

برآورد آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E و مدل GLDAS (مطالعه موردی: حوضه‌های شمال غرب ایران)

هادی انصاری¹ - صفر معروفی^{2*}

تاریخ دریافت: 1395/08/11

تاریخ پذیرش: 1396/05/07

چکیده

آب معادل برف اطلاعات مهمی برای مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد و اخیراً مورد توجه بسیاری از محققین سنجش از راه دور قرار گرفته است. اگرچه سعی شده است که با استفاده از مدل‌های بزرگ مقیاس جهانی، آب معادل برف تخمین زده شود، ولی اثرات منطقه‌ای مانند چگالی برف، توپوگرافی و شرایط هواشناختی محلی ممکن است به عدم قطعیت منجر شوند. در این مطالعه از داده‌های روزانه سنجنده AMSR-E ماهواره آکووا و مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) برای تخمین آب معادل برف روزانه در ایستگاه‌های برف‌سنجی حوضه‌های شمال غرب ایران (حوضه دریاچه ارومیه و غرب حوضه آبریز مازندران) در طول سال‌های آبی 85-86 الی 89-90 در تاریخ‌هایی که اندازه‌گیری برف صورت گرفته بود، استفاده گردید. دلیل انتخاب این محدوده، کوهستانی بودن، بارش زیاد برف و تراکم ایستگاه‌های برف‌سنجی نسبت به سایر مناطق کشور بود. با توجه به نتایج به دست آمده، داده‌های محاسباتی آب معادل برف همبستگی معنی‌داری در سطح 1 درصد با داده‌های مشاهداتی داشتند. استفاده از چگالی برف اندازه‌گیری شده در داده‌های AMSR-E، باعث افزایش ضریب همبستگی از میزان 0/27 به 0/55 گردید. نتایج نشان داد که بهترین تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌هایی بوده که در سطوح ارتفاعی 1350 الی 1600 متری قرار داشته‌اند و با افزایش ارتفاع، دقت تخمین به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. با استفاده از نقشه‌های آب معادل برف ماهانه مدل GLDAS، آب معادل برف ماهانه برای دوره 2000 الی 2015 برای منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. در اکثر سال‌ها مورد بررسی، بیشترین میزان آب معادل برف برای ماه‌های ژانویه و فوریه به دست‌آمد و در محدوده زمانی ژوئن تا سپتامبر، منطقه مورد مطالعه فاقد ذخیره برفی بود. با توجه به میانگین آب معادل برف سالانه و نمودارهای میانگین‌های متحرک سه، پنج و هفت ساله، میزان آب معادل برف حوضه‌های شمال غرب ایران در دوره آماری 2001-2015، روند کاهشی داشته است.

واژه‌های کلیدی: توپوگرافی، چگالی برف، ماهواره آکووا، میانگین متحرک

مقدمه

هیدرولوژیکی در طول فصل بارش و ذوب برف ضروری است. ویژگی‌های مکانی - زمانی آب معادل برف می‌تواند به‌طور غیر مستقیم از داده‌های سنجش از دور و یا مدل‌های مختلف برآورد شود. همچنین می‌توان به‌طور مستقیم از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی آب معادل برف را به دست آورد (28).

مدل‌هایی که برای برآورد ویژگی‌های زمانی - مکانی انباشت و فرسایش برف به کار می‌رود، معمولاً بر یک سری معادلات فیزیکی تکیه دارند که موازنه جرم و انرژی را بین برف، خاک و جو محاسبه می‌کند (12). این مدل‌ها نیازمند داده‌های هواشناسی متعدد و داده‌های پارامتری مختلف می‌باشند که بسیاری از آنها به‌طور منظم اندازه‌گیری نمی‌شود و یا به راحتی قابل برآورد نیستند. اندازه‌گیری‌های زمینی آب معادل برف معمولاً در مقایسه با مدل‌های برف و یا تخمین‌های به دست آمده از داده‌های سنجش از راه دور، از

برآورد پوشش برف و آب ذخیره شده در آن، در مطالعات تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب از اهمیت خاصی برخوردار است. بر اساس مطالعات انجام شده، پوشش برف می‌تواند به‌طور مستقیم آب و هوا را تحت تأثیر قرار خود دهد (7). همچنین برآورد پوشش برف فصلی و دائمی و همچنین حجم آب ذخیره‌سازی شده در آن، می‌تواند بر توانایی ما، برای نظارت بر تغییرات آب و هوایی و ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی آب و هوا تأثیرگذار باشد (18). توزیع مکانی و زمانی آب معادل برف برای استفاده در مدل‌های

1 و 2 - دانشجوی دکتری و استاد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*) نویسنده مسئول:

(Email: smarofi@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.58484

فوریه 2011 ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که در سه منطقه تخمین بیش از مقدار واقعی بوده و بر عکس در منطقه چهارم تخمین آب معادل برف با داده‌های AMSR-E کمتر از مقادیر مشاهداتی می‌باشد. مطالعات جیانگ و همکاران (21) در چین نشان داد که تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E در مناطق جنگلی و پوشش گیاهی متراکم دارای خطای بیشتری نسبت به زمین های بایر و بدون پوشش گیاهی است. لیانگ و همکاران (20) در حوضه واقع در شمال غرب چین با استفاده از داده‌های AMSR-E آب معادل برف را برآورد کردند. نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به ترتیب 32/87 میلی‌متر و 0/47 می‌باشد. یانگ و همکاران (43) آب معادل برف را با استفاده از داده‌های مایکروویو غیرفعال سنجنده AMSR-E در چین برآورد کردند و توپوگرافی و پوشش گیاهی را از عوامل موثر در الگوریتم بازیابی آب معادل برف دانستند و نشان دادند که خطای برآورد در مناطق با پوشش گیاهی متراکم بیشتر از مناطق با پوشش گیاهی ضعیف و بدون پوشش است. زیبانشکی و فرانز (14) از داده‌های آب معادل برف AMSR-E در مدل snow17 برای شبیه سازی دبی در شمال آمریکا استفاده کردند. نتایج نشان داد که در حالت کلی استفاده از داده های سنجنده AMSR-E باعث بهبود شبیه سازی توسط مدل snow17 می‌شود. اسانفر و همکاران (33) با تخمین آب معادل برف با استفاده از داده های سنجنش از دور و مدل GLDAS در کانادا نشان دادند که بیشترین خطای برآورد آب معادل برف مربوط به مناطق دارای توپوگرافی پیچیده می‌باشد.

در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه برآورد آب معادل برف به روش سنجنش از دور از داده‌های مایکروویو غیر فعال استفاده شده است و آب معادل برف می‌تواند از دمای درخشندگی اندازه‌گیری شده توسط مایکروویو غیر فعال به دست آید (18). برتری امواج مایکروویو نسبت به تصاویر مرئی استقلال آنها از شرایط آب و هوایی (ابری یا صاف بودن آسمان) و روشنایی هوا می‌باشد. طولانی تر بودن طول موج اشعه مایکروویو باعث نفوذ آن به پوشش ابر، مه، گرد و غبار و سایر پدیده‌های جوی می‌شود و اجازه پراکندگی توسط جو را به امواج نمی‌دهد، مشکلی که برای طول موج‌های نوری کوتاه‌تر رخ می‌دهد و موجب بروز خطا در داده‌های حاصل می‌شود. این ویژگی باعث می‌شود تا تشخیص انرژی مایکروویو تقریباً در تمام شرایط آب و هوایی و زیست محیطی میسر و امکان جمع آوری داده‌ها در هر زمان وجود داشته باشد (37). از سال 2002 دسترسی به داده‌های آب معادل برف در سطح جهانی با استفاده از سنجنده مایکروویو ماهواره آکوا (AMSR-E) امکان پذیر شده‌است. صحت‌سنجی داده‌های آب معادل برف به دست آمده از سنجنده مایکروویو آکوا به منظور پایش و مدیریت منابع آب بسیار ضروری است (39).

