

E. Fatahi, Ph.D
K. Nawhi, Ph.D
M. Delavar

ابراهیم فتاحی، عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی
کیوان نوحی، عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی
مجید دلاور، دانشجوی دکتری منابع آب

شماره مقاله: ۷۷۳

شماره صفحه پیاپی ۱۶۰۴۷-۱۶۰۷۰

بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی

چکیده

بخش عظیمی از بارش‌ها در حوضه‌های جنوب غربی ایران به شکل برف است و آب حاصل از ذوب برف، نقش مهمی در ایجاد رواناب سطحی، تغذیه آب‌های زیر زمینی و ایجاد سیل را ایفا می‌کند. پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده در حوضه‌های کوهستانی است. بنابراین، پایش مکانی و زمانی سطح پوشش برف و آب معادل آن اهمیت بسیار بالایی در مدل‌های هیدرولوژی دارد. از طرفی، نوسانات سطح پوشش برف با سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی در ارتباط است. در این مطالعه تغییرات سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی حاضر از داده‌های ماهانه شاخص نوسان جنوبی (SOI)، نوسان اطلس شمالی (NAO) و پدیده ENSO در مناطق $NINO_{3,4}$, $NINO_3$, $NINO_4$ و $NINO_{1+2}$ استفاده شد. همه داده‌های مربوط به سیگنال‌های فوق، از مرکز داده‌های آنالیز شده NCEP طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۷ دریافت گردید. به منظور برآورد سطح پوشش برف در منطقه مورد مطالعه، از داده‌های ماهواره NOAA سنجنده AVHRR برای روزهای منتخب دوره سرد سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۷ استفاده شد. برای تفکیک برف و ابر از روش آستانه گذاری در انعکاس باندهای ۱ و ۳ و محاسبه تابندگی و دمای درخشندگی

باند‌های حرارتی استفاده شد. در نهایت، با به کارگیری از روش شبکه عصبی مصنوعی، پیش‌آگاهی پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران برای بازه‌های زمانی همزمان، سه ماه و شش ماه محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان داد که سیگنال‌های SOI ، NAO و تغییرات ناهنجاری SST در ناحیه $NINO_4$ و $NINO_{1+2}$ به عنوان مؤثرترین سیگنال بر تغییرات پوشش برفی حوضه‌های مورد مطالعه هستند و برای پیش‌آگاهی از وضعیت سطوح تحت پوشش برف سیگنال‌های فوق کاربرد دارند.

واژه‌های کلیدی: پوشش برف، حوضه‌های جنوب غربی ایران، سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی، شاخص نوسان جنوبی، نوسان اطلس شمالی ایران

۱- مقدمه

ذخیره برفی در حوضه‌های کوهستانی منشأ اصلی جریان‌های آب سطحی در فصل بهار به شمار می‌آید. انباشت برف و ذوب تدریجی توده‌های برف، موجب فراهم آمدن شرایط مساعد برای نفوذ و تغذیه آب‌های زیر زمینی و ایجاد رودخانه‌های دائمی و فصلی در حوضه‌های آبریز می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده، حدود ۶۰ درصد از آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیر زمینی کشور از ذوب برف تغذیه می‌شود (مشایخی، ۱۳۶۹). بیشتر مناطق برف گیر در ارتفاعات کوهستانی واقع شده‌اند و در این مناطق، شبکه ایستگاه‌های دیدبانی و اندازه‌گیری برف، توسعه رضایت بخشی ندارد. در نتیجه، مقدار انباشت و ذوب برف در این مناطق به طور دقیق و گسترده اندازه‌گیری نمی‌شود. نبود اطلاع کافی و درست از این ذخایر برفی، سبب می‌شود که آب حاصل از ذوب برف، نه تنها مورد استفاده بهینه قرار نگیرد، بلکه خسارت‌های جبران ناپذیری نیز ایجاد کند. بنابراین، پایش مکانی و زمانی سطوح پوشیده شده از برف و آب معادل برف از اهمیت بالایی برخوردار است.

برف و فرآیندهای مربوط به آن، معیار مهمی در اقلیم عرض‌های میانی تا بالا محسوب می‌شود. پوشش برف و آب معادل برف، یکی از متغیرهای مهم در برنامه ریزی

بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی ۱۱۱

منابع آبی به حساب می‌آید و می‌تواند در مدیریت کاهش خسارات خشکسالی وسیله مؤثر باشد. برای این منظور، مطالعه و بررسی روش‌های نوین و تعیین الگوریتم‌های مناسب برای پیش‌آگاهی و مدل‌سازی مقادیر ذخیره برفی حوضه‌ها ضروری است. تصمیم‌گیرندگان منابع آب به پیش‌آگاهی‌های مطمئن برای مدیریت نیاز دارند. روش‌های پیش‌آگاهی مختلف، در تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته نقش مهمی داشته‌اند. مدل‌های مفهومی و آماری زیادی برای پیش‌بینی و پیش‌آگاهی متغیرهای اقلیمی استفاده گردیده است. پژوهشگران با اتخاذ شیوه‌های مختلف درصد برآمده‌اند تا در این زمینه، نتایج قابل قبولی را برای نقاط مختلف دنیا به دست آورند. سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی از عواملی هستند که در تحلیل تغییرات فصلی و سالانه بارش، دما و سطح پوشش برف استفاده می‌شوند. بررسی‌های انجام شده، اثبات می‌کند که رابطه معنی‌داری بین آنومالی‌های بارش برف و سطح پوشش برف با سیگنال‌های اقلیمی وجود دارد. برای مثال افرادی مانند کرینک (۱۹۹۸) رابطه بین فازهای مختلف انسو را با فراوانی وقوع و عبور تراف‌های اطلس شمالی و مدیترانه بررسی نمودند و نقش آنها را در تغییرات سطح پوشش برف روسیه و سبیری مؤثر و معنی‌دار تشخیص دادند. کوهن و سایتو (۲۰۰۳) و دری و همکاران (۲۰۰۵) همبستگی همراه با تأخیر بین سیگنال‌های اقلیمی با سطح پوشش برف را به دست آورده‌اند، به عبارتی، آنها بین الگوهای چرخش جوی فصل قبل و پوشش برف، آب معادل برف زمستان بعدی ارتباط برقرار کرده‌اند. همچنین، در مطالعات بسیاری، تأثیر چرخش جوی بر بارش برف، سطح پوشش برف و رواناب فصل بهار، در مناطق مختلف صورت گرفته است. پژوهشگرانی مانند کولمن (۱۹۹۸)، بارتن و رامرز (۲۰۰۲) برادبوری و همکاران (۲۰۰۲)، روجرز (۲۰۰۳) و ردموند و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر چرخش جوی را بر بارش برف، سطح پوشش برف، بارش و رواناب بررسی نموده‌اند.

