

جغرافیا و توسعه شماره ۴۰ پاییز ۱۳۹۴

وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۲۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰

صفحات: ۱۲۴-۱۰۹

پیش‌آگاهی فصلی دبی ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی

دکتر ام‌السلمه بابایی فینی^۱، دکتر ابراهیم فتاحی^۲

چکیده

هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیر سیگنال‌های اقلیمی بر دبی دو ایستگاه منتخب و نوسان آب دریاچه ارومیه، طی دوره‌ی ۲۲ ساله (۲۰۰۷-۱۹۸۶) می‌باشد. برای این کار از داده‌های دو ایستگاه منتخب، داده‌های ماهانه شاخص نوسان جنوبی SOI، نوسان اطلس شمالی NAO و شاخص ENSO در مناطق NINO1+2, NINO3, NINO4 و NINO3.4 استفاده شد. داده‌های مربوط به سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی از مرکز داده‌های NCEP تهیه گردید. داده‌های مربوط به میانگین دبی ماهانه ایستگاه‌های داشبند و ساریقمیش نیز از مرکز داده‌های وزارت نیرو تهیه گردید. ابتدا به منظور بررسی اولیه داده‌ها و همبستگی بین آنها برای تهیه مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی دبی، گام‌های زمانی ۰، ۳ و ۶ ماهه مد نظر قرار گرفت. در بررسی دبی در بازه‌های زمانی مختلف، ایستگاه‌های مورد مطالعه، نتیجه شد، همبستگی در بازه‌ی زمانی تأخیری شش‌ماهه بیشتر از بازه‌های زمانی همزمان و تأخیری سه ماهه است. پس از تبیین ارتباط و نوع آن، مدل پیش‌بینی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی طراحی گردید و نتایج حاصل از این مدل مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار در بازه‌های زمانی این نتیجه گرفته شد، که شاخص‌های بزرگ مقیاس اقلیمی از نظر گردش عمومی جو و متأثر نمودن سیستم‌های بزرگ جوی در منطقه‌ی مورد مطالعه بر دما، بارش و دبی و نوسان آب دریاچه‌ی ارومیه تأثیر معنی‌داری می‌گذارند. بررسی مدل‌های خروجی از نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی نشان داد، که مؤثرترین سیگنال‌ها بر دبی به ترتیب NINO3.4, NINO3, NINO1+2 و کم‌اثرترین سیگنال‌ها به ترتیب SOI, NAO می‌باشند. با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری کرد که ارتباط معنی‌داری بین دبی با سیگنال‌های اقلیمی وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌آگاهی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، همبستگی، سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی، دبی ورودی، دریاچه‌ی ارومیه.

مقدمه

افزایش برای تقاضای آب در مناطق مختلف بویژه در نواحی خشک و نیمه خشک، نیاز به مدیریت بهینه منابع آب را بیش از پیش نشان می‌دهد. پیش‌آگاهی دقیق و به موقع منابع آب در دسترس را می‌توان نکته‌ی کلیدی در برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب قلمداد کرد. بر این پایه دستیابی به روش‌های مطمئن پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها به منظور برنامه‌ریزی در بهره‌برداری به موقع از منابع آب از اهمیت روزافزونی برخوردار است.

در حوضه‌های آبریز بدون سدهای مخزنی و نیز در مناطقی که جریان رودخانه با تأسیسات ویژه‌ای کنترل می‌شود، مدل‌های پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها به عنوان ابزار مناسبی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرند. پیش‌بینی رواناب و آگاهی پیش از موعد از میزان آب در دسترس می‌تواند در تقسیم بهینه منابع آب برای آبیاری، تولید جریان برق، کنترل سیلاب، برنامه‌ریزی کاربردی آب در بخش‌های صنعت، کشاورزی و شرب، حفاظت زیستگاه‌های منطقه‌های طبیعی، کنترل آلودگی آب و نیز گسترش بهره‌گیری تفرجگاهی از منابع و اراضی، مفید بوده و منافع اقتصادی در برداشته باشد، علاوه بر این، بهبود مدل‌ها و افزایش دقت پیش‌بینی را با توجه به اثرگذاری یاد شده می‌توان به عنوان درآمد اقتصادی که در این راستا فراهم می‌شود در نظر گرفت. بنابراین مطالعه و بررسی روش‌های نوین و همبستگی الگوریتم‌های مناسب جهت پیش‌آگاهی و مدل‌سازی مقادیر دبی رودخانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

پیش‌بینی جریان رودخانه در ماه‌ها و فصول آتی برای برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب امری ضروری است. علاوه بر آن، صحت پیش‌بینی‌ها تأثیر معنی‌داری بر اجرای سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن آب و

راندمان عملکرد دارد. توسعه‌ی مدل‌های آماری، با مدل‌های اتورگرسیو ساده آغاز شد و با اثبات وجود همبستگی فصلی و غیرفصلی توسعه پیدا کرد (3: Yevjevich, 1963). کارآموز و همکاران از مدل‌های ARIMA برای پیش‌بینی جریان ماهانه هفت حوضه آبریز در ایران استفاده کردند. آنها همچنین سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری برای بهره‌برداری از هفت منبع اصلی در این حوضه‌ها را توسعه دادند (Karamouz et al, 2000: 1-11).

رانگون و مارتین به منظور شبیه‌سازی جریان روزانه در فصل ذوب برف و پیش‌بینی رواناب فصلی و ارزیابی پتانسیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر سطح پوشش برف و رواناب سطحی از مدل SRM استفاده کردند (Rango & Martine, 1979: 225-238).

سیدیل و مارتینک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست، اسپات و نوآ سطح پوشش برف ۱۳ حوضه واقع در سوئیس را استخراج و با مدل SRM رواناب برف این حوضه‌ها را شبیه‌سازی بینی کردند (Seidel & Martinec, 1998: 1659-1669).

ریپلووسکی و هالپر نشان دادند که لائینا تأثیر متفاوتی بر بخش‌های مختلف آفریقا دارد، بطوری که وقوع این پدیده در نواحی استوای شرقی آفریقا طی دوره‌ای؛ که لائینا از ماه نوامبر شروع شده و تا ماه مارس سال بعد ادامه می‌یابد، با بارش‌های کمتر از حد نرمال مواجه می‌شوند. در حالی که مناطق جنوب شرقی آفریقا در زمان مشابه و تا ماه آوریل میزان بارش بیشتر از حد نرمال دریافت می‌کنند (Ropelewski & Halpert, 1989: 268-284).

اسچونر و نیچولسون ارتباط بین بارندگی سالانه کالیفرنیا و ENSO را تحلیل نمودند. تحقیقات آنها حکایت از همزمانی سال‌های مرطوب با رخداد ENSO در این ایالت داشت. (Schoner & Nicholson, 1989: 1258-1269) در تحلیلی دیگر ردموند و کوچ ارتباط بارش، دما و

پارامترهای جوی توسط ماهواره‌ها، شرایط اقیانوس‌ها را بهتر از سال‌های قبل می‌توان به تصویر کشاند (Trenberth & Caron, 2000:4360).

