

تخمین جریان رودخانه در فصل ذوب برف با استفاده از عوامل هواشناختی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ليقوان)

هادی انصاری^۱، صفر معروفی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان

^۲ استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smarofi@yahoo.com

چکیده

بررسی ارتباط بین متغیرهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی با رواناب سطحی حوضه‌های کوهستانی می‌تواند در مدل‌سازی جریان مفید واقع شود. در این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر سری‌های زمانی متغیرهای هواشناختی ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک سهند بر میزان ذوب برف و رواناب ناشی از آن در حوضه ليقوان، همبستگی این متغیرها با میانگین دمای روزانه (۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸) مورد بررسی قرار گرفته و سعی گردید متغیرهایی که همبستگی مناسبی با دما داشتند، انتخاب شوند. سپس چهار بازه زمانی شاخص در فصل ذوب برف، در حد فاصل اول دی تا آخر خردادماه مشخص شد. همبستگی متغیرهای مربوطه با رواناب روزانه، با تأخیرهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با رواناب داشتند انتخاب شدند. بین متغیرهای انتخاب شده و رواناب حوضه، روابط رگرسیونی بسط داده شد و این روابط با رواناب اندازه‌گیری شده ایستگاه هیدرومتری ليقوان صحت‌سنجی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، متغیر دمای عمق ۲۰ سانتی‌متری زمین، بیشترین همبستگی (۰/۹۱۱) را با رواناب اندازه‌گیری شده در بازه زمانی حد فاصل اول دی‌ماه الی ۳۱ خردادماه بدون لحاظ تأخیر زمانی در سری مربوطه دارا بود. کمترین همبستگی (-۰/۴۷۶) را رطوبت‌های ساعت ۳ بامداد در طی همان دوره ولی با تأخیرهای زمانی ۴ و ۵ روزه نشان داد. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی نشان داد که مدل رگرسیونی گام به گام از دقت نسبتاً خوبی ($CE = 0/61$) در تخمین جریان رودخانه در فصل ذوب برف برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه سینوپتیک سهند، ایستگاه هیدرومتری ليقوان، حوضه ليقوان، ذوب برف، رطوبت

Streamflow Estimation in the Snowmelt Season Using Meteorological Factors (A Case Study: Lighvan Basin)

H Ansari¹, S Marofi^{*,2}

Received: 21 August 2015 Accepted: 14 March 2017

1Ph.D. Student, Dept. of Water Resource Eng, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2Prof., Dept. of Water Resource Eng, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*Corresponding Author, Email: smarofi@yahoo.com

Abstract

Study of the relations between measured variables at meteorological stations and mountain basins' surface runoff is useful in flow modeling. In this study, to investigate the effects of time series of the recorded meteorological variables at Sahand synoptic station on the amount of snowmelt and runoff in the Lighvan basin, the correlation between these variables and average daily temperature (2001 - 2009) were reviewed to choose the variables those having appropriate correlation with the temperature. Then four index intervals in snowmelt season were determined during the period of Dec. 22nd to Jun. 21st. The correlation between the related variables and daily runoff with different lag times were examined and the variables with the highest correlation were selected. Regression equations were applied on the selected variables and then they were validated with the Liqvan hydrometry station measured runoff values. Due to the obtained results, the underground temperature at the depth of 20cm had the best correlation ($r = 0.911$) with runoff measured values during the period of Dec. 22nd to Jun. 21st while no lag time was considered the relevant series. Also, the lowest correlation ($r = -0.476$) was obtained for the humidity at time of 3am in the same period with lag times of 4 and 5 days. The results of validation of the regression models showed that the stepwise regression model had an admissible accuracy ($CE = 0.61$) in estimation of streamflow in snowmelt season.

Keywords: Humidity, Lighvan basin, Liqvan hydrometry station, Sahand synoptic station, Snowmelt

مقدمه

در فرآیند تشکیل رواناب حوضه، متغیرهای متعددی دخالت دارد. از طرفی برای آنکه بتوان یک مدل مناسب برای پیش‌بینی میزان دبی جریان آب رودخانه تهیه نمود، لازم است تا حد امکان تمامی عوامل مؤثر اندازه‌گیری و در مدل دخالت داده شود. بیشتر محققان برای مدل‌سازی از داده‌های دبی رواناب و بارش (با تأخیرهای مختلف زمانی) استفاده کرده‌اند و گروه دیگر، علاوه بر متغیرهای مذکور دیگر داده‌های هواشناسی نظیر درجه حرارت هوا را برای مدل‌سازی به‌کار

برده‌اند اما این سوال مطرح است که کدام متغیرها و با چند تأخیر برای مدل‌سازی جریان آب رودخانه مناسب می‌باشد (شریفی و همکاران ۱۳۹۲).

در حوضه‌های کوهستانی و برف‌گیر، ذوب برف و رواناب ناشی از آن عامل مهم تغییرات رژیم جریان به شمار می‌آید و سهم مهمی در تولید جریان و منابع آب دارد. پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف با توجه به وضعیت اقلیم، در عرصه‌های گوناگونی از جمله در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، مدیریت مخازن تولید برقابی، پیش‌بینی

سانتیگراد و افزایش رواناب در زمستان و کاهش آن در سایر فصل‌ها خواهد شد. پراساد و ری (۲۰۰۵)، مدل ذوب برف را برای حوضه بیس^۱ در هند به‌کار بردند. آنها حوضه مورد نظر را به ۱۲ تراز ارتفاعی با فاصله ۵۰۰ متری کلاس‌بندی نموده و دما را با درونیابی تغییرات ارتفاع در ۷ ایستگاه واقع در داخل حوضه به دست آوردند. رواناب و سطح پوشش برف حوضه مذکور را برای هر ناحیه ارتفاعی به‌طور جداگانه محاسبه کرده و رواناب را شبیه‌سازی نمودند. هریچ و همکاران (۲۰۰۷) اثر تغییر اقلیم را در حوضه‌های آبریز لبنان بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش ۲ درجه سلسیوسی دما باعث می‌شود دبی بیشینه دو ماه زودتر رخ دهد. لی و ویلیامز (۲۰۰۸)، با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس توانستند سطح پوشش برف در حوضه تاریم^۲ در چین را به‌دست آورده و رواناب سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ را با مدل ذوب برف شبیه‌سازی کنند. جین و همکاران (۲۰۱۰) رواناب ذوب برف را با استفاده از سنجش از دور تخمین و اثر تغییر اقلیم را بر رواناب بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش درجه حرارت بر میزان کل رواناب اثری نداشته ولی باعث تغییر در توزیع زمانی رواناب شده‌است. نبی و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست سطح پوشش برف را در حوضه استر^۳ واقع در شمال پاکستان به‌دست آورده و حوضه را به پنج ناحیه ارتفاعی کلاس‌بندی نموده و با استفاده از داده‌های هواشناسی جریان روزانه حوضه را در سال ۲۰۰۰ شبیه‌سازی کردند. فرانز و کارستن (۲۰۱۳) در حوضه رودخانه فرک در شمال آمریکا، با استفاده از سطح پوشش برف به‌دست آمده از تصاویر ماهواره مودیس، چهار متغیر اصلی مدل برف (درجه حرارت بحرانی، فاکتور ذوب برف، ضریب تصحیح برف، بیشینه انباشت برف فصلی) را واسنجی کرده و توانستند نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب را بهبود ببخشند.