پیش‌بینی جریان رودخانه در ماه‌ها و فصول آتی برای برنامه ریزی سیستم‌های منابع آب امری ضروری است (سالاس و همکاران، ۱۹۸۸؛ کارآموز و همکاران، ۲۰۰۰). علاوه

بر آن، صحت پیش بینی‌ها تأثیر معنی داری بر اجرای سیاست‌های بهره برداری از مخازن آب و راندمان عملکرد دارد. توسعه مدل‌های آماری، با مدل‌های اتورگرسیو ساده آغاز شد (یوجویچ، ۱۹۶۳) و با اثبات وجود همبستگی فصلی و غیر فصلی توسعه پیدا کرد (سالاس و همکاران، ۱۹۸۲). مدل‌هایی نظیر ARIMA توسط باکس و جنکینز (۱۹۷۶) توسعه یافت و توسط بسیاری از محققان از جمله: برک ول و دیویس (۱۹۹۱) مورد بررسی قرار گرفت. این مدل‌ها به طور گسترده‌ای برای مدلسازی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفتند.

شکل دیگر این مدل‌ها توسط سالاس و همکاران (۱۹۸۲) پیشنهاد شد. کارآموز و همکاران (۲۰۰۱, ۲۰۰۰) از مدل‌های ARIMA برای پیش بینی جریان ماهانه هفت حوضه آبریز در ایران استفاده کردند. آنها همچنین سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری برای بهره برداری از این حوضه‌ها را توسعه دادند. در سال‌های اخیر، تلاش‌های بیشتری بر توسعه مدل‌های تبدیل پیش بینی میان مدت به بلند مدت (ماهانه و فصلی) در رودخانه‌های اصلی در ایالات متحده صورت گرفته است. این تلاش‌ها، در نتیجه توسعه مدل‌هایی است که ترکیبی از روش‌های آماری و مفهومی است.

دستاورد‌های اخیر در کاربرد ابزارهای هوش مصنوعی، بویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌های هیدرولوژی و هواشناسی، رویکردهای نو و متعددی را در مدلسازی گشوده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی که از نوع مدل‌های مشتق شده از داده هستند، به طور گسترده‌ای در حل مسایل مختلف، از جمله شبیه سازی و پیش بینی‌های منابع آب مطالعه گردیده است. اسمیت و همکاران (۱۹۹۵)، مایر و داندی (۱۹۹۶) از جمله افرادی بودند که از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل سازی کمی و کیفی منابع آب استفاده کرده‌اند. رانگو و مارتینس (۱۹۹۸) به منظور شبیه سازی جریان روزانه در فصل ذوب برف و پیش بینی رواناب فصلی و ارزیابی پتانسیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر سطح پوشش برف و رواناب سطحی از مدل SRM استفاده کردند. سیدل و مارتینس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، اسپات و نوآ سطح پوشش برف ۱۳ حوضه واقع در

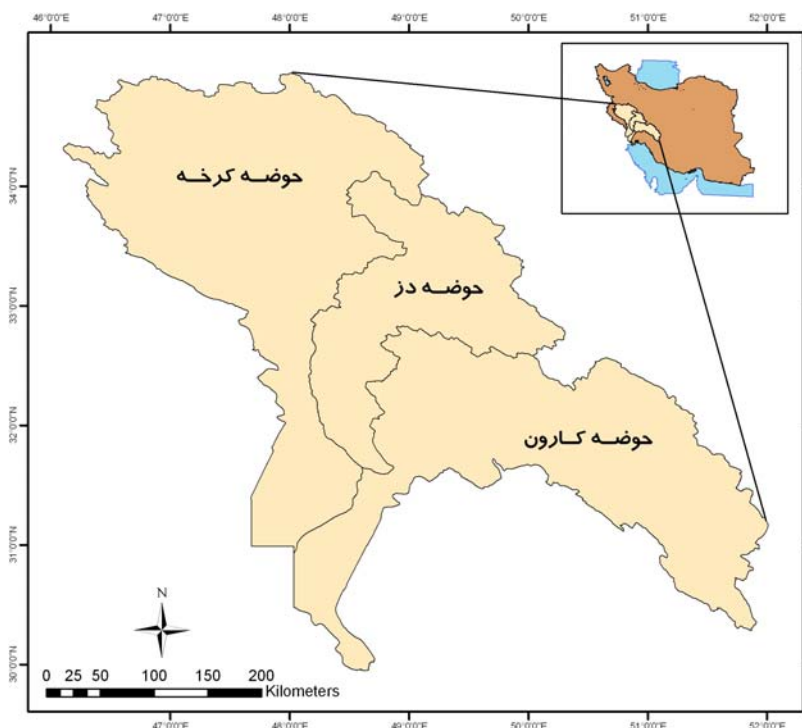
بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی ۱۱۳

سویس را استخراج و با مدل SRM رواناب برف این حوضه‌ها را شبیه‌سازی و اثر تغییرات اقلیمی را نیز بررسی کردند. سالاس و همکاران (۱۹۸۸) شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی جریان رودخانه لس پینوس کلرادو آمریکا برای ماه‌های می، جون، جولای و آگوست به کار بردند. داده‌های استفاده شده در پژوهش آنها شامل ۴۰ سال (۸۷-۱۹۴۸) جریان رودخانه و مقدار آب معادل برف بود.

کارآموز و زهرایی (۲۰۰۴) با استفاده از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و بیلان برفی، جریان‌های فصلی مربوط به رودخانه سالت مربوط به ایالت آریزونا را پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که ارتباط تنگاتنگی بین سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و سطح پوشش برف و جریان رودخانه در این حوضه وجود دارد.

۲- منطقه مورد مطالعه

ارتفاعات زاگرس، یکی از وسیعترین مناطق برف‌گیر ایران و سرچشمه رودخانه‌های بزرگی، چون: کرخه، دز و کارون را تشکیل می‌دهد. با توجه به اینکه قسمت عمده بارندگی در این نواحی در فصل سرد سال رخ می‌دهد، ذخایر برفی اهمیت زیادی را در تأمین آبهای سطحی منطقه داراست. در این تحقیق حوضه‌های کرخه، دز و کارون به عنوان محدوده تحقیق در نظر گرفته شدند. حوضه‌های دز و کارون از ارتفاعات زاگرس در جنوب غربی ایران سرچشمه گرفته، به خلیج فارس منتهی می‌شوند. رودخانه کرخه نیز از مناطق جنوب غرب آغاز و به تالاب هورالعظیم می‌ریزد. به دلیل اهمیت هیدرولوژی برف در تأمین آب سدهای موجود منطقه، حوضه کرخه در محل سد کرخه با مساحت ۴۲۷۲۰ کیلومتر مربع، حوضه دز در محل سد دز با مساحت ۱۷۳۵۱ کیلومتر مربع، و حوضه کارون در محل سد گتوند با مساحت ۳۲۷۵۷ کیلومتر مربع بسته شده است.



