

مقدمه

به طور متوسط ۶۰٪ نیمکره شمالی در اواسط زمستان پوشیده از برف است. بیش از ۳۰٪ سطح زمین بارش فصلی برف دارد و حدود ۱۰٪ از سطح زمین به طور دائم از برف و یخ پوشیده شده است [۴]. برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی به صورت جریان‌های تأخیری در فصول پربابی و جریان‌های کمینه در فصول کم آبی و تولید انرژی نقش ارزنده‌ای ایفا می‌کند. از سوی دیگر رواناب حاصل از ذوب برف به دلیل نقش تأخیری آن، منبع اصلی تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و در برخی از موارد به دلیل همزمانی با بارش بهاره، منشأ بروز سیلاب‌های مخرب با حجم جریان بیش از ظرفیت رودخانه‌ها می‌شود [۸]. در مناطق سرد، کوهستانی و مرتفع بخش اعظم بارندگی‌ها به شکل برف نازل می‌شوند. منابع آبی موجود در این قبیل مناطق، متأثر از میزان بارش برف بوده و غالباً از طریق آبهای حاصل از ذوب برف تغذیه می‌شوند. وقوع خشکسالی‌های اخیر در بسیاری از مناطق کشور همچون استان چهارمحال و بختیاری، با تغییر نوع ریزش‌های جوی (نسبت مقدار برف به کل بارش) همراه بوده و مقدار ریزش برف یا به عبارتی ضریب برف کاهش چشمگیری یافته است [۵]. بسیاری از معادلات و روابط مورد استفاده در هواشناسی و آبشناسی از ضرایبی استفاده می‌نمایند که معمولاً خاص مناطقی است که روابط یاد شده بر اساس مطالعات و پژوهش‌های مربوطه در آنها صورت گرفته است. این در حالی است که موضوع واسنجی مدل‌ها از دیرباز مورد توجه محققین بوده است. از جمله روابط مورد استفاده در هواشناسی و آبشناسی می‌توان به ضریب برفی چاندر را اشاره نمود. دقت مدل چاندر را برای ایستگاه کوه‌رنگ در استان چهارمحال و بختیاری مورد ارزیابی و ضریب تجربی ۱/۹۳ را برای این ایستگاه ارائه شده است [۲]. جلال‌زایی و همکاران [۳] از مدل تجربی چاندر را برای محاسبه ضریب برفی حوزه آبخیز گزیک زیدان استفاده نموده و ارتفاع آب حاصل از برف را محاسبه نموده‌اند. عالی و همکاران [۶] با محاسبه ضریب برفگیری حوزه دوراهان به روش چاندر و تعیین حجم رواناب حاصل از ذوب برف به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد برفگیری حوزه در ماه‌هایی که احتمال بارش به صورت برف وجود دارد به ترتیب در دی ماه برابر ۶۲ درصد و اردیبهشت ماه برابر ۲/۸ درصد بوده است. قره چلو و همکاران [۷] در بررسی ضریب برف از روش تجربی چاندر و تعداد روزهای یخبندان در

 ارزیابی کارایی ضریب برفی چاندر در حوزه‌های
 آبخیز کوهستانی (استان چهارمحال و بختیاری)

 نسیمه خلیلی سامانی،^۱ اعلی فتح‌زاده^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۲۵

