



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه به عنوان تحقق بخشی از شرایط دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب

عنوان

استفاده از رطوبت خاک به عنوان یک باران سنج طبیعی جهت تخمین میزان بارندگی با استفاده از الگوریتم SM2RAIN : مطالعه موردی حوضه دریاچه ارومیه

نگارش

مهدی فریدونی

استاد راهنما

دکتر مسعود تجریشی

شهریور ۱۳۹۵

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است.

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

به آرام‌بخش زندگیم، قلب مهربان همسرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بگو شتم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را پاس توانم بگویم.

“امروز، هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشت‌م رضای شما”

دست‌ورودی کران‌سنگ ترا این ارزان‌داشت‌م تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم کوزه غبار محسنتان را

بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

تقدیر و تشکر

اکنون که به لطف و یاری خداوند توانسته‌ام پایان‌نامه خود را به اتمام برسانم وظیفه خویش می‌دانم که از تمامی کسانی که در این راه با راهنمایی‌های ارزنده خویش مرا راهنمایی نمودند تشکر و قدردانی نمایم. از استاد گرانقدر و فرزانه دکتر مسعود تجریشی که با راهنمایی‌های ارز شمندشان بر پی‌شرفت کار تاثیرگذار بودند صمیمانه سپاسگزارم. از دوست عزیز احسان جلیلوند که در تمامی مراحل این پروژه اینجانب را یاری نمودند کمال تشکر را دارم. از سرکار خانم دکتر حمزه‌پور که در اجرای مراحل نمونه‌برداری میدانی با اینجانب همکاری نمودند سپاسگزارم. از هم‌سر عزیزم که در تمامی مراحل اجرای پژوهش مرا یاری نمودند تشکر می‌کنم. از خداوند متعال برای تک‌تک این عزیزان سعادت و کامیابی را در تمامی مراحل زندگی خواستارم.

چکیده

تأثیر مستقیم بارش در آب‌شناسی و نقش اساسی آن در مدیریت منابع آب سبب توسعه روش‌ها و الگوریتم‌های برآورد بارش در میان محققین گردیده است. در دهه‌های گذشته از روش‌های سنتی برای اندازه‌گیری مقدار بارش استفاده می‌شد، تا اینکه پیدایش ماهواره‌های هواشناسی باعث تحولی در این زمینه گردید. تغییرات زیاد بارندگی در زمان و مکان و تعداد کم ایستگاه‌های باران‌سنجی باعث تأثیر منفی در توزیع واقعی مقدار بارندگی در یک پهنه وسیع شده است. داده‌های ماهواره‌ای با ارائه نقشه توزیع بهتری از بارش تا حدودی خطای موجود در روش‌های باران‌سنجی را مرتفع کرده‌اند. تمامی رویکردهای فوق و اکثر مدل‌ها و نرم‌افزارهای تخمین بارش باران به صورت رویکرد "بالا به پایین" می‌باشد. در این تحقیق با رویکرد نوین "پایین به بالا" با بررسی تغییرات رخ داده در رطوبت خاک، مقدار بارش باران در منطقه مورد نظر شبیه‌سازی می‌گردد.

از الگوریتم SM2RAIN با چنین رویکردی و بر اساس بازنویسی معادله بیلان آب در سطح خاک به جز ترم بارش بر حسب تغییرات رطوبت خاک نوشته شده و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک مقدار بارش شبیه‌سازی شده است. تاکنون از این الگوریتم برای شبیه‌سازی بارش در مقیاس جهانی و برای مناطق وسیع استفاده شده است. در این تحقیق از این الگوریتم در مقیاس کوچک (زیر حوضه) جهت شبیه‌سازی بارش استفاده شده که باعث توجه بیشتر به عواملی مانند پوشش گیاهی منطقه، پوشش برف و مقدار یخبندان حاکم بر منطقه می‌گردد.

در این تحقیق از ماهواره‌های AMSR2 و ASCAT با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ و ۲۵ کیلومتر استفاده شده و بارش باران برای مناطق مختلف حوضه ارومیه از قبیل: شبستر، سهند، خوی، میاندوآب، مراغه، ارومیه و بوکان شبیه‌سازی شده است. با بررسی عوامل مختلف ایجاد کننده خطا در الگوریتم مشخص شد که عواملی مانند پوشش گیاهی، یخبندان و پوشش برف می‌توانند به میزان قابل توجهی بر عملکرد مدل تأثیرگذار باشند. با بررسی این عوامل در مناطق مختلف و ایجاد شرایط مناسب جهت بهبود عملکرد الگوریتم، مقدار بارش در بازه ۲۰۱۳-۲۰۰۷ با ضریب همبستگی ۰/۸ و ۰/۹ در قسمت کالیبراسیون و در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۵ با ضریب همبستگی ۰/۷۵ در هنگام صحت‌سنجی شبیه‌سازی شده است.