شکل (۱) حوضه‌های مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌ها

بررسی منابع متعدد نشان می‌دهد ارتباط بین سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی، مانند: شاخص نوسان جنوبی SOI، شاخص NAO و پدیده ENSO در مناطق $NINO_4$ ، $NINO_3$ ، $NINO_3$ و $NINO_{1+2}$ با سطح پوشش برف و بارش در مناطق وسیعی از کره زمین به اثبات رسیده است و محققان بسیاری در سراسر دنیا با اتخاذ شیوه‌های مختلف در صدد بر آمده‌اند تا نتایج قابل قبولی را بر اساس این سیگنال‌ها برای نقاط مختلف کره زمین به دست آورند. از این رو، در مطالعه حاضر نیز از سیگنال‌های بالا برای بررسی و پیش آگاهی سطوح پوشش برف حوضه‌های جنوب غرب ایران استفاده

بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی ۱۱۵

شده است. شاخص‌های متعددی برای تعیین زمان وقوع پدیده‌های ال نینو ولانینا تعریف شده‌اند. در این مطالعه، داده‌های ماهانه شاخص نوسان جنوبی SOI، نوسان اطلس شمالی NAO و تغییرات ناهنجاری مربوط به SST در مناطق $NINO_3$ ، $NINO_4$ و $NINO_3$ و $NINO_{1+2}$ استفاده شده است. شاخص نوسان جنوبی (SOI) بر اساس فشار و سایر شاخص‌ها بر اساس دمای سطح آب دریا (SST) است (خسروی و غیور، ۱۳۸۰). شاخص‌هایی که مبتنی بر دمای سطح آب دریا هستند، بر اساس میانگین SST در نواحی مختلف تعریف شده‌اند. جدول ۱ محدوده طول و عرض جغرافیایی شاخص‌ها SST را بیان می‌کند. در این مطالعه کلیه داده‌های مربوط به سیگنال‌های اقلیمی از مرکز NOAA، وابسته به مرکز NCEP/NCAR در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۰۷ دریافت گردید.

جدول (۱) - محدوده طول و عرض جغرافیایی تعریف شده برای شاخص‌های SST

| طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | شاخص |
|---------------|---------------|----------------------|
| ۹۰°W-۸۰°W | ۰-۱۰°S | Nino ₁₊₂ |
| ۱۵۰°W-۹۰°W | ۵°N-۵°S | Nino 3 |
| ۱۷۰°W-۱۲۰°W | ۵°N-۵°S | 4. Nino ₃ |
| ۱۵۰°E-۹۰°W | ۵°N-۵°S | Nino4 |

پدیده نوسان‌های اطلس شمالی نیز بر پایه اختلاف فشار نرمال شده سطح دریا (P) بین منطقه حاره (آزور A) و کم فشار جنب قطبی (ایسلند I) بنا نهاده شده است که به شرح زیر تعریف می‌شود.

$$NAO=P(A)-P(I)$$

این شاخص به دو صورت زمستانه (دسامبر - مارس) و سالانه بیان می‌شود. همچنین، در این مطالعه به منظور برآورد سطح پوشش برف در منطقه مورد مطالعه از داده‌های ماهواره NOAA سنجنده AVHRR برای روزهای منتخب دوره سرد سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۷ استفاده شد.

۳-۲- روش کار

۳-۲-۱- تعیین سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره ای

در زمینه استخراج سطح برف از تصاویر NOAA و سایر تصاویر ماهواره ای پژوهش های وسیعی انجام شده است. از جمله سیمپسون (۱۹۹۸) با ارایه یک الگوریتم توانست سطح پوشش برف را با استفاده از ترکیب باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ سنجنده AVHRR از ابر و زمین جدا سازد. دزیر و ماکس (۱۹۸۷) الگوریتمی را برای استخراج سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره ای لندست TM ارایه نمودند. در محدوده طیفی باند ۳، بازتاب برف کمتر از ابر بوده و در محدوده باند ۴ درجه حرارت ابر کمتر از برف است. به عبارتی بازتاب طیفی برف که عکس درجه حرارت است، کمتر از ابر است. بنابراین، در تفاضل درجه حرارت و یا نسبت این دو باند اختلاف بارزتر شده و برف از ابر تشخیص داده می شود. به منظور تفکیک برف، ابر و زمین از باندهای ۲، ۳، ۴ تصاویر ماهواره NOAA سنجنده AVHRR از روش های تحلیل آستانه ای و تحلیل چند طیفی (پرهمت، ۱۳۸۱) و با استفاده از نرم افزارهای ENVI و ERDOS انجام شد. الگوریتم مورد استفاده برای تفکیک برف، ابر و زمین به شرح زیر است.

۳-۲-۲- جدا سازی زمین از ابر و برف

با استفاده از باندهای ۲، ۳ و ۴ تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA چهار پارامتر محاسبه شدند که عبارتند: از آلبیدوی باند ۲ (σ_2) ، درجه حرارت باند ۴ (T_4) ، حاصل ضرب آلبیدوی باند ۲ و مؤلفه بازتاب باند ۳ (R) و اختلاف درجه حرارت باند ۳ و باند ۴ (dT) ، به منظور تشخیص و جداسازی زمین از ابر و برف در هریک از هیستوگرام ها مقادیر آستانه ای برداشت می شود که این مقادیر آستانه ای، مرز تقریبی بین برف و ابر با زمین هستند. در صورت برقراری دو شرط ذیل:

$$T_4 \leq T_{4TH}, \sigma_2 \geq \sigma_{2TH}, R \geq R_{TH}$$

$$T_4 \leq T_{4TH}, a_2 \geq a_{2th}, dT \leq dT_T$$

می‌توان دو تصویر داشت که یکی برف ولکه‌های احتمالی از ابر و دیگری ابر ولکه‌های احتمالی از برف را در بر دارد. با ترکیب این دو، تصویری حاصل می‌شود که پوشش ابر و برف بدون زمین است، و چون به مقادیر واقعی باند ۳ و ۴ نیاز است، در مرحله بعد، قسمت‌های بدون زمین این باندها توسط تصویر برف و ابر اخیر جدا شده و به مرحله بعدی وارد می‌شوند که به آنها باند ۳ و ۴ بدون زمین گفته می‌شود.