ماسون و گیلیان سعی کرده‌اند با استفاده از روش‌های مختلف آماری تغییرات این پدیده را به صورت احتمالی پیش‌بینی و نتایج حاصله را با هم مقایسه کنند (Mason & Gilian, 2002: 8-29). درپ ایران نیز

تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است

مدرس‌پور با بررسی تأثیر رویداد انسو بر بارندگی و دمای کشور، بارش‌ها و دماهای ایران را مورد مطالعه قرار داده است (مدرس‌پور، ۱۳۷۵: ۱۰). خوش‌اخلاق تحت عنوان پدیده‌ی انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران، ضریب تعیین بارش سی ساله ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور را با متوسط سالانه SOI مورد مطالعه قرار داده است و نتیجه گرفته برای حدود ۸۴ درصد از ایستگاه‌ها، ضریب تعیین منفی می‌باشد (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷: ۱۳۹-۱۲۱).

استوار ارتباط پدیده‌ی النینو با بارش‌های ماهانه ایران را مورد ارزیابی قرار داد، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که اثرگذاری پدیده‌ی النینو بر بارش‌های ایران؛ همزمان با تغییر الگوی فشار در اقیانوس آرام نبوده، بلکه با تأخیر زمانی همراه است (استوار، ۱۳۷۹: ۱۱).

عزیزی در مقاله‌ای النینو و رابطه آن را با دوره‌های خشکسالی و ترسالی ایران را مورد بررسی قرار داده است؛ و اظهار داشتند که ارتباط نسبتاً محکمی بین بارش سالانه ایران و شاخص نوسان جنوبی (SOI) وجود دارد (عزیزی، ۱۳۷۹: ۸۲). ناظم‌السادات تأثیر ENSO بر بارش‌های پاییزه ایران را مورد بررسی قرار داد، وی SOI را به عنوان یک شاخص جهت پیش‌بینی فصلی در نظر گرفت و برای درک بهتر این ارتباط از روش رگرسیون متوالی^۱ جهت محاسبه همبستگی بین این دو متغیر استفاده کرد (ناظم‌السادات، ۱۳۸۰: ۱۵).

رواناب غرب آمریکا را با سیگنال‌های بزرگ مقیاس بررسی کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که بارش اکتبر تا مارس این مناطق بیشترین همبستگی را با متوسط SOI ماه‌های جولای تا نوامبر داشته است، همچنین آنها نتیجه گرفتند که همبستگی رواناب با SOI همانند بارش می‌باشد (Redmond & Koch, 1991: 2381-2399).

کریپالانی و همکاران بر این نکته تأکید می‌کنند که ENSO از مهمترین پدیده‌های شناخته شده‌ای است که ناشی از واکنش‌های متقابل اقیانوس- جو و خشکی بوده و تغییرات اقلیمی در مقیاس سالانه در سطح کره زمین را موجب می‌گردد، وقوع دو پدیده‌ی متوالی ENSO تابع قانون زمانی مشخصی نبوده و دوره برگشت‌های آن در فواصل زمانی ۲ تا ۱۰ سال مشاهده شده است (Kripalani & Kulkarani, 1997: 47-61).

Allen et al, 1996: 3. چپو در مورد بررسی ENSO با بارندگی استرالیا در تأیید کارهای قبل نشان می‌دهد که همبستگی همراه با تأخیر بین SOI و بارندگی فصلی استرالیا وجود دارد و بهترین همبستگی‌ها در دو حالت وجود دارد، حالت اول مربوط به ارتباط بین متوسط SOI ماه‌های جون و جولای با متوسط بارندگی بهاره (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) در قسمت شرق استرالیا و حالت دوم مربوط به ارتباط بین متوسط SOI ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر با متوسط بارندگی تابستانه در بخش شمال شرق استرالیا است (Chiew et al, 1998: 138-149).

نیچولسون و سلاتو تأثیر لانینا را بر بارش آفریقا با استفاده از روش هارمونیک بررسی نموده‌اند (Nicholson & Selato, 2000: 1764).

ترنبرت و کارون تحلیل دوباره بر روی الگوهای فشار سطح دریا، دمای سطح دریا و بارش با توجه به تغییرات SOI انجام دادند. استدلال آن‌ها این بود که در سال‌های اخیر با توجه به توسعه‌ی اندازه‌گیری

مربوط به اتمسفر در جوامع علمی مورد توجه زیادی قرار گرفته است، در این بررسی نیز سعی شده است با لحاظ کردن سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و با به کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چندگانه امکان پیش‌آگاهی‌های لازم طی دوره‌های سه ماهه و شش‌ماهه مورد ارزیابی قرار گیرد.

داده‌ها و روش کار

بررسی منابع متعدد نشان می‌دهد ارتباط بین سیگنال‌های بزرگ مقیاس مانند شاخص نوسان جنوبی SOI، شاخص NAO و پدیده ENSO در مناطق NINO4، NINO3، NINO3.4 و NINO1+2 با سطح پوشش برف و بارش، دما و رواناب در مناطق وسیعی از کره‌ی زمین تأیید شده است و محققان بسیاری در سراسر دنیا با اتخاذ شیوه‌های مختلف درصد بر آمده‌اند تا نتایج قابل قبولی را بر اساس این سیگنال‌ها برای نقاط مختلف کره‌ی زمین به دست آورند. از این رو در مطالعه‌ی حاضر نیز از سیگنال‌های فوق برای بررسی و پیش‌آگاهی رواناب ایستگاه‌های منتخب حوضه‌ی دریاچه ارومیه استفاده شده است.

در این مطالعه داده‌های ماهانه‌ی شاخص نوسان جنوبی SOI، نوسان اطلس شمالی NAO و پدیده ENSO در مناطق NINO4، NINO3، NINO3.4 و NINO1+2 مورد استفاده قرار گرفته است.

داده‌های مربوط به سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی از مرکز داده‌های NCEP تهیه گردید. داده‌های مربوط به میانگین دبی ماهانه ایستگاه‌های منتخب نیز از مرکز تحقیقات وزارت نیرو تهیه شد.

کوره‌پزان در تحقیقی تأثیر سیگنال‌های اقلیم شناسی بزرگ مقیاس اقلیمی نظیر ENSO، NAO و SST را برای پیش‌آگاهی تغییرات بارش مناطق جنوبی ایران مورد استفاده قرار داد (کوره‌پزان، ۱۳۸۲: ۱۰). حضرتی و همکاران تأثیر پدیده‌های نوسانات اطلس شمالی و جنوبی بر دما و بارش حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه را مورد بررسی قرار داده‌اند نتایج حاصل بیانگر ارتباط بارش زمستانه‌ی حوضه با نوسانات اطلس شمالی و همچنین بارش پاییزه‌ی حوضه با نوسانات جنوبی است (حضرتی و همکاران، ۱۳۸۳: ۳).

خورشیددوست و قویدل رحیمی نقش پدیده‌ی انسو در تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی را مورد مطالعه قرار دادند (خورشید دوست و قویدل رحیمی، ۱۳۸۴: ۲۶-۱۵).

