررسی قرار می‌گیرند. و در بخش سوم پژوهش نیز عملکرد توابع وایازی با استفاده از روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

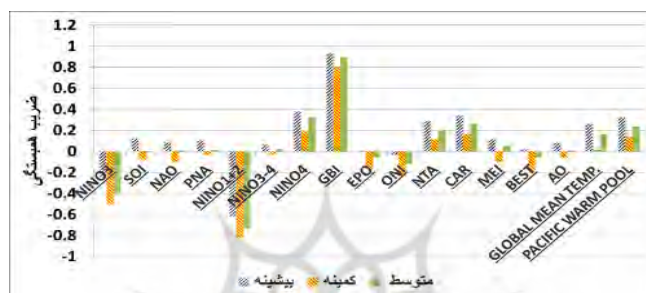
-
- 1 Greenland Blocking Index
 - 2 Root Mean Square Error
 - 3 Mean Bias Error

الف) ارتباط شاخص‌های پیوند از دور و ناهنجاری دمای تابستانه ایران

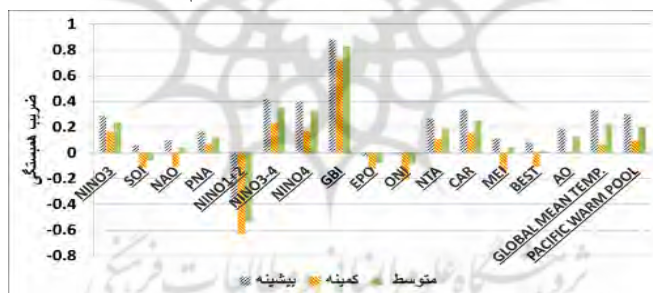
شکل‌های ۳ تا ۶ مقادیر ضریب همبستگی ۱۷ شاخص مورد مطالعه را به سه شکل کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی ناهنجاری دمای ایستگاه‌های کل کشور؛ در چهار گام زمانی متفاوت که قبلاً بحث گردید را ارائه کرده‌اند. در شکل ۳ که مقادیر به صورت ماه همزمان محاسبه شده است، شاخص GBI بیشترین همبستگی معنادار مستقیم و شاخص‌های NINO3، NINO1+2 و NINO3.4 به ترتیب دارای بیشترین رابطه وارون معنادار ناهنجاری‌های کل کشور می‌باشند. مقادیر همبستگی دیگر شاخص‌ها با توجه به پایین بودن ضریب اطمینان آن‌ها قابل توجه نمی‌باشد. شکل ۴ متوسط، کمینه و بیشینه R همبستگی ایستگاه‌های کشور را با شاخص‌های مورد مطالعه با یک گام زمانی جلوتر را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده شاخص NINO3 و NINO1+2 به ترتیب کمترین و بیشترین همبستگی وارون معنی دار را بدست آورده‌اند و شاخص NINO4 و GBI نیز به همین شکل همبستگی مستقیم را تبیین کرده‌اند. با توجه به پایین بودن مقادیر همبستگی شاخص NINO4 در متوسط کشور (۰,۲) می‌توان از مقادیر این شاخص نیز چشم پوشی کرد (شکل ۴). در شکل ۵ نیز مقادیر متوسط، کمینه و بیشینه همبستگی ناهنجاری دمای ایستگاه‌های کشور با شاخص‌ها مورد مطالعه با دو گام زمانی زودتر محاسبه و نشان داده شده است. بر این اساس به میزان محسوسی (بین ۰,۰۵ تا ۰,۲) از مقادیر همبستگی‌ها کاسته شده، اما با این وجود مقادیر همبستگی بالایی همچنان وجود دارد. برای مثال بیشینه ارتباط ایستگاه‌های کشور با شاخص NINO1+2 در حدود ۰,۶- و یا با شاخص GBI در حدود ۰,۷۵ تا ۰,۸۷ است. به طور کلی در این گام زمانی (دوماه پیش‌تر) دو شاخص GBI و NINO1+2 موثرترین شاخص‌های جوی-اقیانوسی به‌منظور تبیین ناهنجاری‌های دمایی تابستانه ایران می‌باشند. به‌منظور تبیین توان همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با ناهنجاری‌های دمایی ماهانه فصل گرم ایران با سه گام زمانی بیشتر از مقادیر شکل ۶ می‌توان استفاده کرد. با توجه به اینکه در این شرایط ارتباط با یک فاصله سه ماهه محاسبه شده است، با این وجود روابط بدست آمده نسبتاً قوی و قابل توجه می‌باشد. در این راستا هیچ یک از شاخص‌های مطالعه شده، رابطه معنادار وارون با ناهنجاری‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های ایران ندارند؛ بر این اساس شاخص‌هایی که در گام‌های زمانی قبل ارتباط عکس را بدست آورده بودند، در این فاصله زمانی دارای همبستگی مثبت و عمدتاً قوی می‌باشند. بیشترین میزان همبستگی مربوط به شاخص GBI می‌باشند که دامنه نوسان ارتباط آن با ایستگاه‌های کشور بین ۰,۴۳ تا ۰,۷۶ است و برای کل کشور به طور متوسط حدود ۰,۶۲ می‌باشد. شاخص NINO3 در این رابطه دارای رتبه دوم همبستگی با کمینه حدود ۰,۴ تا بیشینه ۰,۶ و متوسط ۰,۵۶ می‌باشد. لازم به ذکر است دیگر شاخص‌ها نیز تا حدودی توانسته‌اند همبستگی نسبتاً مناسبی با فاصله زمانی سه ماهه با ایستگاه‌های ایران داشته باشند که از جمله می‌توان به شاخص‌های NINO3.4، NINO1+2 و G.M.T اشاره کرد.