۳-۲-۳- جدا سازی ابر از برف

با محاسبه نقشه رقومی پارامترهای γ و σ و روابط $\gamma = T_3 - T_4$ و $\sigma = \frac{F_4}{\sqrt{F_3}}$ به وسیله باندهای ۳ و ۴ بدون زمین، می‌توان مقادیر آستانه‌ای در نقاط عطف هیستوگرام آنها یافت که مرز بین ابر و برف را مشخص می‌کنند در نتیجه رابطه

$$\text{and } \gamma \leq \gamma_{Th} \quad \sigma \leq \sigma_{Th}$$

پیکسل‌های دارای ابر حذف شده، سطح تحت پوشش برف ظاهر می‌شود.

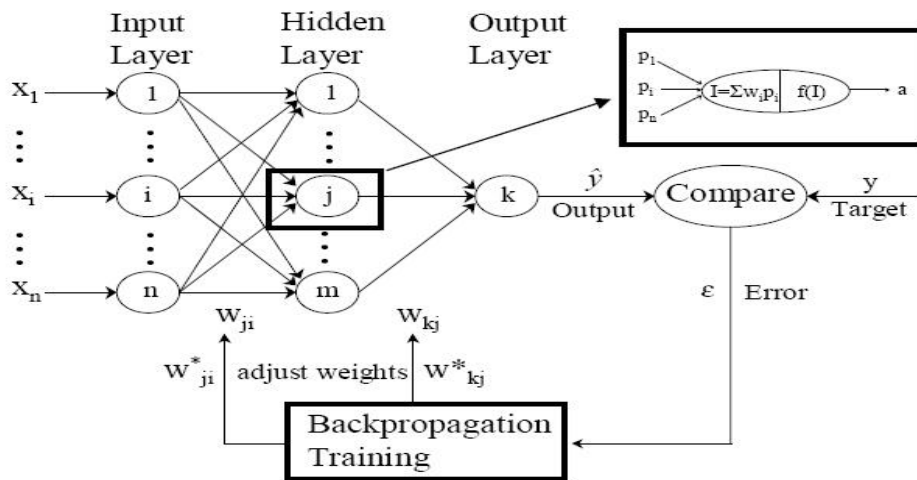
۳-۲-۴- اصول محاسباتی شبکه‌های عصبی مصنوعی

شیوه محاسبات در شبکه‌های عصبی، به این شکل است که ورودی‌های به نرون (x_1 تا x_i) در اوزان (w_1 تا w_i) ضرب شده، مجموع نتایج حاصل از هر ورودی، پس از اعمال در یک تابع، خروجی نرون را تشکیل می‌دهد (net_j) که در شکل ۲ به نمایش در آمده و مدل ریاضی آن به صورت رابطه زیر است:

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_j$$

در بعضی موارد، مقدار ثابتی در هر نرون به عبارت رابطه فوق به نام وزن اریب^۱ نیز افزوده می‌شود که رابطه به صورت رابطه زیر در می‌آید:

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + b_j$$



شکل ۲ شبکه عصبی سه لایه پیشرو با الگوریتم انتشار برگشتی

ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی که معماری به آن اطلاق می‌گردد، به شکلی است که نرون‌ها در دسته‌هایی که لایه نام دارند، مرتب می‌شوند. معماری معمول شبکه عصبی متشکل از سه لایه است: لایه ورودی (داده‌ها را در شبکه توزیع می‌کند)، لایه پنهان (داده‌ها را پردازش می‌کند) و لایه خروجی (نتایج را به ازای ورودی‌های مشخص استخراج می‌کند). یک شبکه می‌تواند از یک یا چند لایه پنهان تشکیل شود. طراحی معماری شبکه عصبی عموماً بر مبنای روش سعی و خطاست و طی آن با استفاده از ارقام مختلف لایه‌های پنهان و نرون‌های مربوط، شبکه بهینه را می‌توان تعیین نمود.

1-Bias weight

۳-۲-۵- پیش آگاهی از سطح پوشش برف با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

هدف اصلی در این مطالعه، بررسی امکان پیش آگاهی از سطح پوشش برف با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و بر اساس کاربرد مستقیم مقدار سیگنال‌های اقلیمی مؤثر است. به این منظور، از جعبه نرم‌افزاری شبکه عصبی مصنوعی MATLAB، استفاده شد. این نرم‌افزار امکان طراحی، یادگیری و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی را داشته، همچنین در برگیرنده شبکه‌های متفاوت با قوانین یادگیری مختلف است. بررسی‌های انجام شده، نشان می‌دهند حدود ۹۰٪ شبکه‌های عصبی مصنوعی که در فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده شده‌اند، شبکه عصبی انتشار برگشتی هستند (کولیبالی و همکاران، ۲۰۰۰). در این تحقیق نیز از این شبکه برای پیش‌بینی‌ها استفاده شد.

۳-۲-۶- معماری شبکه و معیارهای ارزیابی عملکرد آن

انتخاب معماری در محاسبات مربوط به شبکه عصبی با روش سعی و خطاست که طی آن با استفاده از ارقام مختلف لایه‌های پنهان و نرون‌های مربوط، می‌توان شبکه بهینه را تعیین نمود. هرچه تعداد لایه‌ها و نرون‌ها افزایش یابد، باعث عملکرد بهتر شبکه برای دوره آموزش می‌شود، اما عملکرد برای دوره آزمون شبکه معمولاً کاهش می‌یابد. این مسأله را برازش بیش از حد اطلاق می‌کنند و به این سبب، شبکه با داشتن تعداد زیاد لایه پنهان و نرون‌های مربوط، بیش از اندازه بر اساس داده‌های دوره آموزش واسنجی می‌گردد و قدرت انعطاف را برای الگوهای دیگر داده‌ای از دست می‌دهد. برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی سه معیار ضریب همبستگی (R^2)، ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) و متوسط قدر مطلق خطا (MAE) بکار برده شد. R^2 معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک است. رابطه زیر نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد. (ساجیکمار و همکاران، ۱۹۹۹).

$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^K X_K Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^K X_K^2 \sum_{K=1}^K Y_K^2}}$$

ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) و متوسط قدر مطلق خطا (MAE) نیز نشان دهنده میزان خطای مدل با بعد متغیرهاست. بهترین مقدار برای RMSE و MAE برابر صفر و مطابق شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^K (X_K - Y_K)^2}{K}}$$

$$MAE = \frac{\sum_{K=1}^K |X_K - Y_K|}{K}$$

در روابط بالا X_K مقادیر مشاهداتی، Y_K مقادیر برآورد شده و K ، تعداد داده‌هاست.

