بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه گنبد کاووس
دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی
گروه منابع‌طبیعی

پایان‌نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد (M.Sc) رشته آبخیزداری

اثر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف (حوزه آبخیز سد کرج)

نگار انصاری

استاد راهنما:

دکتر علی حشمت‌پور

استاد مشاور:

دکتر حامد روحانی **دکتر چوقی بایرام کمکی**

۱۳۹۳

دانشگاه گنبد کاووس
دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی
گروه منابع‌طبیعی

پایان‌نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد (M.Sc) رشته آبخیزداری

اثر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف (حوزه آبخیز سد کرج)

نگار انصاری

استاد راهنما:

دکتر علی حشمت‌پور

استاد مشاور:

دکتر حامد روحانی **دکتر چوقی بایرام کمکی**

۱۳۹۳

دانشگاه گنبد کاووس

تعهد نامه چاپ پایان نامه

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه گنبد کاووس مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات و امکانات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور رعایت حقوق دانشگاه، کلیه دانش آموختگان نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلا بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب مجوز نمایند.
۲) در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقالات مجلات علمی پژوهشی، همایش ها و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه گنبد کاووس، اساتید راهنما و مشاوران الزامی است.
۳) انتشار نتایج پایان نامه به هر شکلی (مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ابداع) باید با کسب اجازه استاد راهنما و صورت گیرد.

اینجانب دانشجوی رشته مقطع دانشگاه گنبد کاووس تعهدات فوق را قبول کرده و ملزم به رعایت کلیه مفاد آن می باشم.

نام و نام خانوادگی دانشجو

چکیده

حوزه آبخیز یک سیستم باز و پیچیده به شمار می‌رود. تحلیل و پیش‌بینی رفتار آتی آن مستلزم مدل‌سازی با روش‌های متفاوت آماری- ریاضی است. محدودیت منابع آب و توزیع نامناسب مکانی آن در مناطق مختلف ایران سبب شده است که در مقایسه با بسیاری از کشورها، نسبت به پدیده تغییر اقلیم آسیب‌پذیرتر باشد. در سال‌های اخیر با تدوین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی با فرضیات مختلف انتشار اجرا شده‌اند تا وضعیت اقلیمی دهه‌های آتی را پیش‌بینی کنند. داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده برای آینده را می‌توان به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی لحاظ کرده و نتایج آن را در برنامه‌های بلند مدت توسعه منابع آب منظور نمود. این تحقیق شامل دو فاز اقلیمی و هیدرولوژیکی است. در فاز اقلیمی داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک سیرا، شهرستانک و نساء در دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۵ با استفاده از مدل آماری LARS-WG شبیه‌سازی شد. پس از اطمینان از کارایی این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مذکور در حوزه آبخیز سد کرج، جهت بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب منطقه مورد مطالعه، داده‌های سه سناریوی A2 (سناریو حداکثر)، A1B (سناریو حد وسط) و B1 (سناریو حداقل) مدل HADCM3 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس گردید. در فاز هیدرولوژیکی، بارش- رواناب ذوب برف با استفاده از مدل SRM شبیه‌سازی و پس از واسنجی و اعتبار سنجی این مدل داده‌های دما و بارش خروجی مدل LARS-WG و سطح پوشش برف آینده به مدل SRM وارد شده و تغییرات رواناب تبعی تغییر اقلیم در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بر اساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی میانگین بارش حوزه آبخیز سد کرج در مقایسه با دوره پایه به میزان ۳۲/۳٤- (A1B) درصد و (A2) ۲۷/۵۲- و(B1) ۲۳/۸۲- درصد کاهش را نشان می‌دهد. و متوسط تغییرات درجه حرارت نیز در سناریوهای A1B: ٦۹/٤٦، A2: ۲٤/۵۱، B1: ٦٤/۹۹ درصد افزایش می‌یابد. همچنین بر اساس برآورد مدل SRM متوسط رواناب سه سناریو در دوره مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه در سناریو A1B: ۲٦/۸۲- درصد، A2: ۷۷/۹۵- درصد، B1: ۸۲/۸۷- درصد کاهش را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رواناب، ریزمقیاس‌نمایی، Hadcm3، LARS-WG، مدل SRM، حوزه آبخیز سد کرج