دقت بیشتری برخوردار هستند. ولی مشکل اصلی اندازه‌گیری‌های زمینی این است که آنها اطلاعات کافی از توزیع مکانی برف ارائه نمی‌دهند. زیرا سایت‌های اندازه‌گیری برف به ویژه در مناطق کوهستانی که در آن میزان ذخیره برف زیاد می‌باشد، پراکنده هستند. با این وجود، روش‌های درون‌یابی از قبیل الگوهای زمین آماری، با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی برای برآورد توزیع مکانی برف به کار برده شده است. اما اشکال عمده روش‌های درون‌یابی این است که آنها به یک شبکه متراکم از اندازه‌گیری‌ها نیاز دارند و این اندازه‌گیری‌ها به طور معمول تنها از طریق برف‌سنجی‌های فشرده زمینی و معمولاً برای یک زمان و منطقه محدود صورت می‌گیرد. بنابراین استفاده از داده‌های سنجنش از دور در مساحت‌های وسیع و حوضه‌های بزرگ برای تخمین آب معادل برف ضروری می‌باشد (11).

در ایران استفاده از داده‌های سنجنش از راه دور برای تخمین سطح پوشش برف و کاربرد آن در مدل‌های هیدرولوژیکی توسط برخی از پژوهشگران (9، 10، 16 و 27) انجام شده است. ولی در زمینه تخمین آب معادل برف از طریق داده‌های سنجنش از راه دور تقریباً کاری انجام نگرفته است گرچه برخی از محققان (3 و 31) به طور غیر مستقیم با استفاده از داده‌های سنجنش از دور سطح پوشش برف و داده‌های مشاهداتی آب معادل برف ایستگاه‌های برف‌سنجی و با کاربرد روش‌هایی نظیر تیسن، آب معادل را تخمین زده‌اند. با این حال در خارج از کشور مطالعاتی در زمینه محاسبه آب معادل برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای صورت گرفته‌است.

در کسن و همکاران (11) آب معادل برف را با استفاده از تصاویر مایکروویو ویژه تخمین زدند و برای ارزیابی تخمین‌های به دست آمده از داده‌های مشاهداتی زمینی در غرب کانادا استفاده کردند. تکلی (38) با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده¹ AMSR-E، آب معادل برف را در شرق ترکیه محاسبه کردند. برای ارزیابی آب معادل برف، برآوردی از داده‌های اندازه‌گیری زمینی طی سال 2002-2003 استفاده کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که دقت تخمین با توجه به توپوگرافی منطقه و نوع پوشش زمین متفاوت است. تانگ و ویلی کوگنا (39) آب معادل برف را در حوضه‌ای واقع در کانادا با استفاده از داده‌های آب معادل برف سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا² تخمین زدند. نتایج ارزیابی نشان داد که مقدار میانگین خطای مطلق در محدوده 12 میلی‌متر در اوایل فصل زمستان تا 50 میلی‌متر در اواخر فصل زمستان متغیر می‌باشد. بیون و چوی (4) در چهار منطقه واقع در کره جنوبی آب معادل برف را با استفاده از داده‌های آب معادل برف AMSR-E تخمین زدند و با داده‌های زمینی در دوره زمانی دسامبر 2002 تا

1- Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System

2- Aqua

است. در جدول 1 مشخصات ایستگاه‌های برف سنجی حوضه آبریز مهاباد از زیر حوضه‌های حوضه دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی آورده شده است این داده‌ها از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردیده است.

داده‌ها و روش کار

در این مطالعه از داده‌های روزانه سنجنده AMSR-E ماهواره Aqua و داده‌های 3 ساعته و ماهانه مدل سطح زمین GLDAS برای تخمین آب معادل برف استفاده شد. علاوه بر این از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در محدوده مورد مطالعه که زیر نظر وزارت نیرو می‌باشد برای ارزیابی استفاده گردید. این داده‌ها شامل عمق برف، آب معادل برف و چگالی برف می‌باشد که عمدتاً در ماه‌های دی، بهمن و اسفند اندازه‌گیری شده است

الف - استخراج داده‌های روزانه سنجنده AMSR-E

AMSR-E یکی از سنجنده‌های ماهواره آکوا است که پرتوهای مایکروویو غیرفعال را در 6 فرکانس اندازه‌گیری و ثبت می‌کند (26 و 22). این ابزار تشعشع مایکروویو را به صورت پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی (دمای روشنایی) از فرکانس 6/9 گیگاهرتز تا 89 گیگاهرتز و تفکیک‌های مکانی مختلف از 5/4 کیلومتر در 89 گیگاهرتز تا 56 کیلومتر در 6/9 گیگاهرتز اندازه‌گیری می‌کند. این اندازه‌گیری‌ها، تخمین پارامترهای زمینی، اقیانوسی و جوی را برای بررسی‌های جهانی آب و چرخه انرژی نظیر میزان دمای سطح دریا، رطوبت خاک، سرعت باد، بخار آب و آب معادل برف فراهم می‌کند (23). عمق نفوذ مؤثر مایکروویو در پشته برف معمولاً 10 الی 100 برابر طول موج بوده و بستگی به اندازه کریستال‌های برف دارد. هنگامی که طول موج بسیار بزرگتر از اندازه کریستال برف باشد (بیشتر از 5 سانتی‌متر) جذب امواج توسط پشته برف بیشتر از پراکنش امواج می‌شود یعنی جذب اثر غالب است. زمانی که طول موج در مقایسه با اندازه کریستال برف کوچکتر باشد (کوچکتر از 1 سانتی‌متر) پراکنش امواج اثر غالب می‌گردد (5).

برای استخراج آب معادل برف از پرتوهای مایکروویو از الگوریتم چانگ و همکاران استفاده شده است. در این الگوریتم از گرادیان دمای روشنایی 18 و 37 گیگاهرتز برای محاسبه آب معادل برف استفاده گردیده است.

در این رابطه آب معادل برف از طریق رگرسیون گرادیان دمای روشنایی و داده‌های مشاهداتی آب معادل برف استخراج شده است (35). این رابطه به فرم زیر است (6).

هدف این تحقیق تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا و داده‌های آب معادل برف مدل تلفیق داده‌های جهانی زمین (GLDAS) و ارزیابی این داده‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های برف‌سنجی می‌باشد. علت استفاده از این داده‌ها را می‌توان تحت پوشش قراردادن محدوده جغرافیایی ایران توسط این داده‌ها، رایگان و در دسترس بودن آنها از طریق سایت ناسا دانست. استفاده از داده‌های مدل GLDAS نظیر دما، بارش و رطوبت خاک توسط محققان داخلی (3، 17 و 30) در زمینه برآورد بیلان آب و ارزیابی منابع آب‌های زیرزمینی انجام شده است ولی استفاده از داده‌های آب معادل برف مدل GLDAS به خصوص ارزیابی این داده‌ها در محدوده جغرافیایی ایران صورت نگرفته است.

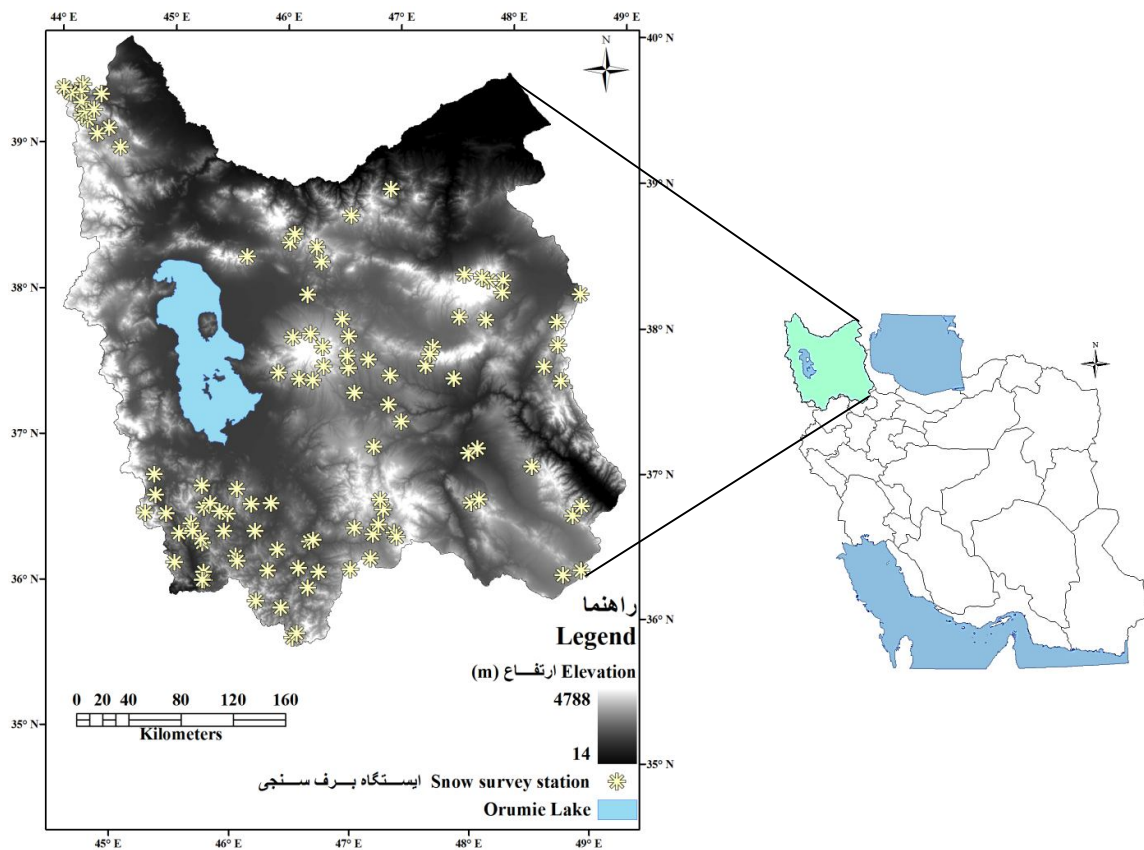
در این مطالعه منظور از عدم قطعیت، تأثیری است که عواملی مانند چگالی برف و توپوگرافی می‌توانند بر دقت تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌ای ذکر شده (داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا و مدل GLDAS داشته باشند. لذا در این تحقیق برای اینکه اثر چگالی در محاسبه آب معادل برف از داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا مشخص شود، از داده‌های چگالی برف مشاهداتی که همزمان با آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید. برای بررسی اثر توپوگرافی بر تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی، ایستگاه‌ها در چهار کلاس ارتفاعی تفکیک شدند و ارزیابی داده‌های مشاهداتی و داده‌های محاسباتی در هر کلاس ارتفاعی انجام شد تا تأثیر عوامل توپوگرافی و چگالی برف بر دقت برآورد آب معادل برف مشخص شود.