چکیده

ضریب برفی، نسبت ریزش‌های جوی به صورت برف به کل ریزشها در فاصله زمانی معین می‌باشد. معمولاً کمبود ایستگاه‌های برف‌سنجی و یا صعب‌العبور بودن ایستگاه‌ها در مناطق کوهستانی باعث شده که آمار مناسب و کافی از پارامترهای برف در دسترس نبوده و کاربرد مدل‌ها و روش‌های تجربی اجتناب‌ناپذیر باشد. مدل چاندر پارامتر ضریب برفی را با کمک مؤلفه‌های اصلی دما محاسبه می‌کند. استان چهارمحال و بختیاری به عنوان یک منطقه برفگیر، کانون مناسبی جهت اعتبارسنجی این مدل می‌باشد. در این تحقیق ضریب برفی به روش واقعی و مدل چاندر را برای ماه‌های دارای بارش برف و همین‌طور متوسط سالانه، برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک استان در دوره آماری ۵ ساله (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰) محاسبه و دقت مدل با استفاده از میانگین مربعات خطا و متوسط انحرافات خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل فوق برای دمای مخصوص بارش برف در بازه ۱/۲ تا ۲/۵ در هر ایستگاه محاسبه شد و با ارزیابی مدل‌ها بهترین ضریب دمایی برای هر ایستگاه نیز تعیین گردید. کمترین ضریب مربوط به ایستگاه‌های شهرکرد، پل زمانخان و دزک (۱/۲) و بیشترین آن مربوط به ایستگاه اورگان می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل چاندر می‌تواند بر اساس ضریب تجربی دمای مخصوص بارش برف که خاص هر منطقه و ایستگاه می‌باشد، متوسط ضریب برفی را با دقت بالایی برآورد نماید.

واژه‌های کلیدی: ضریب برفی، مدل چاندر، مناطق کوهستانی، آب معادل برف

۱. نویسنده مسئول) و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه

اردکان nkhs812@gmail.com

۲. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان



شکل ۱- موقعیت عمومی استان چهارمحال و بختیاری

شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان

ارزیابی ضریب برفی چاندرا مورد استفاده قرار گرفت. ضریب برفی چاندرا، نسبت ریزشهای جوی به صورت برف به کل ریزشها در یک فاصله زمانی معین می‌باشد. پس از مرتب سازی و رفع نواقص احتمالی، ضریب برفی به صورت واقعی و مدل چاندرا برای هر یک از ایستگاه‌ها به صورت ماهانه در ماههای برفی و سالانه محاسبه گردید و پس از مقایسه ضرایب واقعی و چاندرا، دقت مدل چاندرا برای هر یک از ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

جهت محاسبه ضریب برفی به صورت واقعی (P_a) از رابطه ۱ بهره گرفته شده است. در این رابطه SWE آب معادل برف و ppt مجموع بارش برحسب میلی متر می‌باشد.

$$P_a = \frac{SWE}{ppt} \quad (1)$$

در رابطه ۲ ضریب برفی چاندرا ارائه شده است. در این رابطه P_C ضریب برفی، T_{max} دمای متوسط بیشینه، T_{min} دمای متوسط کمینه به درجه سانتیگراد، T_S ضریب مبین دمای مخصوص بارش برف می‌باشد. بازه ضریب یاد شده ۱/۶۶ تا ۲/۲ ذکر شده است.

$$P_S = 100 * \frac{(T_S - T_{min})}{(T_{max} - T_{min})} \quad (2)$$

در این مطالعه دامنه دمایی ضریب تجربی T_S بین ۱/۲ تا ۲/۵ در نظر گرفته شده است. تا علاوه بر ارزیابی میزان دقت مدل، بهترین ضریب هم تعیین گردد.

پس از محاسبه مقدار ضریب برفی به صورت واقعی و برآوردی با روش چاندرا، از میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط انحرافات خطا (BAIS) جهت مقایسه این دو مقدار محاسبه شده استفاده شده است [۳]. روابط ۳ و ۴ چگونگی محاسبه مقادیر فوق