فتاحی و صداقت‌کردار با استفاده از داده‌های ماهانه شاخص نوسان جنوبی، NAO و پدیده‌ی انسو در مناطق نینو ۱+۲، نینو ۳، نینو ۳.۴، نینو ۴، به بررسی تأثیر سیگنال‌های مؤثر بر بارش نواحی مختلف کشور به روش رگرسیون چندگانه پرداختند، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد تقریباً در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، شاخص انسو در مناطق نینو ۱+۲، نینو ۳ پراهمیت‌ترین سیگنال در بارش می‌باشد. با توجه به موارد یاد شده اهداف این تحقیق بررسی و پیش‌بینی دبی رودخانه‌های منتخب حوضه دریاچه ارومیه است (فتاحی و صداقت‌کردار، ۱۳۸۷: ۵۷). در این پژوهش

تعدادی از زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه با توجه به اهمیت منابع آب این حوضه و نیز روند رو به کاهش تراز و سطح دریاچه ارومیه به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. و از آنجایی که سیستم دوگانه اتمسفر-اقیانوس^۱ (ENSO) و اثرش بر وضعیت جوی و پدیده‌های

جدول ۱: ویژگی داده‌های مورد استفاده

ردیف	نام متغیر	مقایس زمانی	دوره‌ی آماری	مرجع
۱	دبی ایستگاه‌های داشبند و ساریقمیش	میانگین روزانه	۱۹۸۶-۲۰۰۷	وزارت نیرو
۲	نوسان اطلس شمالی NAO	میانگین ماهانه	۱۹۸۶-۲۰۰۷	NCEP
۳	شاخص نوسان جنوبی SOI	میانگین ماهانه	۱۹۸۶-۲۰۰۷	NCEP
۴	شاخص ENSO	میانگین ماهانه	۱۹۸۶-۲۰۰۷	NCEP

مأخذ: مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و وزارت نیرو

روش همبستگی

به منظور بررسی اولیه ارتباط داده‌ها و همبستگی بین متغیرهای مستقل و پیوسته و برای تهیه‌ی مناسب‌ترین مدل پیش‌آگاهی دبی، گام‌های زمانی همزمان، ۳ و ۶ ماهه در نظر قرار گرفت. بدین ترتیب در مرحله‌ی اول، ماتریس همبستگی بین دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری داشبند و ساریقمیش در حوضه‌ی مورد مطالعه به عنوان متغیرهای وابسته و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی به عنوان متغیرهای مستقل تشکیل شد و با استفاده از قابلیت نرم‌افزار SPSS ماتریس همبستگی محاسبه گردید.

روش رگرسیون چند متغیره

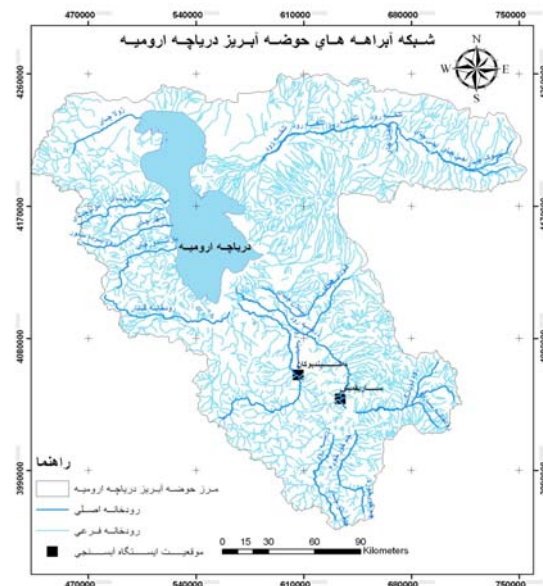
روش همبستگی از جمله روش‌های تحلیلی است که علاوه بر همبستگی شدت و ضعف رابطه بین دو متغیر، جهت روابط را نیز نشان می‌دهد. اما این روش قادر به بیان روابط بین متغیرها نبوده و نمی‌تواند مدعی باشد که کدامیک از متغیرها علت و کدامیک معلول می‌باشد، همچنین امکان پیش‌بینی یک متغیر از طریق متغیر یا متغیرهای دیگر وجود ندارد. به همین دلیل برای تحلیل‌های پیشرفته‌تر و پیش‌بینی تغییر در متغیر وابسته در صورت تغییر در متغیرهای مستقل باید از روش‌های دیگری نظیر تحلیل رگرسیون استفاده کرد. این روش (تحلیل رگرسیون چند متغیره) ارتباط نزدیکی با ضریب تعیین پیرسون و نمودار

پراکنش داشته و خط رگرسیون در نمودار پراکنش مبنای تحلیل نقاط در این نمودار محسوب می‌شود. استفاده از رگرسیون و مدل‌های مبتنی بر آن، از قدمت زیادی در حل و مدل‌سازی مسائل هیدرولوژیکی و اقلیم‌شناسی برخوردار است (کارآموز، ۱۳۸۴: ۴۱-۲۹).

در این روش متغیرهای مستقل از مهمترین متغیر تا کم‌اهمیت‌ترین آنها به صورت مرحله‌ای وارد مدل می‌شوند. معیار میزان اهمیت متغیر در مدل را نیز مقدار سطح معنی‌داری یا آماره F متناظر با آن که در جدول‌های آزمون معنی‌داری وجود دارند، همبستگی می‌کند در واقع در این روش متغیرها به ترتیب وارد معادله می‌شوند ولی با ورود هر متغیر جدید، کلیه‌ی متغیرهای موجود در معادله‌ی مورد بررسی قرار می‌گیرند، اگر هر کدام از آنان سطح معنی‌داری خود را از دست داده باشند، قبل از ورود متغیر جدید، این متغیر از معادله خارج می‌شود و در پایان عملیات هر متغیری که سطح معنی‌داری کمتر از سطح همبستگی شده داشته باشد در معادله حضور نخواهد داشت.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

تحقیقات و علاقه‌مندی به شبکه‌های عصبی از زمانی شروع شد که مغز به‌عنوان یک سیستم دینامیکی با ساختار موازی و پردازشگری کاملاً متفاوت با پردازشگرهای متداول، شناخته شد. نگرش نوین در مورد کارکرد مغز ماحصل تفکراتی بود که در اوایل قرن بیستم توسط رامون سگال در مورد ساختار مغز به عنوان اجتماعی از اجزای محاسباتی کوچک به نام



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه
مأخذ: وزارت نیرو

نتایج و بحث

هدف اصلی در این تحقیق پیش‌بینی دبی ماهانه در حوضه‌ی مورد مطالعه، بر اساس داده‌های دو ایستگاه منتخب و با استفاده از سیگنال‌های اقلیم‌شناسی می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های ماهانه شاخص نوسانات جنوبی^۳ SOI، نوسان اطلس شمالی^۴ NAO و شاخص^۵ ENSO در مناطق NINO1+2، NINO3، NINO3,4 و NINO4 استفاده شده است. به منظور بررسی اولیه داده‌ها و همبستگی بین آنها برای تهیه مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی دبی، گام‌های زمانی ۳، ۰، ۳ و ۶ ماهه مد نظر قرار گرفت. بدین ترتیب در مرحله اول، ماتریس همبستگی بین دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری داشبند و ساریقمیش در حوضه‌ی مورد مطالعه و سیگنال‌های اقلیم‌شناسی مطابق با جداول زیر برای هر گام زمانی استخراج گردید. لازم به توضیح

نرون^۱، شکل گرفت. از این‌رو دانشمندان به فکر کاربرد یک سیستم هوش مصنوعی که قابلیت‌های مشابهی با مغز انسان را داشته باشند افتادند. نتیجه‌ی این تلاش‌ها ابداع روش‌های محاسباتی منسوب به محاسبات عصبی^۲ بوده است. شبکه‌ی عصبی مدل‌های محاسباتی هستند که قادرند رابطه‌ی میان ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم فیزیکی را توسط شبکه‌ای از گره‌ها که همگی با هم متصل هستند، تعیین نمایند که در آن میزان فعالیت هر یک از این اتصالات توسط اطلاعات تاریخی تنظیم می‌شود (فرآیند یادگیری) و در نهایت مدل قادر خواهد بود قوانین مرتبط میان ورودی‌ها و خروجی‌ها را کشف نماید، هرچند این قوانین غیرخطی و پیچیده باشند.

منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه یکی از شش حوضه‌ی آبریز اصلی کشور بوده و با وسعت معادل ۵۱۸۰۱ کیلومترمربع در شمال غرب ایران بین عرض شمالی ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و طول شرقی ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه واقع شده است و توسط سلسله جبال زاگرس، البرز و چندین رشته‌کوه داخل فلات ایران محدود می‌باشد. این حوضه از شمال به حوضه‌ی آبریز ارس، از شرق به حوضه‌ی آبریز سفیدرود بزرگ، از جنوب و جنوب غربی به حوضه‌ی آبریز مرزی غرب و از غرب به کشورهای ترکیه و عراق محدود می‌گردد. حوضه‌ی مذکور به هفت زیرحوضه تقسیم شده است. بزرگترین و کوچکترین زیرحوضه به ترتیب حوضه‌ی آبریز سیمینه‌رود- زرينه‌رود و حوضه‌ی آبریز رودخانه‌های شمال دریاچه و با مساحت‌های به ترتیب ۱۷۴۹۵ و ۱۸۷۳ کیلومتر مربع می‌باشند.

1-Neruron
2-Neural Computing
3-Southern Oscillation Index
4-North Atlantic Oscillation
5-El Nino-Southern oscillation

مطالعه در اواخر زمستان و فصل بهار به واسطه‌ی ذوب ذخایر برفی تأمین می‌شود، که بین ذخیره‌ی برفی تا ذوب آن یک تأخیر زمانی وجود دارد، بنابراین انتخاب گام‌های زمانی مختلف می‌تواند هم اثر تأخیری سیگنال‌های اقلیمی و هم اثر ذخایر برفی حوضه را به خوبی آشکار سازد.

است دلیل انتخاب گام‌های زمانی همزمان، تأخیر سه‌ماهه و شش‌ماهه به واسطه‌ی فاصله زیاد خاستگاه سیگنال‌های اقلیمی با منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد، بطوری‌که اثر این سیگنال‌ها در بسیاری از مواقع همزمان نبوده و با تأخیر زمانی همراه است. همچنین در مورد پیش‌آگاهی دبی باید خاطر نشان کرد که بخش عمده‌ای از رواناب رودخانه‌های منطقه‌ی مورد

جدول ۲: همبستگی دبی ایستگاه‌های منتخب با سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی

تأخیر شش ماهه		تأخیر سه ماهه		تأخیر همزمان		سیگنال‌های اقلیمی
دبی‌داشبند	دبی ساریقمیش	دبی‌داشبند	دبی ساریقمیش	دبی‌داشبند	دبی ساریقمیش	
-0.423**	-0.237**	0.072	0.360**	0.571**	0.334**	NINO1+2
-0.154*	-0.111	-0.048	0.201**	0.501**	0.444**	NINO 3
0.136*	0.115	0.034	0.135*	0.288**	0.353**	NINO 3,4
0.320**	0.306**	0.170**	0.122*	0.039	0.126*	NINO4
-0.098	-0.082	-0.004	0.029	0.093	0.053	NAO
-0.201**	-0.220**	-0.248**	-0.209**	-0.146*	-0.154*	SOI

همبستگی معنی‌دار در سطح ۰.۰۱ * همبستگی معنی‌دار در سطح ۰.۰۵ .
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان: ۱۳۹۰

مقدار است و در حالت تأخیر شش ماهه در کلیه‌ی ایستگاه‌ها بالاترین همبستگی بین دبی با سیگنال‌های NINO1+2 و سپس NINO4 ملاحظه می‌شود. رابطه‌ی همبستگی دبی با سیگنال‌های مذکور بصورت معکوس و معنی‌دار می‌باشد. بنابراین ترتیب و میزان اثرگذاری سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیم شناسی در مقایسه با هم بر دبی ماهانه در حالت همزمان و تأخیرهای سه ماهه و شش ماهه بر اساس مقدار ضریب تعیین به صورت جداول زیر قابل مشاهده می‌باشند.

با توجه به جدول شماره‌ی ۲ بالاترین همبستگی برای دبی تمامی ایستگاه‌ها در حالت بدون تأخیر برای سیگنال‌ای NINO3, NINO1+2 مشاهده می‌شود. در حالت تأخیر سه ماهه میزان همبستگی دبی با سیگنال‌های اقلیمی بطور قابل ملاحظه‌ی کاهش می‌یابد. در ایستگاه هیدرومتری ساریقمیش بالاترین میزان همبستگی در حالت تأخیر سه ماهه با سیگنال NINO1+2, NINO3 بطور مستقیم و همبستگی معنی‌دار می‌باشد و در مورد همبستگی بین ایستگاه داشبند، سیگنال SOI بصورت معکوس دارای بیشترین

جدول ۳: میزان اثرگذاری سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر دبی ماهانه ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	فاصله زمانی (ماه)	NINO1+2	NINO3	NINO4	NINO3, 4	NAO	SOI
داشبند بوکان	۰	۱	۲	۶	۳	۵	۴
	۳	۳	۴	۲	۵	۶	۱
	۶	۱	۴	۲	۵	۶	۳
ساریقمیش	۰	۳	۱	۵	۲	۶	۴
	۳	۱	۳	۵	۴	۶	۲
	۶	۲	۵	۱	۴	۶	۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان: ۱۳۹۰

جدول ۴: عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده در

پیش‌بینی دبی ماهانه در حالت همزمان

ساریقمیش	داشبند بوکان	Performance
0.178	0.214	MSE
0.509	0.534	NMSE
0.327	0.306	MAE
0.718	0.684	R
87.09	63.63	Percent Correct

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

در حالت کلی، شبکه‌ی عصبی اطلاعاتی در مورد اهمیت و میزان تأثیر متغیرهای ورودی بر خروجی نمی‌دهد. برای فهم درصد تأثیر هر یک از متغیرهای ورودی بر خروجی می‌توان از آنالیز حساسیت استفاده کرد.

جدول ۵: آنالیز حساسیت مدل‌های پیش‌بینی دبی در حالت

همزمان نسبت به سیگنال‌های اقلیم‌شناسی

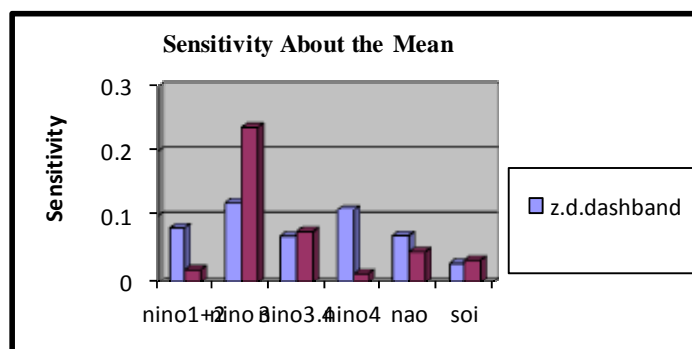
Sensitivity	داشبند	ساریقمیش
nino1+2	0.08	0.02
nino 3	0.12	0.24
nino3.4	0.07	0.08
nino4	0.11	0.01
Nao	0.07	0.05
SOI	0.03	0.03

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

در مورد تأثیر سیگنال‌ها بر دبی ماهانه تفاوت‌هایی در میزان اثرگذاری سیگنال‌ها دیده می‌شود که سیگنال NINO1+2 تقریباً در تمامی موارد تأثیر بیشتری دارد. بطوری که روند خاصی برای میزان تأثیرگذاری شاخص ENSO در ایستگاه‌های هیدرومتری دیده نمی‌شود. ولی شاخص NAO کم‌اثرترین سیگنال در حالت‌های مختلف زمانی می‌باشد.