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه برای اینکه داده‌های برف‌سنجی کافی جهت ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای در دسترس باشد، سعی گردید که محدوده مورد مطالعه وسیع در نظر گرفته شود، لذا حوضه آبریز دریاچه ارومیه و بخش غربی حوضه دریای مازندران به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شد. این محدوده شامل استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان و قسمت شمالی استان کردستان می‌باشد. دلیل انتخاب این محدوده، کوهستانی بودن و بارش زیاد برف در این منطقه بوده است. همچنین این منطقه نسبت به سایر مناطق کشور، دارای ایستگاه‌های برف‌سنجی متراکم‌تر و به تعداد 110 ایستگاه می‌باشد. این محدوده در مختصات جغرافیایی $38^{\circ}59'43''$ تا $28^{\circ}14'49''$ طول شرقی و $35^{\circ}48'43''$ تا $39^{\circ}44'10''$ عرض شمالی قرار دارد. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقشه رقمی ارتفاعی در شکل 1 نشان داده شده

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های برف سنجی حوزه آبریز مه‌آباد
 Table 1- Snow survey stations Characteristics of Mahabad basin

ایستگاه Station	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (متر) Elevation (m)
Mazrae مزرعه	45° 35'	36° 35'	1500
Afan آفان	45° 38'	36° 05'	1500
Pagardan پاگردان	45° 38'	36° 37'	1600
Gakesh Olia گاکش علیا	45° 29'	36° 28'	1700
Agasoor آقاسور	45° 37'	36° 05'	1720
Kamem کامم	45° 43'	36° 34'	1750
Khatolras خط الراس	45° 05'	36° 31'	1750
khalife خلیفه	45° 33'	36° 44'	1910
Jandaran جانداران	45° 30'	36° 25'	1850



شکل 1- موقعیت محدوده مطالعاتی و ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در آن
 Figure 1- Location of the study area and snow survey stations

$$SWE = 4.8 (T_{18H} - T_{37H}) \quad (3)$$

در این روابط داریم:

$$SD = 1.59 (T_{18H} - T_{37H}) \quad (1)$$

$$SWE = SD \times 10 \text{ Snow Density} \quad (2)$$

NOAA تولید شده و از سال 2000 تا حال حاضر را پوشش می‌دهد. تکنیک زمانی محصولات GLDAS، 3 ساعته است که فرآورده‌های ماهانه نیز از طریق میانگین‌گیری از محصولات 3 ساعته تولید می‌شوند (15).

در این مطالعه داده‌های آب معادل برف 3 ساعته با وضوح 0/25 درجه و فرمت netCDF از سایت Giovanni دانلود شد. این داده‌ها در محیط Arcmap و با میانگین‌گیری به داده‌های روزانه تبدیل شد. از این داده‌های روزانه برای تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی استفاده شد. بعد از ارزیابی داده‌های مدل GLDAS با داده‌های مشاهداتی روزانه، از داده‌های ماهانه مدل برای تخمین حجم آب معادل برف در 16 سال اخیر استفاده گردید.

برای ارزیابی تخمین‌های به دست‌آمده آب معادل برف با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های برف‌سنجی از معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE2) و ضریب همبستگی پیرسون (r) استفاده گردید (24).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [E_i - O_i]^2}{n}} \quad (3)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}} \quad (4)$$

که در این روابط n تعداد داده‌ها، O_i مقدار مشاهده‌ای، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده‌ای، E_i مقدار برآوردی و \bar{E} میانگین مقادیر برآوردی می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از پردازش داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکووا و مدل GLDAS با نرم افزارهای مربوطه، آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی تخمین زده شد و با داده‌های مشاهداتی این ایستگاه‌ها مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در شکل 2 آمده است.

با توجه به شکل 2 و معیارهای ارزیابی محاسبه شده و سطح معنی‌داری (1 درصد) داده‌های مشاهداتی و محاسباتی، تخمین آب معادل برف در محدوده مطالعاتی نسبت به برخی از مطالعات انجام شده (8 و 24) با داده‌های سنجنده AMSR-E، از دقت نسبتاً پایین‌تری برخوردار است.

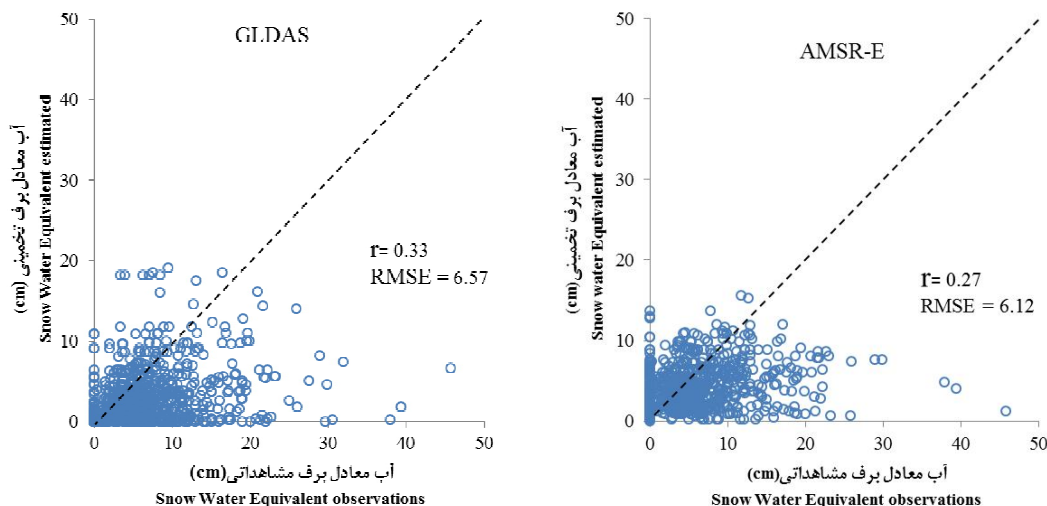
T_{37H} و T_{18H} مقادیر دمای روشنایی (درخشندگی) در فرکانس‌های 18 و 37 گیگاهرتز پلاریزاسیون افقی، SD عمق برف بر حسب سانتی‌متر، Snow Density چگالی برف که معمولاً برابر 0/3 گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد، که از طریق میانگین‌گیری داده‌های اندازه‌گیری شده چگالی برف شمال کانادا و روسیه به دست آمده است و SWE نیز آب معادل برف بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

پس از بازیابی آب معادل برف با استفاده از الگوریتم ذکر شده، داده‌ها به صورت رقومی با اندازه شبکه سلولی 25 کیلومتر و با فرمت HDF-EOS¹ ذخیره شده‌است. مقادیر 0 - 240 ارزش پیکسل برای آب معادل برف بر حسب میلی‌متر می‌باشد. از آنجا که مقادیر واقعی آب معادل برف برای ذخیره‌سازی بر عامل 2 تقسیم شده است، در نتیجه برای استفاده، آنها باید در عدد 2 ضرب شوند (42). برای استفاده از نقشه‌های رقومی شده آب معادل برف، این داده‌ها باید زمین مرجع شوند. بدین منظور از نرم افزار HEGTTool استفاده شد. بعد از زمین مرجع کردن نقشه‌های آب معادل برف، این نقشه‌ها در محیط Arcmap بر روی لایه ایستگاه‌های برف‌سنجی محدوده مورد مطالعه اضافه شد و آب معادل برف برای تمام ایستگاه‌ها در طول سال‌های آبی 85-86 الی 89-90 در تاریخ‌هایی که اندازه‌گیری برف صورت گرفته بود، از نقشه‌های روزانه استخراج گردید.