حوزه آبخیز ایور از دو روش نقطه‌ای و منطقه‌ای استفاده نمودند. نکونام و مزیدی [۱۰]، در تحلیل پوشش برف حوضه فخرآباد یزد، با محاسبه ضریب برفی در کنار معادلات رگرسیون دما و بارش در یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۷۰-۱۳۸۵)، ذخیره برف در طی همان سال را بدست آوردند. در این تحقیق براساس آمار و اطلاعات ۱۱ ایستگاه سینوپتیک استان چهارمحال و بختیاری (شکل ۲) در یک دوره آماری ۵ ساله (۱۳۸۶-۱۳۹۰)، دقت مدل چاندرا مورد ارزیابی و بهترین ضریب تجربی برای هر ایستگاه ارائه شده است. علاوه بر آن در این مطالعه سعی شده علاوه بر ارزیابی دقت مدل چاندرا برای ماههای مختلف سال در هر یک از ایستگاه‌های استان، برای بارش سالانه ایستگاه‌ها نیز محاسبه گردد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری دارای یک درصد از کل وسعت ایران می‌باشد که در بستر سلسله جبال زاگرس واقع شده است. با وجود مساحت کم، ده درصد از منابع آب کشور را در اختیار دارد. به علت ماهیت کوهستانی مرتفع، دارای بارش نسبتاً مناسب و غالباً به صورت برف می‌باشد و وجود ارتفاعات پوشیده از برف یکی از ویژگی‌های اقلیمی این استان است. با توجه به خصوصیات فیزیولوژیکی و بارش منطقه، از جمله داشتن ارتفاعات صعب‌العبور و برفگیر و نیز اهمیت محاسبه پارامتر ضریب برفی، دقت مدل چاندرا در این استان مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش تحقیق

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع و ارتفاع ۲۱۵۰ متر از سطح دریا در فاصله جغرافیایی ۴۹ تا ۵۱ درجه طول شرقی و ۳۱ تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). در این تحقیق آمار و اطلاعات ۱۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استان در دوره آماری ۵ ساله (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰)، جهت محاسبه و

نتایج

با توجه به اینکه مطالعه حاضر در سطح کل استان و برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک انجام گرفته است، مقادیر مربوط به ضرایب واقعی و چاندرا برای ماههای برفی و همین‌طور سالانه بدست آمده برای ایستگاه امام قیس به عنوان نمونه در جدول ۲ آورده شده است. تجزیه و تحلیل مقادیر بدست آمده برای ایستگاه‌های مختلف و از جمله جدول فوق نشان می‌دهد که هرچه مقدار بارش برف در ماه بیشتر باشد، دقت مدل در برآورد ضریب برفی دقیق‌تر خواهد بود. برای بدست آوردن ضریب تجربی که کمترین خطا را در برآورد داشته باشد از شاخص‌های آماری RMSE و BIAS استفاده شده است. در شکل‌های زیر تغییرات ضرایب شاخص‌های میانگین ریشه دوم خطا و مقدار متوسط انحرافات با توجه به تغییرات دمای مخصوص بارش برف ارائه شده و همان‌طور که مشاهده می‌شود، کمترین مقادیر شاخص‌های فوق‌الذکر که به نوعی مبین دقت برآورد می‌باشد را می‌توان به عنوان ضریب تجربی بهینه برای ایستگاه مزبور معرفی نمود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - m_i)^2}{n}} \quad (3)$$

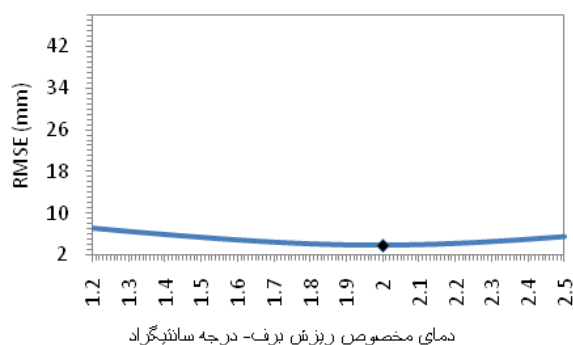
$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i - m_i)}{n} \quad (4)$$

در روابط فوق s_i مقدار برآورد شده توسط مدل، m_i مقدار واقعی ضریب برفی (اندازه‌گیری شده) می‌باشد.