پیش‌بینی دبی در حالت همزمان

همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌گردد ضریب تعیین (R) مدل فوق در ایستگاه داشبند بوکان ۰/۶۸ و در ایستگاه ساریقمیش ۰/۷۱ به دست آمده است. میزان مربعات خطا (MSE) که یکی دیگر از معیارهای قضاوت برای مناسب بودن مدل است در این حالت برای ایستگاه داشبند ۰/۲۱۴ و در ایستگاه ساریقمیش ۰/۱۷۸ می‌باشد. بنابراین با توجه به معیارهای فوق ملاحظه می‌شود که روش به کار رفته برای پیش‌آگاهی رواناب حوضه‌های مورد مطالعه در حالت همزمان از عملکرد و دقت قابل قبولی برخوردار است.



شکل ۲: مقایسه‌ی حساسیت مدل‌های پیش‌بینی دبی در حالت همزمان نسبت به سیگنال‌های اقلیم‌شناسی

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

مدل‌های پیش‌بینی دبی در حالت همزمان (جدول ۵) و شکل (۲) ملاحظه می‌گردد که بیشترین سهم و اهمیت را سیگنال NINO3 داشته و مؤثرترین پارامتر

در همین راستا در این تحقیق به منظور شناخت درصد تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی، آنالیز حساسیت صورت گرفت. با توجه به نتایج تحلیل آنالیز حساسیت

خطا در ایستگاه ساریقمیش ۰/۲۹ و در ایستگاه داشبند برابر با ۰/۶۹ است.

جدول ۶: عملکرد شبکه‌های مصنوعی طراحی شده در پیش‌بینی دبی ماهانه با تأخیر سه ماهه

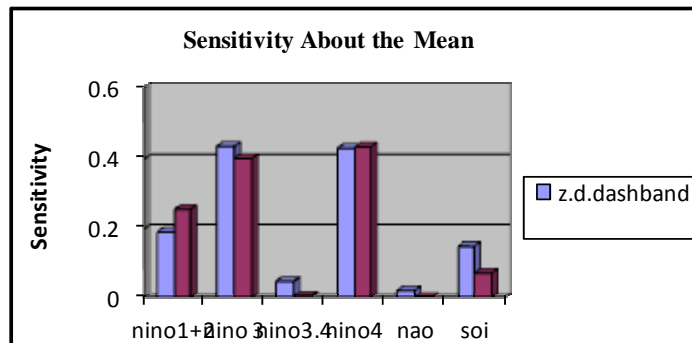
Performance	داشبند بوکان	ساریقمیش
MSE	0.688	0.297
NMSE	1.697	0.835
MAE	0.555	0.369
R	0.391	0.642
Percent Correct	90	60

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان: ۱۳۹۰

در پیش‌بینی دبی ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده می‌باشند و از تغییرات این سیگنال می‌توان نوسانات رواناب حوضه‌های مورد بررسی و در نهایت پیش‌بینی کرد.

پیش‌بینی دبی در حالت تأخیر سه ماهه

جدول ۶ عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده در پیش‌بینی دبی ماهانه با تأخیر سه ماهه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ضریب تعیین این مدل در ایستگاه داشبند ۰/۳۹ و ایستگاه ساریقمیش ۰/۶۴ به دست آمده است. میزان مربعات



شکل ۳: مقایسه‌ی حساسیت مدل‌های پیش‌بینی دبی با تأخیر سه ماهه نسبت به سیگنال‌های اقلیم‌شناسی
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان: ۱۳۹۰

NINO3, 4 در هر دو ایستگاه داشبند و ساریقمیش کم‌اثرترین سیگنال‌ها می‌باشند.

پیش‌بینی دبی در حالت تأخیر شش ماهه

جدول ۸ عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده در پیش‌بینی دبی ماهانه با تأخیر شش ماهه را نشان می‌دهد. در ایستگاه داشبند بوکان ضریب تعیین ۰/۷ و ساریقمیش نیز ۰/۵ می‌باشد و میزان مربعات خطا (MSE) در این حالت در ایستگاه داشبند ۰/۴۳ است. ایستگاه ساریقمیش با ۰/۵ میانگین خطای بیشتری را دارا می‌باشد. نتایج آنالیز حساسیت مدل‌ها در پیش‌بینی دبی با تأخیر شش ماهه نیز در جدول (۹) و شکل (۴) آورده شده است.

جدول ۷: آنالیز حساسیت مدل‌های پیش‌بینی دبی با تأخیر سه ماهه نسبت به سیگنال‌های اقلیم‌شناسی

Sensitivity	داشبندبوکان	ساریقمیش
NINO1+2	0.19	0.254
NINO 3	0.43	0.401
NINO3.4	0.048	0.006
NINO4	0.429	0.433
NAO	0.022	0.001
SOI	0.151	0.07

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان: ۱۳۹۰

نتایج آنالیز حساسیت مدل‌ها در پیش‌بینی دبی با تأخیر سه ماهه نیز در جدول (۷) و شکل (۳) آورده شده است همانطور که ملاحظه می‌شود NINO4 و NINO3 پراهمیت‌ترین سیگنال‌ها در پیش‌بینی دبی با سه ماه تأخیر می‌باشند و سیگنال‌های NAO و

جدول ۸: عملکرد شبکه‌های مصنوعی طراحی شده در پیش‌بینی دبی ماهانه با تأخیر شش ماهه

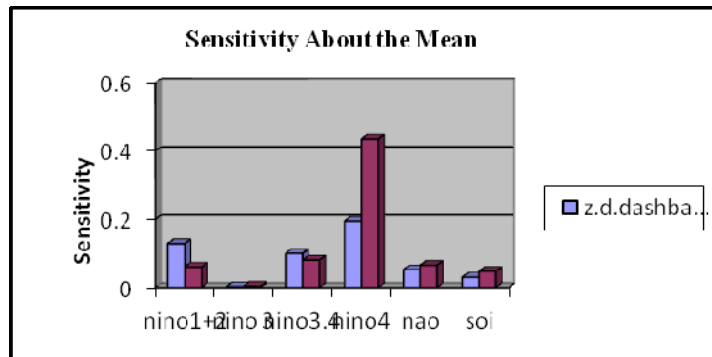
Performance	داشبند بوکان	ساریقمیش
MSE	0.43	0.51
NMSE	1.062	1.45
MAE	0.512	0.55
r	0.70	0.50
Percent Correct	68.18	83.33