ب- استخراج داده‌های مدل جهانی سطح زمین (GLDAS)

GLDAS یک مدل همانندسازی داده‌های جهانی است که از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهداتی زمینی، با کاربرد مدل‌سازی پیشرفته سطح زمین و تکنیک همانندسازی داده‌ها، یک سری از داده‌های وضعیت سطح زمین نظیر رطوبت خاک، دمای سطح، آب معادل برف، ذوب برف و تبخیر را ارائه می‌نماید. (32). این مدل، کار مشترک بین سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)، سازمان ملی اقیانوسی و جو (NOAA) و مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیط زیست (NCEP) می‌باشد. داده‌های خروجی GLDAS در قالب چهار مدل سطح زمین (CLM, Mosaic, Noah and VIC) می‌باشد. از ویژگی‌های این مدل تولید مقدار زیادی از داده‌ها با پوشش جهانی، در چند مدل متفاوت در زمان کوتاه است.

این محصولات در مرکز خدمات داده‌ها و اطلاعات هیدرولوژی (HDISC) و مرکز خدمات داده‌ها و اطلاعات علوم زمین گودارد ناسا (GES DISC) در دسترس هستند. تولیدات مدل GLDAS شامل دو مجموعه از داده می‌باشد. سری اول شامل داده‌های با وضوح 1 درجه است که از سال 1979 تا حال حاضر را پوشش می‌دهد. سری دوم مجموعه‌ای از داده‌ها با وضوح 0/25 درجه می‌باشد که از مدل



شکل 2- مقایسه آب معادل برف اندازه‌گیری شده و محاسباتی
Figure 2- Compare snow water equivalent (SWE) measurements and computational

بطور کلی با افزایش عمق و همچنین فرآیند فصلی ذخیره سازی، چگالی برف افزایش (محدوده از 200 تا 400 کیلوگرم بر متر مکعب) می یابد (19)

لذا در این تحقیق برای اینکه اثر چگالی در محاسبه آب معادل برف از داده‌های سنجنده AMSR-E ماهواره آکووا مشخص شود، از داده‌های چگالی برف مشاهداتی که همزمان با آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید. بدین صورت که داده‌های محاسباتی به دست آمده از نقشه‌های آب معادل برف برای ایستگاه‌های برف‌سنجی بر $0/3 \text{ g/cm}^3$ (چگالی برف در الگوریتم محاسبه آب معادل برف) تقسیم و در چگالی برف اندازه‌گیری شده ایستگاه در تاریخ مربوطه ضرب شد. در شکل 3 نمودار و معیار ارزیابی آب معادل برف اندازه‌گیری شده و محاسباتی پس از اعمال چگالی برف مشاهداتی در داده‌های AMSR-E آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه چگالی برف اندازه‌گیری شده محدود مورد مطالعه در تخمین آب معادل برف حاصل از داده‌های AMSR-E دارد. تکلی (31) در شرح ترکیه و بیون و چوی (4) در کره جنوبی نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند و چگالی برف را عامل تأثیرگذاری در الگوریتم ارزیابی آب معادل برف داده‌های AMSR-E دانستند.

ب- اثر توپوگرافی بر دقت تخمین آب معادل برف

عواملی نظیر ناهمواریها، پوشش زمین و تغییرات قابل توجه در خواص برف باعث خطای برآورد آب معادل برف در مناطق کوهستانی

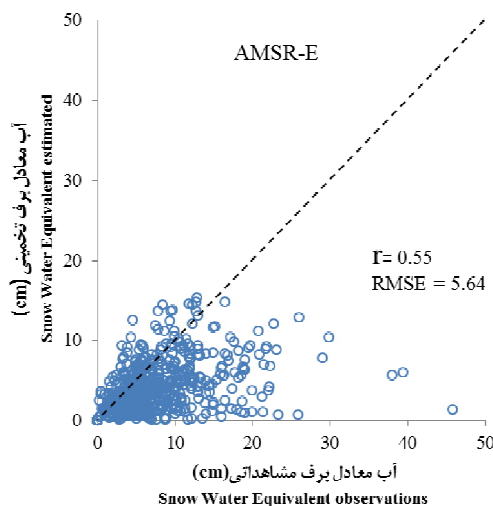
علت این امر می‌تواند ناشی از خطای زمین مرجع کردن نقشه‌های آب معادل برف، خطا در چگالی برف به کار رفته برای محاسبه آب معادل برف، خطا در مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های برف‌سنجی و خطای مربوط به اندازه‌گیری آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی باشد. خطای زمین مرجع به ویژه برای ایستگاه‌هایی که نزدیک مرز پیکسل‌های نقشه‌های آب معادل برف قرار دارند می‌تواند باعث تخمین نادرست آب معادل برف در این نقاط گردد. در مورد خطای اندازه‌گیری، چون به اذعان کارشناسان مطالعات آب‌های سطحی وزارت نیرو در برخی مواقع که برف در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی موجود نبوده و یا قابلیت اندازه‌گیری نداشته، اندازه‌گیری برف در اطراف ایستگاه و با فاصله نامعین از نقطه مربوطه صورت گرفته است و این امر می‌تواند باعث ناهمخوانی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی گردد.

الف- اثر چگالی بر دقت تخمین آب معادل برف

چگالی برف تأثیر زیادی بر ارزیابی آب معادل برف از داده مایکروویو سنجنده AMSR-E دارد (36 و 38). در الگوریتم بکار رفته برای ارزیابی آب معادل برف از داده‌های مایکروویو، از میانگین داده‌های مشاهداتی چگالی برف شمال کانادا و روسیه و مقدار ثابت $0/3$ گرم در سانتی متر مکعب برای محاسبه آب معادل برف استفاده شده است. در صورتی که چگالی برف نسبت به زمان و مکان می‌تواند متغیر باشد. برف تازه اغلب از چگالی کم (حتی کمتر از 100 کیلوگرم بر متر مکعب) برخوردار است با انباشته شدن برف‌ها بر روی یکدیگر و

داده‌های مایکروویو غیرفعال در مناطقی که عمق برف زیاد است، وجود دارد که یک آستانه تقریبی 150 میلی‌متر برای آن گزارش شده و مناطق کوهستانی به طور معمول بیشتر از این مقدار برف دریافت می‌کنند (13).