خشکسالی، کیفیت آب و غیره کاربرد دارد (رئیسیان و پرهت ۱۳۹۲). بررسی‌های انجام شده در کشور نشان می‌دهد که حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برف‌گیر جریان دارند. این رقم در برخی مناطق غرب کشور تا حدود ۹۰ درصد فزونی می‌یابد (ابدام و فتح زاده ۱۳۹۲). سیل ناشی از ذوب برف یکی از ویژگی‌های برجسته هیدرولوژیکی مناطق کوهستانی می‌باشد و می‌تواند یکی از نگرانی‌های مهم برای مدیران آب باشد (بیقز و وایتکر ۲۰۱۲). بنابراین مطالعه در مورد هیدرولوژی مناطق برفی و رواناب حوضه‌های کوهستانی به‌خصوص در فصل ذوب برف از اهمیت خاصی برخوردار است.

مطالعات محدودی در خصوص هیدرولوژی برف به‌ویژه رواناب ناشی از آن تاکنون انجام گرفته است. لورایی و سچی (۱۹۹۵) ضمن شبیه‌سازی بارش رواناب با شبکه عصبی، کارآیی این مدل را تایید کرده و عنوان کردند مدل حتی در مواردی که تنها اطلاعات مربوط به بارش و دما در دسترس باشد تخمین مناسبی از رواناب انجام می‌دهد. توکار و جوهانسون (۱۹۹۹) جریان روزانه حوضه آبریز پاتوزنت را در ایالت مریلند آمریکا با استفاده از بارندگی، درجه حرارت و ذوب برف شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌سازی بارش - رواناب با استفاده از شبکه عصبی نتایج مطلوب‌تری نسبت به مدل‌های معادله همبستگی و مفهومی ارائه می‌نماید. میلر و همکاران (۲۰۰۳) با در نظر گرفتن تغییر اقلیم در حوضه‌های ایالت کالیفرنیا آمریکا پیش‌بینی کردند که تا پایان قرن حاضر ذوب برف هر سال زودتر آغاز می‌شود. استوارت و همکاران (۲۰۰۴) در شمال غرب آمریکا رواناب حاصل از ذوب برف را پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد با توجه به تغییر دما و بارش در قرن ۲۱ در منطقه مورد مطالعه، رواناب ناشی از ذوب برف حدود ۳۰ الی ۴۰ روز زودتر جاری می‌شود. پاین و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه کلمبیا برای دوره ۲۰۴۰ الی ۲۰۶۰ پرداختند. نتایج نشان داد تغییر اقلیم باعث افزایش دما به میزان ۱/۲ درجه

^۱ Beas^۲ Tarim^۳ Astor

فصلی برای هر یک از حوضه‌ها تهیه، و واسنجی و اعتبارسنجی شد. بررسی نتایج نشان داد که بیشتر مدل‌های تهیه شده در حد قابل قبولی بوده و رگرسیون گام به گام نتایج بهتری نسبت به رگرسیون چندمتغیره ارائه داده است. ضمناً عامل دما یکی از متغیرهای مؤثر بر جریان رودخانه می‌باشد.

دما متغیر تأثیرگذاری بر رواناب حوضه‌های کوهستانی در فصل ذوب برف می‌باشد و مطالعات انجام گرفته قبلی نیز این امر را تأیید کرده‌اند. از آنجا که برخی متغیرهای هواشناختی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی رابطه مستقیم و یا عکس با تغییرات دما دارند لذا این متغیرها می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر رواناب حوضه در دوره ذوب برف تأثیرگذار باشند. بنابراین هدف این مطالعه ابتدا بررسی ارتباط بین دما و متغیرهای هواشناختی ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک سهند خواهد بود. سپس متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با دما دارند به‌همراه با بارش حوضه ليقوان، دمای میانگین، دمای کمینه سطح زمین و میانگین دمای خاک در اعماق، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری زمین برای بررسی با رواناب حوضه مورد استفاده قرار گرفتند. با مشخص شدن متغیرهای مؤثر بر رواناب، روابط رگرسیونی برای تخمین جریان روزانه حوضه مورد مطالعه بسط داده شدند.

مواد و روش‌ها

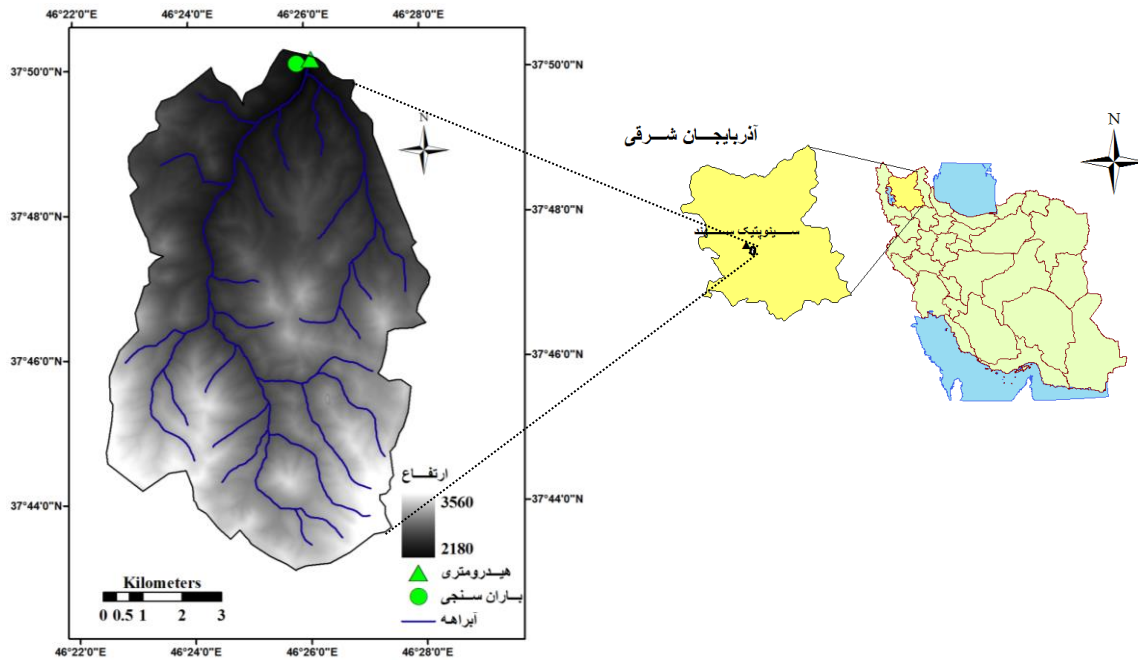
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز ليقوان چای، یکی از زیرحوضه‌های فرعی حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده که دارای وسعتی معادل ۷۶ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۲۷۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد و در استان آذربایجان شرقی واقع شده‌است. این حوضه در دامنه‌های شمالی کوه سهند در مختصات جغرافیایی "۲۰°۳۰' ۴۶" تا "۲۷°۳۰' ۴۶" طول شرقی و "۲۷°۴۲'۵۵" تا "۲۷°۴۹'۳۰" عرض شمالی قرار دارد (فاضل مدرس و همکاران ۱۳۹۱). موقعیت حوضه آبریز ليقوان چای در شکل ۱ آورده شده است. به‌طور کلی حوضه آبریز ليقوان به‌علت وجود پوشش‌های برفی در