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۹: آنالیز حساسیت مدل‌های پیش‌بینی دبی با تأخیر شش ماهه نسبت به سیگنال‌های اقلیم شناسی

Sensitivity	داشبند بوکان	ساریقمیش
NINO1+2	0.12	0.06
NINO 3	0.002	0.003
NINO3.4	0.099	0.08
NINO4	0.19	0.43
NAO	0.05	0.064
SOI	0.029	0.047

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۴: مقایسه‌ی حساسیت مدل‌های پیش‌بینی دبی با تأخیر شش ماهه نسبت به سیگنال‌های اقلیم‌شناسی

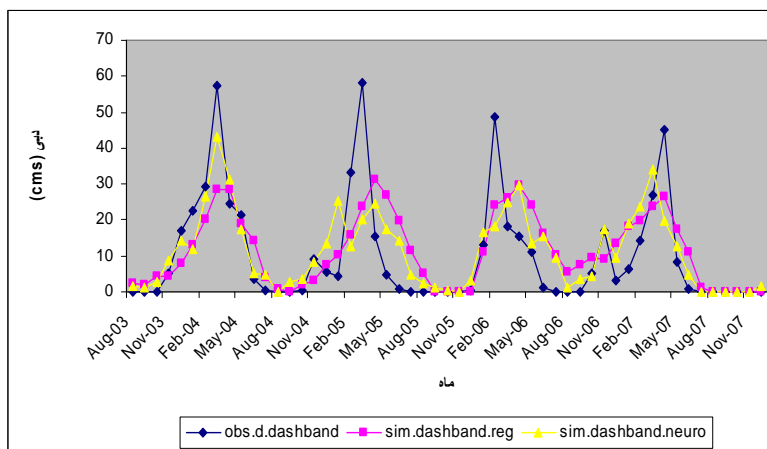
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

مطالعه در مرحله‌ی صحت‌سنجی را نشان می‌دهند. نتایج شبکه‌ی عصبی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برابر با ۰/۶۶ در حالی که ضریب تعیین (R^2) با روش رگرسیون برابر با ۰/۵۹ می‌باشد بنابراین در حالت پیش‌بینی همزمان روش شبکه‌ی عصبی نسبت به روش رگرسیون برتری دارد. اشکال ۷ و ۸ نحوه‌ی تغییرات و عملکرد مدل‌ها با روش رگرسیون و شبکه‌ی عصبی مصنوعی، در پیش‌بینی دبی ایستگاه‌های مورد

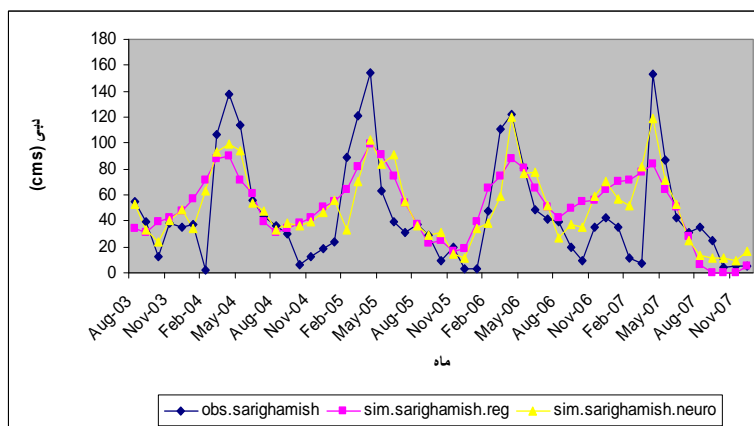
همانطور که ملاحظه می‌شود، در ایستگاه‌های هیدرومتری ساریقمیش سیگنال NINO4 در مقایسه با سایر سیگنال‌ها تأثیر بیشتری در پیش‌بینی دبی ماهانه با تأخیر شش ماهه داشته است. همچنین سیگنال NINO3 به عنوان کم‌اهمیت‌ترین سیگنال نشان داده شده است. اشکال ۵ و ۶ نحوه‌ی تغییرات و عملکرد مدل‌ها با روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و رگرسیون در پیش‌بینی دبی به صورت همزمان ایستگاه‌های مورد

بارش پیش‌بینی شده به واقعیت نزدیک است. اشکال ۹ و ۱۰ نحوه تغییرات و عملکرد مدل‌ها با روش رگرسیون و شبکه‌ی عصبی مصنوعی، در پیش‌بینی دبی ایستگاه‌های مورد مطالعه را در مرحله‌ی صحت‌یابی نشان می‌دهند.

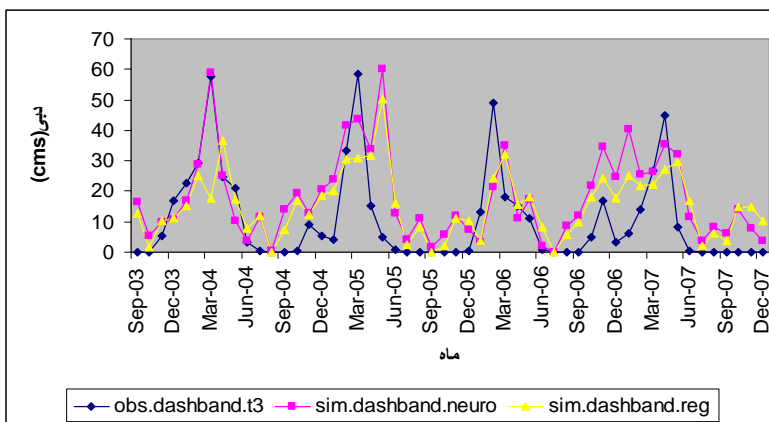
مطالعه را در مرحله‌ی صحت‌یابی نشان می‌دهند. ضریب‌تعیین (R^2) بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با روش رگرسیون برابر با ۰/۶۲ و در شبکه‌ی عصبی ۰/۶۳ می‌باشد. که بیان‌کننده‌ی این است که کارایی هر دو روش در شبیه‌سازی دبی در حالت تأخیر سه ماهه با یکدیگر شبیه است و در بیشتر سال‌ها



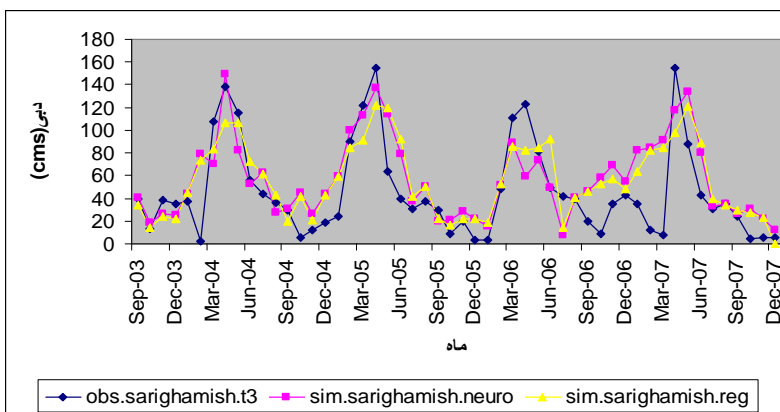
شکل ۵: مقایسه‌ی دبی ماهانه‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی ایستگاه داشبند با روش شبکه‌ی عصبی و رگرسیون در حالت همزمان مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