می‌شود. سیگنال‌های مایکروویو دریافت شده توسط سنسور ماهواره در مناطق مرتفع به علت تغییرات زیاد ارتفاع زمین تحت تأثیر قرار می‌گیرد (29). علاوه بر این، عمق نفوذ امواج مایکروویو محدود است به عبارت دیگر محدودیت‌هایی برای تخمین آب معادل برف از



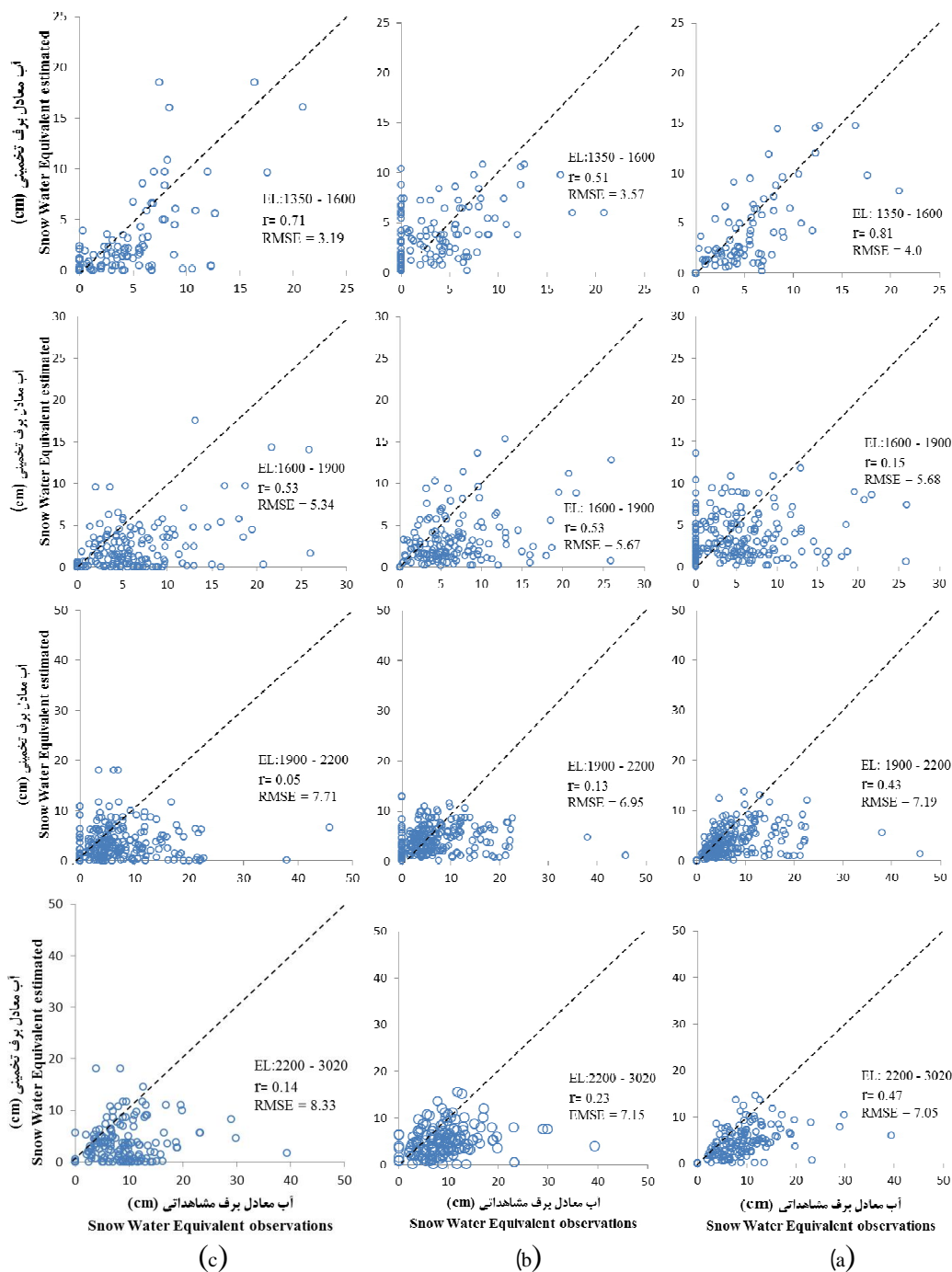
شکل 3- مقایسه آب معادل برف اندازه‌گیری شده و محاسباتی پس از اعمال چگالی برف مشاهداتی در داده‌های AMSR-E
Figure 3- Compare SWE measurements and computational after applied snow density observations in the AMSR-E data

در کلاس ارتفاعی 1600 الی 1900 قرار داشتند نیز دارای نتایج قابل قبولی بوده و تخمین مناسبی از آب معادل برف در این ایستگاه‌ها صورت گرفته است. ولی با زیاد شدن ارتفاع در کلاس‌های ارتفاعی بعدی (2200-1900 و 3020-2200)، تخمین آب معادل برف با توجه به معیارهای ارزیابی برای ایستگاه‌هایی که در این دو کلاس ارتفاعی قرار داشته‌اند از دقت پایینی برخوردار بوده است. نتایج مطالعات آندردیس و لتن‌مایر (2) و لی و همکاران (25) نیز نشان داد که با افزایش ارتفاع دقت تخمین به‌طور قابل توجهی پایین آمده‌است.

ج- تخمین آب معادل برف ماهانه در منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش برای برآورد آب معادل برف به صورت ماهانه در منطقه مورد مطالعه از داده‌های ماهانه آب معادل برف مدل GLDAS استفاده گردید. دلیل انتخاب این داده‌ها دقت نسبتاً بالایی داده‌های روزانه این مدل نسبت به داده‌های سنجنده AMSR-E بود که داده‌های ماهانه هم از میانگین‌گیری داده‌های روزانه بدست آمده است. لذا از داده‌های ماهانه GLDAS برای تخمین آب معادل برف ماهانه محدوده مطالعاتی برای دوره 2000 الی 2015 استفاده شد.

بنابراین دقت نقشه‌های آب معادل برف تابع توپوگرافی و نوع پوشش زمین می‌باشد (12 و 15). با توجه به اینکه تخمین آب معادل برف در مناطق کوهستانی که دارای تغییرات ارتفاع و شیب زیاد می‌باشد از دقت کمی برخوردار است. این امر در تولیدات آب معادل برف اژانس فضایی اروپا (ESA) نیز مشهود است و این تولیدات با وجود تخمین مناسب آب معادل برف در نیمکره شمالی زمین، در مناطق کوهستانی به ویژه مناطق مرتفع فاقد تخمین این پارامتر می‌باشند (7). از این روی، در این مطالعه برای اینکه اثر ارتفاع بر تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی به وسیله نقشه‌های آب معادل برف مشخص شود، ایستگاه‌ها به ترتیب ارتفاع مرتب شده و در چهار کلاس ارتفاعی طوری تفکیک شدند که داده‌های مشاهداتی کافی برای ارزیابی داده‌های محاسباتی در هر کلاس ارتفاعی وجود داشته باشد. در شکل 4 نمودارها و معیارهای ارزیابی تولیدات آب معادل برف مدل GLDAS، سنجنده AMSR-E و AMSR-E با اعمال چگالی برف مشاهداتی، در 4 کلاس ارتفاعی آورده شده‌است. بر اساس این شکل، بهترین تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌هایی بوده که در ارتفاع 1350 الی 1600 متری قرار داشته‌اند. بعد از کلاس ارتفاعی اول (1350-1600)، ایستگاه‌هایی که

