

صلى الله عليه وسلم



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب

برآورد آب قابل بارش با کمک تصاویر سنجش از دور

(مطالعه موردی ایستگاه شاهرود، دامغان و سمنان)

نگارنده : محمد خدمتکار بلند اختر

استاد راهنما

جناب آقای دکتر سعید گلیان

دی ماه ۱۳۹۶

تقدیم اثر

منت خدای را، عز و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.

خدا را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آن ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم. به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خود گذشتگی، به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در اسن سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است، به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

این پایان نامه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. بی شک جایگاه و منزلت معلم والاتر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات او با زبان قاصر و دست ناتوان متنی بنگارم. لیکن از آنجا که تجلیل از مقام معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر خود لازم می دانم سپاسگذار زحمات عزیزانم باشم: پدر و مادر عزیزم نخستین آموزگاران زندگی ام، که همواره بر درستی و کوتاهی من قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشتند و در تمامی عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت من بوده اند. آنان که دعای خیرشان بدرقه راه پر فراز و نشیب تحصیل بوده و هست. بسی شایسته است تا سپاس گویم خدمت استاد خود جناب آقای دکتر سعید گلپایان. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه محقر وجودم فروزان ساخته است. استادی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و صبوری، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند. همچنین از اساتید دیگر جناب آقای دکتر عجمی، جناب آقای دکتر واقعی و جناب آقای دکتر گلی که زحمت داوری پایان نامه بنده را بر عهده گرفتند نیز تشکر ویژه ای دارم. در خاتمه وظیفه خود می دانم از جناب آقای مهندس امیر حسین احراری کمال تشکر و قدردانی را به جا آورم.

تعهد نامه

اینجانب محمد خدمتکار بلندآختر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران – مدیریت منابع آب دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بر آورد بارش با استفاده از تصاویر سنجش از دور تحت راهنمایی جناب آقای دکتر سعید گلیان متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .
- تاریخ ۱۳۹۶/۱۰/۱۴

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

اندازه گیری دقیق بارش برای مدل سازی جریان های سطحی، مکان یابی مناسب سدها، پیش بینی سیل و خشکسالی و مدیریت منابع آب و طرح های کشاورزی حائز اهمیت است. از چند دهه گذشته، با هدف افزایش دقت ثبت مقادیر بارش در سطح جهانی و فائق آمدن بر مشکلات ناشی از روش های سنتی اندازه گیری بارش، از علم سنجش از دور و فناوری های ماهواره ای جهت برآورد مقادیر بارش بهره گرفته شده است. در این پژوهش، از داده های استخراج شده از تحلیل و پردازش تصاویر سنجنده مودیس و داده های بارش مشاهداتی ۶ ساعته برای دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۵ در ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی شاهرود، دامغان و سمنان استفاده شد. به منظور شبیه سازی مقادیر بارش، از روش داده محور شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای مدلسازی بهره برده شد. در این تحقیق، داده های حاصل از پردازش تصاویر سنجنده مودیس شامل مقادیر بازتاب (Reflectance) باندهای مرئی ۱، ۳، ۴، بازتاب باندهای مادون قرمز ۲، ۵، ۱۸، ۱۹ و ۲۶، گسیلمندی (Emissivity) باند های ۱، ۳، ۴ و ۵، بازتاب باندهای مادون قرمز ۲، ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی (BT) باندهای مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) بصورت جداگانه و ترکیبی با یکدیگر به عنوان داده های ورودی و داده های بارش مشاهداتی به عنوان داده های خروجی به مدل خورنده شد. سپس داده های شبیه سازی شده با مقادیر بارش های مشاهداتی مقایسه شد. جهت مقایسه داده های شبیه سازی شده و مشاهداتی از سه معیار ضریب همبستگی (R)، نش ساتکلیف (NS) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که بارش های شبیه سازی شده از طریق ترکیب داده های بازتابی مرئی باند ۳ و داده های بازتابی مادون قرمز باندهای ۵، ۱۸ و ۱۹ سنجنده مودیس شباهت بیشتری با بارش های مشاهداتی دارند، به گونه ای که برای داده های آموزش مقدار R برابر با ۰/۹۷، مقدار NS برابر با ۰/۹۴ و مقدار RMSE برابر با ۱/۰۳ و برای

داده های تست، مقدار R برابر با $0/93$ ، مقدار NS برابر $0/81$ و مقدار $RMSE$ برابر با $1/49$ به ثبت رسیده اند و مدل دارای عملکرد قابل قبولی می باشد.

کلمات کلیدی: پیش بینی بارش، سنجش از دور، سنجنده مودیس، داده های مرئی و مادون قرمز، گسیلمندی باندهای مادون قرمز حرارتی، درجه حرارت دخشندگی، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده، شبکه عصبی مصنوعی

فهرست مطالب

فصل اول طرح و کلیات تحقیق	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بارش و ضرورت پیش بینی آن	۲
۳-۱- روش های تخمین بارش	۵
۴-۱- تخمین بارش با استفاده از ماهواره های هواشناسی	۷
۵-۱- انواع ماهواره های هواشناسی	۹
۱-۵-۱- ماهواره زمین آهنگ (Geostationary)	۹
۲-۵-۱- ماهواره قطبی خورشید آهنگ (Polar Orbit)	۱۰
۶-۱- روش های تخمین بارندگی با استفاده از تصاویر ماهواره ای	۱۰
۷-۱- ضرورت تحقیق	۱۱
۸-۱- اهداف تحقیق	۱۲
۱۰-۱- سازمان دهی فصول پایان نامه	۱۳
فصل دوم مروری بر تحقیقات پیشین	۱۵
۱-۲- مقدمه	۱۶
۲-۲- انواع روش های پیش بینی بارش ماهواره ای و الگوریتم های توسعه داده شده	۱۶
۱-۲-۲- برآورد بارش از طریق روش های مبتنی بر تصاویر باند مرئی و مادون قرمز	۱۶
۱-۲-۲-۱- روش شاخص سازی ابر	۱۷
۲-۲-۲-۱- روش دو طیفی	۱۷
۲-۲-۲-۳- روش تاریخ حیات	۱۸
۲-۲-۲-۴- روش مدل ابر پایه	۱۸
۲-۲-۲-۵- شاخص GPI	۱۹
۲-۲-۲-۶- شاخص MGPI	۲۰
۲-۲-۲-۷- شاخص AGPI	۲۰
۲-۲-۲-۸- شاخص برآوردگر آب	۲۱