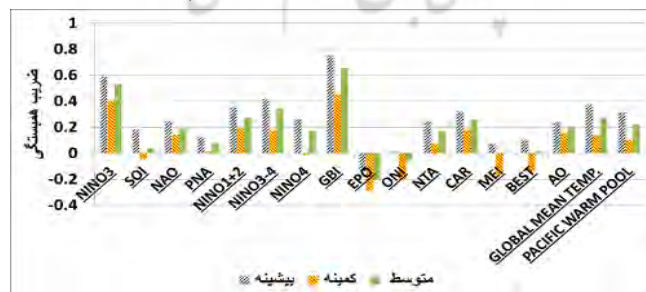
شکل ۳. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با ناهنجاری‌های ایستگاه مورد مطالعه در کشور در ماه همزمان



شکل ۴. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد شده دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور در یک گام (ماه) زمانی جلوتر



شکل ۵. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد شده دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور در دو گام (ماه) زمانی جلوتر



شکل ۶. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد شده دمای ماهانه ایستگاه‌های کل کشور در سه گام (ماه) زمانی جلوتر

ب) بررسی توابع وایازی ارتباط شاخص‌ها و ناهنجاری‌های دمایی ایران

به‌منظور دستیابی به مدل وایازی خطی مناسب در زمینه ارتباط ناهنجاری‌های دمایی ایران و شاخص‌های مورد مطالعه از روش وایازی خطی چندمتغیره با روش پس‌رونده استفاده شده که در طی آن ۸ شاخص (PACEFIC WARM POOL, NINO 3-4, GLOBAL MEAN TEMP., GBI, NINO4, CAR, NINO3, NINO 1+2) که دارای مقادیر بیشتر معناداری با ایستگاه‌های کشور بودند، به عنوان متغیر مستقل و متوسط دمای کل کشور در ماه‌های دارای ناهنجاری به عنوان متغیر وابسته به مدل وارد شده که نتایج آن در ادامه ارائه شده است. لازم به ذکر است با توجه به شرایط مدل‌سازی که در چهارگام زمانی مجزا انجام شده، نتایج مدل‌سازی وایازی و معادله خطی این ارتباط در چهار بازه مورد مطالعه به صورت خلاصه بحث و ارائه شده است.

۱. مدل‌سازی با گام زمانی همزمان ماهانه

جدول ۳ تا ۶ نتایج مدل‌سازی با گام زمانی همزمان را برای شاخص‌های مورد مطالعه و متوسط دمای ایران در ماه‌های ناهنجار نشان داده شده است. در جدول ۳ خلاصه‌ای از ویژگی‌های این مدل‌سازی ضریب همبستگی و تعیین و خطای استاندارد در گام ششم (مدل بهینه) ارائه شده است. بر این اساس مدل ارائه شده نهایی برای این بازه زمانی دارای همبستگی ۰/۹۴۷ و ضریب تعیین ۰/۸۹ و میزان خطای استاندارد ۱/۶۶ می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده بهترین شاخص‌های بکار گرفته شده جهت مدل‌سازی وایازی چندمتغیره در این شرایط شامل متوسط دمای جهانی، شاخص بلوکینگ گرینلند و شاخص NINO1+2 می‌باشد. جدول ۴ به بررسی تحلیل واریانس مدل‌سازی در مرحله ششم پرداخته که با توجه به مقدار sig که برابر با ۰/۰۰۰ و کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، فرض صفر مبنی بر عدم ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته رد می‌شود، و مدل‌سازی صحیح می‌باشد. جدول ۵ ضرایب متغیرها (شاخص‌ها) را در شرایط بهینه مدل‌سازی مرحله ششم را ارائه کرده است، که از این ضرایب به‌منظور تدوین رابطه خطی الف استفاده شده است. همچنین مقادیر sig و دیگر ضرایب مربوط به متغیرهای حذف شده از جریان مدل‌سازی در مرحله ششم آورده شده که همگی آن‌ها مقدار sig بیش از ۰/۰۵ را داشته‌اند.