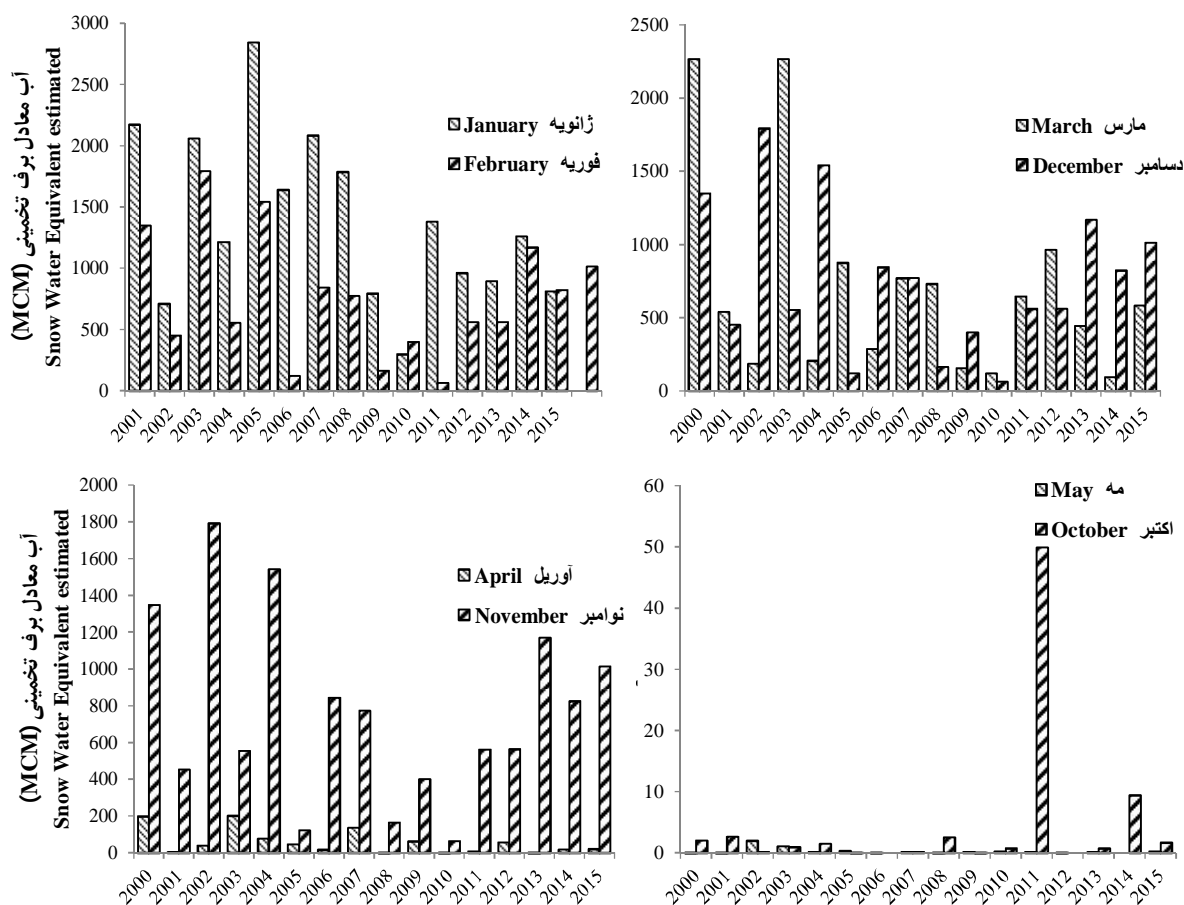


شکل 4- مقایسه آب معادل برف اندازه گیری شده و محاسباتی، (a): داده های AMSR-E پس از اعمال چگالی برف، (b): داده های AMSR-E، (c): داده های GLDAS

Figure 4- Compare SWE measurements and computational, (a): AMSR-E data after the imposition of the observations snow density, (b): AMSR-E data, (c): GLDAS data.

نمودار ستونی حجم آب معادل برف منطقه مطالعاتی از مارس سال 2000 الی دسامبر سال 2015 (در ماه‌های دارای ذخیره برفی) آورده شده است.

با استفاده از نقشه‌های آب معادل برف و نقشه پلی‌گون منطقه (در محیط نرم افزار Arcmap)، میزان آب معادل برف برحسب میلیون متر مکعب برای همه ماه‌های دوره مذکور محاسبه شد. در شکل 5



شکل 5- آب معادل برف ماهانه به دست آمده با استفاده از نقشه‌های آب معادل برف ماهانه مدل GLDAS
Figure 5- SWE Monthly derived using the monthly SWE maps, model GLDAS

منطقه مطالعاتی فاقد ذخیره برفی بوده که با توجه به شرایط هواشناختی محل مورد مطالعه، منطقی به نظر می‌رسد.

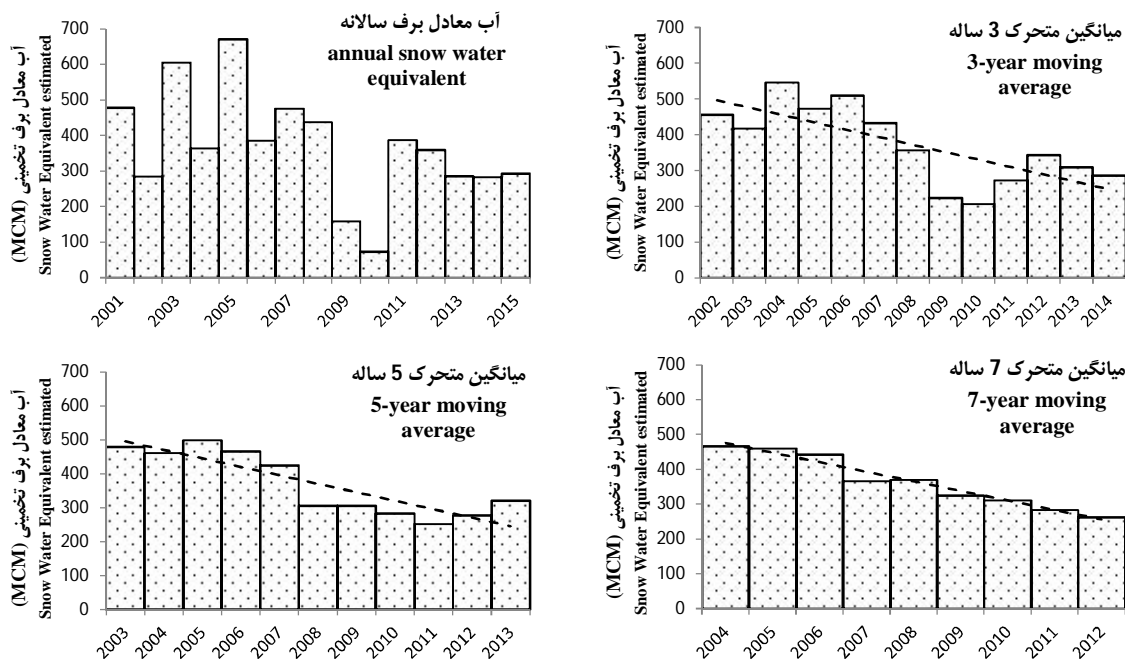
د - روند تغییرات آب معادل برف سالانه

جهت بررسی تغییرات آب معادل برف در دوره زمانی 2001 الی 2015، با میانگین‌گیری از داده‌های ماهانه هر سال، میانگین آب معادل برف سالانه به دست آمد. برای اینکه روند تغییرات آب معادل برف در این دوره زمانی مشهود باشد، از داده‌های سالانه به دست آمده، میانگین‌های متحرک 3، 5 و 7 ساله تهیه گردید. در شکل 6

با توجه به شکل 5 بیشترین میزان آب معادل برف در اکثر سال‌ها متعلق به ماه‌های ژانویه و فوریه می‌باشد و ماه فوریه سال 2005 بیشترین میزان آب معادل برف را در این دوره 16 ساله به میزان 4063 میلیون متر مکعب دارا می‌باشد. با توجه به اینکه ماه‌های ژانویه و فوریه میلادی که تقریباً معادل ماه‌های دی و بهمن سال شمسی می‌باشد و بیشترین بارش برف و ماندگاری آن در این منطقه متعلق به این دو ماه است، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نتایج به دست آمده با شرایط واقعی منطقه هم‌خوانی دارد. ضمناً با توجه به نتایج به دست آمده در اکثر سال‌ها در محدوده زمانی اواخر خرداد تا اوایل مهر ماه

آب معادل برف سالانه مربوط به سال 2005 به میزان 699 میلیون متر مکعب و کمترین به میزان 73 میلیون متر مکعب مربوط به سال 2010 می‌باشد.

نمودار ستونی آب معادل برف سالانه به همراه نمودارهای میانگین‌های متحرک 3، 5 و 7 ساله در بازه زمانی 2001 الی 2015 آورده شده است. با توجه به نمودار آب معادل برف سالانه، بیشترین



شکل 6- نمودار ستونی میانگین آب معادل برف سالانه به همراه نمودارهای میانگین متحرک 3، 5 و 7 ساله

Figure 6- Histogram average annual SWE and moving averages 3, 5 and 7 years old

گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که داده‌های محاسباتی آب معادل برف همبستگی معنی‌داری در سطح 1 درصد با داده‌های مشاهداتی داشته و تخمین آب معادل برف با این داده‌ها قابل اطمینان است. با این حال، عواملی نظیر توپوگرافی و چگالی برف دقت تخمین این داده‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در الگوریتم بازیابی آب معادل برف از داده‌های مایکروویو سنجنده AMSR-E، چگالی برف به عنوان داده فرعی مورد استفاده قرار گرفته است ولی با این وجود، چگالی برف دقت تخمین را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. می‌توان الگوریتم بازیابی این داده‌ها را با استفاده از داده‌های مشاهداتی چگالی برف که در گام‌های زمانی کوتاه مدت (مثلاً روزانه، هفته‌ای یا 10 روزه) در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شده کالیبره کرد و با استفاده از این الگوریتم‌های منطقه‌ای برآوردهای دقیق‌تری از آب معادل برف به دست آورد.