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- تعاریف و مفاهیم	٦
۱-۲-۱- سنجش از دور	٦
۱-۲-۲- سنجنده MODIS	٦
۱-۲-۳- شاخص NDSI	٦
۱-۲-٤- مدل‌های GCM	۷
۱-۲-٥- HADCM3	۷
۱-۲-٦- سناریوهای انتشار	۷
۱-۲-۷- مدل LARS-WG	۹
۱-۲-۸- مدل SRM	۹
۱-۳- ضرورت و توجیه علمی	۹
۱-٤- سئوالات تحقیق	۱۰
۱-٥- فرضیه‌ها	۱۰
۱-٦- اهداف	۱۰
فصل دوم بررسی منابع	
۲-۱- مرور منابع	۱۲
فصل سوم مواد و روش	
۳-۱- مقدمه	۲۷
۳-۲- انتخاب منطقه مورد مطالعه	۲۸
۳-۳- استخراج و آماده‌سازی داده‌ها	۲۹
۳-۳-۱- انتخاب پایه زمانی مشترک	۳۰
۳-۳-۲- بررسی درستی و همگنی داده‌ها	۳۰
۳-۳-۲-۱- روش آزمون توالی یا دنباله‌ها (Runs test)	۳۱
۳-۳-۳- بازسازی نواقص آماری	۳۲
۳-۳-۳-۱- روش نسبت نرمال (Normal ratio method)	۳۲
۳-٤- مراحل انجام تحقیق	۳۳
۳-٥-توابع کلیدی مدل ریز مقیاس کننده LARS-WG	۳٤
۳-٥-۱- واسنجی و کالیبره کردن مدل	۳٤
۳-٥-۲- ارزیابی مدل	۳٥
۳-٥-۳- تفسیر آماره‌های خروجی	۳٦
۳-٥-٤- ایجاد داده‌های هواشناسی مصنوعی	۳٦

۳-٦- شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM ۳٦
۳-٦-۱- خصوصیات حوزه و ناحیه‌های ارتفاعی ۳۹
۳-٦-۲- متغیرها ۳۹
۳-٦-۲-۱- درجه حرارت ۳۹
۳-٦-۲-۲- بارش ۳۹
۳-٦-۲-۳- سطح پوشش برف ٤۰
۳-٦-۳- پارامترها ٤۲
۳-٦-۳-۱- ضریب رواناب ٤۲
۳-٦-۳-۲- شاخص درجه-روز ٤۳
۳-٦-۳-۳- ضریب فروکش جریان ٤۳
۳-٦-۳-٤- گرادیان دما ٤٤
۳-٦-۳-٥- دمای بحرانی ٤٤
۳-٦-۳-٦- سطح مشارکت کننده در بارش ٤٥
۳-٦-۳-۷- زمان تاخیر ٤٥
۳-٦-٤- اجرا، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل SRM ٤٦
فصل چهارم نتایج و بحث
٤-۱- مقدمه ٤۸
٤-۲- روندیابی تغییرات اقلیمی به روش من- ویتنی ٤۸
٤-۳- واسنجی و کالیبره کردن مدل LARS-WG ٤۹
٤-٤- تولید داده‌های جوی مصنوعی برای دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ ..... ٥۱
٤-٥- تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای جوی ٥۱
٤-٥-۱- بارندگی سناریوهای مختلف در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ ..... ٥۲
٤-٥-۲- دمای حداقل در سناریوهای مختلف در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ ..... ٥٤
٤-٥-۳- دمای حداکثر در سناریوهای مختلف در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ ..... ٥٦
٤-٦- اثر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف ٥۸
٤-۷- آماده‌سازی داده‌ها برای مدل SRM ٥۸
٤-۷-۱- نقشه هیپسومتری منطقه ٥۸
٤-۷-۲- داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی ٦۰
٤-۷-۲-۱- دما ٦۰
٤-۷-۲-۲- بارش ٦۱
٤-۷-۳- داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری ٦۱
٤-۷-٤- داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی ٦۱
٤-۷-٥- داده‌های سنجنده MODIS ٦۲