رابطه الف:

$$\text{Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN (summer)}M = -93.707 + (\text{NINO1+2} * (-1.045)) + (\text{GBI} * 0.026) + ((\text{GLOBAL MEAN TEMP.} * 0.029))$$

جدول ۳. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی همگام

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
6	.947 ^f	.897	.891	1.6656821

جدول ۴. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی همگام

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
6	Regression	1227.131	3	409.044	147.430	.000g
	Residual	141.499	51	2.774		
	Total	1368.630	54			

جدول ۵. ضرایب متغیر (Coefficients^a) در مدل‌سازی همگام

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
6	(Constant)	-93.707	21.836		-4.291	.000
	NINO 1+2	-1.045	.176	-.425	-5.954	.000
	GBI	.026	.003	.558	7.558	.000
	GLOBAL MEAN TEMP.	.029	.010	.152	3.017	.004

جدول ۶. متغیرهای خارج شده (Excluded Variables^a) در مدل‌سازی همگام

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics	
					Tolerance	
6	NINO3	.089 ^f	.952	.346	.133	.232
	NINO4	.064 ^f	1.443	.155	.200	1.000
	PACIFIC WARM POOL	.008 ^f	.159	.874	.022	.762
	CAR	.044 ^f	.900	.373	.126	.851
	NINO 3-4	.080 ^f	1.501	.140	.208	.690

۲. مدل‌سازی با یک گام زمانی (ماه) پیش‌تر

این مدل‌سازی که به منظور ارائه رابطه و ایازی با یک ماه پیش‌یابی ناهنجاری متوسط دمای ایران انجام شده، در پنج مرحله به اجرا در آمده که در نهایت بر اساس مقادیر جدول ۷ با ضریب R برابر با ۰٫۹۴۸ و ضریب تعیین ۰٫۸۹ و با چهار شاخص (NINO3، NINO 1+2، GBI، GLOBAL MEAN TEMP.) مدل بهینه و ایازی خطی را در این رابطه ارائه کرده است. تحلیل واریانس گام پنجم مدل‌سازی در جدول ۸ نیز عملکرد مناسب روابط را با توجه به پایین بودن مقدار sig نشان می‌دهد و ضرایب متغیرهای بکار گرفته شده در مدل نهایی (بهینه) در گام پنجم و مقدار sig آن‌ها در جدول ۹ نشان داده شده است. بیشترین مقدار sig مربوط به شاخص NINO3 و متوسط دمای جهانی بوده است. بر اساس ضرایب B متغیرها در این جدول رابطه ب به منظور پیش‌یابی یک ماهه ناهنجاری‌های متوسط ایستگاه‌های کشور بر اساس چهار شاخص اشاره شده ارائه گردیده است و در جدول ۱۰ نیز مقدار و ضرایب متغیرهای حذف شده از جریان مدل‌سازی با توجه به بالا بودن مقدار sig آن‌ها ارائه شده است.

رابطه ب:

$$\text{Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN(summer)M-1} = -96.640 + (\text{NINO3} * 1.645) + (\text{NINO1+2} * -1.487) + (\text{GBI} * 0.021) + (\text{GLOBAL MEAN TEMP.} * 0.034)$$

جدول ۷. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
5	.948 ^e	.899	.891	1.6594168

جدول ۸. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
5	Regression	1230.947	4	307.737	111.755	.000f
	Residual	137.683	50	2.754		
	Total	1368.630	54			

جدول ۹. ضرایب متغیر (Coefficientsa) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
5	(Constant)	-96.640	18.901		-5.113	.000
	NINO3	1.645	.488	.298	3.370	.001
	NINO 1+2	-1.487	.344	-.573	-4.327	.000
	GBI	.021	.003	.603	6.818	.000
	GLOBAL MEAN TEMP.	.034	.009	.185	3.672	.001

جدول ۱۰. متغیرهای حذف شده (Excluded Variablesa) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics	
					Tolerance	
5	NINO 3-4	-.136 ^e	-1.338	.187	-.188	.193
	CAR	.036 ^e	.603	.549	.086	.559
	PACIFIC WARM POOL	.059 ^e	.811	.421	.115	.389
	NINO4	-.089 ^e	-1.473	.147	-.206	.536

۳. مدل‌سازی به دو گام زمانی پیشتر

در جدول ۱۱ مشخصات انجام شده با هشت شاخص اصلی اشاره شده در بخش‌های قبلی آورده شده است. با توجه به طولانی شدن زمان در بازه دو ماهه ارتباط مقادیر شاخص و متوسط ناهنجاری دمای کشور، از مقادیر R مدل وایزی اندکی کاسته شده اما در هر صورت ضریب آن بالاست و بیشتر از ۰٫۹۱۶ می‌باشد. مربع R برابر با ۰٫۸۳۹ و