۲۱	.....	RT شاخص	۹-۱-۲-۲
۲۲	.....	SW شاخص	۱۰-۱-۲-۲
۲۲	.....	SWCVR شاخص	۱۱-۱-۲-۲
۲۳	.....	ATBD شاخص	۱۲-۱-۲-۲
۲۳	.....	TAMSAT شاخص	۱۳-۱-۲-۲
۲۴	.....	شاخص برآوردگر خودکار	۱۴-۱-۲-۲
۲۴	.....	برآورد بارش از طریق تکنیک های مبتنی بر داده های میکروویو غیر فعال	۲-۲-۲
۲۵	.....	شاخص آمونی	۱-۲-۲-۲
۲۶	.....	PP-VNIR شاخص	۲-۲-۲-۲
۲۶	.....	برآورد بارش از طریق تکنیک های ترکیبی روش های مادون قرمز، مرئی و میکروویو	۳-۲-۲
۲۷	.....	پیشینه مطالعات در ایران	۳-۲
۲۹	.....	پیشینه مطالعات در سایر نقاط جهان	۴-۲
۳۵	.....	فصل سوم منطقه مورد مطالعه و داده ها	
۳۶	.....	مقدمه	۱-۳
۳۶	.....	منطقه مورد مطالعه	۲-۳
۳۶	.....	شهر شاهرود	۱-۲-۳
۳۷	.....	شهر دامغان	۲-۲-۳
۳۹	.....	شهر سمنان	۳-۲-۳
۴۲	.....	داده های مورد استفاده	۳-۳
۴۳	.....	داده های سنجنده مودیس (MODIS)	۵-۳
۴۷	.....	فصل چهارم روش تحقیق	
۴۸	.....	مقدمه	۱-۴
۵۰	.....	نرم افزار ENVI 5.3	۲-۴
۵۱	.....	افزونه (MODIS Conversion Toolkit) MCT	۳-۴
۵۲	.....	دانلود تصاویر ماهواره ای	۴-۴

۵۴	۲-۴-۴- فرمت تصاویر دانلود شده
۵۴	۵-۴- تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره ای
۵۵	۱-۵-۴- پیش پردازش تصاویر ماهواره ای
۵۵	۱-۱-۵-۴- ژئورفرنس کردن تصاویر
۵۶	۲-۵-۴- پردازش تصاویر ماهواره ای
۵۷	۱-۲-۵-۴- استخراج تصاویر بازتاب (Reflectance) - گسیلمندی (Emissivity)
۵۷	۲-۲-۵-۴- مشخص کردن منطقه مورد مطالعه (ROI)
۵۸	۳-۲-۵-۴- تفکیک و جداسازی باند های طیفی مورد مطالعه
۵۹	۴-۲-۵-۴- استخراج تصویر شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)
۶۰	۵-۲-۵-۴- استخراج تصویر درجه حرارت درخشندگی (BT)
۶۱	۶-۲-۵-۴- سازمان دهی تصاویر استخراج شده در مراحل قبل در قالب یک تصویر
۶۲	۳-۵-۴- پس پردازش تصاویر ماهواره ای
۶۳	۱-۳-۵-۴- استخراج مقادیر شاخص های محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه
۶۳	۴-۴- گردآوری داده های بدست آمده در قالب یک جدول اکسل
۶۴	۵-۴- نتایج حاصل از تحلیل و پردازش تصاویر سنجنده مودیس
۶۴	۶-۴- شبیه سازی مقادیر بارش
۶۴	۱-۶-۴- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)
۶۶	۱-۱-۶-۴- نرمال کردن داده ها
۶۷	۷-۴- ارزیابی عملکرد شبکه
۶۷	۱-۷-۴- نش ساتکلیف
۶۷	۲-۷-۴- ریشه میانگین مربعات خطا
۶۸	۳-۷-۴- ضریب همبستگی
۶۹	فصل پنجم نتایج و بحث
۷۰	۱-۵- مقدمه
۷۰	۲-۵- نتایج شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

۷۲	۵-۳- تشریح مدل های منتخب شبکه عصبی مصنوعی.....
۹۳	فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهاد ها.....
۹۴	۶-۱- مقدمه.....
۹۴	۶-۲- نتیجه گیری.....
۹۶	۶-۳- پیشنهادات.....
۹۹	منابع.....

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) مشخصات طیفی سنجنده MODIS و کاربردهای عمده آن ۴۴
- جدول (۱-۴) محدودهی مقادیر ضریب همبستگی R ۶۸
- جدول (۱-۵) مدل های منتخب شبکه عصبی مصنوعی و داده های ورودی به آن ها ۷۱
- جدول (۲-۵) ارزیابی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی ۷۲

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) محدوده امواج الکترومغناطیس	۸
شکل (۱-۳) وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک شاهرود در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۵)	۳۷
شکل (۲-۳) وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک دامغان در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۵)	۳۸
شکل (۳-۳) وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک سمنان در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۵)	۴۰
شکل (۴-۳) موقعیت استان سمنان در ایران و موقعیت شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان در استان سمنان	۴۱
شکل (۱-۴) الگوریتم پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای	۴۸
شکل (۲-۴) الگوریتم پیشنهادی برای تخمین مقادیر بارش با استفاده از سنجش از دور	۴۹
شکل (۳-۴) تصویر Level 1-B سنجنده MODIS در تاریخ ۲۸/۰۱/۲۰۰۹	۵۳
شکل (۴-۴) تصویر Level 1-B سنجنده MODIS با ترکیب رنگ کاذب (۱۲۳) در تاریخ ۲۸/۰۱/۲۰۰۹ بعد از عملیات پیش پردازش	۵۶
شکل (۵-۴) تصویر ROI با ترکیب رنگ کاذب (۱۲۳) در تاریخ ۲۸/۰۱/۲۰۰۹	۵۸
شکل (۶-۴) نمای شماتیک شبکه عصبی مصنوعی چندلایه	۶۶
شکل (۱-۵) مقدار ضریب نش ساتکلیف (NASH) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های آموزش	۸۰
شکل (۲-۵) مقدار ضریب نش ساتکلیف (NASH) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های تست	۸۱
شکل (۳-۵) مقدار ضریب همبستگی (R) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های آموزش	۸۱
شکل (۴-۵) مقدار ضریب همبستگی (R) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های تست	۸۲

شکل (۵-۵) مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های آموزش ۸۲

شکل (۶-۵) مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های تست ۸۳

شکل (۷-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 1 برای داده های آموزش و تست ۸۴

شکل (۸-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 2 برای داده های آموزش و تست ۸۴

شکل (۹-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 3 برای داده های آموزش و تست ۸۵

شکل (۱۰-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 4 برای داده های آموزش و تست ۸۵

شکل (۱۱-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 5 برای داده های آموزش و تست ۸۶

شکل (۱۲-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 6 برای داده های آموزش و تست ۸۶

شکل (۱۳-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 7 برای داده های آموزش و تست ۸۷

شکل (۱۴-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 8 برای داده های آموزش و تست ۸۷

شکل (۱۵-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 9 برای داده های آموزش و تست ۸۸

شکل (۱۶-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 10 برای داده های آموزش و تست ۸۸

شکل (۱۷-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 11 برای داده های آموزش و تست ۸۹