تفکیک ایستگاه‌های برف‌سنجی در 4 کلاس ارتفاعی و ارزیابی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی آب معادل برف نشان داد که ارتفاع عامل تأثیرگذاری بر تخمین آب معادل برف تولیدات سنجنده AMSR-E و مدل GLDAS می‌باشد و با افزایش ارتفاع، دقت

همان‌طور که از نمودارهای میانگین متحرک سالانه به خصوص میانگین متحرک 7 ساله مشهود است، در دوره زمانی مورد بررسی، میزان آب معادل برف در این محدوده مطالعاتی روندی کاهشی داشته است. این امر می‌تواند به دلیل افزایش دما در این دوره زمانی و به طبع آن تأثیر این افزایش دما بر کاهش نزولات جوی به صورت برف و حتی افزایش سرعت ذوب برف در این منطقه باشد.

نتیجه‌گیری کلی

داده‌های مختلف سنجنش از راه دور برف به طور گسترده‌ای در مناطق سردسیر برای تعیین روابط بین توزیع برف، دبی رودخانه، و تغییر اقلیم استفاده شده است. دقت محصولات سنجنش از راه دور برف در تحقیقاتی که از این داده‌ها استفاده می‌شود باید به خوبی شناخته و ثبت شود (40 و 41). در این مطالعه برای اولین بار در کشور داده‌های آب معادل برف سنجنده AMSR-E ماهواره آکوا و داده‌های مدل GLDAS برای تخمین آب معادل برف روزانه در حوضه‌های شمال غرب کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تخمین آب معادل برف روزانه، با داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی مقایسه

با وجود تغییرات زیاد در توزیع زمانی و مکانی برف انباشته، اطلاعات مشاهده‌ای برف اندک و معمولاً به نواحی با ارتفاع کم محدود می‌شود. این موضوع کاربرد سنجش از دور در تأمین بخشی از اطلاعات برف را از دهه‌های پیش اجتناب ناپذیر نموده است. برآورد آب معادل برف با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور به طور مداوم در حال بهبود است و تحقیقات زیادی با هدف بازیابی بهتر آن از میکروویو غیر فعال انجام شده است. با این وجود هنوز هم برخی ابهامات در الگوریتم داده‌های فعلی آب معادل برف سنجنده -AMSR-E وجود دارد. برای غلبه بر این اشکالات، باید مطالعات اعتبارسنجی بیشتری روی این داده‌ها در مناطقی که تاکنون در آن مناطق ارزیابی این داده‌ها انجام نشده صورت گیرد.

تخمین به‌طور قابل توجهی پایین می‌آید. نتایج نشان داد میزان آب معادل برف سالانه در 15 سال اخیر (2001 الی 2015) در منطقه مطالعاتی کاهش یافته است دلیل این امر می‌تواند ناشی از روند گرم شدن کره زمین به عنوان بخشی از تغییر اقلیم، مهم‌ترین مسئله زیست‌محیطی مطرح شده باشد. دما رابطه مستقیم با ذوب برف دارد یعنی هرچه دما بالاتر باشد میزان ذوب برف نیز بیش تر شده و عمق برف انباشته کاهش می‌یابد. از آن جا که عمق برف رابطه مستقیم با آب معادل برف دارد در اثر کاهش عمق برف، آب معادل برف نیز کاهش می‌یابد. ضمناً دما می‌تواند بر نوع نزولات جوی نیز تأثیرگذار باشد بدین ترتیب افزایش دما باعث کاهش نزولات جوی به صورت برف شده و به طبع آن میزان ذخیره آب معادل برف نیز کاهش می‌یابد.

منابع

- 1- Akhavan Karbasi F., Aref M.R., and Sarkargar S.A. 2015. Estimate the volume of snow water equivalent of cover with MODIS data processing and ground data (case study: Yazd Province). P. 1–9. National Conference on Application of spatial analysis advanced models (remote sensing and GIS) in spatial planning, 24–25 February. 2015. Islamic Azad University, Yazd, Iran. (in Persian)
- 2- Andreadis K.M., and Lettenmaier D.P. 2006. Assimilating remotely sensed snow observations into amacroscale hydrology model. *Advances in Water Resources*, 29:872–886.
- 3- Ashrafzadeh Afshar A., Joodaki G R., and Sharifi M A. 2016. Evaluation of Groundwater Resources in Iran Using GRACE Gravity Satellite Data. *Journal of Geomatics Science And Technology*, 5 (4):73–84. (in Persian)
- 4- Byun K., and Choi M. 2014. Uncertainty of snow water equivalent retrieved from AMSR-E brightness temperature in northeast Asia. *Hydrological Processes*, 28:3173–3184.
- 5- Chang A.T.C., Foster J.L., and Hall D.K. 1987. Nimbus-7 Derived Global Snow Cover Parameters. *Annals of Glaciology*, 9:39–44.
- 6- Chang A. T. C., Foster J.L., Hall D.K., Goodison B.E., Walker A.E., and Metcalfe J.R. 1997. Snow Parameters Derived from Microwave Measurements During the BOREAS Winter Field Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 102:29663–29671.
- 7- Cohen J., and Entekhabi D. 1999. Eurasian snow cover variability and Northern Hemisphere climate predictability. *Geophysical Research Letters*, 26:345–348.
- 8- Dai L., Che T., Wang J., and Zhang P. 2012. Snow depth and snow water equivalent estimation from AMSR-E data based on a priori snow characteristics in Xinjiang, China. *Remote Sensing of Environment*, 127:14–29
- 9- Dehghani M., Morid S., and Norouzi A.A. 2010. Runoff Simulation in Snowbound Catchments, Using SRM and ANN Models to Estimate Hydropower Potentials in Data Scarcity Situations. *Iran-Water Resources Research*, 3:12–24. (in Persian)
- 10- Delavar M., Morid S., and Nikbakht N. 2012. Distributed Snowmelt Simulation in Ungauged Mountainous Catchments, Case Study: Imamzadeh Davoud Catchment. *Iran-Water Resources Research*, 4:41–50. (in Persian with English abstract)
- 11- Derksen C., Walker A., and Goodison B. 2005. Evaluation of passive microwave snow water equivalent retrievals across the boreal forest/tundra transition of western Canada. *Remote Sensing of Environment*, 96:315–327.
- 12- Davis R.E., McKenzie J.C., and Jordan R. 2006. Distributed snow process modeling: an image processing approach. *Hydrological Processes*, 9:865–875.
- 13- Dong J., Jeffrey P., and Houser P. 2005. Factor affecting remote sensed snow water equivalent uncertainty. *Remote Sensing of Environment* 97:68–82.
- 14- Dziubanski D.J., and Franz K.J. 2016. Assimilation of AMSR-E snow water equivalent data in a spatially lumped snow model. *Journal of Hydrology*, 540:26–39.
- 15- Fang H., Beaudoin H.K., Rodell M., Teng W.L., and Vollmer B.E. 2009. Global land data assimilation (GLDAS) products, services and application from nasa hydrology data and information services center (HDISC). P. 1–9. ASPRS 2009 Annual Conference. 8–13 March, 2009. Baltimore, Maryland, United States.
- 16- Fathzade A., and Zare Bidaki R. 2012. Estimating the Distribution of Snow Melt Equivalent at the Peak of Snow Accumulation, through Degree – Day Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43:171–177. (In