تولید و اصلاح داده‌های بارش برای مناطقی که داده‌های بارش در آن‌ها جمع‌آوری نشده و یا تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی آن‌ها کم است، تکمیل خلاءهای آماری در داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، تولید محصولات بارش با دقت و قدرت تفکیک بالاتر با توجه به پیشرفت تکنولوژی در سنجنده‌های رطوبت خاک و بهبود پیوسته قدرت تفکیک مکانی-زمانی آن‌ها، تحلیل مکانی بارش در زیرحوضه‌های مختلف و بررسی میزان رواناب یک حوضه و غیره از جمله کاربردهایی هستند که از ماحصل این تحقیق می‌تواند ایجاد شود.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی بارش، ایستگاه باران‌سنجی، داده‌های ماهواره‌ای، رطوبت خاک، الگوریتم

SM2RAIN، بیلان آب در خاک، AMSR2، ASCAT، حوضه ارومیه

فہرست مطالب

چکیده..... ۱

فهرست شکل ها..... ۲

فهرست جداول..... ۳

فهرست علائم و اختصارات..... ۴

فصل ۱ مقدمه و کلیات..... ۵

۱-۱- پیشگفتار..... ۶

۲-۱- ضرورت و هدف مطالعه..... ۷

۳-۱- اهداف تحقیق..... ۸

۴-۱- سوالات تحقیقاتی..... ۹

۵-۱- طرح مسئله..... ۱۰

۶-۱- چارچوب و رویکرد حل مسئله..... ۱۱

۷-۱- مفروضات الگوریتم SM2RAIN..... ۱۲

۸-۱- فرضیات تحقیق..... ۱۳

فصل ۲ مبانی، مفاهیم و مروری بر مطالعات پیشین..... ۱۴

۱-۲- مبانی و مفاهیم..... ۱۵

۲-۱-۱-۲- بیان آب..... ۱۶

۲-۱-۲- رطوبت خاک..... ۱۷

- ۹.....۱-۲-۱-۲- جبهه رطوبت در عمق خاک
- ۱۰.....۲-۲-۱-۲- اهمیت و ضرورت اندازه‌گیری رطوبت خاک
- ۱۰.....۳-۲-۱-۲- مواردی از کاربرد داده‌های رطوبت خاک
- ۱۰.....۱-۳-۲-۱-۲- افزایش راندمان آبیاری
- ۱۱.....۲-۳-۲-۱-۲- پایش خشکسالی
- ۱۱.....۳-۳-۲-۱-۲- به کارگیری اطلاعات سنجش از دور
- ۱۱.....۴-۳-۲-۱-۲- تعیین بیلان آب
- ۱۱.....۵-۳-۲-۱-۲- اندازه‌گیری ضریب نفوذ خاک
- ۱۲.....۶-۳-۲-۱-۲- محاسبه سیل
- ۱۲.....۷-۳-۲-۱-۲- محاسبه نیاز آبی
- ۱۲.....۴-۲-۱-۲- روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک
- ۱۲.....۱-۴-۲-۱-۲- روش‌های میدانی
- ۱۳.....۲-۴-۲-۱-۲- روش‌های محاسباتی
- ۱۳.....۳-۴-۲-۱-۲- روش‌های سنجش از دور
- ۱۴.....۳-۱-۲- تبخیر و تعرق
- ۱۵.....۴-۱-۲- رواناب
- ۱۶.....۵-۱-۲- نفوذ
- ۱۸.....۱-۵-۱-۲- مکانیزم‌های نفوذ آب در خاک

- ۲-۱-۵-۲- عوامل موثر در مقدار نفوذ ۱۹
- ۲-۱-۵-۱-۲- تاثیر کیفیت سطح در مقدار نفوذ ۱۹
- ۲-۱-۵-۲-۲- تاثیر فرونشست در مقدار نفوذ ۲۰
- ۲-۱-۵-۳-۲- تاثیر خصوصیات آب در مقدار نفوذ ۲۰
- ۲-۱-۶-۶- مکانیزم تعیین رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور ۲۱
- ۲-۱-۶-۱-۲- سنجش از دور نوری ۲۲
- ۲-۱-۶-۲-۲- سنجش از دور حرارتی ۲۳
- ۲-۱-۶-۳-۲- سنجش از دور ماکروویو ۲۳
- ۲-۱-۷-۱-۲- ارتباط بین بافت خاک و رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور ۲۴
- ۲-۱-۸-۱-۲- معرفی سنجنده‌های رطوبت خاک ۲۶
- ۲-۱-۸-۱-۲-۱-۲- سنجنده SMAP ۲۶
- ۲-۱-۸-۲-۲-۱-۲- سنجنده‌های AMSR ۲۸
- ۲-۱-۸-۳-۲-۱-۲- سنجنده SMOS ۲۹
- ۲-۱-۸-۴-۲-۱-۲- سنجنده ASCAT ۳۰
- ۲-۱-۹-۱-۲-۱-۲- مقدمه‌ای از الگوریتم SM2RAIN ۳۱
- ۲-۱-۱۰-۱-۲- شاخص‌های استفاده شده جهت سنجش عملکرد مدل ۳۲
- ۲-۲-۲-۲-۱-۲-۲- مروری بر مطالعات پیشین ۳۲
- ۲-۲-۲-۲-۱-۲-۲-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه اصلاح بارش ۳۳