۳-۲-۷- ورودی‌های مدل و دوره‌های آموزش و صحت یابی

انتخاب ورودی‌های مدل از مراحل مهم در طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی است. مهمترین عامل در انتخاب این ورودی‌ها، فیزیک حاکم بر فرآیندی است که می‌خواهیم توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل کنیم. در این تحقیق، ورودی‌های شبکه عصبی در هر منطقه، از طریق مؤثرترین سیگنال‌ها که بر اساس روش رگرسیون گیری چندگانه گام به گام تعیین شد، انتخاب گردید. همچنین سعی شده است که تاثیر فواصل زمانی مختلف در پیش بینی سطح ماکزیمم ماهانه برف با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی بررسی گردد.

نهایت اینکه، داده‌های ورودی به دو دسته تقسیم شدند و ۸۰ درصد آنها در مرحله آموزش و ۲۰ درصد باقیمانده در مرحله صحت یابی استفاده شدند.

۴- نتایج و بحث

به منظور بررسی اولیه داده‌ها و تعیین همبستگی بین آنها برای تهیه مدل پیش‌بینی سطح برف گام‌های زمانی ۰، ۳ و ۶ ماهه مد نظر قرار گرفت. بدین ترتیب، ابتدا ماتریس همبستگی بین سطح پوشش برف در هر حوضه و سیگنال‌های هواشناسی مطابق با جدول‌های ۲ تا ۴ استخراج شد.

جدول ۲: رابطه سطح پوشش برف و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی در حالت بدون تأخیر در حوضه‌های مورد مطالعه

| Nino ₁₊₂ | Nino ₃ | Nino ₄ | Nino ₃₊₄ | NAO | SOI | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|--------|---------------|------------|
| ۰.۴۱۶ | ۰.۰۹۳ | -۰.۱۰۳ | -۰.۰۲۴ | ۰.۳۲۵ | -۰.۱۹۶ | ضریب همبستگی | حوضه دز |
| ۰.۰ | ۰.۳۷۴ | ۰.۳۲۴ | ۰.۸۳۲ | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۵۹ | سطح معنی داری | |
| ۰.۱۷۷ | ۰.۰۴۳ | ۰.۰۵۵ | ۰.۰۲۴ | ۰.۲۶۷ | -۰.۳۲۵ | ضریب همبستگی | حوضه کرخه |
| ۰.۰۷۹ | ۰.۶۸۱ | ۰.۶۰۱ | ۰.۸۲۲ | ۰.۰۱ | ۰.۰۲۴ | سطح معنی داری | |
| ۰.۴۱۹ | ۰.۱۰۱ | -۰.۱۵۶ | -۰.۰۳۱ | ۰.۳۴۶ | -۰.۲۱۵ | ضریب همبستگی | حوضه کارون |
| ۰.۰ | ۰.۳۳۶ | ۰.۱۳۶ | ۰.۷۶۶ | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۳۶ | سطح معنی داری | |

جدول ۳: رابطه سطح پوشش برف و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی در حالت تأخیر سه ماهه در حوضه‌های مورد مطالعه

| Nino ₁₊₂ | Nino ₃ | Nino ₄ | Nino ₃₊₄ | NAO | SOI | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------|--------|---------------|------------|
| -۰.۲۷۴ | -۰.۰۶۱ | ۰.۲۵۲ | ۰.۱۲ | -۰.۰۷۱ | -۰.۰۴۸ | ضریب همبستگی | حوضه دز |
| ۰.۰۰۹ | ۰.۵۷۱ | ۰.۰۱۷ | ۰.۲۵۹ | ۰.۵۰۷ | ۰.۶۵۶ | سطح معنی داری | |
| -۰.۲۲۸ | -۰.۰۸۸ | ۰.۰۳۷ | -۰.۰۰۷ | -۰.۰۴۳ | ۰.۰۸۸ | ضریب همبستگی | حوضه کرخه |
| ۰.۰۳ | ۰.۴۰۸ | ۰.۷۲۹ | ۰.۹۶۴ | ۰.۶۸۹ | ۰.۴۰۹ | سطح معنی داری | |
| -۰.۲۵۹ | -۰.۰۷۲ | ۰.۲۰۱ | ۰.۰۸۸ | -۰.۰۷۵ | -۰.۱۳۴ | ضریب همبستگی | حوضه کارون |
| ۰.۰۱۴ | ۰.۴۹۹ | ۰.۰۵۷ | ۰.۴۱ | ۰.۴۸ | ۰.۲۰۷ | سطح معنی داری | |

جدول ۴: رابطه سطح پوشش برف و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی در حالت تأخیر شش ماهه در حوضه‌های مورد مطالعه

| Nino ₁₊₂ | Nino ₃ | Nino ₄ | Nino ₃₊₄ | NAO | SOI | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------|--------|---------------|------------|
| ۰.۲۷۳ | ۰.۲۱۹ | ۰.۱۲۴ | ۰.۱۶۶ | -۰.۰۱۴ | -۰.۱۳۵ | ضریب همبستگی | حوضه دز |
| ۰.۰۱۱ | ۰.۰۴۲ | ۰.۲۵۱ | ۰.۱۲۵ | ۰.۹ | ۰.۲۱۱ | سطح معنی داری | |
| ۰.۰۸۷ | -۰.۰۸۴ | -۰.۳۰۷ | -۰.۲۱۲ | ۰.۱۶۱ | ۰.۲۵۶ | ضریب همبستگی | حوضه کرخه |
| ۰.۴۲۳ | ۰.۴۳۸ | ۰.۰۰۴ | ۰.۰۴۹ | ۰.۱۳۶ | ۰.۰۱۷ | سطح معنی داری | |
| ۰.۲۷ | ۰.۱۹۵ | ۰.۱۲۹ | ۰.۱۴۶ | -۰.۰۰۵ | -۰.۱۵۸ | ضریب همبستگی | حوضه کارون |
| ۰.۰۱۱ | ۰.۰۷ | ۰.۲۳۲ | ۰.۱۷۷ | ۰.۶۳۴ | ۰.۱۴۳ | سطح معنی داری | |

بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی ۱۳۳

برای تعیین مهمترین سیگنال‌های مؤثر در سطح پوشش ماهانه برف از روش رگرسیون گیری چند گانه به روش گام به گام استفاده گردید. در این روش، متغیرها به ترتیب وارد معادله می شوند و با ورود متغیر جدید کلیه متغیرهای موجود در معادله بررسی می گردند و اگر هر کدام از آنها سطح معنی داری خود را از دست داده باشد، قبل از ورود متغیر جدید این متغیر از معادله خارج می شود. در پایان عملیات، متغیرهایی که دارای سطح معنی داری کمتری از سطح تعیین شده باشند، در معادله حضور نخواهند داشت (تهرانیان و بزرگ نیا، ۱۳۷۴). بدین ترتیب، پر اهمیت ترین سیگنال‌ها و به عبارت دیگر، مؤثرترین آنها در میزان پوشش برف به ترتیب اهمیت آنها مرتب می شوند. در جداول ۵ تا ۷ نتایج تحلیل‌های فوق برای حوضه‌های مورد مطالعه و با فواصل زمانی ۰،۳ و ۰،۶ ماهه ارائه شده است. شایان ذکر است که متغیرهای معنی دار (سیگنال‌های مؤثر) بخش بزرگی از پراش داده‌ها را تبیین می نمایند. که با توجه به پیش آگاهی همزمان، تأخیر سه ماهه و تأخیر شش ماهه برای حوضه‌های مورد مطالعه بین ۵۳،۸ تا ۶۶،۳ درصد متغیر وابسته (سطح پوشش برف حوضه) به وسیله متغیرهای مستقل (متغیرهای با سطح معنی دار) تبیین می گردد.

جدول ۵: مهمترین سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مؤثر بر پوشش برفی به صورت همزمان

| حوضه | Nino ₁₊₂ | Nino ₃ | Nino _{3.4} | Nino ₄ | NAO | SOI |
|-------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----|-----|
| دز | *۱ | ۲ | - | - | - | ۳ |
| کرخه | - | - | - | - | ۱ | ۲ |
| کارون | ۱ | ۲ | - | - | ۴ | ۳ |

*رتبه سیگنال به ترتیب میزان اثر گذاری در پوشش برفی منطقه

جدول ۶: مهمترین سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مؤثر بر پوشش برفی با تأخیر سه ماهه

| حوضه | Nino ₁₊₂ | Nino ₃ | Nino _{3,4} | Nino ₄ | NAO | SOI |
|-------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----|-----|
| دز | ۱ | - | ۲ | - | - | - |
| کرخه | ۱ | - | - | - | - | - |
| کارون | ۱ | - | - | - | - | ۲ |

جدول ۷: مهمترین سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مؤثر بر پوشش برفی با تأخیر شش ماهه

| حوضه | Nino ₁₊₂ | Nino ₃ | Nino _{3,4} | Nino ₄ | NAO | SOI |
|-------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----|-----|
| دز | ۱ | - | - | - | - | - |
| کرخه | | - | - | ۱ | - | - |
| کارون | ۱ | - | - | - | - | - |

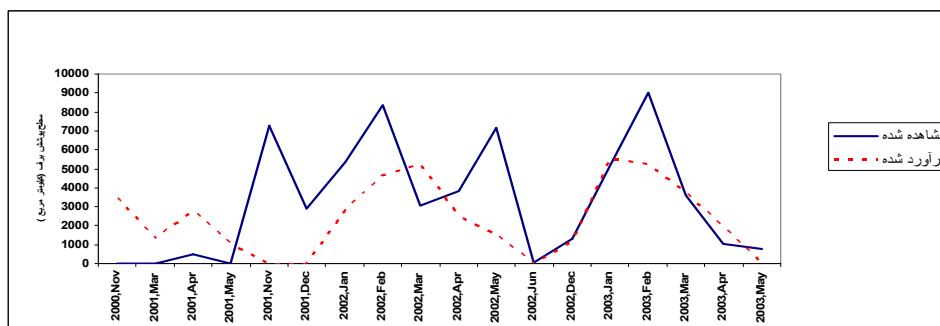
همان‌طور که مشاهده می‌شود، تقریباً در تمام حوضه‌های مورد مطالعه پدیده ENSO در منطقه Nino₁₊₂، پر اهمیت‌ترین سیگنال در سطح پوشش برف است، ولی مقدار سیگنال‌های هواشناسی دیگر، اهمیت کمتری در پوشش برفی منطقه مورد مطالعه دارند. بررسی سایر مطالعات انجام شده در مورد ایران، عمدتاً بر اساس رابطه همبستگی بارش و خشکسالی با شاخص SOI، همبستگی منفی و معنی‌داری را طی فصل پاییز در بسیاری از نقاط کشور را نشان می‌دهد. (Nazemosadat, 1999). در مطالعه دیگری، خوش اخلاق (۱۳۷۷) تأثیر پدیده النینو را به صورت غیر مستقیم و از طریق دگرگون سازی الگوهای گردش عمومی جو و مراکز مربوط و ارتباط از دور آنها نشان می‌دهد. غیور و خسروی (۱۳۸۰) نیز در مطالعه جامعی، تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران را بررسی نموده، نتیجه گرفتند که ارتباط مشخص و معنی‌داری بین بارش‌های تابستانه و پاییزه جنوب شرق ایران با فازهای مختلف انسو وجود دارد. که ناشی از ناهنجاری‌های الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل و وزش بادهای مداری و نصف النهاری سطوح فوقانی جو است که تعیین کننده هسته سرعت

بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی ۱۲۵

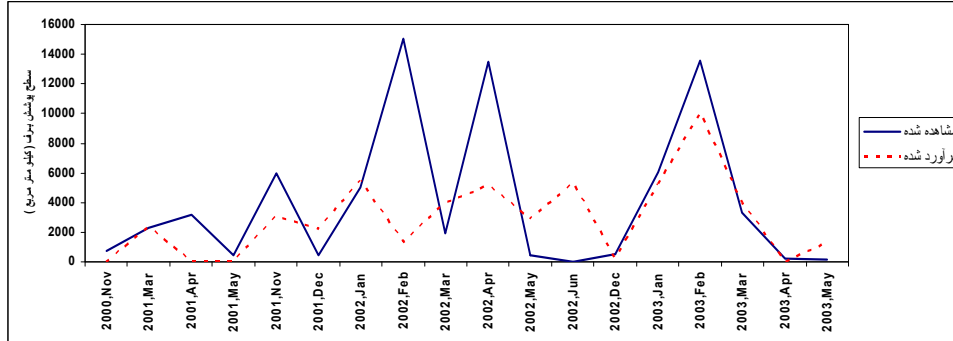
رودبادهای فوقانی است و طی فازهای انسو دچار تغییرات مشهودی می‌گردد و نتیجه آن تغییر در مسیر رودبادهای و تغییر مسیر سیکلون‌هاست که نتیجه این فرآیندها، انتقال رطوبت از منابع اصلی و ناهنجاری‌های بارش طی فازهای انسو می‌شود. نتایج مطالعات فوق نیز تأییدی بر تأثیر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر بارش و دمای ایران زمین است. بنابراین، با توجه به ارتباط قابل قبول بین سیگنال‌های اقلیمی و سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران، امکان پیش‌آگاهی از پتانسیل برف آنها میسر است.