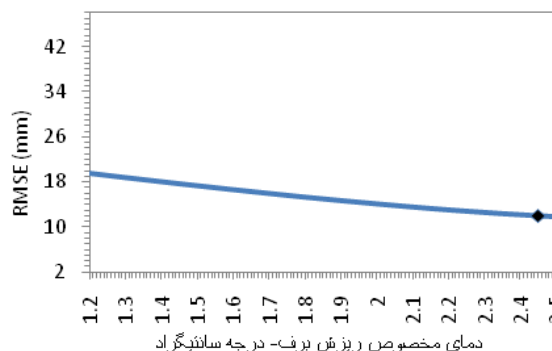
مقدار میانگین ریشه دوم خطاها (RMSE) بیانگر درستی و اعتبار مدل‌ها بوده و هر چه مقدار آن (در مدل‌های دارای شرایط یکسان از نظر واحد) کمتر باشد، دقت مدل بیشتر است و مقادیر مثبت مقدار متوسط انحرافات (BIAS) نشان‌دهنده بیش برآورد کردن و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده کم برآورد کردن مقادیر توسط مدل می‌باشد [۹۱]. برای بررسی صحت مدل‌ها نمی‌توان به BIAS تکیه کرد، بلکه این متغیر فقط نشان‌دهنده میزان خطای خالص ناشی از برآورد مقادیر توسط مدل در بلند مدت می‌باشد.

جدول شماره ۲- متوسط بارش، متوسط آب حاصل از برف، ضرایب برفی (واقعی و چاندرا) در ماههای دارای بارش برف و مقادیر سالانه در ایستگاه امام قیس

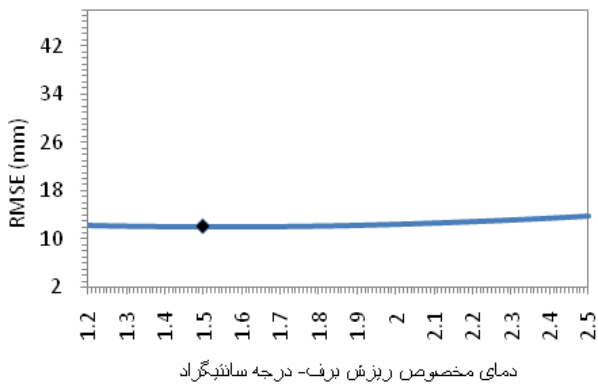
ضریب برفی چاندرا با ضرایب مختلف		ضریب برفی ماه (واقعی)	متوسط آب حاصل از برف (میلی‌متر)	متوسط بارش (میلی‌متر)	ماه‌های دارای بارش برف
۱/۹۵	۱/۳۵				
۵/۹۴	۱/۸۴	۱/۴۰	۱	۷۱/۵	آبان
۴۴/۱۱	۳۹/۶۴	۴۸/۱۶	۳۴/۱	۷۰/۸	آذر
۶۸/۶۵	۶۴/۰۲	۶۸/۸۹	۳۱	۴۵	دی
۶۷/۱۲	۶۱/۷۰	۶۱/۶۹	۸۱/۸	۱۳۲/۶	بهمن
۲۵/۰۴	۲۰/۲۲	۲۸/۸۱	۲۳/۸	۸۲/۶	اسفند
-۴/۲۲	-۹/۱	۰/۰	۰/۰	۹۳/۸	فروردین
۳۳/۴۹	۲۸/۸۱	۳۳/۴۴	۱۷۳/۵	۵۱۸/۹	متوسط سالانه