۳۴..... ۲-۲-۲-مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تخمین بارش

۳۷..... ۳-۲-۲-جمع‌بندی مطالعات گذشته

فصل ۳ معرفی منطقه مطالعاتی و منابع داده‌ها..... ۴۰

۴۰..... ۱-۳- منطقه مورد مطالعه

۴۱..... ۲-۳- اقلیم منطقه

۴۱..... ۳-۳- توپوگرافی منطقه

۴۱..... ۴-۳- میزان بارندگی منطقه

۴۲..... ۵-۳- پوشش برف منطقه

۴۶..... ۶-۳- معرفی زیر حوضه‌های مورد نظر

۴۷..... ۱-۶-۳- سهند

۴۹..... ۲-۶-۳- شبستر

۵۲..... ۳-۶-۳- خوی

۵۴..... ۴-۶-۳- ارومیه-کهریز

۵۷..... ۵-۶-۳- مراغه

۵۹..... ۶-۶-۳- بوکان

۶۲..... ۷-۶-۳- میاندوآب

۶۵..... ۷-۳- داده‌ها

۶۵..... ۱-۷-۳- داده‌های رطوبت خاک ماهواره‌ای

۶۵.....۳-۷-۲-داده‌های مقدار بارندگی منطقه.....

۶۶.....۳-۷-۳-داده‌های برف حوضه.....

۶۷.....۳-۷-۴-داده‌های دمای هوا و سطح خاک.....

۶۷.....۳-۷-۵-داده‌های میدانی رطوبت خاک و تعیین نوع پوشش گیاهی منطقه.....

فصل ۴ معرفی مدل و روش انجام تحقیق.....۶۹

۶۹.....۴-۱- معرفی مدل SM2RAIN.....

۶۹.....۴-۱-۱-چگونگی تخمین بارش توسط الگوریتم SM2RAIN.....

۷۱.....۴-۱-۲-شبیه‌سازی تجمعی.....

۷۲.....۴-۲- روش انجام تحقیق.....

۷۲.....۴-۲-۱-مطالعات میدانی.....

۷۳.....۴-۲-۲-تدوین آیین نامه مطالعه میدانی.....

۷۳.....۴-۲-۲-۱-انتخاب روش مناسب جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک.....

۷۳.....۴-۲-۲-۲-مشخص کردن محدوده مورد مطالعه.....

۷۴.....۴-۲-۲-۳-تعیین نقاط مناسب جهت نمونه‌برداری.....

۷۴.....۴-۲-۲-۴-اندازه‌گیری میدانی در فواصل زمانی معین.....

۷۵.....۴-۲-۲-۵-پارامترهای اندازه‌گیری شده.....

۷۵.....۴-۲-۳-صحت‌سنجی داده‌های رطوبت خاک ماهواره‌ای و انتخاب سنجنده مناسب.....

۷۹.....۴-۲-۴-بررسی عوامل تاثیرگذار در تغییرات رطوبت خاک.....

۷۹.....انتخاب زیرحوضه‌های مناسب جهت تخمین مقدار بارندگی ۴-۲-۵

۸۰.....نحوه بررسی پوشش برف منطقه ۴-۲-۶

فصل ۵ نتایج و تحلیل ۸۲

۸۲..... ۵-۱- سناریوهای مختلف شبیه‌سازی بارش

۸۳..... ۵-۲- نتایج اولیه حاصل از داده‌های دو سنجنده ASCAT و AMSR2

۸۷..... ۵-۳- کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل SM2RAIN

۸۷..... ۵-۳-۱- اجرای مدل برای منطقه کوهستانی

۸۹..... ۵-۳-۲- اجرای مدل برای منطقه دارای پوشش گیاهی زیاد

۹۱..... ۵-۳-۳- اجرای مدل برای منطقه دارای دوره سرما و یخبندان طولانی

۹۳..... ۵-۳-۴- اجرای مدل برای منطقه دارای شوره‌زار

۹۵..... ۵-۴- دلایل احتمال خطا در مدل

۹۵..... ۵-۵- بررسی پوشش برف

۹۸..... ۵-۶- کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل با حذف داده‌های روزهای برفی و یخبندان

۱۰۱..... ۵-۷- کاربرد نتایج

۱۰۱..... ۵-۷-۱- محاسبه ضریب رواناب با استفاده از بارش شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم

فصل ۶ جمع‌بندی نتایج، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات ۱۰۷

۱۰۸..... ۶-۱- مقدمه

۱۰۸..... ۶-۲- جمع‌بندی نتایج

۱۱۰..... ۳-۶- نتیجه گیری

۱۱۲..... ۴-۶- ارائه پیشنهادات

۱۱۵..... منابع و مأخذ

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ اختلاف زمان میان اتمام بارش و حداکثر رطوبت خاک ناشی از بارندگی..... ۹
- شکل ۲-۲ جبهه رطوبت در عمق خاک و مناطق رطوبتی ایجاد شده ناشی از نفوذ آب در خاک..... ۱۰
- شکل ۳-۲ تفاوت سرعت نفوذ در خاک‌هایی با بافت‌های مختلف..... ۱۷
- شکل ۴-۲ تفاوت سرعت نفوذ در خاک‌های خشک و مرطوب با گذر زمان..... ۱۹
- شکل ۵-۲ سنجنده SMAP (Soil Moisture Active Passive)..... ۲۸
- شکل ۶-۲ سنجنده AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)..... ۲۹
- شکل ۷-۲ سنجنده AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer E)..... ۲۹
- شکل ۸-۲ سنجنده SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity)..... ۳۰
- شکل ۹-۲ سنجنده ASCAT..... ۳۰
- شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی حوضه دریاچه ارومیه در کشور ایران..... ۴۰
- شکل ۲-۳ میزان پوشش برف در ماه نخست سال ۲۰۱۴ میلادی در حوضه ارومیه..... ۴۳
- شکل ۳-۳ میزان پوشش برف در ماه دوم سال ۲۰۱۴ میلادی در حوضه ارومیه..... ۴۴
- شکل ۴-۳ میزان پوشش برف در ماه سوم سال ۲۰۱۴ میلادی در حوضه ارومیه..... ۴۴
- شکل ۵-۳ میزان پوشش برف در ماه چهارم سال ۲۰۱۴ میلادی در حوضه ارومیه..... ۴۵
- شکل ۶-۳ میزان پوشش برف در ماه پایانی سال ۲۰۱۴ میلادی در حوضه ارومیه..... ۴۵
- شکل ۷-۳ حوضه ارومیه و مناطق انتخابی جهت اجرای الگوریتم SM2RAIN..... ۴۶
- شکل ۸-۳ سلول سهند و بررسی پوشش غالب منطقه..... ۴۷
- شکل ۹-۳ سلول شبستر و بررسی پوشش غالب منطقه..... ۵۰
- شکل ۱۰-۳ سلول خوی و بررسی پوشش غالب منطقه..... ۵۲

شکل ۳-۱۱	سلول ارومیه و بررسی پوشش غالب منطقه	۵۵
شکل ۳-۱۲	سلول مراغه و بررسی پوشش غالب منطقه	۵۷
شکل ۳-۱۳	سلول بوکان و بررسی پوشش غالب منطقه	۶۰
شکل ۳-۱۴	سلول میاندوآب و بررسی پوشش غالب منطقه	۶۳
شکل ۳-۱۵	موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی سینوپتیک و وزارت نیرو اطراف دریاچه ارومیه	۶۶
شکل ۴-۱	نمودار کاربرد الگوریتم SM2RAIN برای شبیه‌سازی بارش از تصاویر ماهواره‌ای رطوبت خاک	۷۱
شکل ۴-۲	منطقه انتخابی جهت انجام فعالیت میدانی و چهار کلاس مختلف طبقه‌بندی شده	۷۴
شکل ۴-۳	نتیجه صحت‌سنجی داده‌های رطوبت خاک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده AMSR2 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر	۷۸
شکل ۴-۴	نتیجه صحت‌سنجی داده‌های رطوبت خاک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده AMSR2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر	۷۸
شکل ۵-۱	کالیبراسیون مدل SM2RAIN در سال ۲۰۱۳ برای سلول میاندوآب با داده‌های سنجنده AMSR2	۸۴
شکل ۵-۲	کالیبراسیون مدل SM2RAIN در سال ۲۰۱۳ برای سلول میاندوآب با داده‌های سنجنده ASCAT	۸۴
شکل ۵-۳	صحت‌سنجی مدل SM2RAIN در سال ۲۰۱۴ برای سلول میاندوآب با داده‌های سنجنده AMSR2	۸۵
شکل ۵-۴	صحت‌سنجی مدل SM2RAIN در سال ۲۰۱۴ برای سلول میاندوآب با داده‌های سنجنده ASCAT	۸۵
شکل ۵-۵	کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ برای سلول بوکان	۸۸

شکل ۵-۶	صحت‌سنجی مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵ برای	سلول بوکان	۸۸
شکل ۵-۷	کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ برای سلول	مراغه	۸۹
شکل ۵-۸	کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی ماهانه در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ برای سلول	مراغه	۹۰
شکل ۵-۹	صحت‌سنجی مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵ برای	سلول مراغه	۹۰
شکل ۵-۱۰	صحت‌سنجی مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی ماهانه در سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵ برای	سلول مراغه	۹۱
شکل ۵-۱۱	کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ برای	سلول ارومیه	۹۲
شکل ۵-۱۲	کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی ماهانه در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ برای	سلول ارومیه	۹۲
شکل ۵-۱۳	صحت‌سنجی مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵ برای	سلول ارومیه	۹۳
شکل ۵-۱۴	کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ برای	سلول شبستر	۹۴
شکل ۵-۱۵	صحت‌سنجی مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵ برای	سلول شبستر	۹۴