ضریب تعیین R حدود ۰.۸۲۳ و با ضریب خطای استاندارد ۲.۱۱ در مرحله چهارم مدل‌سازی و بر اساس مقادیر ۶ شاخص (GBI, NINO4, NINO3, GLOBAL MEAN TEMP., NINO1+2, NINO 3-4) این مدل‌سازی انجام شده است. مقادیر تحلیل واریانس ضمن تأیید عملکرد مدل فرض صفر را رد می‌نماید (جدول ۱۲) و در جدول ۱۳ ضرایب و مشخصات مدل برای گام نهایی اجرا برای بازه زمانی مورد مطالعه آورده شده است، که مقادیر B برای ارائه رابطه ج استفاده شده و مقادیر sig نیز قابلیت نسبتاً بالای مدل اجرا شده و شاخص‌های بکار گرفته شده در این رابطه را نشان می‌دهد. ضمن اینکه سه شاخصی که از جریان مدل‌سازی در این بازه حذف شده‌اند نیز همراه با مشخصات آماری آن‌ها در گام چهارم اجرا و به‌ویژه مقدار sig آن‌ها در جدول ۱۴ آورده شده است. نکته قابل تأمل حذف شاخص متوسط دمای جهانی از فرایند مدل‌سازی در این گام زمانی می‌باشد، که در گام‌های قبلی یکی از ارکان مدل‌سازی به حساب می‌آمد اما از آنجا که در این بازه نتوانسته واریانس متغیر وابسته را به خوبی از دو ماه جلوتر برآورد نماید، از جریان مدل‌سازی حذف شده است.

رابطه ج:

$$\text{Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN(summer)M-2} = -121.702 + (\text{NINO3} * 09.384) + (\text{NINO1} + 2 * (-2.502)) + (\text{NINO3-4} * (-9.648)) + (\text{NINO4} * 4.624) + (\text{GBI} * 0.017)$$

جدول ۱۱. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
4	.916 ^d	.839	.823	2.1199982

جدول ۱۲. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
4	Regression	1148.405	5	229.681	51.104	.000e
	Residual	220.225	49	4.494		
	Total	1368.630	54			

جدول ۱۳. ضرایب متغیر (Coefficientsa) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
4	(Constant)	-121.702	24.096		-5.051	.000
	NINO3	9.384	1.716	1.655	5.467	.000
	NINO 1+2	-2.502	.489	-.747	-5.115	.000
	NINO 3-4	-9.648	2.265	-1.729	-4.260	.000
	NINO4	4.624	1.521	.637	3.040	.004
	GBI	.017	.003	.504	4.832	.000

جدول ۱۴. متغیرهای حذف شده (Excluded Variables^a) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics	
					Tolerance	
4	CAR	.027d	.404	.688	.058	.728
	PACEFIC WARM POOL	.053d	.743	.461	.107	.641
	GLOBAL MEAN TEMP.	.108d	1.582	.120	.223	.684

۴. مدل‌سازی به سه گام زمانی بیشتر

به منظور ارائه مدل پیش یابی سه ماهه نیز از همان ۸ شاخص منتخب و روش وایزای خطی بک وارد استفاده شده که خلاصه نتایج مدل‌سازی در جدول ۱۵ ارائه شده است. بر این اساس مدل بهینه به منظور ارتباط سه ماه پیشتر با ناهنجاری‌های دمایی ایران شامل شاخص‌های (GBI, NINO4, NINO 1+2, NINO3, NINO 3-4) بوده است، که این مدل توانسته تا ۰٫۸۹ واریانس داده‌های متوسط دمای ایران در ماه‌های ناهنجار را تبیین نماید. مربع R مدل و ضریب تعیین آن به ترتیب ۰٫۸ و ۰٫۷۸ بوده که عملکرد مشترک این پنج شاخص در مدل‌سازی اشاره شده را تأیید می‌نماید. پایین بودن ضریب sig در جدول تحلیل واریانس مدل‌سازی نیز موید همین امر می‌باشد. مقادیر sig در جدول ۱۷ عملکرد مناسب شاخص‌ها را نشان داده که از بین شاخص‌های انتخابی مدل در گام نهایی، شاخص NINO4 و NINO1+2 نسبت به دیگر شاخص‌ها در این زمینه ضعیف‌تر می‌باشند. جدول ۱۸ نیز ویژگی‌های شاخص‌های حذف شده را در پنج مرحله مدل‌سازی را نشان داده است. با توجه به مقادیر و ضرایب جدول ۱۷ رابطه وایزای خطی تهیه و ارائه شده است.