شکل (۵-۱۸) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 12 برای داده های آموزش و تست	۸۹
شکل (۵-۱۹) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 13 برای داده های آموزش و تست	۹۰
شکل (۵-۲۰) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 14 برای داده های آموزش و تست	۹۰
شکل (۵-۲۱) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 15 برای داده های آموزش و تست	۹۱
شکل (۵-۲۲) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 16 برای داده های آموزش و تست	۹۱
شکل (۵-۲۳) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 17 برای داده های آموزش و تست	۹۲
شکل (۵-۲۴) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 18 برای داده های آموزش و تست	۹۲

فصل اول

طرح و کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

عنصر بارش یکی از عناصر پیچیده و حیاتی اتمسفر زمین است و تغییرات زمانی و مکانی آن می‌تواند ویژگی‌های محیطی هر ناحیه جغرافیایی را کنترل کند. از اینرو بسیاری از اقلیم‌شناسان بارندگی را به عنوان مهمترین پدیده جوی و بارش‌های حاصله را اصلی‌ترین عنصر اقلیمی تلقی می‌کنند، چرا که فرآیند بارش با سامانه‌های سینوپتیک جوی، تبادلات انرژی بین زمین و هوا و اقیانوس‌ها مرتبط می‌باشد. به علاوه در سناریوی ظهور و فعالیت ابرها، بارندگی به عنوان اصلی‌ترین خروجی محسوب می‌گردد. بررسی‌های تحقیقاتی مبین این واقعیت است که جنبه‌های کاربردی مختلفی نظیر پیش‌بینی شرایط جوی، محیط زیست، هیدرولوژی، کشاورزی، مدیریت حوضه‌های آبریز، برآورد وقوع احتمال سیلاب و برآورد خشکسالی و بررسی تغییرات اقلیمی با مقوله بارندگی در ارتباط است [۱].

۱-۲- بارش و ضرورت پیش‌بینی آن

بارندگی را می‌توان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جوی دانست که به طور مستقیم در چرخه زندگی بشر دخالت دارد و یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده آب شیرین به شمار می‌رود [۲]. مدل‌های اقلیمی نشان می‌دهند که دمای زمین در دهه‌های آتی افزایش خواهد یافت. با افزایش دما، نوع بارش به سوی بارش‌های مایع تغییر می‌کند و زمان ماند آب در حوضه‌ها کاهش می‌یابد. کاهش زمان ماند آب، سبب افزایش طول دوره خشک و نیز تعداد سیلاب‌ها می‌شود. از طرفی با افزایش دما، تبخیر نیز افزایش یافته و مقدار بیشتری از بارش‌های دریافتی دوباره از دسترس خارج می‌شوند [۳]. در اثر فعالیت‌های انسانی و افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و در نتیجه گرم شدن هوای کره زمین ناهنجاری‌های زیادی در عناصر سیکل هیدرولوژی به وجود آمده و یا در آینده نزدیک به وجود خواهد آمد. مثلاً شدت بارندگی‌ها و زمان بارندگی‌ها در بعضی از مناطق دنیا دچار تحول شده است که به دخالت‌های زیست محیطی انسان ارتباط داده می‌شوند [۴]. افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در اقلیم کره زمین به وجود آورده است که در نوشته‌های علمی به آن تغییر اقلیم گفته می‌شود [۵]. در

دهه های اخیر، افزایش گاز های گلخانه ای باعث شدید تر شدن پدیده تغییر اقلیم شده است. افزایش گاز دی اکسید کربن (CO_2) باعث افزایش درجه حرارت و رطوبت مطلق در لایه های هوای نزدیک به سطح زمین می گردد. هر چند افزایش (CO_2) میزان بارندگی را افزایش می دهد ولی افزایش بارندگی در نقاط مختلف یکسان نیست. بطور کلی در مناطقی با عرض جغرافیایی زیاد میزان بارندگی و رواناب افزایش می یابد ولی در مناطق با عرض جغرافیایی کم بارندگی با توجه به منطقه می تواند افزایش یا کاهش یابد [۶]. هر ساله بارندگی بیش از حد یا کمبود بارندگی منجر به وقوع پدیده های اقلیمی بسیاری مانند سیل و خشکسالی می شود که زندگی هزاران نفر را با خطر مواجه کرده است و خسارات جانی و مالی فراوانی به بار می آورند [۷]. گاهی عدم شناخت دقیق رفتار هیدرولوژیکی و پیش بینی بارش ممکن است خسارت های شدیدی به وجود آورد، در صورتی که اگر مشخص شود بعد از وقوع یک بارش با شدت و حجم مشخص، در چه زمانی دبی سیل به اوج خواهد رسید و چه حجم از آب در در بستر خشک یا مرطوب رودخانه جریان پیدا می کند، هشدار های قبل از وقوع می تواند از بسیاری از خسارت ها جلوگیری کند [۸]. به منظور جلوگیری از خسارات ناشی از سیل و سعی در کنترل و مهار آن ها، ضرورت پیش بینی بارش امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد [۹]. با تمام اهمیتی که منابع آب در زندگی و اقتصاد انسان ها دارند، سیلاب ها هر ساله مقادیر عظیمی از آب و خاک های حاصلخیز را از درسترس خارج نموده و به کویر ها، مانداب ها، دریاها و دریاچه ها انتقال می دهند. ریزش مکرر سیلاب ها باعث کاهش کیفیت آب های شیرین می شود. از سوی دیگر سیلاب ها به شریان های حیاتی مانند سیستم های تأمین و توزیع آب و خطوط انتقال نیرو آسیب های جدی وارد می کنند [۱۰]. هر ساله در اثر سیل بیش از ده میلیون انسان آواره یا کشته می شوند که این میزان تقریباً ۱۵٪ مرگ و میر ناشی از سوانح طبیعی است [۱۱]. یکی از فاکتور های بسیار مهم در مدیریت کشاورزی، پیش بینی مقادیر بارش و به تبع آن پیش بینی خشکسالی و کم آبی برای مناطق تحت زراعت می باشد که با پیش بینی و احتمال وقوع این حالات، قبل از وارد آمدن انواع خسارت به محصولات زراعی می توان اقدامات مقتضی را در این زمینه انجام داد [۱۲]. سد سازی با

توجه به افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به ذخیره سازی و مهار آب و همچنین تأمین آب مورد نیاز کشاورزی، صنعت و شرب از جایگاه ویژه ای برخوردار است. برآورد مقدار آب قابل بارش از جمله مطالعاتی است که در طراحی سدهای بزرگ مورد توجه قرار می‌گیرد [۱۳].