٤-٧-٥-١- آماده‌سازی تصاویر سنجنده MODIS ٦٢
٤-٧-٥-٢- جداسازی پیکسل‌های برف دار در تصاویر ماهواره‌ای ٦٢
٤-٧-٥-٣- نقشه‌های پوشش برف ٦٣
٤-٧-٦- زمان تأخیر ٧١
٤-٧-٧- ضریب فروکش جریان ٧١
٤-٧-٨- شاخص درجه-روز ٧١
٤-٨- اجرا، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل SRM ٧٢
٤-٩- شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در شرایط تغییر اقلیم ٧٤
٤-١٠- بحث و نتیجه‌گیری ٧٩
٤-١٠-١- بحث ٧٩
٤-١٠-١-١- مدل HadCM3 و روش ریزمقیاس نمایی مورد استفاده ٧٩
٤-١٠-١-٢- کارایی مدل SRM در زیرحوزه آبخیز مورد مطالعه ٨١
٤-١٠-١-٣- تغییرات رواناب ذوب برف ٨٣
٤-١١- نتیجه‌گیری ٨٤
٤-١٢- پیشنهادات ٨٦
منابع ٨٧

فهرست رابطه‌ها

عنوان	صفحه
۳-۱- نسبت نرمال	۳۲
۳-۲- ضریب تبیین	۳۵
۳-۳- ضریب ناش ساتکلیف	۳۵
۳-٤- میانگین خطای مطلق	۳۵
۳-۵- جریان رواناب	۳۸
۳-٦- شاخص NDSI	٤۲
۳-۷- شاخص درجه- روز	٤۳
۳-۸- ضریب فروکش جریان	٤٤
۳-۹- ضریب فروکش جریان	٤٤
۳-۱۰- ضریب فروکش جریان	٤٤
۳-۱۱- زمان تأخیر	٤۵
۳-۱۲- ضریب شیب حوزه	٤٦
۳-۱۳- ضریب تبیین	٤٦
۳-۱٤- تفاضل حجمی	٤٦
٤-۱- رگرسیون	٦۰
٤-۲-رگرسیون	٦۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه	۳۰
جدول ۳-۲- اعداد صحیح کدگذاری شده و معنی آن‌ها در تولیدات سطح پوشش برف	٤۱
جدول ٤-۱- مقادیر آمار من‌ویتنی برای روند تغییرات بارش	٤۸
جدول ٤-۲- مقادیر آمار من‌ویتنی برای روند تغییرات دما	٤۹
جدول ٤-۳- مقادیر p-value حاصل از مقایسه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش در مدل LARS-WG	٤۹
جدول ٤-٤- مقادیر p-value حاصل از مقایسه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداقل در مدل LARS-WG	۵۰
جدول٤-۵- مقادیر p-value حاصل از مقایسه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر در مدل LARS-WG	۵۰
جدول ٤-٦- نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه	۵۰
جدول ٤-۷- تغییر بارندگی ماهانه شهرستانک، سیرا و نساء در سناریوهای A1B، A2 و B1	۵۳
جدول٤-۸- تغییر دمای کمینه ماهانه شهرستانک، سیرا و نساء در سناریوهای A1B، A2 و B1	۵۵
جدول ٤-۹- تغییر دمای بیشینه ماهانه شهرستانک، سیرا و نساء در سناریوهای A1B، A2 و B1	۵۷
جدول ٤-۱۰- مؤلفه‌های مربوط به پستی و بلندی حوزه مورد مطالعه	۵۹
جدول ٤-۱۱- مشخصات ایستگاه‌های برف‌سنجی	٦۲
جدول ٤-۱۲- مساحت پوشش برف استخراج‌شده از تصاویر سنجنده MODIS	٦٦
جدول ٤-۱۳- تعیین ارتفاع سطوح برفدار در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریو A1B	٦٦
جدول ٤-۱٤- تعیین ارتفاع سطوح برفدار در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریو A2	٦۸
جدول ٤-۱۵- تعیین ارتفاع سطوح برفدار در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریو B1	٦۸
جدول٤-۱٦- میانگین سطح پوشش برف دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت سناریوهای تغییر اقلیم و اختلاف آن با دوره پایه در حوزه آبخیز سد کرج	٦۹
جدول ٤-۱۷- ضرایب فروکش جریان به تفکیک سال‌های آبی	۷۱
جدول ٤-۱۸- مقادیر شاخص درجه-روز برای ٤ ماه آبی سال ۲۰۰۷-۲۰۰٦	۷۱
جدول ٤-۱۹- مقادیر شاخص درجه- روز برای ٤ ماه آبی سال ۲۰۰۸-۲۰۰۷	۷۲
جدول٤-۲۰ -مقادیر پارامترهای پذیرفته شده در آزمایش کالیبراسیون مدل SRM	۷۳
جدول ٤-۲۱- ارزیابی مقادیر جریان شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل	۷٤
جدول ٤-۲۲- مقدار دبی مشاهداتی(۲۰۰۸) و محاسباتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و اختلاف آن‌ها تحت سناریو B1	۷٦
جدول ٤-۲۳- مقدار دبی مشاهداتی (۲۰۰۸) و محاسباتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و اختلاف آن‌ها تحت سناریو A2	۷۷
جدول ٤-۲٤- مقدار دبی مشاهداتی (۲۰۰۸) و محاسباتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و اختلاف آن‌ها تحت سناریو A1B	۷۸