رابطه د:

$$\text{Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN(summer)M-3} = -114.572 + (\text{NINO3} * 11.523) + (\text{NINO1+2} * (-1.525)) + (\text{NINO3-4} * (-13.054)) + (\text{NINO4} * 5.072) + (\text{GBI} * 0.015)$$

جدول ۱۵. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
4	.896 ^d	.802	.782	2.3506795

جدول ۱۶. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
4	Regression	1097.871	5	219.574	39.737	.000e
	Residual	270.759	49	5.526		
	Total	1368.630	54			

جدول ۱۷. ضرایب متغیر (Coefficients) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

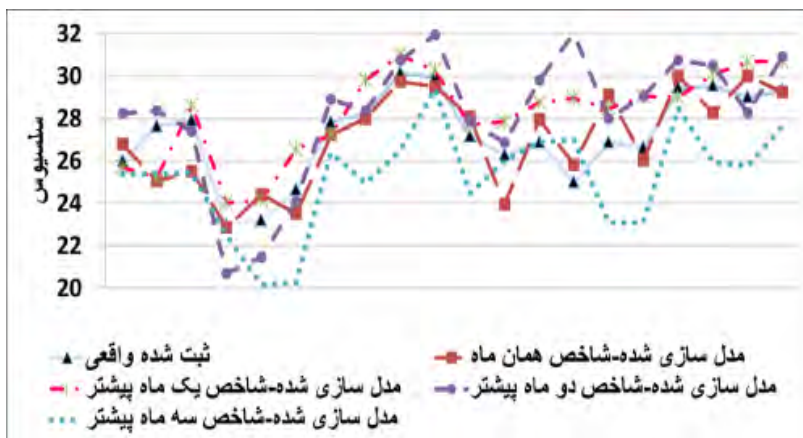
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
4	(Constant)	-114.572	22.997		-4.982	.000
	NINO3	11.523	1.782	2.863	6.466	.000
	NINO 1+2	-1.525	.583	-.396	-2.616	.012
	NINO 3-4	-13.054	2.265	-2.923	-5.763	.000
	NINO4	5.072	1.525	.748	3.326	.002
	GBI	.015	.004	.375	3.754	.000

جدول ۱۸. متغیرهای حذف شده (Excluded Variables) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics	
					Tolerance	
4	PACIFIC WARM POOL	-.014d	-.188	.852	-.027	.716
	GLOBAL MEAN TEMP.	.003d	.039	.969	.006	.651
	CAR	-.048d	-.624	.535	-.090	.696

ج) ارزیابی عملکرد توابع وایزی تولید شده

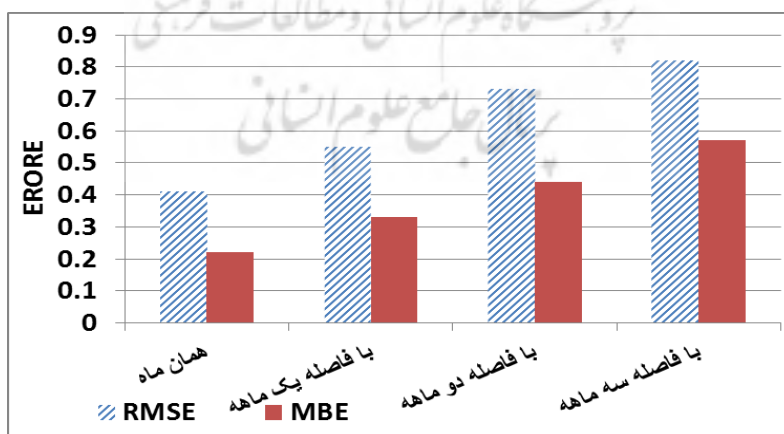
در شکل ۱۸ مقادیر متوسط دمای ایران در ۲۰ مورد ماه فصل گرم دارای ناهنجاری که به تصادف بین ۵۷ مورد مطالعاتی انتخاب شده بود، با مقادیر واقعی متوسط ایستگاه‌های سراسر کشور بر روی نمودار آورده شده است. در شکل ۱۹ نیز همبستگی مقادیر مدل‌سازی و واقعی در چهار گام زمانی مختلف آورده شده است. و همچنین در شکل ۲۰ نتایج ارزیابی عملکرد توابع ارائه شده در چهار گام زمانی (همزمان، ۱ و ۲ و ۳ ماه پیشتر) بر اساس شاخص‌های سنجش خطا RMSE و MBE ارائه شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی همبستگی از ماه همزمان تا گام چهارم مدل‌سازی به کاهش یافته، که نشان دهنده کاهش اعتماد مدل‌سازی می‌باشد. در مجموع بررسی شکل‌های ارائه شده نشان می‌دهد عملکرد مدل با میزان آریبی کمی به‌ویژه در بازه ماه‌های همزمان، یک و دو ماه پیشتر قابل پذیرش می‌باشد. بدیهی است که با افزایش فاصله زمانی (log time) بین مقادیر محاسباتی و واقعی میزان خطای مدل افزایش می‌یابد (شکل ۲۰)، از این رو صحت عملکرد توابع ارائه شده در بازه‌های نزدیک‌تر بیشتر مورد اطمینان می‌باشد.