بخش عمده کشور ایران در ناحیه خشک و نیمه خشک واقع شده است. در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از مهم ترین پارامترهای اقلیمی که باید مورد بررسی قرار گیرد بارش است، چرا که ورودی سیکل هیدرولوژی در یک ناحیه بوده و بیشترین نوسانات را در بین سایر عناصر اقلیمی دارد [۱۴، ۱۵]. بارش سالیانه در سطح کشور هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی اختلاف فاحشی را نشان می‌دهد. در حالی که میزان بارش در سواحل خزر، زاگرس و البرز به ترتیب حدود ۱۵۶۰ میلی متر، ۹۳۰ میلی متر و ۵۳۰ میلی متر است، در مناطق مرکزی به ۶۲ میلی متر می‌رسد که علاوه بر توزیع ناهمگن مکانی، نوسانات شدید زمانی نیز در آن به چشم می‌خورد؛ به گونه ای که ضریب تغییرات بارندگی در تعداد زیادی از ایستگاه ها به بیش از ۴۰ درصد می‌رسد. این توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران متأثر از توزیع سیستم های گردش جهانی است که کمترین تغییر در الگوی آن، ناهنجاری های شدید آب و هوایی را به دنبال می آورد. بنابراین، ناهنجاری های مکانی و زمانی بارش و تغییرات شدید در شدت بارش و تفاوت در نوع بارش، از عمده ترین ویژگی های بارش های ایران می باشد [۱۶].

از سویی دیگر به علت اختلاف عرض جغرافیایی نسبتاً زیاد بین شمال تا جنوب کشور، توپوگرافی متعارض و ناهمگون و همچنین سیستم های جوی متعددی که بر آب و هوای ایران تأثیر می‌گذارند، نسبت حداکثر بارش های روزانه به بارش سالانه در ایران متفاوت است. نسبت بارش یک روزه به بارش سالانه، معیاری برای شناسایی شدت بارش های روزانه است. بالا بودن این نسبت بیانگر آن است که احتمال دارد تمام و یا بیشتر بارش سالانه در مدت فقط چند روز اتفاق بیفتد. به عبارت دیگر، بالا بودن این نسبت نشان می‌دهد که وقوع بارندگی های شدید و رگباری کاملاً طبیعی است. بر عکس، پایین بودن این نسبت حاکی از وقوع بارندگی های ملایم و فراوانی بیشتر روزهای بارانی است [۱۷].

رگباری بودن بارش ها، تعداد کم روزهای همراه با بارش، عدم وجود پوشش گیاهی با ثبات و در

نتیجه وقوع طغیان های ناگهانی و شدید موجب خسارت های سنگین به تأسیسات، سازه ها، پوشش گیاهی و خاک می شود. از سویی دیگر در مناطق خشک و نیمه خشک، کاهش بارندگی سالانه کاهش میزان رواناب را به دنبال دارد و با کاهش قابل توجه میزان بارندگی، تغییرات یا به عبارتی نا منظم بودن تولیدات رواناب در طی سال افزایش قابل توجهی می یابد [۱۸]. به گونه ای که ۳۱ درصد کشور شامل شمال، غرب و جنوب غربی ۵۲ درصد بارندگی را دریافت می کند و ۶۹ درصد رواناب تولید می کند در حالی که ۷۰ درصد کشور فقط ۴۴ درصد بارندگی را دریافت کرده و ۳۱ درصد رواناب تولید می کند [۱۹]. بارندگی های مخرب در مناطق خشک که منجر به سیلاب ها در این مناطق می شوند دارای ضریب رواناب بالا می باشند و هیدروگراف این سیلاب ها دارای شیب تند در شاخه صعودی و نزولی و زمان پایه کوتاه و دبی پیک بالا می باشند [۲۰]. بطور کلی، شناخت چگونگی روند تغییرات بارش از جمله مواردی است که در سالهای اخیر مورد توجه محققان علوم جوی و هیدرولوژی قرار داشته است. بدون توجه به این که یک مکان در اقلیم مرطوب یا خشک قرار دارد، آگاهی از روند تغییرات بارش یک مکان میتواند بسیاری از مدیران و دست اندرکاران مرتبط با آب را نسبت به تصمیم گیری های آینده در ارتباط با اجرای پروژه های عمرانی یاری دهد [۲۱].

۳-۱- روش های تخمین بارش

مشاهده و تخمین مقادیر بارش از اعصار گذشته معمول و متداول بوده است. اصلی ترین روش های ثبت بارش عبارتند از : باران سنج های کلاسیک، رادارهای داپلر^۱ و ماهواره های هواشناسی [۱]. بررسی بارندگی به روش سنتی نیاز به شبکه های باران سنجی متراکم دارد. باران سنج ها از عمومی ترین و ابتدایی ترین روش های اندازه گیری بارش محسوب می شوند و در اشکال مختلف، به صورت نقطه ای و مستقیم مورد استفاده قرار می گیرند. اندازه گیری بارندگی بر اساس تکنولوژی های زمین مبنا (ایستگاه های باران سنجی) دارای مشکلاتی می باشد که به برخی از آن ها اشاره می کنیم.

¹ Doppler

- داده های به دست آمده از باران سنج ها برای مناطق کوچک دارای درجه اعتبار خوبی بوده، ولی با توجه به پراکنش جغرافیایی باران، نتایج حاصل از اندازه گیری بارش به وسیله ی باران سنج ها بسیار متغیر است. تأسیسات باران سنجی گران قیمت بوده و کنترل کیفیت داده های آن مشکل است.
- بارندگی تغییرات مکانی و زمانی شدیدی دارد، لذا کمی سازی آن با استفاده از باران سنج ها (برداشت نقطه ای) به ویژه در تفکیک مکانی و زمانی بزرگ چالش برانگیز است.
- عدم توانایی ثبت بارندگی های رگباری و سنگین همرفتی.
- باران سنج ها عموماً در مناطق قابل دسترسی نصب شده اند، در حالی که مناطق غیر جمعیتی مانند کوهستان ها و دریاها تحت پایش نیستند؛ علی رغم این که بارندگی در این مناطق بیشتر و شدیدتر است.
- دقت باران سنج ها به طرح و فاکتورهای محیطی (سرعت و جهت باد، دما، رطوبت و ...) بستگی دارد.

رادارهای بارندگی برخی از این مشکلات را حل می کنند اما آن ها هم دارای مشکلاتی هستند. از اهم امتیازات آن ها می توان به تفکیک مکانی و زمانی دقیق مقادیر بارش اشاره کرد. در عین حال، عدم پوشش مکانی وسیع (به ویژه در مناطق کوهستانی)، عدم حضور آنتن های ثبات راداری در پهنه های اقیانوسی، گران قیمت بودن تکنولوژی و نیاز به کالیبراسیون دائم از مهمترین محدودیت های آن به شمار می رود [۲۲]. امروزه ماهواره های هواشناسی با پیش بینی و برآورد عناصر هواشناسی، پایش و کنترل ابرها، برآورد دما و رطوبت اتمسفر چه در شرایط طبیعی و چه در شرایط ابری بودن آسمان، تعیین سرعت و جهت باد در سطح اقیانوس ها، برآورد و پیش بینی بارندگی و سایر عناصر اقلیمی انقلاب عظیمی را در مطالعات هواشناسی و اقلیم شناسی به وجود آورده اند.