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱- مراحل انجام کار	۲۷
شکل ٤-۱- لایه طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز سد کرج	۲۹
شکل٤-۲- منحنی هیپسومتری حوزه مورد مطالعه	۵۹
شکل ٤-۳- نقشه سطح پوشش برف استخراج‌شده از الگوریتم شاخص پوشش برفی	٦٦
شکل٤-٤- نتایج حاصل از اختلاف سطح پوشش برف ماهانه دوره پایه (۲۰۰۸-۲۰۰۲) و دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت سناریو A1B	۷۰
شکل٤-۵- نتایج حاصل از اختلاف سطح پوشش برف ماهانه دوره پایه (۲۰۰۸-۲۰۰۲) و دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت سناریو A2	۷۰
شکل٤-٦- نتایج حاصل از اختلاف سطح پوشش برف ماهانه دوره پایه (۲۰۰۸-۲۰۰۲) و دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت سناریو B1	۷۰
شکل٤-۹- نمودار تغییرات جریان در اثر تغییر اقلیم (سناریو B1) در حوزه آبخیز سد کرج	۸۰
شکل٤-۱۰- نمودار تغییرات جریان در اثر تغییر اقلیم (سناریو A1B) در حوزه آبخیز سد کرج	۸۱
شکل٤-۱۱- نمودار تغییرات جریان در اثر تغییر اقلیم (سناریو A2) در حوزه آبخیز سد کرج	۸۱

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه:

آب بزرگ‌ترین سرمایه طبیعی محسوب می‌شود لذا در حفظ و بهره‌وری بهینه از آن باید نهایت سعی و دقت را نمود. آب نقش مهم و زیربنایی را در پیشرفت و توسعه جوامع به عهده دارد و با وجود فراوانی آب در سیاره زمین، پراکنش زمانی و مکانی آن موزون نیست. به طوری که بسیاری از جوامع به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه خود از مشکل کمبود آب رنج می‌برند (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۹). کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک بیابانی دارای کمبود منابع آب می‌باشد. اگرچه این مشکل از گذشته‌های دور نیز وجود داشته است ولی امروزه با گسترش فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و رشد و توسعه شهرنشینی و افزایش سریع جمعیت و تقاضا برای آب، این کمبود بیش از پیش احساس می‌گردد. این موضوع اهمیت مطالعه منابع آب را مبتنی بر حوزه‌های آبخیز آشکار می‌سازد و در این راستا حوزه آبخیز سد کرج به دلیل برخورداری از موقعیتی ویژه و ممتاز در تأمین حجم قابل‌توجهی از آب مصرفی استان تهران و کشاورزی دشت قزوین از اهمیت مطالعاتی بالایی برخوردار است. بخش وسیعی از مساحت کشور