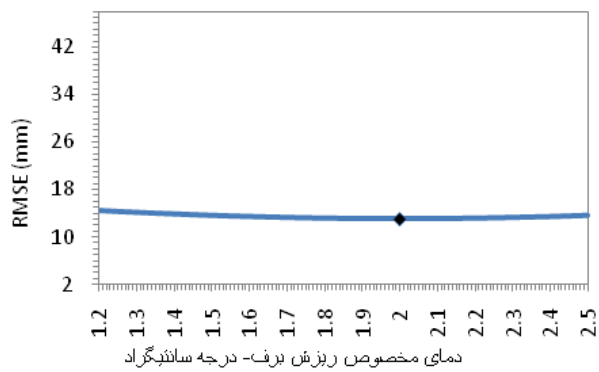
امام قیس



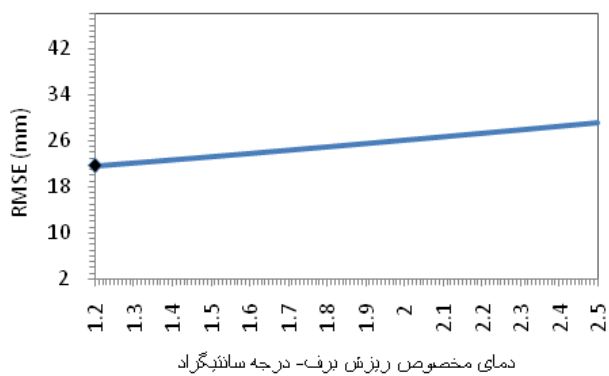
آورگان



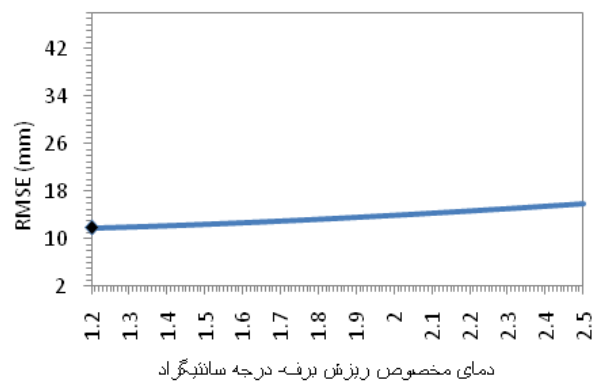
بldاجی



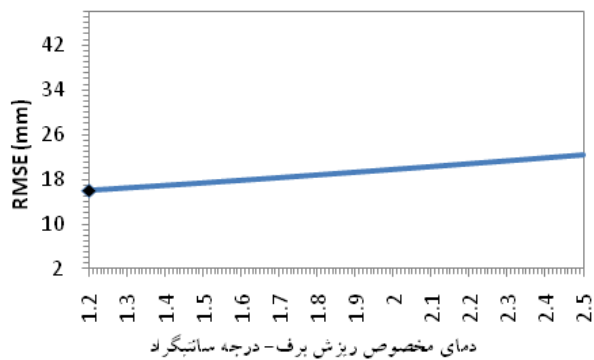
بروجن



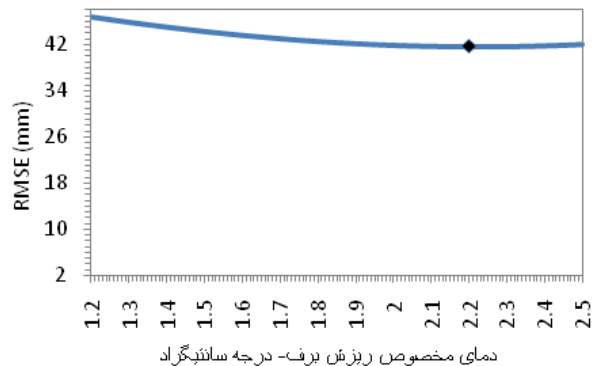
دزکی



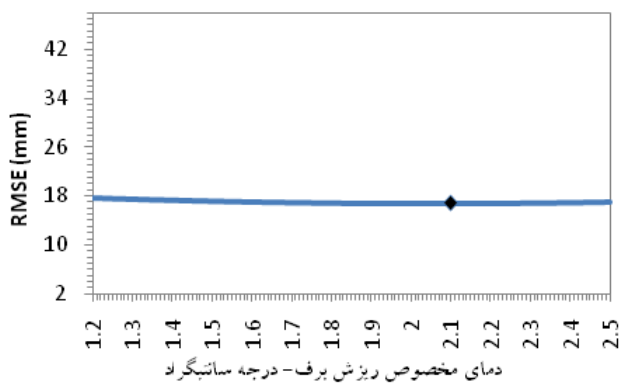
پل زمانخان



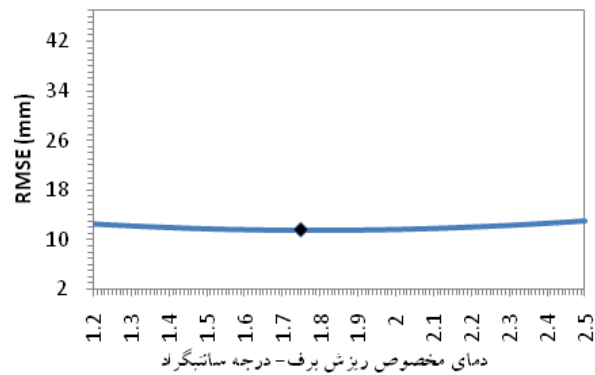
شهرکرد



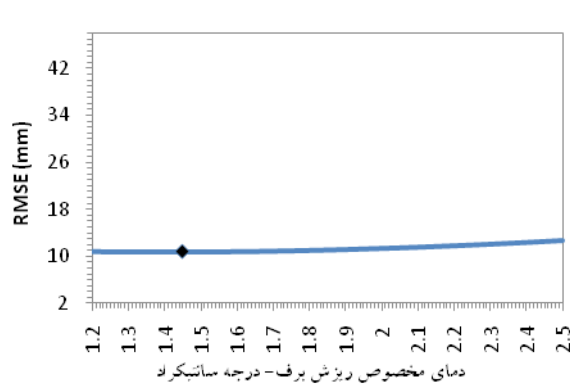
سامان



لردگان

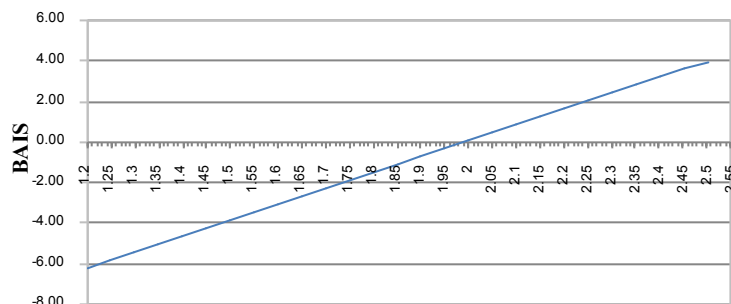


کوه رنگ



مالخلیفه

شکل ۲- تغییرات میانگین ریشه دوم خطاها (RMSE) با ضرایب تجربی مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان



شکل ۳- تغییرات متوسط انحرافات (BAIS) با ضرایب مختلف تجربی، ایستگاه امام‌قیس

لذا برای بالا بردن دقت مدل چاندرا بایستی این ضرایب برای هر منطقه محاسبه و مدل کالیبره گردد. همچنین، مدل قادر است با ضرایب تجربی خاص هر منطقه (عددی که میانگین ریشه دوم خطاها به کمترین مقدار خود و متوسط انحرافات به صفر می‌رسد) ضریب برفی ماهانه را برای برخی ایستگاه‌ها با دقت بالا و مقدار

بحث و نتیجه‌گیری