- شکل ۵-۱۶ نمودار درصد پوشش برف سطح میاندوآب - بوکان نسبت به کل ناحیه در سال ۲۰۱۴-۲۰۱۳ ۹۶
- شکل ۵-۱۷ نمودار میانگین درصد پوشش برف سطح میاندوآب - بوکان نسبت به کل ناحیه در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۷ ۹۸
- شکل ۵-۱۸ کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سلول میاندوآب در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ بدون درنظر گرفتن روزهای برفی و یخبندان ۹۹
- شکل ۵-۱۹ کالیبراسیون مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی ماهانه در سلول میاندوآب در سال ۲۰۱۳-۲۰۰۷ بدون درنظر گرفتن روزهای برفی و یخبندان ۹۹
- شکل ۵-۲۰ صحت‌سنجی مدل SM2RAIN به صورت بارش تجمعی هفتگی در سلول میاندوآب در سال ۲۰۱۵-۲۰۱۴ بدون درنظر گرفتن روزهای برفی و یخبندان ۱۰۰
- شکل ۵-۲۱ موقعیت جغرافیایی حوضه میاندوآب ۱۰۰

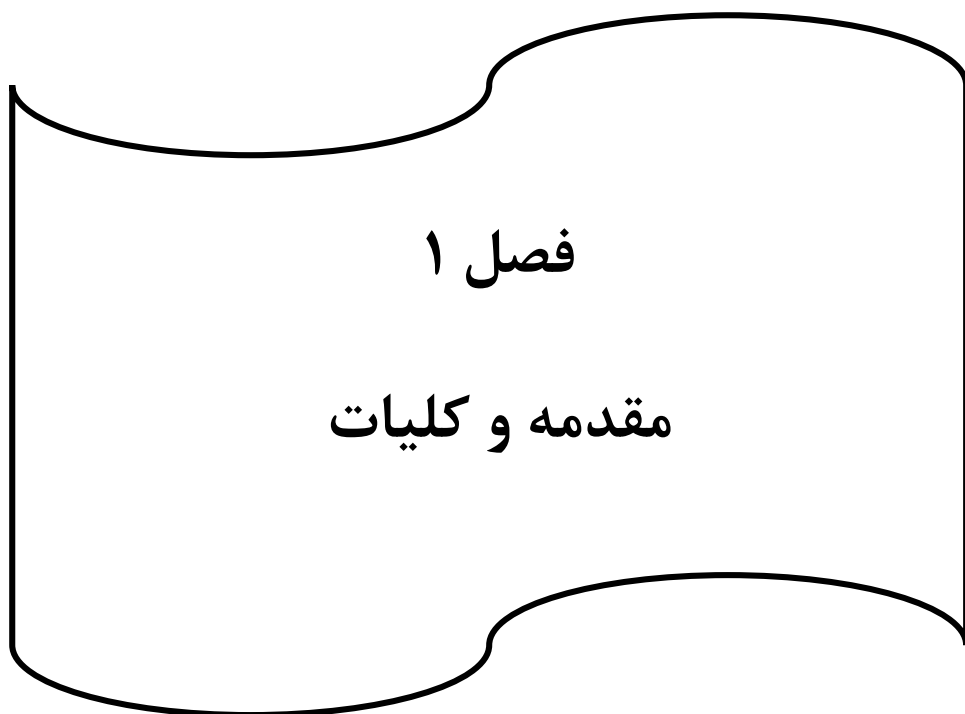
فهرست جداول

جدول ۱-۲ محصولات ماهواره SMAP مربوط به رطوبت خاک.....	۲۷
جدول ۱-۳ میانگین درصد بارش باران در ماه‌های مختلف سال در حوضه ارومیه.....	۴۲
جدول ۲-۳ تعداد روزهای دارای دمای زیر صفر درجه و کمترین دمای ثبت شده در هر ماه در منطقه	
سهند(۸۸-۹۴).....	۴۸
جدول ۳-۳ مقدار بارش ماهانه در منطقه سهند از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵.....	۴۹
جدول ۴-۳ تعداد روزهای دارای دمای زیر صفر درجه و کمترین دمای ثبت شده در هر ماه در منطقه	
شبستر(۹۰-۹۳).....	۵۱
جدول ۵-۳ مقدار بارش ماهانه در منطقه شبستر از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵.....	۵۱
جدول ۶-۳ تعداد روزهای دارای دمای زیر صفر درجه و کمترین دمای ثبت شده در هر ماه در منطقه	
خوی(۸۸-۹۴).....	۵۳
جدول ۷-۳ مقدار بارش ماهانه در منطقه خوی از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵.....	۵۴
جدول ۸-۳ تعداد روزهای دارای دمای زیر صفر درجه و کمترین دمای ثبت شده در هر ماه در منطقه	
ارومیه(۸۸-۹۴).....	۵۶
جدول ۹-۳ مقدار بارش ماهانه در منطقه ارومیه-کهریز از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵.....	۵۶
جدول ۱۰-۳ تعداد روزهای دارای دمای زیر صفر درجه و کمترین دمای ثبت شده در هر ماه در منطقه	
مراغه(۸۸-۹۴).....	۵۸
جدول ۱۱-۳ مقدار بارش ماهانه در منطقه مراغه از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵.....	۵۹
جدول ۱۲-۳ تعداد روزهای دارای دمای زیر صفر درجه و کمترین دمای ثبت شده در هر ماه در منطقه	
بوکان(۸۸-۹۴).....	۶۱