ایران از کوهستان تشکیل شده است. از آنجایی که در مناطق مرتفع بارش عمدتاً به صورت برف نازل می‌شود لذا در این مناطق، پوشش برف یکی از منابع با ارزش و پراهمیت محسوب می‌شود. توسعه هر کشوری در گرو منابع کافی و سالم بوده که در این میان منابع آب به دلیل اهمیت راهبُردی و اقتصادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. تمرکز دبی حاصل از ذوب برف طی فصل بهار و اوایل تابستان نه تنها باعث ایجاد سیلاب‌ها شده و مناطق وسیعی را زیر سیل می‌برد بلکه باعث هدر رفت آب مورد نیاز برای مقاصد آبیاری، شرب و تولید نیرو خواهد شد (تکلی و همکاران، ۲۰۰۵). از طرفی ذوب برف در تشکیل دبی کل رودخانه مشارکت می‌نماید به همین دلیل برآورد رواناب حاصل از ذوب برف اهمیت زیادی دارد (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۵). برف یکی از منابع بزرگ آب در بیشتر نقاط دنیا می‌باشد و برآورد میزان آب و یا محتوای آبی پوشش برفی و تخمین رواناب ناشی از ذوب برف یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های هیدرولوژیست‌ها به حساب می‌آید. به دلیل اینکه:

بیش از ۱۰ درصد از سطح زمین به صورت دائمی توسط یخچال‌ها و ۳۰ درصد از سطح آن به صورت فصلی توسط برف پوشیده شده است که در فصل زمستان این مقدار به بیش از ٤٠ درصد نیم‌کره شمالی می‌رسد(پرهمت و همکاران، ١٣٨٤).

آلبیدوی زیاد برف به همراه گسترش سطحی زیاد آن، تأثیر زیادی بر بودجه تابشی زمین دارد و از نظر اقلیم‌شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی و اتمسفری را مطالعه می‌کنند در یک دید جهانی، پایش برف یک ضرورت است. چرا که خصوصیات فیزیکی درون برف بر تغییرات روزانه و اقلیمی و حتی تغییرات بلندمدت اقلیمی تأثیر می‌گذارد.

به‌علاوه در اغلب کشورهای نیمکره شمالی، برف منبع اصلی آب برای فعالیت‌های اقتصادی، پوشش اجتماعی و رشد و توسعه آن‌ها می‌باشد.

ذوب برف، رطوبت خاک و ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را تأمین کرده و رواناب حاصل از آن در حوزه‌های کوهستانی و مرتفع عامل مهم و کنترل‌کننده رژیم جریان محسوب می‌شوند. رواناب ناشی از ذوب برف در آبدهی حداکثر لحظه‌ای و آبدهی سالیانه حوزه‌های کوهستانی و برف‌گیر مشارکت داشته و حدود یک سوم آب مورد نیاز بخش کشاورزی را در سرتاسر جهان تأمین می‌کند.

دستیابی به اطلاعات و داده‌های برف‌سنجی مناطق مرتفع از ضرورت و اهمیت بسیار زیادی برخوردار بوده است. برداشت زمینی داده‌های مذکور نیازمند وجود شبکه متراکمی از ایستگاه‌های برف سنجی است که نه تنها از لحاظ اجرایی با مشکلاتی مواجه است، بلکه از لحاظ اقتصادی نیز سرویس‌دهی و نگهداری آن‌ها مقرون به صرفه نمی‌باشد (پرهمت و همکاران، ۱۳۸٤). بنابراین در اکثر حوزه‌های آبریز، آمار و اطلاعات هواشناسی هیدرولوژی مورد نیاز در شبیه‌سازی جریان، همانند آمار و اطلاعات برف سنجی معمولاً در دسترس نیست. بنابراین، شبیه‌سازی و یا پیش‌بینی رواناب و سیلاب حاصل از ذوب برف با مشکلات فراوانی مواجه بوده و به طور معمول با خطای زیادی روبرو می‌شود.