شکل ۷. مقادیر واقعی و مدل سازی شده در ۲۰ ماه تصادفی



شکل ۸. ضریب همبستگی داده‌های مدل سازی شده و واقعی در ۲۰ مورد تصادفی



شکل ۹. مقادیر عددی میزان خطای عملکرد مدل در بیست درصد داده‌های آزمون در ۴ گام زمانی از ماه همزمان تا برآورد سه ماهه پیش‌تر

۵. نتیجه‌گیری

دمای هوا در پهنه ایران با شاخص‌های پیوند از دور ارتباط معنی‌داری را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش مشابه نتایج پژوهش‌های قبلی (پژوهش‌های علیزاده و همکاران، قویدل رحیمی و همکاران)^۱ بیانگر ارتباط معنی‌دار شاخص‌های پیوند آر دور با دمای هوا در پهنه ایران می‌باشد. بر اساس یافته‌های این پژوهش برخی از شاخص‌های مطالعه شده ارتباط معنی‌دار و قوی را با ناهنجاری‌های دمایی تابستانه ایران دارند، این شاخص‌ها توانایی نسبتاً مناسبی در جهت پیش‌یابی یک، دو و سه ماهه نابسامانی دمای تابستانه کشور دارند. در این زمینه با توجه به آزمون‌های به عمل آمده با ایستگاه‌های مورد مطالعه در پهنه ایران به طور کلی NINO3.4، NINO1+2، NINO3، NINO4، GBI، CAR، PACEFIC WARM POOL و GLOBAL MEAN TEMP. شاخص‌هایی بوده‌اند که با بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش همبستگی معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۰٪ و بیشتر داشته‌اند.

به لحاظ زمانی در محاسبات با گام‌های زمانی همزمان ماهانه با ایستگاه‌های کشور قوی‌ترین شاخص‌ها به ترتیب GBI، NINO1+2، NINO3 و NINO3.4 با میزان همبستگی به ترتیب $+0/8$ ، $-0/8$ ، $-0/57$ و $-0/4$ بوده‌اند. در زمینه یک گام زمانی بیشتر نیز شاخص GBI، NINO1+2 و NINO3 به ترتیب و به طور متوسط با $+0/8$ ، $-0/8$ و $-0/5$ بالاترین مقادیر همبستگی را داشته‌اند. در زمینه دو گام زمانی جلوتر نیز شاخص GBI و NINO1+2 و در زمینه سه گام زمانی بیشتر شاخص GBI، NINO3، NINO1+2 و NINO3.4 به ترتیب با همبستگی بین $0/25$ تا $0/4$ با ناهنجاری‌های دمایی ایران رابطه نشان دادند.

الگوی زمانی اثرگذاری برخی از شاخص‌ها مانند NINO که در ماه همزمان عمدتاً قوی و وارون بود، در گام‌های زمانی دو و سه ماه بیشتر به صورت مستقیم و معنی‌دار در می‌آید. بر اساس نتایج بدست آمده از مدل‌سازی وایازی چندمتغیره ارتباط شاخص‌های پیوند از دور مطالعه شده و ناهنجاری‌های دمایی ایران در فصل گرم، در ماه همزمان شاخص‌های GBI، NINO 1+2، GLOBAL MEAN TEMP.، با میزان همبستگی چند متغیره $0/94$ بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیم دمایی ایران هستند، و در گام زمانی یک ماه بیشتر نیز به شاخص‌های قبل شاخص NINO3 افزوده می‌شود و مجدداً با همبستگی $0/94$ ارتباط دارد؛ و در گام زمانی دو ماه جلوتر به ترتیب شاخص‌های GBI، NINO 3-4، NINO 1+2، GLOBAL MEAN TEMP.، NINO3، NINO4 و همچنین در گام زمانی سه ماه بیشتر شاخص‌های GBI، NINO4، NINO 1+2، NINO3، NINO 3-4 بهترین شاخص‌های جوی و اقیانوسی پیش‌بینی‌کننده ناهنجاری دمای ایران محسوب می‌شوند. لازم به ذکر است هر چه بازه زمانی پیش‌بینی طولانی‌تر می‌شود ظاهراً از اهمیت شاخص‌های جوی کاسته و بر تعداد و ضریب اهمیت شاخص‌های اقیانوسی افزوده می‌گردد. در مجموع با استفاده از شاخص‌های اشاره شده و به روش وایازی خطی چند متغیره در هر گام زمانی (همزمان، یک، دو و سه ماه