جدول ۳-۱۳ مقدار بارش ماهانه در منطقه بوکان از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵	۶۲
جدول ۳-۱۴ مقدار بارش ماهانه در منطقه میاندوآب از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵	۶۳
جدول ۳-۱۵ تعداد روزهای دارای دما زیر صفر درجه و کمترین دما ثبت شده در هر ماه در منطقه میاندوآب (۹۴-۸۸)	۶۴
جدول ۴-۱ مقادیر پارامترهای SM2RAIN در دوازده کلاس بارش [۶]	۷۰
جدول ۴-۲ زمانهای گذر ماهواره‌ها از مناطق مورد مطالعه	۷۵
جدول ۴-۳ نتایج میدانی و ماهواره‌ای رطوبت خاک - سنجنده AMSR2 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر	۷۶
جدول ۴-۴ نتایج میدانی و ماهواره‌ای رطوبت خاک - سنجنده AMSR2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر	۷۷
جدول ۵-۱ سناریوهای اجرا شده در حوضه دریاچه ارومیه جهت شبیه‌سازی مقدار بارش توسط الگوریتم SM2RAIN	۸۳
جدول ۵-۲ جدول درصد پوشش برف در ناحیه بوکان - میاندوآب نسبت به کل ناحیه در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۲	۹۷
جدول ۵-۳ سنجش عملکرد الگوریتم در حالت‌های کالیبراسیون (ca) و صحت‌سنجی (va) تحت سناریوهای اعمالی	۱۰۱
جدول ۵-۴ مشخصات زیرحوضه مورد مطالعه	۱۰۲
جدول ۵-۵ مقدار بارندگی تولید شده و رواناب ثبت شده در زیر حوضه مورد نظر	۱۰۳
جدول ۵-۶ ضریب رواناب تولید شده با کمک داده‌های بارش شبیه‌سازی شده	۱۰۴

فهرست علائم و اختصارات

متغیر	واحد	تعاریف
$S(t)$	[-]	تغییرات رطوبت خاک
a	[L/T]	سرعت نفوذ
b	[-]	ضریب اشباع خاک
$g(t)$	[L/T]	نفوذ
Z	[L]	عمق خاک
$p(t)$	[L]	بارندگی
$r(t)$	[L]	رواناب
$e(t)$	[L]	تبخیر و تعرق
t	[T]	زمان
R	[-]	ضریب همبستگی
NS	[-]	شاخص خطا Nash-Sutcliffe
fRMSE	[-]	شاخص خطا



فصل ۱ مقدمه و کلیات

۱-۱- پیشگفتار

بارش مهم‌ترین عاملی است که بطور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. بارش در سطح کره زمین دارای تغییرات مکانی و زمانی است، به همین دلیل هیچ‌گاه نمی‌توان ادعا کرد که اندازه‌گیری بارش در یک نقطه خاص از یک منطقه و سیع می‌تواند نماینده خوبی از آن منطقه باشد [۱]. جهت برآورد نقشه بارش بر اساس داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی باید مقادیر ثبت شده در این ایستگاه‌ها به کل ناحیه تعمیم داده شود، لذا باید در انتخاب محل، تعداد ایستگاه‌ها، نحوه اندازه‌گیری، ثبت و تحلیل داده‌ها دقت کافی به عمل آید [۲]. به عبارتی دیگر به دلیل پراکندگی زمانی و مکانی بارش در سطح زمین نمی‌توان به داده‌ی یک ایستگاه باران‌سنجی به عنوان عددی که بیانگر بارش کل منطقه باشد اکتفا کرد. همین موضوع محققان را برآن داشت که همواره به دنبال روش‌هایی باشند که بتوان مقدار بارش یک منطقه که پارامتر اصلی بیلان آب می‌باشد را با دقت مناسبی بدست آورد [۳]. به دلایل مختلفی مانند خصوصیات توپوگرافیک منطقه از قبیل کوهستانی بودن یا باتلاقی بودن و عدم وجود ساکنین در منطقه امکان نصب ایستگاه‌های باران‌سنجی در هر نقطه دلخواه وجود ندارد و این امر سبب شده تا روش‌های ماهواره‌ای جایگزین مناسبی جهت تخمین مقدار بارندگی منطقه باشد [۴].