۴-۱ - تعیین مدل پیش‌آگاهی سطح پوشش برف ماهانه در حوضه دز، کارون و کرخه

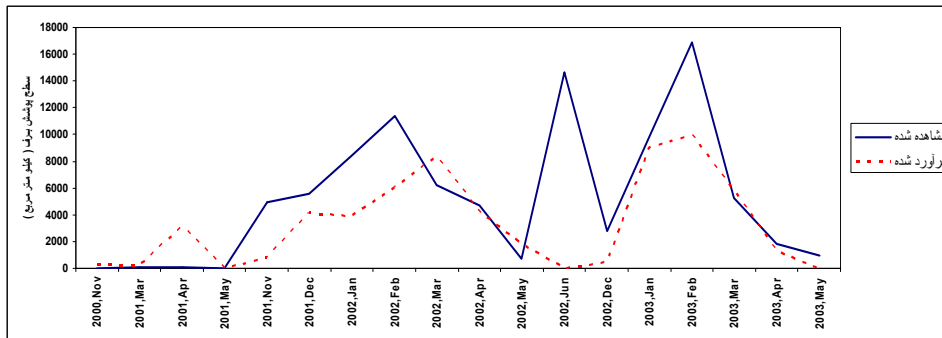
با توجه به نتایج جدول (۵) مشاهده می‌شود که شاخص ENSO در مناطق $Nino_{1+2}$ ، $Nino_3$ و شاخص SOI به ترتیب پر اهمیت‌ترین سیگنال‌ها در تعیین سطح پوشش برف همزمان حوضه دز هستند. در مورد سطح برف با سه ماه تأخیر (جدول ۶) نیز سیگنال‌های مؤثر بر سطح پوشش برف حوضه رودخانه دز به ترتیب $Nino_{1+2}$ و $Nino_3$ هستند و با توجه به نتایج (جدول ۷) تنها سیگنال مؤثر با شش ماه تأخیر برای حوضه دز $Nino_{1+2}$ است. همچنین، عملکرد بهترین مدل در پیش‌بینی و شبیه‌سازی سطح برف در مرحله تست مطابق با شکل‌های ۳ تا ۵ به ترتیب برای حوضه‌های دز، کرخه و کارون ارائه شده است.



شکل ۳: عملکرد بهترین مدل در شبیه‌سازی سطح پوشش برف حوضه دز



شکل ۴: عملکرد بهترین مدل در شبیه سازی سطح پوشش برف حوضه کرخه



شکل ۵: عملکرد بهترین مدل در شبیه سازی سطح پوشش برف حوضه کارون

جدول ۸: مدل‌های پیش آگاهی سطح پوشش برف به صورت همزمان، با تأخیر سه ماهه و شش ماهه

| | |
|---------------------------------------------|------------|
| مدل پیش آگاهی همزمان | |
| $P_t = f(NINO1.2_t, NINO3_t, SOI_t)$ | حوضه دز |
| $P_t = f(NAO_t, SOI_t)$ | حوضه کرخه |
| $P_t = f(NINO1.2_t, NINO3_t, SOI_t, NAO_t)$ | حوضه کارون |
| مدل پیش آگاهی سه ماهه | حوضه دز |
| $P_{t+3} = f(NINO1.2_t, NINO3_t)$ | حوضه کرخه |
| $P_{t+3} = f(NINO1.2_t)$ | حوضه کارون |
| مدل پیش آگاهی شش ماهه | حوضه دز |
| $P_{t+6} = f(NINO1.2_t)$ | حوضه کرخه |
| $P_{t+6} = f(NINO4_t)$ | حوضه کارون |

بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی ۱۲۷

مدل‌های در نظر گرفته شده برای حوضه‌های کرخه و کارون نیز مطابق (جدول ۸) در نظر گرفته شده است. به این ترتیب سه مدل برای پیش بینی سطح برف با استفاده از شبکه‌های عصبی در نظر گرفته شد:

$$\text{مدل ۱: } P_t = f(NINO1.2_t, NINO3_t, SOI_t)$$

$$\text{مدل ۲: } P_{t+3} = f(NINO1.2_t, NINO3_t)$$

$$\text{مدل ۳: } P_{t+6} = f(NINO1.2_t)$$

که در آنها P_t سطح پوشش ماکزیمم برف در ماه t و اندیس‌های $t+3$ و $t+6$ مربوط به میزان سطح پوشش برف با سه و شش ماه تأخیر است. شماره ماه به عنوان پارامتر تأثیر گذار طراحی و بررسی گردید.

ماتریس همبستگی خروجی مدل شبکه عصبی با داده‌های مشاهده‌ای سطح پوشش برف در مرحله آزمون مطابق با جدول ۹ است. که بیانگر وجود رابطه همبستگی بدون تأخیر و همراه با تأخیر مدل مفهومی بکار رفته با داده‌های مشاهداتی پردازش شده از تصاویر ماهواره‌های منطقه مورد مطالعه است. به عبارتی، سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی از عواملی هستند که از شاخص‌های عددی اندازه گیری شده آنها می‌توان برای تحلیل تغییرات فصلی بارش، دما و سطح پوشش برف استفاده کرد.

نتایج تحقیق حاضر نیز رابطه در سطح معنی دار و در مقیاس گردش عمومی جو بین آنومالی‌های بارش برف و سطح پوشش برف با سیگنال‌های اقلیمی را در حوضه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بررسی نتایج ماتریس، همبستگی خروجی مدل شبکه عصبی با داده‌های مشاهده‌ای سطح پوشش برف (جدول ۹) بیانگر وجود ارتباط معنی دارتر بین متغیرهای پیش بینی کننده (سیگنال‌های اقلیمی) با سطح پوشش برف در حالت همزمان (بدون تأخیر) است و با افزایش تأخیر زمانی از میزان همبستگی بین سیگنال‌ها اقلیمی و سطح پوشش برف کاسته شده است.