۱ به پیشینه پژوهش مراجع شود

پیشتر) بک تابع وایازی خطی برای ارتباط شاخص‌ها و ناهنجاری ماهانه متوسط دمای ایران ارائه گردیده است، که به وسیله آن می‌توان تغییرات دمایی ایران را تبیین و پیش‌بینی کرد. همچنین صحت عملکرد این توابع با استفاده از مطابقت و همبستگی داده‌های واقعی و مدل‌سازی شده تا حد مناسبی تأیید شده است. در پایان لازم است اشاره گردد توابع ارائه شده در این پژوهش برای ناهنجاری‌های متوسط دمای همه ایستگاه‌های مطالعاتی بوده و بهتر است برای بکارگیری آن برای هر ایستگاه این روابط توسط داده‌های ایستگاه هدف اصلاح شوند.

کتابنامه

- اکبری، طیبه؛ ۱۳۸۴. شناسایی نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی بر دمای ایران. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان.
- چهرآرا ضیابری، تهمنه؛ ۱۳۹۱. بررسی مراکز فشار مؤثر بر اقلیم ایران طی فازهای NAO و SOI، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- حلیان، امیرحسین؛ محمدی، بختیار؛ ۱۳۹۰. ارتباط دمای چند ایستگاه نمونه ایران با شاخص‌های مختلف انسو. فصلنامه علمی و پژوهشی فضای جغرافیایی. شماره ۳۸، ۱-۳۹.
- خسروی، محمود؛ ۱۳۸۱. پدیده انسو (ENSO) و تغییرپذیری اقلیم جنوب شرق ایران. پایان نامه دوره دکتری اقلیم‌شناسی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان.
- خورشید دوست، علی محمد؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۸۳. ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چند متغیره انسو. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۵، ۲۶-۱۵.
- خوش اخلاق، فرامرز؛ ۱۳۷۷. پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال سیزدهم. شماره ۵۱، ۱۲۱-۱۳۹.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۶. بررسی آماری روند دمای سالانه تبریز، مجله اندیشه جغرافیایی. شماره اول، ۹-۲۱.
- علیزاده، امین؛ عرفانیان، مریم و حسین انصاری؛ ۱۳۹۰. بررسی الگوهای پیوند از دور مؤثر بر پارامترهای بارش و دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، ۱۷۶-۱۸۵.
- غیور، حسینعلی؛ عساکره، حسین؛ ۱۳۸۰. مطالعه اثر پیوند از دور بر اقلیم ایران مطالعه موردی: اثر نوسانات اطلس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهانه دمای جاسک. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۶۹، ۹۳-۱۱۳.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ حاتمی، داریوش؛ رضایی، محمد؛ ۱۳۹۲. نقش الگوی پیوند از دور جو بالای دریای شمال-خزر در تغییرات زمانی بارش سواحل جنوبی دریای خزر. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۳۱، ۴۶-۲۹.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده اصل، منوچهر؛ حاتمی زرنه، داریوش؛ ۱۳۹۵. نقش اثرات الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر در نوسان پذیری دماهای بیشینه ایران، جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۰، شماره ۵۶، ۲۳۹-۲۵۵.

قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده، منوچهر؛ حاتمی زرنه، داریوش؛ ۱۳۹۴. تحلیل رابطه پیوند از دور بین الگوی دریای شمال-خزر و دماهای حداقل ایران، فضای جغرافیایی، شماره ۵۲، ۱۵۹-۱۳۷.

قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده، منوچهر؛ کاکاپور، سعید؛ ۱۳۹۳. نقش الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر در نوسانات بارش-های پاییزی مناطق شمال غرب و غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه-ریزی، شماره ۴۹، ۲۳۰-۲۱۷.

مسعودیان، ابوالفضل؛ ۱۳۸۴. ارتباط بارش ایران با انسو. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۴.

ناظم السادات، محمدجعفر؛ قاسمی، احمدرضا؛ ۱۳۸۲. بارندگی شش ماهه سرد مناطق مرکزی و جنوب غربی ایران و ارتباط آن با پدیده النینو نوسانات جنوبی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هفتم. شماره سوم. ۱-۱۳.