روش‌های رادار زمینی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از جمله روش‌هایی هستند که به عنوان جایگزین ایستگاه‌های باران‌سنجی جهت رفع نواقص موجود در روش‌های گذشته قابل استفاده می‌باشند. روش‌های ماهواره‌ای که بر مبنای خصوصیات فیزیکی مانند سطح و پروفیل ابر می‌توانند زمان و مقدار بارش را با هم‌پوشانی مکانی مناسب مشخص کنند مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند [۵]. البته این نکته قابل تأمل است که روش‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای هرچند دارای پوشش مکانی مناسب می‌باشند، ولی در مقایسه با داده‌های ایستگاهی دقت مناسبی ندارند و یکی از اصلی‌ترین دلایل خطای موجود قدرت تفکیک مکانی پایین آن‌ها است [۶]. برای مقابله با این مشکل نیاز به داده‌های کمکی می‌باشد که داده‌های اندازه‌گیری زمینی می‌توانند در

بالا بردن کیفیت داده‌های ماهواره‌ای تاثیرگذار باشند.

یکی از پارامترهایی که تاثیرپذیری بالایی در هنگام بارندگی دارد، تغییرات رطوبت خاک است که در زمان بارندگی به شدت افزایش یافته و پس از بارش به تدریج خاک رطوبت خود را از دست می‌دهد [۷]. تغییرات و نوسانات رخ داده در رطوبت خاک می‌تواند به عنوان ابزاری جهت تخمین مقدار بارش یک منطقه مورد استفاده قرار گیرد. اخیراً طی مطالعات صورت گرفته از داده‌های رطوبت خاک جهت اصلاح و برآورد مقدار بارش استفاده شده که اساس اصلاح و برآورد مقدار بارش مبتنی بر معادله بیلان آب در سطح خاک است [۸، ۹].

۱-۲- ضرورت و هدف مطالعه

برآورد مقدار بارش برای پیش‌گیری از بروز مخاطرات طبیعی از قبیل سیل و رانش زمین از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین جهت بررسی منابع آبی یک منطقه و بدست آوردن پارامترهای بیلان آب یک حوضه، محاسبه میزان دقیق بارش حائز اهمیت می‌باشد. امروزه نتایج و تحقیقات ماهواره‌ای بارش در نواحی با ایستگاه‌های کم و یا فاقد ایستگاه در سرتاسر جهان بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. در این میان رطوبت خاک با بارش ارتباط آشکار و نزدیک فیزیکی دارد و در واقع بارش باران هدایت کننده اصلی تغییرات رطوبت خاک (SM^۱) در هر ناحیه ای می‌باشد [۱۱]. پس از وقوع بارش، رطوبت خاک به سرعت افزایش یافته و پس از اتمام آن مقدار رطوبت خاک به تدریج کاهش می‌یابد. جهت تخمین مقدار بارش یک منطقه می‌توان از تغییرات رطوبت خاک استفاده نمود. همان‌گونه که ذکر شد، اندازه‌گیری مقدار بارش در یک وسعت حوضه‌ای کار آسانی نیست، چراکه در بسیاری از مواقع مشاهدات میدانی کامل نبوده و تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند شرایط فیزیکی منطقه (صعب‌العبور بودن برخی محدوده‌های منطقه مورد بررسی)، دارای خلاءهای داده‌ای متعددی است [۱۲]. لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند بدون حضور در محل در بدست آمدن داده‌های منطقه به محققان کمک نماید و همچنین از دقت بالایی نیز برخوردار باشد مورد توجه است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند

^۱ Soil moisture

با جبران این نقص، ابزار قدرتمندی را در اختیار محققین قرار دهد. هدف اصلی در این مطالعه بررسی و ارائه روشی جهت تخمین مقدار بارش با دقت قابل قبول، بر اساس داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک و بدون نیاز به حضور در ناحیه مورد نظر است.

۱-۳- اهداف تحقیق

اهداف تعیین شده در این تحقیق را می‌توان اینگونه برشمرد:

۱. برآورد مقدار بارش از روی تغییرات رطوبت خاک با استفاده از رابطه بیلان آب در سطح خاک.
۲. استفاده از رطوبت خاک ماهواره‌ای با سنجنده‌های مختلف جهت انتخاب سنجنده‌ای که بهترین عملکرد را در کشور دارد.
۳. تخمین مقدار بارش با استفاده از الگوریتمی نوین در مقیاس زیرحوضه‌ای
۴. تخمین مقدار بارش در زیرحوضه‌هایی با کاربری‌های اراضی مختلف (پوشش گیاهی، کوهستانی، پوشیده از برف، دوره یخبندان طولانی)
۵. دستیابی به روشی که بدون نیاز به ایستگاه‌های باران سنجی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای رطوبت خاک، مقدار بارش یک منطقه را شبیه‌سازی کند.