پس از اینکه ضریب برفی چاندرا محاسبه و نتایج حاصل با مقدار واقعی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه شد، بررسی نتایج حاصل از ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که ضرایب تجربی برای ایستگاه‌های مختلف متفاوت و مخصوص هر ایستگاه می‌باشد،

ایستگاه	آورگان	امام قیس	بروجن	بلداجی	پل زمانخان	دزک	سامان	شهرکرد	کوهرنگ	لردگان	مالخلیفه
ضریب تجربی	۵	۱/۹۵	۱/۹	۱/۵۵	۱/۲	۱/۲	۲/۲۵	۱/۲	۱/۸	۲/۱	۱/۴

Remot Sensing environment, 28:9-22.

5. Ghareh chello, S. Zarkesh kheirkhah, A.M. Malekian, A. and Ali pur, H. 2014. Study snow coefficient and number of frost days in Eiver watershed. Eighth International conference on World Environment Day, Tehran.

6. Ghanbarpour, M. Mohseni Saravi, M. Saghafian, b. Ahmadi, H. and Abbaspour k. 2005. An Evaluation of regions effective in accumulation and persistence of snow cover and snowmelt contribution in runoff. Iranian Journal of Natural Resources, 58 (3). 515-503.

7. Jalalzaie, M. Dehghan, M. Asadi, M. and Ali pur, H. 2012. Analysis of the snow and ice of Gezik Zidane watershed. The first International conference on strategies for achieving sustainable development.