مهم‌ترین خصوصیات یک پوشش برف عبارت‌اند از سطح پوشش برف، عمق و چگالی برف و عمق آب معادل برف. اگر عمق برف و چگالی آن معلوم باشند، عمق آب معادل برف قابل محاسبه است و با دانستن سطح پوشیده شده از برف می‌توان حجم کل رواناب ناشی از ذوب برف را تخمین زد. مطالعات متعددی اهمیت اندازه‌گیری دقیق خصوصیات برف و یخ را به دلیل اینکه با اقلیم زمین و تغییرات اقلیمی مرتبط می‌باشند نشان داده‌اند. امروزه فناوری سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای انقلابی را در عرصه مطالعه سطح پوشش برف به وجود آورده است. بطوریکه اندازه‌گیری‌های سطح گستره برفی در طول زمان به صورت چشمگیری دقیق‌تر شده و هر چه بر طول ثبت داده‌های ماهواره‌ای افزوده می‌گردد، تعیین روندهای

آماری که به لحاظ اقلیمی اهمیت دارند آسان‌تر می‌گردد. همچنین برف یک محیط متخلخل می‌باشد که از به هم پیوستن کریستال‌های یخی تشکیل می‌شود و با آلبیدوی بسیار بالا تفاوت بسیار فاحشی با سایر سطوح طبیعی(بجز ابر) دارد و بنابراین به سادگی قابل‌تشخیص توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای نوری که طیف‌های قابل رویت و مادون‌قرمز را ثبت می‌کند می‌باشد (وارن، ۱۹۸۲). استفاده از تصاویر نوری (داده‌های ماهواره‌ای NOAA) برای پهنه بندی پوشش برف از ۱۹۶۱ در ایالات متحده آغاز شده و تا به امروز که دقت مکانی و زمانی تصاویر ماهواره‌ای با شروع به کار سنجنده MODIS افزایش یافته است (کارول و همکاران، ۲۰۰۱). با توجه به عدم امکان اندازه‌گیری خصوصیات برف در مناطق کوهستانی به دلیل صعب‌العبور بودن، با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و استخراج اطلاعات پوشش برفی در حوزه‌های آبخیز می‌توان با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره رواناب ناشی از ذوب برف را برآورد نمود که در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کاربرد فراوانی دارد (نگلر و همکاران، ۲۰۰۷). انتظار می‌رود که مناطق جغرافیایی که رواناب حاصل از ذوب برف در آن غالب می‌باشد افزایش دما تأثیر زیادی بر سطح پوشش برف و همچنین تغییرات فصلی ذوب برف دارد. از آنجا که ایران در سرزمین خشک و نیمه‌خشک قرارگرفته و ریزش برف یک عامل مهم تأثیرگذار در ذخایر آب به ویژه در فصل گرم سال است، لذا شناخت روند تغییرات اقلیم همگام با تغییرات ریزش و ذوب برف و تغییرات هیدروگراف حاصل از آن ضروری به نظر می‌رسد. خساراتی که ممکن است هنگام سیلاب‌های ناشی از ذوب برف رخ دهد بر میزان اهمیت موضوع تحقیق می‌افزاید (حجام و همکاران، ۱۳۸۲)؛ بنابراین مدل‌سازی ویژگی‌های سطحی بارش برف از دیدگاه میکروکلیمایی و هیدرولوژی نقش بسزایی در زمینه‌های مختلف نظیر مدیریت حوزه‌های آبخیز، کنترل سیلاب، فرسایش خاک، پیش‌بینی خشک‌سالی و تأمین آب مصرفی دارد (نجفی ایگدر و همکاران، ۱۳۸٦). از طرف دیگر ارزیابی آسیب‌پذیری و سازگاری با پدیده تغییراقلیم فقط با توجه به اطلاعات در مورد

تغییرات گذشته امکان ندارد؛ لذا مدل‌های چرخش عمومی جو (GCM)[1] که یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده است، در سال‌های اخیر کاربردهای فراوانی پیدا کرده است. این مدل‌ها شامل تمامی روابط حاکم بر سیستم اقلیم کره زمین بوده که برای حل آن‌ها، کره زمین سلول بندی شده و مقادیر متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های ۱۸۶۰ تا ۲۱۰۰ میلادی در هر سلول مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. باید توجه داشت که معمولاً در مطالعات هیدرولوژی، سلول‌های محاسباتی مدل‌های GCM بزرگ‌تر از وسعت منطقه مطالعاتی است؛ بنابراین در این گونه مطالعات نیاز به کوچک مقیاس نمودن خروجی این مدل‌ها می‌باشد (راکسکو و همکاران، ۱۹۹۱).