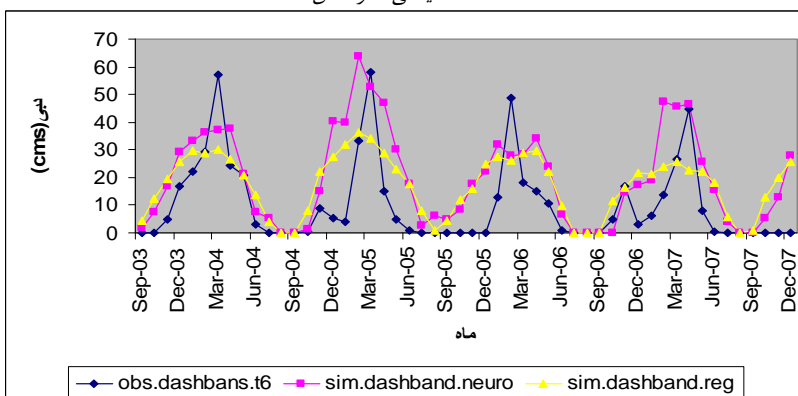
شکل ۶: مقایسه‌ی دبی ماهانه‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی ایستگاه ساریقمیش با روش شبکه‌ی عصبی و رگرسیون در حالت همزمان مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



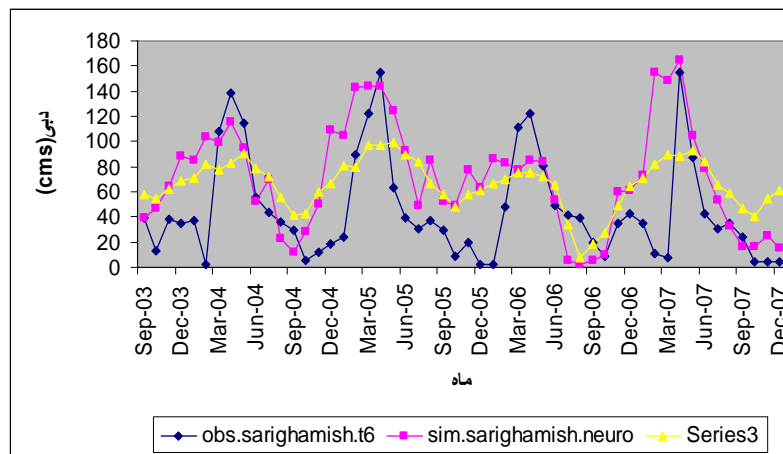
شکل ۷: مقایسه‌ی دبی ماهانه‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی ایستگاه داشبند با روش شبکه‌ی عصبی و رگرسیون در حالت تأخیر سه ماهه
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۸: مقایسه‌ی دبی ماهانه‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی ایستگاه ساریقمیش با روش شبکه‌ی عصبی و رگرسیون در حالت تأخیر سه ماهه
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۹: مقایسه‌ی دبی ماهانه‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی ایستگاه داشبند با روش شبکه‌ی عصبی در حالت تأخیر شش ماهه
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۱۰: مقایسه‌ی دبی ماهانه‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی ایستگاه ساریقمیش با روش شبکه‌ی عصبی در حالت تأخیر شش ماهه. مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

مکانی الگوهای متوسطی را عرضه می‌کند ولی تغییرات شدید یا مکرر زمانی سبب ناهنجاری در این الگوها شده و نهایتاً عناصر جوی مثل رطوبت، دما و غیره را دچار دگرگونی می‌سازد، که یکی از این تغییرات منفی، کاهش بارش و متعاقب آن رخداد خشکسالی است.

در بررسی‌های انجام شده به منظور کشف روابط بین دبی ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه و تأثیر آن بر نوسان آب دریاچه‌ی ارومیه، با توجه به محدوده‌ی مورد مطالعه و منشأ شاخص‌های اقلیمی، علاوه بر مطالعه همبستگی بطور همزمان، حالت‌های مختلف تأخیری سه ماهه و شش‌ماهه نیز در نظر گرفته شد که نتایج این بررسی‌ها با در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف اقلیمی در بازه‌های زمانی همزمان، تأخیری سه ماهه و تأخیری شش‌ماهه به شرح ذیل ارائه می‌گردد.

با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که ارتباط معنی‌داری بین دبی با سیگنال‌های اقلیمی وجود دارد. شایان توضیح است که میزان این همبستگی در بعضی از ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس‌های همزمان، تأخیری سه ماهه و تأخیری شش‌ماهه متفاوت است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود، ضریب تعیین دبی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با روش رگرسیون برابر با ۰/۴۱ درصد و با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی ۰/۵۰ درصد می‌باشد، بیان‌کننده‌ی این است که کارایی هر دو روش در شبیه‌سازی دبی در حالت تأخیر شش ماهه نسبت به حالت‌های همزمان و با تأخیر سه ماهه کاهش یافته است.

نتیجه

در این تحقیق آثار سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر جریان کوتاه مدت و بلندمدت ایستگاه‌های منتخب حوضه‌ی دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی یکی از عواملی هستند که می‌توانند در تحلیل تغییرات ماهانه و فصلی جریان آب رودخانه‌ها مؤثر باشند. در این مطالعه به بررسی تأثیر سیگنال‌های اقلیمی بر دبی پرداخته شده است. پس از تبیین ارتباط و نوع آن، مدل پیش‌بینی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی طراحی گردید و نتایج حاصل از این مدل مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. بخش قابل توجهی از ساز و کارهای جوی توسط گردش عمومی جو انجام می‌گیرد. با وجودی که گردش عمومی جو از لحاظ زمانی و

مطالعه دارد. از آنجایی که بارش منطقه‌ی مورد مطالعه عمدتاً در دوره‌ی سرد سال دریافت می‌شود و در این دوره کمربند همگرایی و گرم کره‌ی زمین در نیمکره‌ی جنوبی است و از طرفی پدیده‌ی ال‌نینو نیز خود از منشأ آب گرم برخوردار می‌باشد؛ نتیجه‌ی حاصله می‌تواند تقویت منطقه‌ی همگرایی و جابجایی عناصر گردش عمومی جو به سمت جنوب را به دنبال داشته باشد. از طرف دیگر، جابجایی هسته‌های آب گرم به دنبال خود جابجایی در مؤلفه‌های گردش عمومی جو و الگوهای گردشی را سبب شده و جابجایی مذکور نیز در مکان‌گزینی پرفشار جنب‌حاره نیمکره‌ی شمالی می‌تواند مؤثر باشد و طبعاً جابجایی مرکز پرفشار جنب‌حاره تأثیر در سیستم‌های هوایی مؤثر بر ایران و محدوده‌ی مورد مطالعه دارد. در نهایت بررسی مدل‌های خروجی از نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی Neurosolutions6 نشان داد که مؤثرترین سیگنال‌ها بر دبی ایستگاه‌های مورد مطالعه به ترتیب 4, NINO3, NINO1+2 و NINO3، کم‌اثرترین سیگنال‌ها به ترتیب SOI, NAO می‌باشند. پس از شناسایی سیگنال‌های مؤثر با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی دبی برای بازه‌های همزمان، سه ماهه و شش ماه آینده پیش‌بینی شد. تحلیل نتایج مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی با داده‌های مشاهده‌ای نشان داد که فازهای گرم ENSO با دوره‌های پرآبی و فازهای سرد ENSO با دوره‌های کم‌آبی در منطقه‌ی مورد مطالعه همراه است. بنابراین در این بررسی سعی شده با لحاظ کردن سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و با به کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند گانه با توجه به اقداماتی که در زمینه‌ی احداث سد صورت گرفته امکان پیش‌آگاهی‌های لازم طی دوره‌های سه ماهه و شش ماهه مورد ارزیابی قرار گیرد، این مورد در مطالعاتی که قبلاً صورت گرفته به آن پرداخته نشده است.