زارع‌زاده مهریزی و بزرگ حداد (۱۳۸۹) مؤثر بودن یا نبودن هر یک از عوامل دما، بارش، آبدهی و تأخیرهای زمانی این متغیرها را در شبیه‌سازی و پیش بینی آبدهی رودخانه حوضه آبریز مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده تأثیرعامل دما و تأخیرهای زمانی آن در تعیین میزان آبدهی حوضه‌های برفی می‌باشد. انوری تقتی و همکاران (۱۳۹۰) در پیش‌بینی جریان رودخانه حوضه آبخیز کارون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، اعلام نمودند متغیرهای دمایی (دمای میانگین و کمینه) بیشترین تأثیر را بر جریان رودخانه دارد. دلاور و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه امام‌زاده داوود(ع) با استفاده از الگوریتم ذوب برف SRM، بودجه برفی منطقه را به‌صورت توزیعی محاسبه کردند. آنها به‌منظور افزایش دقت نتایج در محاسبه ذوب برف از تابش تصحیح شده بر مبنای شیب و جهت، استفاده کردند. مقایسه نتایج حاصل از مدل با داده‌های مشاهداتی در حوضه حاکی از دقت قابل قبول و کارایی مناسب آن در حوضه‌های کوهستانی بود. فتح‌زاده و زارع بیدکی (۱۳۹۱) از مدل درجه-روز جهت برآورد آب معادل برف در لحظه اوج انباشت برف در حوضه آبخیز شمشک استفاده کردند. اختلاف ۱۳ درصدی داده‌های برآورد شده با داده‌های مشاهداتی نشان داد که مدل درجه-روز توانسته است با دقت قابل قبولی توزیع مکانی آب معادل برف را در مناطقی که امکان نمونه‌برداری در آنها وجود ندارد را برآورد نماید. رحیمی و داناپور (۱۳۹۱) در منطقه کوه‌رنگ واقع در استان چهارمحال و بختیاری داده‌های اقلیمی و ارتفاع برف آن را برای یک دوره ۲۰ ساله به کمک روش‌های زمین آماری، رگرسیون چندمتغیره و تحلیل عاملی بررسی کردند. با توجه به روش‌های استفاده شده، دمای متوسط روزانه، دماهای خشک و تر ساعت ۹ صبح، به‌ترتیب بهترین ضریب همبستگی به‌طور متوسط در حدود ۰/۶۵- را با ارتفاع برف داشتند. خیرفام و همکاران (۱۳۹۱) از متغیرهای اقلیمی قابل دسترس (بارش و دما) به‌منظور تخمین دبی در مقیاس سالانه و فصلی استفاده کردند. مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره و گام به گام در مقیاس زمانی سالانه و

ارتفاعات آن دارای رژیم برفی بوده و ذوب برف در جریان دائمی آن مؤثر و قابل ملاحظه است (اعلمی و

حسین زاده ۱۳۸۹).



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز ليقوان چای.

روش تحقیق

الف- شناسایی عوامل هواشناختی

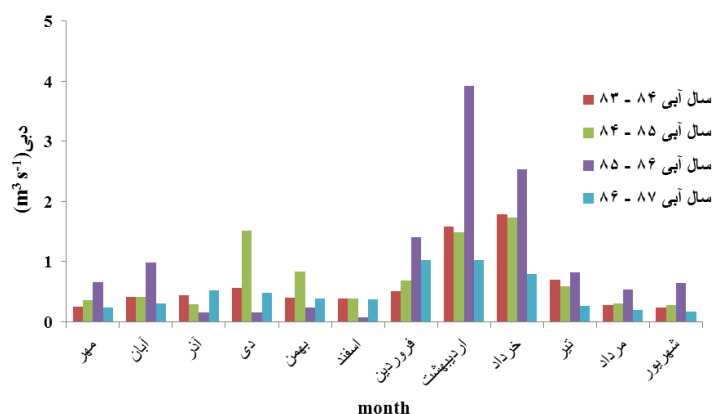
با توجه به مطالعات قبلی که تاثیرگذاری دما بر رواناب حوضه را در فصل ذوب برف نشان داده‌اند ابتدا ارتباط بین دما و متغیرهای هواشناختی ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک سهند (دمای میانگین، دمای کمینه سطح زمین و میانگین دمای خاک در اعماق، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری زمین، متغیرهای ذکر شده در جدول ۲) در طی سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸ بررسی شد. سپس متغیرهایی که همبستگی خوبی را با دما داشتند برای بررسی ارتباط بین این متغیرها و رواناب حوضه از آنها استفاده گردید.

ب- تفکیک داده‌ها

با توجه به وضعیت اقلیمی و وضعیت پوشش برف (با توجه به نقشه‌های پوشش برفی استخراج شده از تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra) و فراهم

شدن شرایط ذوب برف در منطقه مورد مطالعه و این که بیشترین رواناب حاصل (با توجه به آمار دبی حوضه ليقوان که در شکل ۲ به‌عنوان نمونه آورده شده) تقریباً در محدوده زمانی اول دی تا آخر خرداد اتفاق می‌افتد، در این تحقیق چهار بازه در محدوده زمانی اول دی تا ۳۱ خرداد (جدول ۱) برای تعیین اثرات متغیرهای ثبت شده ایستگاه سینوپتیک سهند بر رواناب، در هر سال آبی به‌طور جداگانه بررسی شد. در چنین شرایطی مشخص خواهد شد که کدام یک از متغیرهای مورد مطالعه در چه بازه زمانی، و با چه تاخیری، بیشترین همبستگی را با رواناب حوضه داشته‌اند.

در این مطالعه، علاوه بر داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک سهند، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری و باران‌سنجی ليقوان به مدت هشت سال (سال‌های آبی ۸۰-۸۱ الی ۸۸-۸۷) که دارای داده‌های کامل بودند نیز استفاده شد.



شکل ۲- نمودار دبی متوسط ماهانه حوضه ليقوان در چهار سال آبی.

جدول ۱- بازه‌های زمانی مورد بررسی.