تکنیک‌های کوچک مقیاس کردن مختلفی در برگرداندن خروجی‌های بزرگ مقیاس مدل‌های GCM به مقیاس‌های کوچک‌تر توسعه یافته است. یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا LARS-WG است که برای تولید بارش روزانه، تابش، حداکثر و حداقل درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده بکار می‌رود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۶). روش‌های غیرمستقیم متعددی برای شبیه‌سازی سیستم‌های طبیعی، برآورد دقیق‌تر و جامع‌تر و انجام محاسبات پیچیده‌تر با استفاده از کامپیوتر ابداع شده است؛ که یکی از این روش‌ها، مدل‌سازی یا شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است. مدل نماینده ساده‌ای از کل سیستم حوزه و به عبارتی نمایانگر بخشی از واقعیت‌های موجود در یک سیستم است. مدل‌های هیدرولوژیکی ابزاری مهم در مطالعه اقلیم و فرآیندهای هیدرولوژیکی حوزه هستند (لوکاتلی و همکاران، ۲۰۰۸). مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را می‌دهند تا با شبیه‌سازی فرآیند رواناب حاصل از ذوب برف، عکس‌العمل حوزه با حداقل هزینه و زمان ارزیابی شود. چون در حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز جهت بررسی عکس‌العمل حوزه میسر نمی‌باشد، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی در ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی، پیش‌بینی با دقت مورد

[1] -General Circulation Models (GCM).

نظر را ارائه کند، امری ضروری به نظر می‌رسد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۱). مدل SRM [۱]برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی دبی روزانه جریان حوزه‌های بلند و کوهپایه‌ای که برف نقش بسیار مهمی در جریان آب‌های آن منطقه دارد، طراحی شده است. این مدل احتیاج به یک سری اطلاعات ورودی در ارتباط با مشخصات حوزه و سطح پوشش برف در منطقه دارد که با استفاده از داده‌های سنجش از دور و یک سری ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه محاسبه می‌شود (انصاری و همکاران، ۱۳۸۳).

۱-۲- تعاریف و مفاهیم:

۱-۲-۱- سنجش از دور:

سنجش از دور علم و هنر به دست آوردن اطلاعات درباره یک شیء منطقه یا پدیده از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله به وسیله ابزاری است که در اثر تماس فیزیکی با شیء منطقه و یا پدیده تحت بررسی نباشد (بارتون و همکاران، ۲۰۰۱). در تکنیک سنجش از دور اطلاعات قابل بهره‌برداری از طریق اندازه‌گیری و ثبت انعکاس امواج الکترومغناطیسی جو و سطح زمین به وسیله سنجنده‌ای که بر روی ماهواره‌ها تعبیه‌شده دریافت و پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات لازم از آن‌ها استخراج می‌گردد (نجفی دیسفانی، ۱۳۷۷). مزایای مختلف داده‌های سنجش از دور همچون امکان تهیه اطلاعات در مقیاس‌های مختلف جهانی، ملی و ناحیه‌ای پوشش وسیع، مقرون به صرفه بودن تولید اطلاعات چند زمانه و مواردی از این دست کاربردهای گوناگونی را برای داده‌های سنجش از دور امکان‌پذیر ساخته است (وفاخواه و همکاران، ۱۳۸۹). از جمله این کاربردها تهیه نقشه سطح پوشش برف است.

۱-۲-۲- سنجنده MODIS

۱- Snow Runoff Models (SRM).