۱-۴- سوالات تحقیقاتی

از جمله سوالاتی که در این تحقیق سعی می‌شود به آن‌ها پاسخ داده شود عبارتند از :

۱. چگونگی برآورد مقدار بارندگی در نواحی خاص که امکان اندازه‌گیری مستقیم در آن‌ها نیست.
۲. آیا الگوریتم مورد نظر در مقیاس زیرحوضه‌ای نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد؟
۳. آیا این روش و الگوریتم، روش مناسبی برای تخمین بارش در مناطق نیمه خشک می‌باشد و نتایج آن قابل قبول است؟
۴. آیا ماهواره‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک در ایران دقت مناسبی دارند و قدرت تفکیک مکانی آن‌ها قابل

قبول است ؟

۵. چه کارهایی می توان جهت ارتقاء روش و الگوریتم بیان شده انجام داد تا دقت روش افزایش یابد؟

۱-۵- طرح مسئله

با توجه به تاثیر مستقیم مقدار بارش یک منطقه بر میزان تغییرات رطوبت خاک، می توان فرآیند عکس این موضوع را تحلیل و با استفاده از تغییرات رطوبت خاک مقدار بارندگی یک منطقه را پیش بینی نمود. جامعه مهندسی آب به علت عدم وجود شرایط مناسب جهت نصب ایستگاه های باران سنجی در نواحی مورد نظر و توزیع ناهمگن این ایستگاه ها در سطح حوضه های آبریز با فقدان آمار دقیق مقادیر بارندگی در این نواحی مواجه هستند. جهت دستیابی به اطلاعات بارش در اینگونه مناطق می توان با بدست آوردن تغییرات روزانه رطوبت خاک با استفاده از تصاویر ماهواره ای و براساس معادلات بیلان آب در سطح خاک مقدار بارندگی منطقه را تخمین زد. جهت پاسخ گویی به این سوال که "مقدار بارش تخمین زده تا چه اندازه به واقعیت نزدیک است؟" می توان ابتدا این روش را برای مناطقی که دارای داده های زمینی مناسبی هستند اجرا، صحت سنجی و پس از اطمینان از کارایی این روش مقدار بارش را در مناطق مورد نظر شبیه سازی نمود.

۱-۶- چارچوب و رویکرد حل مسئله

اکثر روش های اندازه گیری بارش و نرم افزارهای موجود مقدار این پارامتر را بر اساس شرایط جوی، آب و هوای منطقه، مقدار و شکل و نوع ابرها، جبهه های باد و غیره برآورد می کنند که به این نوع رویکردها، رویکرد "از بالا به پایین" می گویند [۱۱]. در این تحقیق رویکرد بدیع و نوین "از پایین به بالا" مورد استفاده قرار می گیرد. در واقع با اجرای یک هیدرولوژی وارونه از تغییرات رطوبت خاک که از تصاویر ماهواره ای بدست می آید، با استفاده از یک الگوریتم مناسب جهت یافتن مقدار بارش منطقه ای استفاده می گردد. در واقع از خاک به عنوان یک باران سنج طبیعی استفاده می شود. در این پژوهش بر اساس داده های ماهواره ای رطوبت خاک که از سنجنده های مناسب از قبیل ASCAT و AMSR2 تهیه می گردد، مقدار رطوبت خاک مشخص شده و با بستن بیلان آبی

مناسب در سطح خاک مقدار بارندگی منطقه مورد مطالعه تخمین زده می شود.

۷-۱- مفروضات الگوریتم SM2RAIN

در این الگوریتم فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

۱. از مقادیر تبخیر در زمان وقوع بارش صرف نظر شده است.
۲. در نظر نگرفتن مقدار رواناب در حین بارندگی.
۳. استفاده از رابطه نمایی $(g(t) = as(t)^b)$ برای ترم نفوذ در معادله بیلان. در این رابطه $s(t)$ مقدار تغییرات رطوبت خاک و ضرائب a و b پارامترهای الگوریتم SM2RAIN هستند که در زمان کالیبراسیون مدل با توجه به الگوی بارش منطقه بدست می آیند.

۸-۱- فرضیات تحقیق

۱. مدل SM2RAIN با وارد کردن داده های ماهواره ایی رطوبت خاک در سطح حوزه های آبریز کشور قابل استفاده می باشد.
 ۲. تغییر ناگهانی در رطوبت خاک نشان دهنده وقوع بارش می باشد.
 ۳. مدل قادر به شبیه سازی بارش در صورت وجود پوشش برف بر سطح زمین نمی باشد.
- در فصل دوم این تحقیق ابتدا مبانی و مفاهیم مورد نیاز شرح داده شده و سپس با بیان مقدمه ای از الگوریتم مورد نظر به مروری بر مطالعات پیشین صورت گرفته در این زمینه پرداخته می شود. در فصل سوم منطقه مورد مطالعه و داده های مورد نیاز با ذکر منابع معرفی می گردند. در فصل چهارم به معرفی الگوریتم مورد استفاده و چگونگی عملکرد آن پرداخته و روش انجام تحقیق شرح داده می شود. در فصل پنجم به بیان سناریوهای انجام شده در تحقیق پرداخته و نتایج حاصل شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در فصل ششم پس از جمع بندی نتایج به ارائه پیشنهادهایی جهت ادامه کار پرداخته شده است.