تعداد روز	بازه زمانی
۱۸۲	۱ دی الی ۳۱ خرداد
۱۵۱	۱ دی الی ۳۱ اردیبهشت
۱۵۲	۱ بهمن الی ۳۱ خرداد
۱۲۱	۱ بهمن الی ۳۱ اردیبهشت

واریانس سری‌های x_t و y_t می‌باشند. از ترسیم مقدار تابع در مقابل تأخیرهای زمانی مختلف، نمودار همبستگی‌نگار حاصل می‌شود که از آن برای تعیین میزان همبستگی و میزان تأخیر دو سری استفاده می‌شود. اگر میزان همبستگی دو سری بدون تأخیر باشد، نشان‌دهنده همزمانی مقادیر اوج دو سری زمانی است. در صورت عدم همزمانی مقادیر بیشینه، بیشترین مقدار همبستگی در یکی از تأخیرهای مثبت یا منفی اتفاق می‌افتد که میزان آن نشان‌دهنده میزان تقدم و تأخر این اوج در دو سری می‌باشد.

برای تعیین همبسته بودن دو سری از آزمون استقلال اندرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. رابطه ۳ برای به‌دست آوردن باند اطمینان مربوطه به کار گرفته شد (سالاس و همکاران ۱۹۸۰).

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad [3]$$

برای محاسبه همبستگی با تأخیرهای مختلف و به‌دست آوردن همبستگی‌نگار برای متغیرهای مربوطه

ج- ایجاد سری‌های زمانی و تحلیل آنها

برای اینکه بتوان تأثیر یک سری زمانی را بر سری زمانی دیگر به دست آورد باید از تابع همبستگی متقابل استفاده کرد. در این تحقیق نیز از تابع همبستگی متقابل^۱ برای تحلیل همبستگی و ارتباط متغیرهای ذکر شده با رواناب روزانه حوضه مورد مطالعه استفاده شد. رابطه ۱ معادله ریاضی این تابع و رابطه ۲ بازه زمانی مؤثر تأخیرها می‌باشد (دلبارت و همکاران ۲۰۱۴، واندیل ۱۹۸۳).

$$r_k(xy) = \frac{Cov(x_t, y_{t+k})}{[\text{var}(x_t) \cdot \text{var}(y_t)]^{\frac{1}{2}}} \quad [1]$$

$$-(10 + \sqrt{n}) \leq k \leq +(10 + \sqrt{n}) \quad [2]$$

در رابطه فوق n تعداد داده‌های سری زمانی، $Cov(x_t, y_{t+k})$ کوواریانس متقابل دو سری x_t و y_t در تأخیر k است. $\text{var}(x_t)$ و $\text{var}(y_t)$ به ترتیب

^۱Cross correlation function

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)^2}{n}} \quad [۴]$$

$$C_E = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_o^*)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_o^*)^2} \quad [۵]$$

که در آن، n تعداد داده‌های مشاهداتی، Q_o داده‌های مشاهداتی، Q_o^* میانگین داده‌های مشاهداتی و Q_m داده‌های تخمین حاصل از مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

در این مطالعه همبستگی سری زمانی روزانه متغیرهای هواشناختی ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک سهند با میانگین دما بررسی شد. در جدول ۲ ضریب همبستگی متغیرهای مورد بررسی، با مقدار دما آورده شده است. با توجه به این جدول، به جز متغیرهای میانگین، کمینه و بیشینه فشارسطح ایستگاه، میانگین سرعت باد و بیشینه سرعت باد، بقیه متغیرها همبستگی خوبی را با دما نشان دادند. متغیرهای ذکر شده که همبستگی ضعیفی با دما داشتند بدین دلیل کنار گذاشته شدند و بقیه متغیرها همراه با بارش حوضه ليقوان، دمای میانگین، دمای کمینه سطح زمین و میانگین دمای خاک در اعماق، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری زمین برای بررسی با رواناب حوضه مورد استفاده قرار گرفتند. در شکل ۳ برای نمونه نمودار همبستگی بعضی از متغیرها با دما آورده شده است.

با رواناب روزانه در دوره‌های زمانی مختلف از نرم افزار SPSS استفاده شد.

د- تهیه مدل رگرسیونی

برای بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته از روابط رگرسیونی استفاده می‌شود. در مباحثی مانند جریان رودخانه‌ای که تحت تأثیر چندین متغیر می‌باشد از روابط رگرسیونی چند متغیره استفاده می‌گردد (خیرفام و همکاران ۱۳۹۱). همچنین با توجه به اینکه متغیرهایی که بر جریان رودخانه تأثیرگذار هستند دارای ضریب تأثیرگذاری متفاوتی می‌باشند نیاز به استفاده از روشی است که علاوه بر بررسی نوع رابطه بین متغیرهای مستقل، میزان تأثیر آنها بر دبی را تعیین کند. رگرسیون گام به گام به عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی رگرسیونی می‌باشد که با اهمیت‌ترین متغیرهای مستقل را یک به یک وارد مدل کرده و این عمل را تا هنگامی که خطای مدل به سطح معنی‌داری مورد نظر برسد ادامه می‌دهد (فاراوی ۲۰۰۲).

تولید مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره و گام به گام بر اساس متغیرهای تأثیرگذار (متغیرهای مستقل) بر دبی (متغیر وابسته) در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد.

و- اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی

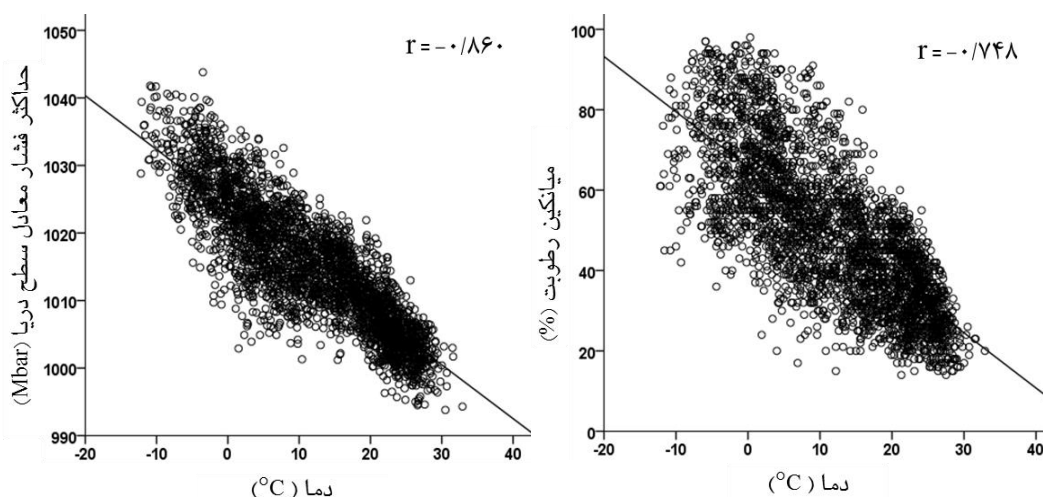
با مشخص شدن متغیرهای مؤثر بر رواناب، داده‌های ۶ سال اول دوره آماری برای بسط مدل‌های رگرسیونی و داده‌های دوسال آخر برای اعتبارسنجی مدل‌ها انتخاب گردید. برای اعتبارسنجی و مقایسه مدل‌ها، معیارهای متعددی ارائه گردیده که از جمله آنها، معیارهای جذور میانگین مربعات خطا^۱ و ضریب کارایی (روابط ۴ و ۵) می‌باشد. در معیار جذور میانگین مربعات خطا، مقادیر کمتر نشان‌دهنده خطای کمتر مدل در برآورد دبی جریان می‌باشد. در معیار ضریب کارایی هر چه مقدار عددی ضریب مذکور به عدد یک نزدیک‌تر باشد، حاکی از توانایی بالای مدل در تخمین دبی خواهد بود (خیرفام و همکاران ۱۳۹۱).