۱-۴- تخمین بارش با استفاده از ماهواره های هواشناسی

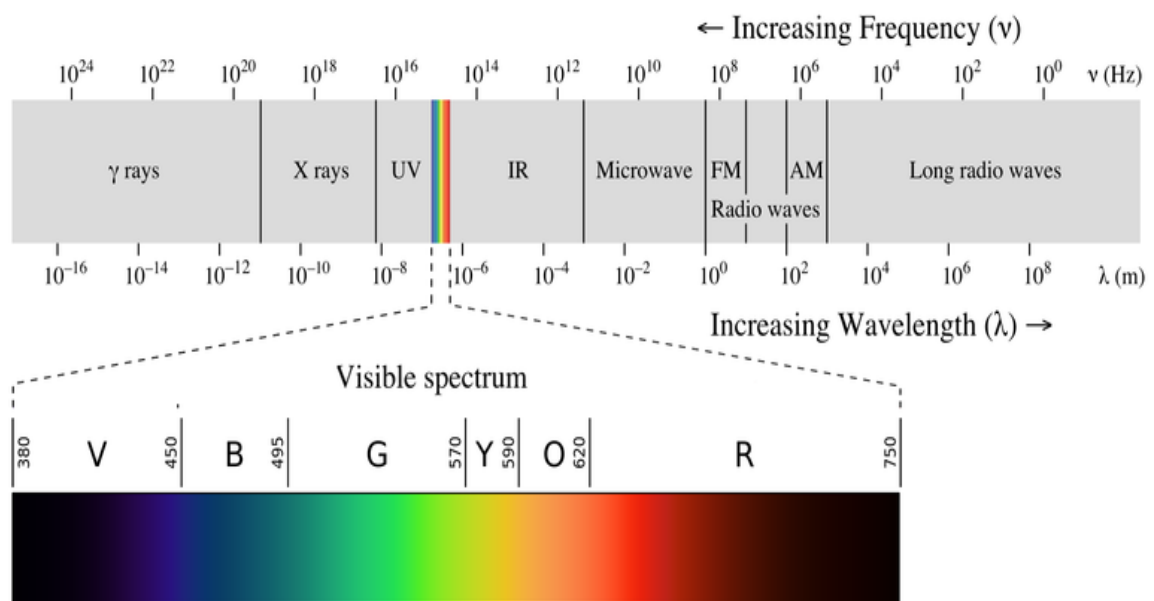
فناوری ماهواره ای شامل استفاده از سنجنده های ویژه به منظور ثبت نوسانات امواج الکترو مغناطیس است [۲۳]. امواج الکترومغناطیس دارای طول موج های مختلفی هستند اما در محدوده طول موج های بسیار مهم که در هواشناسی ماهواره ای مورد استناد قرار می گیرند، می توان به محدوده مرئی (VIS)^۲، مادون قرمز (IR)^۳ و امواج مایکروویو (MW)^۴ اشاره کرد [۲۴]. محدوده امواج الکترومغناطیس در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱-۱ می توان نتیجه گرفت که مقدار انرژی هر موج بستگی به طول موج آن دارد، امواج با طول موج کوچکتر (بسامد بزرگتر) انرژی بیشتری دارند و برعکس. از نقطه نظر منبع انرژی، می توان دو منبع مهم انرژی را برای امواج الکترومغناطیس تعریف کرد. اولین منبع بصورت بازتابی (Reflectanc) و دومین منبع بصورت تابشی (Radiation) خواهد بود. امواج الکترومغناطیس از یک منبع انرژی نظیر خورشید (یا سنجنده) به سمت اشیاء گسیل می شوند و پس از برخورد با سطح اشیاء، بخشی از آن ها به سمت سنجنده هدایت می گردند. این نوع انرژی های بازتابی بیشتر در قسمت مرئی، مادون قرمز نزدیک و امواج مایکروویو طیف الکترومغناطیس می باشند. بخش جذب شده انرژی باعث بالا رفتن درجه حرارت اشیاء شده و مقدار انرژی تابشی آن ها را بالا می برد، به گونه ای که قابل تشخیص توسط سنجنده باشد. این گونه انرژی های تابشی بیشتر در بخش مادون قرمز حرارتی و گاه مایکروویو قرار دارند. با این که اولین ماهواره هواشناسی در سال ۱۹۶۵ به فضا پرتاب شد، اما بیشترین توجهات در اولین سال های فعالیت، بر روی پدیده های اتمسفری مانند نوع ابرها، دما و رطوبت اتمسفر بود که بطور مستقیم از تصاویر مرئی و مادون قرمز قابل استخراج بودند [۲۵]. لذا نسبت به عناصری که به صورت مستقیم قابل استخراج نبودند تلاش کمتری صورت پذیرفت، که از مهم ترین آن ها می توان به عنصر بارش اشاره نمود [۲۶]. از اینرو، در دهه های گذشته روش های تخمین مقادیر بارش از طریق تحلیل

^۲ Visible

^۳ Infrared

^۴ Microwave

تصاویر ماهواره ای همواره مورد توجه دانشمندان و محققان زیادی قرار گرفته است [۲۷]. برآورد بارش با کمک داده های سنجش از دور در دهه ۱۹۸۰ بیشتر بر روی سطوح وسیع اقیانوسی به ویژه اقیانوس های مناطق حاره ای انجام شده است. علت آن شاید همگن بودن سطوح اقیانوسی نسبت به خشکی و نبود تغییرات دمای سطح آن ها باشد. در دهه ۱۹۹۰ روش های جدیدی برای تخمین بارش با در نظر گرفتن تغییرات دمایی روی اراضی خشک با استفاده از تصاویر ماهواره ای انجام شد.



شکل (۱-۱) محدوده امواج الکترومغناطیس

۱-۵- انواع ماهواره های هواشناسی

در حالت کلی دو نوع اصلی ماهواره های هواشناسی زمین آهنگ^۵ و قطبی خورشید آهنگ^۶ در پایش اتمسفر مورد استفاده قرار می گیرند [۲۸].