داده‌های زمینی این سنجنده در ۳٦ باند طیفی و در محدوده طول موج ۰/٤ میکرومتر تا ۱٤/٤ میکرومتر با تفکیک مکانی مختلف (دو باند با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، ۵ باند با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و ۲۹ باند با تفکیک مکانی یک کیلومتر) دریافت می‌شود.

۱-۲-۳- شاخص NDSI:

الگوریتم برف سنجی (پهنه بندی برف) از مجموعه‌ای از شاخص‌ها از قبیل شاخص نرمال شده برف (NDSI)[1] و قرار دادن حد آستانه در باندهای مختلف برای شناسایی و طبقه‌بندی در حد پیکسل استفاده می‌کنند. کاربرد شاخص NDSI در مورد تشخیص ابر از برف بر اساس این حقیقت است که برف به شدت تابش‌های طیف مرئی الکترومغناطیسی را بازمی‌تاباند و به نسبت این بازتاب در طول موج مادون‌قرمز میانی کمتر می‌باشد. درحالی‌که ابر در محدوده مرئی و مادون‌قرمز میانی بازتاب بیشتری از خود نشان می‌دهد. بنابراین ارزش کم این شاخص نشانگر وجود ابر و به نسبت مقادیر زیاد NDSI نشانگر وجود برف می‌باشد.

۱-۲-۴- مدل‌های GCM:

هدف مدل‌های گردش عمومی جو پیش‌بینی تحول زمانی جو می‌باشد. هر مدل گردش عمومی برای اجرا به داده‌های شرایط اولیه نیاز دارد. شرایط اولیه در واقع همان میدان‌های اولیه فراسنج (متغیرهای) هواشناسی در لحظه اجرای مدل هستند. در واقع آغازگری (Initialization) مدل با میدان‌های اولیه واقعی وضع هوا شروع می‌شود.

۱-۲-۵- HADCM3

HADCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM)[2] است و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. HadCM3 از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به

[1]- Normalized Difference Snow Index
[2]- Atmospheric-Ocean General Circulation Model

نام‌های HadAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ–دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است.

۱-۲-٦- سناریوهای انتشار:

از آنجا که تغییرات اقلیمی آینده به شدت به فعالیت‌های بشری در سال‌های آینده بستگی دارد، لذا مدل‌های اقلیمی با استفاده از داده‌های سناریوهای انتشار اجرا می‌شوند. به طور کلی ٤٠ سناریوی مختلف وجود دارند که هر کدام فرضیات متفاوتی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، پوشش سطح زمین و دیگر واداشت‌های اقلیم در آینده را مد نظر قرار داده‌اند. علاوه بر آن فرضیاتی برای نحوه توسعه فنی و رشد اقتصادی آینده کشورها را در نظر گرفته‌اند. این سناریوها بیشتر افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی را در نظر می‌گیرند. برای اغلب مدل‌های GCM پیش‌بینی‌های اقلیمی برای سناریوهای انتشار مختلف SRES شامل B1، A1B و A2 موجود می‌باشد.

در سناریو B1 فرض بر وجود یک دنیای قابل تحمل، تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی، توسعه تساوی حقوق انسان‌ها و توجه به محافظت از محیط‌زیست می‌باشد. با وجود توجه جهانی به محیط‌زیست، تلاش بیشتر برای معرفی فن‌آوری‌های پاک و جمعیت جهان در سال ۲۱۰۰ به ۷ میلیارد نفر می‌رسد. تاکید بر مسائل زیست‌محیطی و در واقع فرض بر کنترل منطقی آلاینده‌ها می‌باشد. با فرض این سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای کنترل خواهد شد و برنامه کنترل‌کننده آلاینده‌ها برای صنایع و کارخانه‌ها اجرا خواهد شد.

در سناریو انتشار A1B فرض بر یک دنیای ثروتمند با رشد اقتصادی سریع (۳ درصد در سال)، کاهش رشد جمعیت (۰/۲۷ درصد در سال)، ایجاد سریع فن‌آوری کارآمد و جدید، وجود همگرایی اقتصادی و فرهنگی و کاهش اساسی اختلافات منطقه‌ای می‌باشد.