^۱Root mean squared error

جدول ۲- ضریب همبستگی متغیرهای مورد بررسی با میانگین دما.

متغیر*	ضریب همبستگی (r)	متغیر*	ضریب همبستگی (r)
رطوبت میانگین	-۰/۷۴۸	بیشینه فشار سطح ایستگاه	-۰/۲۰۶
رطوبت کمینه	-۰/۷۴۶	میانگین فشار معادل سطح دریا	-۰/۸۳۹
رطوبت بیشینه	-۰/۶۶۷	کمینه فشار معادل سطح دریا	-۰/۸۰۲
رطوبت ساعت ۳	-۰/۵۹۳	بیشینه فشار معادل سطح دریا	-۰/۸۶۰
رطوبت ساعت ۹	-۰/۷۲۷	میانگین سرعت باد	۰/۳۴۹
میانگین فشار سطح ایستگاه	-۰/۱۴۷	سرعت باد بیشینه	۰/۳۶۷
کمینه فشار سطح ایستگاه	-۰/۰۸۷	ساعات آفتابی	۰/۶۱۲

*کلیه متغیرها در سطح ۰/۰۱ معنی دار می باشند



شکل ۳- نمودار همبستگی دما با متغیرهای میانگین رطوبت و بیشینه فشار معادل سطح دریا.

تأخیرهای زمانی مثبت ۴ و ۵ روزه نشان دادند. این امر نشان می‌دهد تغییرات رواناب حوضه نسبت به تغییرات متغیرهای رطوبت، ۴ یا ۵ روز تاخیر دارد. یعنی بعد از افزایش یا کاهش رطوبت ۴ الی ۵ روز طول می‌کشد تا اثرات این تغییرات در رواناب نمایان شود.

متغیرهای میانگین، کمینه و بیشینه فشار معادل سطح دریا، بیشترین همبستگی را با رواناب در اغلب بازه‌ها، در تاخیر ۱ روزه و صفر (بدون تاخیر) نشان دادند. برای ساعات آفتابی و بارش نیز بیشترین همبستگی با رواناب در اغلب بازه‌های زمانی به ترتیب با تأخیر ۲ روزه و بدون تاخیر به دست آمد. دمای میانگین و دمای کمینه سطح زمین، بیشترین همبستگی را با رواناب به ترتیب با تأخیر ۲ و ۱ روزه نشان دادند. ولی برای دمای عمق‌های ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری زمین

الف- تعیین تأخیرهای زمانی با بیشترین ضریب همبستگی

متغیرهای مربوطه در بازه‌های زمانی چهارگانه جداگانه برای هر سال مرتب شده و همبستگی این متغیرها با رواناب روزانه حوضه، با تأخیرهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت و همبستگی‌نگار برای متغیرهای مربوطه در تمام بازه‌های زمانی چهارگانه در هر سال ترسیم گردید. تأخیر زمانی مثبت نشان‌دهنده تقدم فاز تغییرات متغیرهای مربوطه نسبت به تغییرات رواناب و تأخیر زمانی منفی نشان‌دهنده تأخیر فاز تغییر متغیرها نسبت به تغییر رواناب می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، در اغلب بازه‌های زمانی، متغیرهای میانگین، کمینه و بیشینه رطوبت، رطوبت ساعت ۳ و ۹ صبح بیشترین همبستگی را با رواناب، با

با توجه به نتایجی که در جدول ۳ آورده شده است، به جز متغیرهای بارش، ساعات آفتابی و متغیرهای دما بقیه متغیرها همبستگی معکوس با رواناب دارند.

بیشترین همبستگی را با رواناب در اغلب بازه‌های زمانی بدون تأخیر به دست آمد. در جدول ۳ تأخیرها و دوره‌هایی که متغیرهای مورد بررسی بیشترین همبستگی را با رواناب داشتند آورده شده است.

جدول ۳- همبستگی (مقادیر کمینه و بیشینه) بین رواناب و متغیرهای هواشناختی با تأخیرهای مشاهده شده در بازه‌های زمانی چهارگانه.

همبستگی متقابل (r _k)		**K	بازه زمانی	متغیر*
کمینه (Min)	بیشینه (Max)	(day)		
-۰/۲۸۹	-۰/۵۹۱	۵ و ۴	۱ دی الی ۳۱ خرداد	میانگین رطوبت
-۰/۳۲۴	-۰/۵۷۸	۵ و ۴	۱ دی الی ۳۱ خرداد	کمینه رطوبت
-۰/۲۳۵	-۰/۵۴۷	۵ و ۴	۱ دی الی ۳۱ خرداد	بیشینه رطوبت
-۰/۱۷۲	-۰/۴۹۶	۵ و ۴	۱ دی الی ۳۱ خرداد	رطوبت ساعت ۳
-۰/۲۹۲	-۰/۵۶۶	۵ و ۴	۱ دی الی ۳۱ خرداد	رطوبت ساعت ۹
-۰/۵۱۵	-۰/۶۳۴	۱ و ۰	۱ دی الی ۳۱ خرداد	میانگین فشار معادل سطح دریا
-۰/۴۸۸	-۰/۵۸۷	۱ و ۰	۱ دی الی ۳۱ خرداد	کمینه فشار معادل سطح دریا
-۰/۵۱۷	-۰/۶۶۲	۱ و ۰	۱ دی الی ۳۱ خرداد	بیشینه فشار معادل سطح دریا
۰/۳۰۴	۰/۵۳۶	۲	۱ دی الی ۳۱ خرداد	ساعات آفتابی
۰/۲۴۶	۰/۵۲۰	۰	۱ بهمن الی ۳۱ اردیبهشت	بارش
۰/۷۲۸	۰/۸۲۳	۲	۱ دی الی ۳۱ خرداد	دمای میانگین
۰/۵۹۰	۰/۷۸۸	۱	۱ دی الی ۳۱ خرداد	دمای کمینه سطح زمین
۰/۷۲۵	۰/۹۰۵	۰	۱ دی الی ۳۱ خرداد	دمای عمق ۱۰ سانتی زمین
۰/۷۲۷	۰/۹۱۱	۰	۱ دی الی ۳۱ خرداد	دمای عمق ۲۰ سانتی زمین