جدول ۹) ماتریس همبستگی خروجی مدل شبکه عصبی با داده‌های مشاهده‌ای سطح پوشش برف در مرحله تست

| دز | کرخه | کارون | |
|------|------|-------|---------------------------------|
| ۰.۴۷ | ۰.۴۵ | ۰.۴۳ | شبکه طراحی شده بدون تأخیر |
| ۰.۳۸ | ۰.۳۷ | ۰.۳۷ | شبکه طراحی شده با تأخیر سه ماهه |
| ۰.۳۵ | ۰.۳۸ | ۰.۳۲ | شبکه طراحی شده با تأخیر شش ماهه |

۵- نتیجه گیری

طی سال‌های اخیر بسیاری از پژوهشگران برای ارزیابی پدیده‌های جوی سیستم به هم پیوسته جو- اقیانوس را پیشنهاد می‌دهند. با آنکه گردش عمومی جو از لحاظ زمانی و مکانی، الگوهای متوسطی را عرضه می‌دارد، ولی تغییرات شدید یا مکرر زمانی سبب ناهنجاری در این الگوها شده و در نهایت، عناصر جوی مثل رطوبت، دما و غیره را دچار دگرگونی می‌سازد. در مطالعه حاضر به منظور دستیابی به نگرشی صحیح و علمی، به ساز و کارهای سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر سطح پوشش برف، پرداخته شده است. مطابق با مدل‌های ارایه شده، سیگنال‌های هواشناسی انتخاب شده می‌توانند به عنوان پیش‌بینی‌کننده تغییرات پوشش برفی در حوضه‌های مورد مطالعه باشند. انتخاب سیگنال‌های هواشناسی ورودی و تأخیر در نظر گرفته شده، دقت نتایج حاصله را نشان می‌دهد. بنابراین، برای تعیین بهترین مدل آماری رویکرد مدل‌سازی ارائه شده، استفاده از روش‌های مفهومی، امکان انجام پیش‌بینی سطح پوشش برف را فراهم آورده است. در نهایت، نتایج تحقیق نشان داد که سیگنال‌های $Nino_{1+2}$ ، SOI، NAO و $Nino_4$ به عنوان مؤثرترین سیگنال‌ها بر تغییرات پوشش برفی حوضه‌های مورد مطالعه هستند و برای پیش‌آگاهی از وضعیت سطوح تحت پوشش برف سیگنال‌های بالا کاربرد دارند.

منابع

- ۱- پرهت، ج. (۱۳۸۱). مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم GIS. رساله دکتری هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- ۲- تهرانیان، م و ا، بزرگ نیا. (۱۳۷۷). آمار کاربردی مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ دوم
- ۳- خوش اخلاق، فرامرز. (۱۳۷۷). «پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران» فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۱
- ۴- غیور، ح و م، خسروی. (۱۳۸۰). «تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران» فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۲
- ۵- مشایخی، تقی. (۱۳۶۹). استفاده از هیدرولوژی برف در بررسی‌های منابع آب، دفتر بررسی‌های منابع آب، بخش آب‌های سطحی
- ۶- Barton SB, and Ramirez JA. (2004). "Effects of El-nino southern oscillation and Pacific interdecadal oscillation on water supply in the Columbia River basin". Journal of Water Resources Planning and Management- ASCE 130(4): 281-289.
- ۷- Box, G. E. P. and Jenkins, G.M. (1976). "Time series analysis, forecasting and control" Revised Ed., Holden- Day. Merrifield, Va.
- ۸- Bradbury JA, Keim BD, and Wake CP. (2002) "U.S. east coast trough indices at 500 hPa and New England winter climate variability". Journal of Climate 15: 3509-3517.
- ۹- Cohen J, and Saito K. (2003) "Eurasian snow cover, more skillful in predicting U.S. winter climate than the NAO/AO?" Geophysical Research Letters 30(23): CLM 3-1-3-4.
- ۱۰- Coulibaly, P., Anctil, F. and Bobee, B. (2000) "Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach" Journal of Hydrology, 230, 244-257.
- ۱۱- Dery SJ, Sheffield J, and Wood E-F. (2005) "Connectivity between Eurasian snow extent and Canadian snow mass and river discharge" Journal of Geophysical Research 110(023106). DOI: 10.1029/2005JD006173.
- ۱۲- Haykin, S., (1994). "Neural Networks – A Comprehensive Foundation". MacMillan College Publishing Company, New York.
- ۱۳- Hsu, K. L., Gupta, H. V., and Sorooshians (1995). "Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process", Water Resource Res. 31(10) 2517-2530.
- ۱۴- Karamouz. M., Zahraie. B., shahsavari, M., Tobar S., and Aragh, Nejao, SH. (2001). "An integrated approach to water resources development". Journal of American Water Resources Association. 73(5), 1301-1311.
- ۱۵- 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.
- ۱۶- Karamouz, M. and B, Zahraie (2004) "Seasonal streamflow forecasting using snow budget and ENSO climate signal's Application to salt Basin in Arizona" ASCE Journal of Hydrology.
- ۱۷- Krenke, a (1998) "Impact of Enso on snow cover in the former soviet union" Gewax, WCRP, News, Nov 1998
- ۱۸- Maier, H. R., and Dondy, G. C. (1996). "Use of artificial neural networks for prediction of water quality parameters" water resources Research, 32 (4) 1013-1022.
- ۱۹- Nazemosadat, M.J (1999) "Enso impact on the Occurrence of Autumnal Drought in Iran" Drought Network News, Vol 11 No 2, May 1999.

- .Rango, A. and Martinec, J. 1998. The Snowmelt Runoff Model (SRM) -۲۰
- 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. -۲۱
- Sajikumar, N., and Thandaveswara, B. S. (1999) "Non-linear rainfall-runoff Model using artificial neural network" journal of Hydrology., 216, 32-35. -۲۲
- Salas,J.D.,Delleur,J. W., Yevjevich, V. and Lane, W. L. (1988). "Applied modeling of hydrologic time series". Water Resources Publication. Littleton. Colo. -۲۳
- Salas.J.D..Boes.C.D..and Smith.R. A (1982)." Estimation of ARIMA models with seasonal parameters". Water Resour. Res.18. 1006-1010. -۲۴
- Seidel, K., C. Ehrlner and J. Martinec (1998). "Effects of climate change on water resources and runoff in an Alpine basin.", Hydrological Processes, Vol. 12, No. 10-11, pp. 1659-1669. -۲۵
- Simpson J. J., J. R. Stitt, and M. Sienko, (1998) "Improved Estimates of the Areal Extent of Snow Cover from AVHRR Data", Journal of Hydrology, and No. 204, pp. 1-23. -۲۶
- Smith, J., and Eli, R. N. (1995) "Neural -network models of rain fall - runoff Process" -۲۷
Journal water Resources, AACE, 121 (6), 499-508.
- 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. -۲۸