در بررسی دبی در بازه‌های زمانی مختلف، ایستگاه‌های مورد مطالعه، همبستگی در بازه‌ی زمانی تأخیری شش ماهه بیشتر از بازه‌های زمانی همزمان و تأخیری سه ماهه است و علت آن نیز این می‌باشد که چون ایستگاه‌های مورد مطالعه برای سنجش دبی نزدیک‌ترین ایستگاه به دریاچه انتخاب شده و در بالادست اکثر رودخانه‌های منتهی به دریاچه‌ی ارومیه سد وجود دارد و تخلیه‌ی آب از این سدها با توجه به میزان ذخیره آنها در زمان‌های مختلف متفاوت است، احداث سدهای متعدد باعث شده که دبی رودخانه‌های منتهی به دریاچه از حالت طبیعی خارج شود. با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار در بازه‌های زمانی مختلف می‌توان این فرضیه را قوت بخشید که شاخص‌های بزرگ مقیاس اقلیمی از نظر گردش عمومی جو و متأثر نمودن سیستم‌های بزرگ جوی در منطقه‌ی مورد مطالعه بر دبی و جریان رودخانه‌های منتخب تأثیر معنی‌داری می‌گذارند. مطابق با مدل‌های ارائه شده، سیگنال‌های اقلیم‌شناسی انتخاب شده می‌توانند به عنوان پیش‌بینی‌کننده دبی رودخانه‌های منتخب مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب سیگنال‌های اقلیم‌شناسی به عنوان ورودی و تأخیر در نظر گرفته شده دقت نتایج حاصله را نشان می‌دهد. بنابراین برای تعیین بهترین مدل آماری رویکرد مدل‌سازی ارائه شده در استفاده از روش‌های مفهومی، امکان انجام پیش‌بینی دبی را فراهم آورده است. تأثیر سیگنال‌ها بر آب و هوای منطقه‌ی مورد مطالعه بطور غیرمستقیم و از طریق متأثر نمودن عناصر گردش عمومی جو صورت می‌گیرد. بطوری‌که جابجایی هسته‌ی گرم و آب‌های گرم اقیانوس آرام استوایی، جابجایی در مکان‌گزینی عناصر گردش عمومی جو را باعث می‌شود و این جابجایی سبب شکل‌گیری نوعی آرایش مکانی سیستم‌های جوی می‌گردد که نهایتاً در اکثر سال‌های همراه با ال‌نینو تأثیر مثبت بر دبی ایستگاه‌های مورد

- Allan, R., Lindsay, J., and Parker, D (1996). El Nino Southern Oscillation and climate variability, CSIRO, Australia.
- Chiew, F. H. S., Piechota, T. C., Dracup, J. A., McMahon, T. A (1998). El Nino/Southern Oscillation and Australian drought: link and potential for forecasting. International Journal of Hydrology, 204, 138-149.
- Karamouz .M.,Zahraie .B.,and Khodatalab.N. (2000). "Decision support system for operation of Karoun and Dez Reservoirs in Iran". Proc. Joint Conf.on water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management (CD. ROM). ASCE. Section 8. chapter 3, 1-11.
- Kripalani, R. H., and Kulkarani, A (1997). "Rainfall variability over Southern-East Asia, connections with India monsoon and ENSO extremes: new perspective. International Journal of Climatology, 20(1): 47-61.
- Mason, S. J., and Gilian, M. M (2002). "Comparison of some statistical methods of probalistic forecasting of ENSO". Journal of Climate, 15(1), 8-29 .
- Nicholson, S. E., and Selato, J. C. (2000). "The influence of La Nina on African rainfall". International Journal of Climatology, 20, 1761-1776.
- Rango, A. and Martinec, J (1979). Application of a Snowmelt-Runoff Model Using Landsat Data, Nordic Hydrology 10, 225-238.
- Redmond, K. T., and Koch, R. W (1991). "Surface climate and streamflow variability in the western United States and their relationship to Large-Scale circulation Indices". Water Resources Research, 27, 2381-2399.
- Ropelewski, C. F. and M. S. Halpert (1989) "Precipitation Pattern associated with the high index phase of the southern oscillation". Journal of Climate , 2, 268-284.
- Schonher, T., and Nicholson, S. E (1989). "The relationship between California rainfall and ENSO events". Journal of Climate, 2, 1258-1269.
- Seidel, K., C. Ehrler and J. Martinec (1998). "Effects of climate change on water resources and runoff in an Alpine basin.", Hydrological Processes, Vol. 12, 1659-1669.
- Trenberth, K. E., and Caron, J. M (2000). "The Southern Oscillation revisited: sea level pressure, surface temperature and precipitation". Journal of Climate, 13,4358-4365.
- Yevjevich. V.M (1963). "Fluctuations of wet and dry years. Part 1: Research data assembly and mathematical models" Hydrology Paper .1. Colorado State Univ.Fort Collins.Colo.

منابع

- استوار میمندی، ابراهیم (۱۳۷۹). النینو و رابطه آن با بارش‌های ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
- حضرتی، شهربانو؛ احمد ابریشمچی؛ مسعود تجریشی (۱۳۸۳). بررسی تأثیر پدیده‌های نوسانات اطللس شمالی و جنوبی بر دما و بارش حوضه دریاچه‌ی ارومیه، اولین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی شریف تهران.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ یوسف قویدل‌رحیمی (۱۳۸۴). ارزیابی اثر پدیده‌ی انسو بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چندمتغیره انسو.مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۷.صفحات ۲۶-۱۵.
- خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۷۷). پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۵۱. صفحات ۱۳۹-۱۲۱.
- عراقی نژاد، شهاب؛ محمد کارآموز (۱۳۸۴). پیش‌بینی بلند مدت رواناب با استفاده از شبکه‌های عصبی و سیستم استنتاج فازی، مجله تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۲. صفحات ۴۱-۲۹.
- عزیزی، قاسم (۱۳۷۹). النینو و دوره‌های خشکسالی - ترسالی در ایران، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۳۸. صفحات ۸۴-۷۱.
- صداقت‌کردار، عبدالله؛ ابراهیم فتاحی (۱۳۸۷). شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۱. صفحات ۷۶-۵۹.
- کارآموز، محمد (۱۳۸۴). گزارش پیش‌بینی درازمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور.
- کوره‌پزان دزفولی، امین (۱۳۸۲). تأثیر سیگنال‌های هواشناسی در پیش‌بینی تغییرات بارش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه امیر کبیر.
- مدرس‌پور، آزاده (۱۳۷۵). ناهنجاری‌های اقلیمی ایران و پدیده‌ی انسو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد شمال تهران.
- ناظم‌السادات، سید محمد جعفر (۱۳۸۰). آیا باران می‌بارد؟ خشکسالی و بارندگی مازاد در ایران و ارتباط آنها با پدیده‌ی النینو-نوسان جنوبی، انتشارات دانشگاه شیراز.