۱-۵-۱- ماهواره زمین آهنگ (Geostationary)

ماهواره های زمین آهنگ یا زمین ثابت که آهنگ چرخش آن ها با چرخش زمین یکسان است. این ماهواره ها در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری بر روی استوا قرار دارند و موقعیت آن ها نسبت به زمین همیشه ثابت است. این ماهواره ها به دلیل این که نیمی از کره زمین را به طور مداوم مشاهده می نمایند، در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه تا ۳۰ دقیقه تصاویر تکراری را تهیه می نمایند. نمونه مشخص این ماهواره ها، ماهواره GOES^۷ می باشد. ماهواره های دیگری همچون Meteosat^۸ فرانسه، GMS^۹ ژاپن و Insat^{۱۰} توسط هندوستان مأموریت های مشابهی انجام می دهند و امکان پوشش و جمع آوری اطلاعات هواشناسی از غیر قابل دسترس ترین مناطق با دقت قابل قبول را میسر می سازند. در روند تخمین مقادیر بارش در سال های گذشته از تصاویر ماهواره ای زمین آهنگ استفاده شده است. در این روش ها با محاسبه ویژگی های فوقانی ابر نظیر میزان بازتابش انرژی، مقدار فشار و تغییرات رطوبت در مقطعی از درون ابر، حدی از میزان بارش محاسبه می گردد [۲۹،۳۰]. ماهواره های زمین آهنگ در محدوده های طیفی مرئی و مادون قرمز توانایی ثبت ویژگی های حرارتی و آلبیدوی بالای ابرها را در هر ۳۰ دقیقه دارا می باشند.

⁵ Geostationary

⁶ Polar Orbiting

⁷ Geostationary Operational Environmental Satellites

⁸ Meteorological Satellite

⁹ Geostationary Meteorological Satellite

¹⁰ Indian National Satellite

۱-۵-۲- ماهواره قطبی خورشید آهنگ (Polar Orbit)

در سال های اخیر، دانشمندان تلاش نموده اند با پردازش تصاویر ماهواره های مدار قطبی، بارش مناطق مختلف کره زمین را محاسبه نمایند. ماهواره های قطبی و خورشیدآهنگ ارتفاع کمی دارند و به نحوی تنظیم شده اند که با حرکت تقریباً قطبی در هر شبانه روز چندین بار به دور کره زمین می چرخند و می توانند تمامی نقاط کره زمین را با دقت و قدرت تفکیک بالا و حفظ زاویه ثابت خورشیدی تصویربرداری نمایند. ماهواره های Landsat^{۱۱}، Spot^{۱۲}، NOAA^{۱۳}، EOS^{۱۴}، Digital Globe، Quick Bird، TERRA ماهواره های مدار قطبی به دلیل نزدیک بودن خود به زمین (حدود ۴۰ مرتبه بیشتر) دقت مکانی بهتری نسبت به ماهواره های مدار ثابت دارند [۳۱]. تصاویر مدار قطبی نیز دارای امتیازات و محدودیت هایی می باشند. از اهم امتیازات اصلی آن ها می توان به پوشش مناطق دور دست، روش برآورد ثابت و قابل اعتماد بودن و دارا بودن دقت بیشتر نسبت به ماهواره های مدار ثابت اشاره کرد [۳۲]. اما عدم تخمین بارش در مقیاس زمانی کوتاه مدت (در حد ساعت)، عدم سنجش مستقیم بارش، مداخله بازتابش اتمسفری و توان محدود در برآورد مقادیر بارش از ابرهای با دمای بالا از مهمترین محدودیت های مربوطه به شمار می رود [۳۳].

۱-۶- روش های تخمین بارندگی با استفاده از تصاویر ماهواره ای

برای تخمین بارندگی با استفاده از تصاویر ماهواره ای تکنیک های مختلفی وجود دارد اما می توان آن ها را به سه گروه عمده روش های غیر مستقیم، مستقیم و ترکیبی تقسیم بندی کرد. روش های غیر مستقیم بیشتر از امواج مرئی و مادون قرمز استفاده می کنند و بر اساس دمای سطح بالایی ابر، نرخ بارندگی را بیان می کنند، اما روش های مستقیم از مایکروویو غیر فعال (PMW^{۱۵}) استفاده می کنند.

¹¹ Land Remote Sensing Satellite

¹² Satellite Pour l'Observation de la Terre

¹³ National Oceanic and Atmospheric Administration

¹⁴ Earth Observation System

¹⁵ Passive Microwave

ارتباط بین بارندگی و تابش مایکروویو در مقایسه با مادون قرمز (روش های غیر مستقیم) قابل اعتماد تر است، زیرا بخش مایکروویو طیف الکترومغناطیس قادر به نفوذ در ابر است و از آن جا که این طول موج ها با بخار آب موجود در جو واکنش نشان می دهند و باعث شناسایی آن ها می گردند، تخمین های بهتری از بارندگی های ناگهانی تولید می کنند. با توجه به این که فراوانی مشاهدات مایکروویو غیر فعال نسبت به مرئی و مادون قرمز کمتر است، هنگامی که برای تخمین بارندگی های کوتاه مدت استفاده می شوند خطای نمونه برداری افزایش می یابد، لذا طرح های ترکیبی یا ترکیب این دو روش سعی در برطرف کردن مشکلات مذکور دارند. در این پایان نامه سعی شده است با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل و پردازش تصاویر سنجنده مودیس (MODIS)^{۱۶} و با بهره گیری از داده های بارش مشاهداتی و ثبت شده در ایستگاه های باران سنجی شاهرود، دامغان و سمنان مقادیر بارش برای مناطق فوق پیش بینی شده تا به کمک آن بتوان میزان بارش را در سال های آینده جهت مدیریت و برنامه ریزی منابع آبی تعیین کرد.

۷-۱- ضرورت تحقیق

بارش یکی از ورودی های کلیدی مدل های هیدرولوژیکی و مطالعات هواشناسی است. اندازه گیری دقیق بارش با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا برای مدل سازی جریان های سطحی، مکان یابی مناسب سدها، پیش بینی سیل و خشکسالی و مدیریت منابع آب و طرح های کشاورزی حائز اهمیت است. از چند دهه گذشته، با هدف افزایش دقت ثبت مقادیر بارش در سطح جهانی و فائق آمدن بر مشکلات ناشی از روش های سنتی اندازه گیری بارش، از علم سنجش از دور و فناوری های ماهواره ای جهت برآورد مقادیر بارش بهره گرفته شده است. از مهمترین امتیازات این روش ها می توان به ثبت مقادیر بارش در وسعت زیاد، کاهش هزینه ها و قابلیت ذخیره اطلاعات به صورت رقومی و در نهایت پردازش هدفمند اشاره نمود [۱]. مسلماً سطح دقت و اعتماد پذیری این روش ها بر حسب نوع ماهواره مورد استفاده و قدرت تفکیک زمانی و مکانی آن ها متفاوت بوده و منجر به پیش بینی های

¹⁶ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

متفاوتی از مقادیر بارش می‌شود. در این پژوهش تلاش خواهد شد با بهره‌گیری از داده‌های بارش مشاهداتی و ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی شاهرود، دامغان و سمنان در دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۵ و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تصاویر سنجنده مودیس، از طریق روش داده‌محور شبکه عصبی مصنوعی مقادیر بارش را شبیه‌سازی نماییم. نتایج تحقیق به منظور پیش‌بینی مقادیر بارش و پایش کمی منابع آب منطقه و برنامه‌ریزی‌های منابع آب در آینده می‌تواند حائز اهمیت باشد. در این پایان‌نامه ایستگاه‌های شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان که در استان سمنان واقع شده‌اند مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۸- اهداف تحقیق