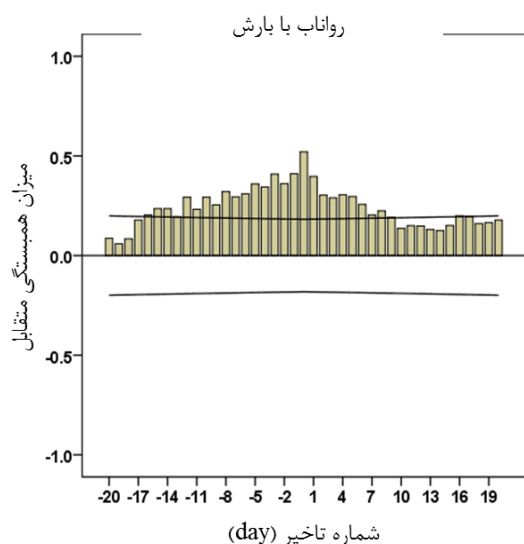
* کليه متغیرها در سطح ۰/۰۱ معنی دار می‌باشند. ** تأخیر زمانی بین رواناب و عوامل هواشناختی

ضمناً با توجه به نتایج به دست آمده، به جز بارش بقیه متغیرها در اغلب موارد بیشترین همبستگی را در دوره اول دی تا ۳۱ خرداد نشان دادند. که نشان‌دهنده ارتباط بیشتر این متغیرها بر رواناب حوضه در این بازه زمانی می‌باشد.

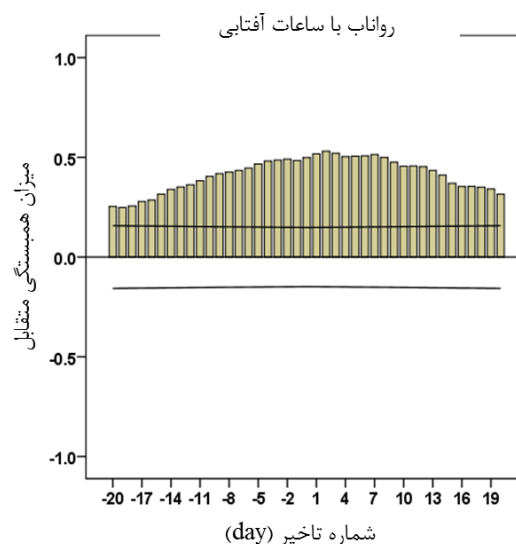
در مورد بارش، نتایج به دست آمده در بیشتر سال‌های مورد بررسی، نشان‌دهنده تأثیر بیشتر این متغیر بر رواناب در بازه ۱ بهمن الی ۳۱ اردیبهشت می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که رواناب دوره‌های شامل فروردین و اردیبهشت تا حد زیادی وابسته به بارش در همین ماه‌هاست و بارش‌های بهاره نقش به‌سزایی در تولید رواناب (به طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق تأثیر بر روند ذوب برف حوضه) در این دوره‌ها دارد. در حالی که با گرم شدن هوا در ماه‌های

متغیر ساعات آفتابی همبستگی مستقیم با رواناب دارد. علت این امر می‌تواند ناشی از افزایش اشعه‌های خورشیدی دریافتی توسط پوشش برف و بالا رفتن دمای برف انباشته در حوضه در روزهای با ساعات آفتابی طولانی باشد که با بالا رفتن دمای برف، ذوب برف تشدید شده و باعث افزایش رواناب خروجی از حوضه می‌گردد. بارش هم نظیر ساعات آفتابی همبستگی مستقیمی با رواناب دارد. با افزایش بارش‌ها به‌خصوص در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و اواخر اسفند که اغلب بارش‌ها به‌صورت باران است، هم رواناب مستقیم حاصل از بارش باعث افزایش رواناب خروجی از حوضه شده و هم اثری که این بارش‌ها در افزایش ذوب برف حوضه دارند سبب می‌شود که بارش همبستگی مستقیم خوبی با رواناب داشته باشد.

کمتر شده و رواناب به طور محسوس کمتر به بارش همزمان وابستگی نشان می‌دهد. در شکل ۴ (به عنوان نمونه) همبستگی نگار رواناب با ساعات آفتابی و بارش ارائه شده است.



بعدی، بارش کمتر شده و رواناب حاصل از بارش‌های همزمان کاهش می‌یابد. بنابراین میزان تأثیر بارش بر رواناب در دوره‌های زمانی کوتاه مدت مشتمل بر فروردین و اردیبهشت ماه ملموس‌تر است و هر چه دوره زمانی طولانی‌تر می‌شود سهم جریان این دو ماه



شکل ۴- همبستگی نگار رواناب با ساعات آفتابی و بارش.

می‌دهد که کمترین جذور میانگین مربعات خطا (۰/۵۶۳) مربوط به مدل گام به گام شماره ۳ است. معیار ضریب کارایی مدل‌های تهیه شده متغیر می‌باشد، برای این معیار آماری نیز مدل گام به گام شماره ۳ با میزان ضریب کارایی (۰/۶۱۰) دارای بهترین عملکرد است. بر اساس مقادیر معیارهای آماری، مدل‌های گام به گام تهیه شده برای حوضه مورد مطالعه دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل چندمتغیره می‌باشند. با توجه به مدل‌سازی که توسط رگرسیون گام به گام صورت گرفته است این نتیجه استنباط می‌شود که تأثیرگذاری متغیرهای دما روی دبی خروجی بیشتر از بارندگی بوده که مطابق با نتایج انوری تفتی و همکاران (۱۳۸۹) می‌باشد. این امر می‌تواند به علت برخوردار بودن حوضه مورد مطالعه از پوشش برف و تأثیر بیشتر دما بر رواناب ناشی از ذوب برف در دوره زمانی مورد بررسی (۱ دی الی ۳۱ خرداد) باشد. از روابط رگرسیونی گام به گام و چند متغیره، این نتیجه را می‌توان گرفت که متغیرهای ساعات آفتابی و بیشینه

ب- تولید مدل‌های رگرسیونی و اعتبارسنجی آنها

با توجه به نتایج مراحل قبل پارمترهای دمای میانگین، دمای کمینه سطح زمین، دمای عمق‌های ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری زمین، بیشینه فشار معادل سطح دریا، ساعات آفتابی و بارش که بیشترین تأثیر را بر رواناب در فصل ذوب برف داشتند، با تأخیرهای مربوطه به عنوان متغیر مستقل و متغیر دبی به عنوان متغیر وابسته برای تولید روابط رگرسیونی در بازه زمانی یک دی تا ۳۱ خرداد انتخاب شدند. اعتبارسنجی مدل‌ها با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری ليقوان در دو سال آبی ۸۶-۸۷ و ۸۷-۸۸ انجام شد. مدل‌های رگرسیونی گام به گام و چند متغیره در جدول ۴ ارائه شده است. به دلیل خلاصه کردن نتایج، از ارائه مقادیر معیارهای آماری در مرحله واسنجی صرف‌نظر گردید. بررسی نتایج اعتبارسنجی مدل‌های روزانه تهیه شده در جدول ۴ برای حوضه مورد مطالعه نشان