- Ajay, K., Ahmad, S., & Nayak, A., 2013. Forcing of hydroclimatic variability in the northwestern Great Plains since AD 1406. *Quaternary International*, 310, 47-61.
- Alheit, J., & Bakun, A., 2013. Effects of El Niño Southern Oscillation on the space-time variability of Agricultural Reference Index for Drought in midlatitudes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 174, 110-128.
- Cai, W., Whetton, P.H., & Pittock, A.B., 2001. Fluctuations of the relationship between ENSO and northeast Australian rainfall. *Climate Dynamics*, 17, 421-432.
- Gelcer, E., Fraisse, C., Dzotsi, K., Hu, Z., Mendes, R., L., & Zotarelli, L., 2013. Increasing streamflow forecast lead time for snowmelt-driven catchment based on large-scale climate patterns. *Advances in Water Resources*, 53, 150-162.
- Hans W., Andrea-Seim, L., Ou, T., Jeong, J., Liu, Y., Wang, X., Bao, G., & Folland, C., 2013. Exploring teleconnections between the summer NAO (SNAO) and climate in East Asia over the last four centuries ° A tree-ring perspective. *Dendrochronologia*, 31, 4, 297-310.
- Huber, S., & Fensholt, R., 2012. The role of the Atlantic Multidecadal Oscillation on medieval drought in North America: Synthesizing results from proxy data and climate models. *Global and Planetary Change*, 85, 56-65.
- Jiang P., Yu, Z., & Gautam, R., 2013. Pacific and Atlantic Ocean influence on the spatiotemporal variability of heavy precipitation in the western United States. *Global and Planetary Change*, 109, 38-45.
- John C., & Chiang, H., 2002. Tropical tropospheric temperature variations caused by ENSO and their influence on the remote tropical climate. *Journal of Climate*, 105, 16-26.
- Kelly A., Paul, S., & Ruscher, H., 2014. Large Scale Climate Oscillations and Mesoscale Surface Meteorological Variability in the Apalachicola-Chattahoochee-Flint River. *Journal of Hydrology*, 25, 55-67.
- Kutiel, H., Maheras, P., Tulkes M., & Paz, S., 2002. North Sea-Caspian Pattern(NCP)an Upper Level Atmospheric Teleconnection Affecting the Eastern Mediterranean Implications on the Regional Climate. *Theoretical and Applied Climatology*. 52, 101-115.
- Lazar, B., & Williams, M., 2008. Climate Change in Western Ski Areas: Potential Changes in the Timing of Wet Avalanches and Snow Quality for the Aspen Ski area in the years 2030 and 2100. *Cold Regions Science and Technology* 51, 219-228.
- Michael J., 2011. Analysis of teleconnections between AVHRR-based sea surface temperature and vegetation productivity in the semi-arid Sahel. *Remote Sensing of Environment*, 115, 12, 3276-3285.

- Oglesby, R., Feng, S., Hu, Q., & Rowe, C., 2012. Spatial and Time Analysis of Rainfall in the Tiber River Basin (Central Italy) in relation to Discharge Measurements (1920-2010). *Procedia Environmental Sciences*, 7, 258-263.
- Restrepo, J., Carlos-Ortíz, J., Pierini, J., Schrottke, K., Maza, M., Otero, L., & Aguirre, J., 2013. Data-driven modeling of surface temperature anomaly and solar activity trends. *Environmental Modelling & Software*, 37, 217-232.
- Robert H., & Niebauer, H.J., 1999. Causes of Interannual Variability in the Sea Ice Core of the Eastern Bering Sea. *Institute of Marine Science*, 22, 250-263.
- Romano, E., Bruna-Petrangeli, A., & Preziosi, E., 2011. Our current understanding of lake ecosystem response to climate change: What have we really learned from the north temperate deep lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 37, 173-193.
- Shabbar A., 2006. The impact of El Niño-Southern oscillation on the Canadian climate. *Advances in Geosciences*, 6, 149-153.
- Shimoda, Y., Ekram, M., Gurbir, A., Perhar, M., Melissa A., Sadraddini, S., Gudimov, A., & George B., 2013. Impact of Late Holocene climate variability and anthropogenic activities on Biscayne Bay (Florida, U.S.A.): Evidence from diatoms. *Palaeoclimatology*, 371, 80-92.
- Suzan L. L., Jeannine-Marie S., Jacques, D., Sauchyn, J., & Vanstone, J. R., 2011. Teleconnections and interannual variability in Canadian groundwater levels. *Journal of Hydrology*, 410, 178-188.
- Tang B.H., & Neelin, J.D., 2004. ENSO influence on Atlantic hurricanes via tropospheric warming. *Geophysical Research Letters*, 31, 204-230.
- Tremblay, L., Larocque, M., Ancil, F., & Rivard, C., 2013. Freshwater discharge into the Caribbean Sea from the rivers of Northwestern South America (Colombia): Magnitude, variability and recent changes. *Journal of Hydrology*, 509, 266-281.
- Víctor M., Berta O., René-Garduño, E., Villanueva, E., & Adem, J., 2014. Simulation of the PDO effect on the North America summer climate with emphasis on Mexico. *Atmospheric Research*, 137, 228-244.
- Wachnicka, A., Gaiser, E., Wingard, L., Briceño, H., & Harlem, P., 2010. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical° biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems*, 79, 267-285.
- www.chaharmahalmet.ir/iranarchive.asp
- www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/index.html