بر اساس نتایج بسیاری از طبقه‌بندی‌های آب و هوایی، ایران دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است. متوسط بارندگی سالانه ایران ۲۵۰ میلی‌متر محاسبه شده است که کمتر از یک سوم متوسط بارش جهانی است و تبخیر حدود ۷۱ درصد از بارندگی رسیده، منابع آب سطحی و زیر زمینی کشور را با تنش جدی مواجه می‌کند [۳۴]. از اینرو، تخمین مقادیر بارش اهمیت فراوانی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، برآورد نیاز آبی و تخصیص و توزیع مناسب آب کشاورزی، پروژه‌های عمرانی، پیش‌بینی سیل و خشکسالی و پیش‌گیری از خسارات و تلفات ناشی از آن‌ها دارد. با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در برآورد بارش به روش سنتی، استفاده از روش‌های سنجش از دوری و برآورد بارش ماهواره‌ای اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. امروزه ماهواره‌ها با فراهم کردن پوشش مکانی کامل قادر به تخمین بارش برای نقاط مختلف دنیا می‌باشند. با انجام این مهم، به خصوص در کشورهای درحال توسعه مانند ایران که در بسیاری از حوضه‌های آن آمار مناسبی از داده‌های بارندگی موجود نیست، داده‌های سنجش از دوری و ماهواره‌ای اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند [۳۵]. در تحقیق حاضر از طریق روش‌های سنجش از دوری و با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس که بر روی ماهواره EOS

Terra نصب شده است، نسبت به برآورد مقادیر بارش در منطقه مورد مطالعه که شامل ایستگاه های شاهرود، دامغان و سمنان در استان سمنان می باشد اقدام خواهد شد. به این ترتیب که با توجه به مقادیر بارش مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی ایستگاه های مذکور و نتایج و تحلیل های حاصل از پردازش های تصاویر ماهواره ای، الگوریتمی مناسب جهت تخمین مقادیر بارش توسعه داده می شود.

۹-۱- نوآوری های تحقیق

تا کنون تحقیقات زیادی برای پیش بینی بارش با استفاده از سنجش از دور و داده های حاصل از پردازش تصاویر سنجنده مودیس صورت گرفته است. این تحقیقات بر استفاده از داده های مرئی یا مادون قرمز استوار بوده و ترکیب داده های مرئی و مادون قرمز چندان مورد توجه قرار نگرفته است. در این پژوهش، از داده های مرئی بازتابی، مادون قرمز بازتابی و حرارتی و ترکیب آن ها با یکدیگر، گسیلمندی (Emissivity) باند های حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی (BT) باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) برای پیش بینی بارش استفاده شده است.

۱۰-۱- سازمان دهی فصول پایان نامه

مطالب این پایان نامه در ۵ فصل ارائه شده است. پس از مقدمه، در فصل دوم سابقه مطالعات انجام شده در زمینه موضوع تحقیق، شامل انواع روش های پیش بینی ماهواره ای و الگوریتم های توسعه داده شده در این زمینه، تحقیقات انجام گرفته در ایران و سایر نقاط جهان ارائه می شود. در فصل سوم ابتدا به تعریف منطقه مورد مطالعه پرداخته و اطلاعات کلی منطقه شامل موقعیت جغرافیایی، وضعیت آب و هوایی ایستگاه های مورد مطالعه و مقادیر بارش های دریافتی در آن ها ارائه می شود، سپس داده های مورد استفاده در این تحقیق که شامل داده های حاصل از تحلیل و پردازش تصاویر ماهواره ای و داده های بارش مشاهداتی می باشند و برای شبیه سازی مقادیر بارش از طریق روش داده محور

شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده اند معرفی می‌گردند. در نهایت درباره مشخصات و ویژگی های سنجنده مودیس توضیحاتی ارائه می‌شود. در فصل چهارم ابتدا نرم افزار ENVI 5.3 و افزونه MODIS Conversion Toolkit که تحلیل و پردازش تصاویر ماهواره ای از طریق آن ها صورت می‌گیرد معرفی می‌شوند. و در ادامه روش های بکار گرفته شده در تحقیق و مراحل انجام آن مورد بحث قرار خواهد گرفت. در فصل پنجم نتایج و خروجی های شبکه عصبی مصنوعی نشان داده خواهد شد و مورد بحث قرار خواهد گرفت. در فصل نهایی دستاوردهای پایان نامه جمع بندی و نتیجه گیری شده است و پیشنهادهایی جهت مطالعات بعدی ارائه می‌گردد.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- مقدمه

در این فصل پیشینه مطالعات در سه بخش، که شامل انواع روش های پیش بینی ماهواره ای بارش و الگوریتم های توسعه داده شده در این زمینه، بررسی تحقیقات انجام گرفته در ایران و بررسی تحقیقات انجام گرفته در سایر نقاط جهان می باشد ارائه شده است. در پایان همین فصل مروری بر سوابق مطالعاتی انجام می شود و ایده اصلی تحقیق حاضر با توجه به سوابق ذکر شده عنوان می گردد.

۲-۲- انواع روش های پیش بینی بارش ماهواره ای و الگوریتم های توسعه داده شده

هدف نهایی برآورد بارش با استفاده از ماهواره ها به دست آوردن اطلاعاتی از رخداد بارش، مقدار و توزیع آن در سطح کره زمین برای اهداف هواشناسی، آب و هواشناسی، هیدرولوژی و علوم محیطی است. الگوریتم هایی که بر پایه برآورد بارش از تصاویر ماهواره ای قرار دارند، در سه گروه زیر ارائه می شوند:

- تکنیک های مبتنی بر داده های باندهای مرئی و مادون قرمز

- تکنیک های مبتنی بر داده های میکروموج غیر فعال

- تکنیک های ترکیبی

۲-۲-۱- برآورد بارش از طریق روش های مبتنی بر تصاویر باند مرئی و مادون قرمز

مشاهدات مبتنی بر باند مرئی معرف ضخامت ابر و مشاهدات مبتنی بر باند مادون قرمز معرف دمای ابر است، که آن هم خود معرف ارتفاع ابر می باشد. در روش های مبتنی بر مادون قرمز فرض بر این است که ابرهای با دمای پایین تر دارای ارتفاع و ضخامت بیشتری هستند و به بارش بیشتر منجر خواهند شد، بنابراین از دما یا آلبدوی قسمت فوقانی ابرها به عنوان آستانه ای برای نسبت دادن بارش استفاده می کنند. از مزایای روش های مرئی می توان به مشاهده الگوی ابرها، سایه ابرها و پایش پوشش برفی و از معایب آن ها می توان به مشکلاتی از قبیل تشخیص ابر از برف در زمستان و ابرهای با ارتفاع پایین از ابرهای با ارتفاع بالا با آلبدوی یکسان اشاره کرد. همچنین از مزیت های روش

مادون قرمز می توان به تشخیص ابرهای با ارتفاع بالا از ابرهای با ارتفاع پایین، مشاهده طوفان ها در شب و تشخیص برف از ابر و از معایب آن ها می توان به مشکلاتی در زمینه شناخت طوفان های تندری از ابر های سیروس ضخیم اشاره کرد. بارت و مارتین این روش ها را به چهار دسته شاخص سازی ابر^{۱۷}، دو طیفی^{۱۸}، تاریخ حیات^{۱۹} و مدل ابر پایه^{۲۰} طبقه بندی کرده اند [۳۶].