دقیق‌ترین مدل) آورده شده است. چنانچه از شکل ۵ پیداست مدل مربوطه مانند دیگر مدل‌های شبیه‌سازی رواناب، دبی‌های اوج را خوب شبیه‌سازی نمی‌کند

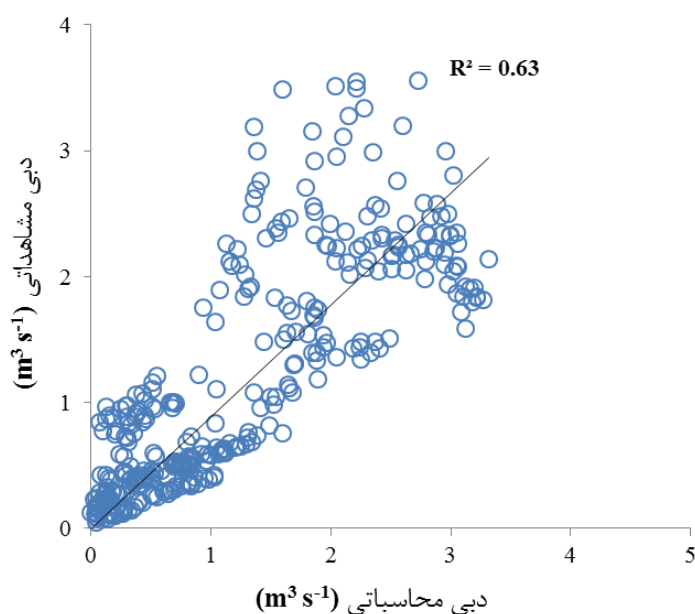
فشار معادل سطح دریا کمترین تأثیر را بر رواناب حوضه دارا می‌باشند.

در شکل ۵ نمودار پراکندگی دبی‌های مشاهداتی و دبی‌های محاسبه شده با مدل گام به گام شماره ۳

جدول ۴- ارزیابی مدل‌های روزانه تهیه شده برای دوره زمانی یک دی تا ۳۱ خرداد.

CE	RMSE	مدل تهیه شده	شماره مدل	نوع مدل
۰/۵۵۷	۰/۶۰۶	$Q=۱/۰+۰/۱/۱۰۶T_{20}$	۱	
۰/۵۸۸	۰/۵۸۴	$Q=۱/۰+۱۰۹/۳۶۷T_{20}-۰/۲۵۴T_{10}$	۲	
۰/۶۱۰	۰/۵۶۳	$Q=۱/۰+۰/۴۹/۳۲T_{20}-۰/۲۱T_{10}+۰/۰۲۶P$	۳	گام به گام
۰/۵۹۶	۰/۵۷۹	$Q=۰/۰+۸۰۸/۲۶۶T_{20}-۰/۱۳۵T_{10}+۰/۰۲۲P-۰/۰۲۷T_s$	۴	
۰/۵۹۴	۰/۵۸۱	$Q=۰/۰+۷۷۷/۳۱T_{20}-۰/۱۹۲T_{10}+۰/۰۳۵P-۰/۰۳۳T_s+۰/۰۲۱T_a$	۵	
۰/۲۶۳	۰/۷۸۲	$Q=-۱/۰+۷۸۲/۳۰۸T_{20}-۰/۱۸۸T_{10}+۰/۰۳۵P-۰/۰۳۳T_s+۰/۰۲۲T_a-۰/۰۰۳S_h+۰/۰۰۲P_s$	۶	چند متغیره

تمام مدل‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشند، T_{20} و T_{10} به ترتیب دمای عمق ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متری زمین، P بارش، T_s دمای کمینه سطح زمین، T_a میانگین دمای روزانه، S_h ساعات آفتابی، P_s بیشینه فشار معادل سطح دریا



شکل ۵- نمودار پراکندگی دبی‌های مشاهداتی و دبی‌های محاسبه شده با مدل مناسب.

تا با استفاده از آمار و اطلاعات اقلیمی دبی حوضه مورد مطالعه در فصل ذوب برف مورد بررسی قرار گیرد. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که همه متغیرهای مورد بررسی، به‌طور نسبی دارای همبستگی قابل قبولی با میزان رواناب حوضه مورد مطالعه در فصل ذوب برف می‌باشند که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار

نتیجه‌گیری کلی

حوضه آبریز ليقوان یکی از حوضه برف‌گیر کشور می‌باشد ولی تاکنون مطالعات اندکی در زمینه هیدرولوژی برف و ارتباط عوامل هواشناسی با رواناب ناشی از آن در این حوضه و حتی در سطح کشور صورت گرفته است. در تحقیق حاضر سعی شده است

تاخیر ۴ و ۵ روزه نشان داد. رحیمی و داناپور (۱۳۹۱) نیز در بررسی اثر داده های اقلیمی بر ارتفاع برف در منطقه کوهرنگ نشان دادند که رطوبت ساعت ۳ کمترین اثر را بر ارتفاع برف و به تبع آن بر ذوب برف دارا می باشد. طبق نتایج به دست آمده متغیرهای دمایی بیشترین تاثیر را بر رواناب در فصل ذوب برف داشتند که با نتایج مطالعه انوری تفتی و همکاران (۱۳۹۰)، زارعزاده مهریزی و بزرگ حداد (۱۳۸۹) مطابقت دارد.

نتایج اعتبار سنجی مدل های رگرسیونی نشان داد که مدل گام به گام شماره ۳ از دقت نسبتا خوبی در تخمین جریان رودخانه در فصل ذوب برف برخوردار است و مدلهایی که با روش گام به گام تهیه شده اند دارای خطای تخمین کمتر و ضریب کارایی بالایی نسبت به مدل رگرسیونی چندمتغیره می باشند که با نتایج صادقی و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت دارد.

با توجه به اینکه مدل های هوشمند نسبت به مدل های رگرسیونی از دقت خوبی در تخمین متغیرهای هیدرولوژیکی مثل رواناب برخوردار هستند می توان با استفاده از متغیرهای هواشناختی موثر به دست آمده و کاربرد مدل های هوشمند، رواناب روزانه حوضه مورد مطالعه را با دقت خوبی شبیه سازی کرد.