8. Reisian, R. and Purhemmat, J. 2012. Increased snow durability in snowy areas the suitable way for discharge regime sustainability of water resources. First International Conference on rainwater catchment systems. Razavi Khorasan.

9. Reisian, R. and Purhemmat, J. 2013. An Investigation on Temporal Variation Of Snow Accumulated Depth and Snow Water Equivalent in Northern Karoon Basin (Case Study: Col Cheri). Journal of Irrigation & Water Engineering. 4(13): 90-101.

10. Nekoonam, Z. and Mazidi, A. 2010. Analysis of snow covers in the basin Fakhrabad of Yazd. Proceedings of the Fourth International Congress of the Islamic Word Geographers (ICIWG 2010). Zahedan. Iran.

متوسط سالانه بارش برف را با دقت بالاتر از ۹۵ درصد برآورد نماید. در جدول ۳ ضرایب تجربی برای ایستگاه‌ها ارائه شده است. لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده برای برخی ایستگاه‌ها رضایت‌بخش نیست که شاید با بالا بردن طول دوره آماری بتوان دقت مدل را برای برآورد ضریب برفی بهبود بخشید. به عنوان نمونه ضریبی که حیدری بنی برای ایستگاه کوهرنگ و برای دوره ۱۰ ساله بدست آورده است (۱/۹۳)، در مقایسه با ضریب بدست آمده در این تحقیق و در دوره ۵ ساله (۱/۸) جواب قابل قبول‌تری ارائه داده است. عالی و همکاران درصد برفگیری در حوزه مربوط به ایستگاه امام‌قیس در دی ماه را ۶۲ درصد برآورد نمودند که در این مطالعه با اختلاف کمی برابر ۶۴ درصد برای ایستگاه فوق بدست آمده است. ارزیابی نتایج حاصل از تحقیقات، ضرایب تجربی و درصد برفگیری تقریباً یکسانی را برای استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد بنابراین می‌شود این‌طور نتیجه گرفت که این ضرایب را می‌توان به عنوان یک کد در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت کرد تا هزینه‌ها و مشکلات ناشی از محاسبه این ضرایب برای سایر کاربردها کاهش یابد.

منابع

1. A'li, A. A'. Soltani, S. Bashari, H and Honarbakhsh, A. 2013. Calculation of snowy coefficients of Dorahan area by Chandra and determine the volume of runoff from snowmelt. Proceedings of the First National Conference on of water use optimization, Gorgan.

2. Beyrudian, n. and Bayegi Mousavi, M. 2003. Snow and avalanche (Management snowy areas), University of Imam Reza.

3. Benny Heidari, M. Shyasy, M. and Mir Abbasi, M. AS. 2010. The accuracy and calibration of Chandra snow coefficient in Koohrang. First National Conference of snow, ice and avalanche, shahrekord.

4. Dozier, j. 1989. Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper,

*Abstract***Evaluation the efficiency of Chandra snow Coefficient in Mountainous Watersheds
(Chaharmahal-Bakhtiari Province)**N. Khalili Samani¹ and A. Fathzadeh²

Received: 2016/03/19 Accepted: 2016/06/14

Snow coefficient is the ratio of annual snowfall to annual precipitation. Usually lack of snow data or impassable stations in mountainous areas, oblige us to use from empirical models. Therefore, evaluation the accuracy and calibration of the models for the region is essential. Chandra's model calculates snow coefficient parameter using temperature data. In this study, snow coefficient to the measured data and Chandra's model in a monthly and annual scale, for 11 synoptic stations in a five-year statistical period of (2007 to 2011) were compared using the mean square error and average accuracy deviation error. The Model was calculated the temperature range for snow from 1.2 to 2.5 at each station and the temperature coefficient for each station was determined by tested models. There is lowest coefficient in Shahrekord, bridge Zaman Khan and Dezzak stations (2.1) and highest in Oregon. The results showed that the model based of regional coefficient could estimate the annual snow coefficient with more accuracy.

Keywords: *Snow coefficient, Chandra's model, Mountainous areas, Snow water equivalent*

1. Graduate M.Sc. Student of Watershed Management, Ardakan University, Yazd. Iran.

1. Assistant Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Ardekan