- Persian)
- 17- Farokhnia A., and Morid S. 2014. Assessment of GRACE and GLDAS Capabilities for Estimation of Water Balance in Large Scale Areas, a Case Study of Urmia Lake Watershed. *Iran-Water Resources Research*, 1:51–62. (in Persian with English abstract)
 - 18- Foster J.L., Hall D.K., Chang A.T.C., and Rango A. 1984. An overview of passive microwave snow research and results. *Reviews of Geophysics & Space Physics*, 22:195–208.
 - 19- Foster J.L., Sun C., Walker J.P., Kelly R., Chang A., Dong J., and Powell H. 2005. Quantifying the uncertainty in passive microwave snow water equivalent observations. *Remote Sensing of Environment*, 94: 187–203.
 - 20- Frei A., and Robinson D.A. 1999. Northern Hemisphere snow extent: Regional variability 1972–1994. *International Journal of Climatology*, 19:1535–1560.
 - 21- Jiang L.M., Wang P., Zhang L.X., Yang H., and Yang J.T. 2014. Improvement of snow depth retrieval for FY3B-MWRI in China. *Science China Earth Sciences*, 57(6):1278–1292.
 - 22- Kawanishi T., Sezai T., Ito Y., Imaoka K., Takeshima T., Ishido Y., Shibata A., Miura M., Inahata H., and Spencer R.W. 2003. The Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41:184–194.
 - 23- Kelly R.E., Chang A.T., Tsang L., and Foster J.L. 2003. A prototype AMSR-E global snow area and snow depth algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41:230–242.
 - 24- Liang J., Liu X., Huang K., Li X., Shi X.b., Chen Y., and Li J. 2015. Improved snow depth retrieval by integrating microwave brightness temperature and visible/infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 156: 500–509
 - 25- Li D., Durand M., and Margulis S.A. 2012. Potential for hydrologic characterization of deep mountain snowpack via passive microwave remote sensing in the Kern River basin, Sierra Nevada, USA. *Remote Sensing of Environment*, 125:34–48.
 - 26- Lobl E., Spencer W.R., Shibata A., Imaoka K., Sasaki M., and Kachi M. 2002. Global climate monitoring with the Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR and AMSR-E). *SPIE 3rd Int'l Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symposium*, 23 October. 2002. Hangzhou, China.
 - 27- Mir Yaghoobzadeh M.H., and Ghanbarpour M.R. 2010. Investigation to MODIS Snow Cover Maps Usage in Snowmelt Runoff Modeling (Case Study: Karaj Dam Basin). *Journal of Geoscience*, 76:141–148. (in Persian)
 - 28- Mizukami N., Perica S., and Hatch D. 2011. Regional approach for mapping climatological snow water equivalent over the mountainous regions of the western United States. *Journal of Hydrology*, 400:72–82.
 - 29- Mizukami N., and Perica S. 2011. Towards improved snow water equivalent retrieval algorithms for satellite passive microwave data over the mountainous basins of western USA. *Hydrological Processes*. 26:1991–2002.
 - 30- Najafi M., Sharifi M.A., and Mokhtari E. 2011. Using GRACE satellite data for estimation of the total water level variation over Iran. *Geospatial Engineering Journal*, 1:1–10. (in Persian with English abstract)
 - 31- Rasouli A.A., and Edhami S. 2008. Calculate the water equivalent of snow cover with image processing MODIS sensor. *Geography and Development Iranian Journal*, 10:23–36. (in Persian)
 - 32- Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., and Toll D. 2004. "The Global Land Data Assimilation System. *American Meteorological Society*, 85(3):381–394.
 - 33- Snauffer A M., Hsieh W W., and Cannon A J. 2016. Comparison of gridded snow water equivalent products with in situ measurements in British Columbia, Canada. *Journal of Hydrology*, 541:714–726.
 - 34- Takala M., Pulliainen J., Metsämäki S., and Koskinen J. 2009. Detection of Snowmelt Using Spaceborne Microwave Radiometer Data in Eurasia from 1979 to 2007. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47:2996–3007.
 - 35- Tedesco M., Kelly R., Foster J.L., and Chang A.T. 2004. AMSR-E/Aqua Daily L3 Global Snow Water Equivalent EASE-Grids. Version 2. [indicate subset used]. Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: 10.5067/AMSR-E/AE_DYSNO.002.
 - 36- Tedesco M., and Narvekar P.S. 2010. Assessment of the NASA AMSR-E SWE product. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3:141–159.
 - 37- Tekeli A.E., Akyurek Z.A., Sormanc A.A., Sensoc A., and Sorman A.U. 2005. Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97:216–230.
 - 38- Tekeli A.E. 2008. Early findings in comparison of AMSR-E/Aqua L3 global snow water equivalent EASE-grids data with in situ observations for Eastern Turkey. *Hydrological Processes*, 22:2737–2747.
 - 39- Tong J., and Velicogna I. 2010. A comparison of AMSR-E/Aqua snow products with in situ observations and MODIS snow cover products in the Mackenzie River Basin, Canada. *Remote Sensing*, 2:2313–2322.
 - 40- Tong J., Déry S.J., Jackson P.L., and Derksen C. 2010. Snow distribution from SSM/I and its relationships to the hydroclimatology of the Mackenzie River Basin, Canada. *Advances in Water Resources*, 33:667–677.

- 41- Yang D., Robinson D., Zhao Y., Estilow T., and Ye B. 2003. Streamflow response to seasonal snow cover extent changes in large Siberian watersheds. *Journal of Geophysical Research*, 108:7-1,7-14.
- 42- Yang G., Hongjie X., Ning L., Tandong Y., and Tiangang L. 2010. Toward advanced daily cloud-free snow cover and snow water equivalent products from Terra-Aqua MODIS and Aqua AMSR-E measurements. *Journal of Hydrology*, 385:23-35.
- 43- Yang J., Jiang L., Ménard C B., Luojus K., Lemmetyinen J., and Pulliainen J. 2015. Evaluation of snow products over the Tibetan Plateau. *Hydrological Processes*, 29(15): 3247-3260.

Snow Water Equivalent Estimation Using AMSR-E and GLDAS Model (Case Study: Basins of Northwestern Iran)

H. Ansari¹ – S. Marofi^{2*}

Received: 01-11-2016

Accepted: 29-07-2017

Introduction: Snow water equivalent (SWE) provides important information for water resources management and recently has attracted the attention of many researchers using remote sensing. Remote sensing presents a possibility for observation of snow characteristics, like water equivalent, over larger areas. Validation of remote sensing data of snow water equivalent (SWE) has always been an important issue for the researchers. Previous studies have assessed the global SWE data. Although it has been tried by using large-scale models of the world to estimate SWE, but regional effects such as snow density, topography and local meteorological conditions may lead to uncertainty.

Materials and Methods: The Northwestern Iran was selected as the study area in this research. Reasons for choosing this area are being mountainous with much snowfall. Also this region compared to the other parts of Iran, has more dense snow survey stations. In this study the AMSR-E sensor data and Global Land Data Assimilation System (GLDAS) was used to estimate SWE in the basins of the northwestern Iran. After processing AMSR-E sensor data and GLDAS model with related software, SWE was estimated in the snow survey stations and evaluated with observed data. To specify the snow density effect on SWE data in AMSR-E sensor from the snow density data, the stations were used. To determine the accuracy of estimation of SWE at different heights, snow survey stations is arranged by considering height and were divided into four height classes that contain enough observational data to evaluate computational data in each height class. To verify SWE obtained estimations in the stations, Root Mean Square Error (RMSE) and Pearson correlation coefficient (r) assessment criteria were used. After evaluating, the SWE data of AMSR-E sensor and GLDAS model for the GLDAS model monthly data to estimate SWE was used for the period 2000 to 2015. With calculating average annual SWE from monthly data, SWE trend changes in mentioned period, the moving averages graphs 3, 5 and 7-year-old was drawn.

Results and Discussion: According to the obtained results, SWE computational data with observational data had significant correlation at the 1% level. Using in situ snow densities, the correlation coefficient between AMSR-E and situ SWE increased from 0.27 to 0.55. The results showed that the best estimation of SWE is in the stations, which have the height of 1,350 to 1600 meters. Also with increasing altitude, the estimation accuracy is significantly reduced. In most years maximum of the SWE was obtained in January and February and in the period of June to September, the area was out of snow storage. According to the average annual SWE and moving averages graphs 3, 5 and 7-years old, the SWE of Northwestern Iran basins in period 2015-2001 has a reducing trend.

Conclusions: In the regions like the Northwestern Iran mountainous where snowfall constitutes a significant fraction of total precipitation, the snowpack delays the resulting runoff into the time of year where water demand is greater. So measurement of snow on the ground has been an important component of hydrologic forecasting for a century. Various remotely sensed snow data have been widely utilized for cold regions to explore the relationships between snow distribution, river discharge, and climate change. The accuracy of remotely sensed snow products should be well understood and incorporated in any investigations using such data. The main objective of the present study was to quantitatively compare the AMSR-E and GLDAS model for an understudied region of the earth. AMSR-E global SWE data and GLDAS data were compared by situ SWE measurements performed in the snow courses. The results showed that the snow density is an effective factor in derived algorithm for the SWE AMSR-E data. Also with increasing height, precision of the estimation significantly decreased. The determination of SWE from satellite imagery in progress updated with new learning. The obtained results from passive microwave in smooth terrain are promising, but involvement of different mechanisms become more complicated as the terrain gets more complex. Nevertheless, it is believed that if the above discussions are taken into account, AMSR-E would provide valuable SWE information even for a mountainous region like Northwestern Iran. It is also hoped that this study would be a starting point in the water scarce, developing Iran to plan and use the limited supply in a suitable manner.

Keywords: Aqua satellite, Moving average, Snow density, Topography

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Water Resource Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(* - Corresponding Author Email: smarofi@yahoo.com)