می باشد. خیرفام و همکاران (۱۳۹۱) نیز در تخمین جریان رودخانه ای در حوضه های بالادست سد مخزنی بوکان با استفاده از متغیرهای اقلیمی دما و بارش نشان دادند بارش ارتباط معنی داری با رواناب دارد. ضمنا بارش بیشترین همبستگی را با رواناب بدون تاخیر زمانی دارا بود. نبی زاده و همکاران (۱۳۹۱) نیز در پیش بینی آبدهی رودخانه لیقوان با استفاده از مدل های مبتنی بر منطق فازی نشان دادند که تأثیر متغیر بارندگی روز جاری از متغیر دبی دو روز قبل بیشتر بوده و این متغیر یکی از مؤثرترین متغیرها در پیش بینی جریان روزانه رودخانه لیقوان می باشد. در بررسی های انجام شده مشخص شد که میزان تأثیر بارش بر رواناب در دوره های زمانی کوتاه مدت مشتمل بر فروردین و اردیبهشت ماه بیشتر است. باقری نیا و برهانی داریان (۱۳۹۲) هم در بررسی های به عمل آمده نشان دادند که بارش نقش ویژه در جریان ماه های فروردین و اردیبهشت حوضه دز دارد و استفاده از بارش همزمان به عنوان متغیر پیش بینی کننده رواناب در این ماه ها، می تواند نتایج روش رگرسیون را از ۱۶ تا ۵۵ درصد و روش شبکه عصبی را از ۹ تا ۳۰ درصد بهبود ببخشد. کمترین همبستگی را رطوبت ساعت ۳ در طی بازه زمانی اول دی ماه الی ۳۱ خرداد ماه و با

منابع مورد استفاده

- Aalami MT and Hosseinzadeh H, 2010. Modeling Rainfall – Runoff Process in Lighvan Chai Basin Using Conditional Threshold Temperature Neuron. Water and Soil Science- University of Tabriz 20: 97-110.
- Anvari Tafti S, Saghafian B and Morid S, 2011. Stream flow forecast using ANN models and investigation of model's performance by SOI inputs. Journal of Water and Soil Conservation 18: 163-180.
- Bagheri B and Borhani A, 2013. Evaluation of Riverflow Forecasting Models. The Iranian Society of Irrigation & Water Engineering 13: 14-30.
- Biggs TW and Whitaker TM, 2012. Critical elevation zones of snowmelt during peak discharges in a mountain river basin. Journal of Hydrology 438-439: 52-65.
- Delavar M, Morid S and Nikbakht N, 2012. Distributed Snowmelt Simulation in Ungauged Mountainous Catchments, Case Study: Imamzadeh Davoud Catchment. Journal of Iran-Water Resources Research 7: 41-50.
- Delbart C, Valdes D, Barbecot F, Tognelli A, Richon P and Couchoux L, 2014. Temporal variability of karst aquifer response time established by the sliding-windows cross-correlation method. Journal of Hydrology 511: 580-588.
- Ebdam S and Fathzadeh A, 2013. Geostatistical methods to estimate the spatial distribution of snow depth in the watershed Skhvyd. Irrigation & Water Engineering 13: 113-124

- Faraway J, 2002. Practical Regression and ANOVA in R. CRAN, USA.
- Fathzade A and Zare bidaki R, 2012. Estimating distribution of snow water equivalent at times of snow accumulation using of degree - days model. Iranian Journal of Soil and Water Research 43: 171-177.
- Fazel Modares N, Fakheri-Fard A, Dinpashoh Y and Farajzadeh J, 2013. Development of hybrid model based on geomorphologic features of basin for extraction of instantaneous hydrograph (Case study: East Azarbaijan basins). Iranian Journal of Soil and Water Research 4: 305-313.
- Franz KJ and Karsten LR, 2013. Calibration of a distributed snow model using MODIS snow covered area data. Journal of Hydrology 494: 160-175.
- Hreiche A, Najem W and Bocquillon C, 2007. Hydrological impact simulation of climate change on Lebanese coastal rivers / Simulations des impacts hydrologiques du changement climatique sur les fleuves côtiers Libanais. Hydrological Sciences Journal 52(6): 1119-1133.
- Jain SK, Goswami A and Saraf AK, 2010. Assessment of snowmelt runoff using remote sensing and effect of climate change on runoff. Water Resources Management 24: 1763-1777.
- Kheirfam H, Vafakhah M and Hosseini S, 2012. Streamflow Estimation for Upstream Watersheds of Boukan Reservoir Dam Using Precipitation and Temperature Climatic Variables. The Iranian Society of Irrigation & Water Engineering 7: 112-123.
- Li X and Williams MW, 2008. Snowmelt runoff modeling in an arid mountain watershed, Tarim Basin, China. Hydrological Processes 22: 3931-3940.
- Lorrai M and Sechi HM, 1995. Neural Networks for Modeling Rainfall-Runoff Transformations. Water Resources Management 9: 299-313.
- Miller NL, Bashford KE and Stern E, 2003. Potential impacts of climate change on California hydrology. Journal of the American Water Resources Association 39(4): 771-784.
- Nabi G, Latif M, Rehman H and Azhar AH, 2011. The role of environmental parameter (degree day) of snowmelt runoff simulation. Soil & Environment 30: 82-87.
- Nabizadeh M, Mosaedi A, Hesam M and Dehghani AA, 2012. Comparing the Performance of Fuzzy Based Models in Stream Flow Forecasting on Lighvan River. Journal of Water and Soil Conservation 19: 117-134.
- Payne JT, Wood AW, Hamlet AF, Palmer RN and Lettenmaier DP, 2004. Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. Climatic Change 62: 233-256.
- Prasad V and Roy P, 2005. Estimation of snowmelt runoff in Beas basin, India. Geocarto International 2: 41-47.
- Raesiyan R and porhemmat J, 2013. An Investigation on Temporal Variation of Snow Accumulated Depth and Snow Water Equivalent in Northern Karoon Basin (Case Study: Col Cheri). The Iranian Society of Irrigation & Water Engineering 13: 90-101.
- Rahimi D and Danapvr M, 2012. Analysis of Effectiveness of Climatic Variation on Snow Depth Case Study: Koohrang). Geographic Space 12: 61-75.
- Sadeghi SHR, Yasrebi B and NoorMohammadi F, 2005. Development and Analysis of Monthly Precipitation-Runoff Relationships for Haraz Watershed in Mazandaran Province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khazar 1: 1-12.
- Salas JD, Delleur JW, Yevjevich V and Lane WL, 1980. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications, USA.
- Sharifi AR, Dinpashoh Y, Fakheri-Fard A and Moghaddamnia AR, 2014. Optimum Combination of Variables for Runoff Simulation in Amameh Watershed using Gamma test. Water and Soil Science-University of Tabriz 23: 59-72.
- Stewart IT, Cayan DR and Dettinger MD, 2004. Changes in snowmelt runoff timing in western north america under 'Business as usual' climate change scenario. Climate Change Journal 62: 217-232.

- Tokar AS and Johnson PA, 1999. Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering* 4(3): 232-239.
- Vandaele W, 1983. *Applied Time Series and Box-Jenkins Models*. Academic Press, USA.
- Zarezadeh-Mehrizi M and1 Bozorg Haddad O, 2010. Inflow Simulation and Forecasting Optimization Using Hybrid ANN-GA Algorithm. *Journal of Water and Soil* 24: 942-954.