۲-۲-۱-۱- روش شاخص سازی ابر

در این روش از شاخص هایی که شامل نوع ابر، مساحت ابر و مدت زمان سردی ابر (CCD^{۲۱}) است استفاده می شود. ابتدا نوع ابر و سپس مساحتی از تصویر که توسط ابرها پوشانده شده است، شناسایی و محاسبه می گردد، سپس میزان بارش محتمل برای یک ناحیه با استفاده از فرمول زیر به دست می آید:

$$R = \sum r_i f_i \quad (۱-۲)$$

که R بارش محتمل، r_i ضریب بارش نسبت داده شده به ابرها و f_i مساحتی از تصویر است که به وسیله نوع خاصی از ابر پوشانده شده است. از تکنیک هایی که در این گروه قرار می گیرند می توان به GOES, AGPI, MGPI, GPI و الگوریتم Rain Days اشاره کرد.

۲-۲-۱-۲- روش دو طیفی

در این روش ابرهای غیر باران زا از تصاویر مرئی و ابرهای بارش زا از تصاویر مادون قرمز شناسایی می شوند. این تکنیک ها بر مبنای دو فرض زیر قرار دارند:

۱- ابرهای سرد و روشن دارای احتمال بارش زیادی هستند (کومولونیمبوس).

¹⁷ cloud-indexing

¹⁸ Bi-spectral

¹⁹ Life-history

²⁰ Cloud-based model

²¹ Cold Cloud Duration

۲- ابرهای سرد و تیره (سیروس) و روشن اما گرم (استراتوس) دارای احتمال بارش کمتری هستند. تکنیک هایی که در این گروه قرار می گیرند بر مبنای طبقه بندی ابرها و استفاده از داده های به دست آمده از رادار و ایستگاه های زمینی به عنوان نمونه های آموزشی قرار دارند. از روش های موجود در این زمینه می توان به تکنیک های RAINSAT, PP-VNIR اشاره کرد.

۲-۲-۱-۳- روش تاریخ حیات

برای اولین بار این روش توسط گریفیت و همکاران استفاده شد [۳۷]. این روش از داده های ماهواره ای زمین آهنگ استفاده کرده و در مناطق حاره ای با بارش های همرفتی بهترین نتایج را نشان می دهد. در این روش فرض بر این است که مقدار بارش با رشد ابر افزایش و در مراحل زوال آن کاهش می یابد و همچنین بین مساحت ابر در تصویر ماهواره ای و حجم بارش رسیده به سطح زمین ارتباط وجود دارد. الگوریتم های NOAA-NESDIS NAW, TAMSAT, Griffith-Woodley بر پایه این روش قرار دارند.

۲-۲-۱-۴- روش مدل ابر پایه

این روش با معرفی فیزیک ابر سعی در بهبود کمی فرآیند بازیابی بارش دارد. یکی از روش هایی که بر پایه این تکنیک قرار دارد، روش CST است که توسط ادلر و همکاران توسعه پیدا کرده است [۳۸]. آن ها با استفاده از داده های مادون قرمز ماهواره GOES مقادیر بارش های همرفتی و غیر همرفتی را در جنوب فلوریدا پیش بینی نمودند. نتایج مطالعات آنان به ایجاد یک تکنیک همرفتی و غیر همرفتی منجر شد که بر حداقل بودن درجه حرارت درخشندگی در محل بارش دلالت دارد. این روش با معرفی فیزیک ابر (توصیف فیزیکی از فرآیند شکل گیری ابر) سعی در بهبود کمی فرآیند بازیابی بارش دارد. این الگوریتم بر مبنای دمای درخشندگی T_B و رویکرد مدل ابر قرار دارد. در این تکنیک

از مدل تک بعدی ابر برای به دست آوردن ارتباط بین دمای قسمت فوقانی ابر با ضریب بارش و مساحت ناحیه بارشی استفاده می‌شود. شاخص CST^{22} به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{mean} = \frac{VRR}{A_r} \quad (2-2)$$

$$A_r = 5\pi r^2 \quad (3-2)$$

که در آن R_{mean} میانگین بارش، VRR مقدار ضریب بارش لحظه ای خروجی از مدل ابر، A_r مساحت ناحیه بارش همرفتی و r شعاع جریان رو به بالا²³ در مدل است. تکنیک CST بارش های ملایم را بیش از مقدار واقعی نشان می دهد، این موضوع برای بارش های شدید بصورت معکوس است. ضریب همبستگی بین نتایج حاصل از روش CST و مشاهدات راداری در حدود ۰/۷۶ بدست آمد.

۲-۲-۱-۵- شاخص GPI^{24}

این الگوریتم را آرکین و همکاران ارائه داده اند. این الگوریتم در آستانه دمایی ۲۳۵ درجه کلون برای مناطق حاره ای، در آستانه دمایی ۲۲۰ درجه کلون برای مناطق برون حاره ای و در آستانه دمایی پایین برای شناخت ابرهای همرفتی از غیر همرفتی در عرض های جغرافیایی بالا بهترین نتایج را ارائه می دهد. این روش در مقیاس زمانی و مکانی بزرگ قابلیت استفاده دارد و میزان برآورد بارش در فصول گرم بیشتر از بارش مشاهده شده است، همچنین در مناطق با اتمسفر خشک میزان بارش را بیشتر و در مناطق مرطوب کمتر از میزان واقعی آن محاسبه می کند. ضریب همبستگی نتایج بدست آمده از این روش و نتایج حاصل از باران سنج ها ۰/۴۶۲۰ می باشد. الگوریتم مذکور برای داده های به دست آمده از ماهواره های زمین آهنگ کاربردی بوده و از طریق رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد [۳۹].

$$GPI = K \times T \times F_C \quad (4-2)$$

²² Convective-Stratiform Technique

²³ Updraft Radius

²⁴ GOES Precipitation Index

$$F_C = \frac{\text{تعداد پیکسل های ابری}}{\text{کل پیکسل ها}} \quad (5-2)$$

که در آن F_C جزئی از پوشش ابر با دمای کمتر از $235^\circ K$ بوده و مقداری بین صفر و یک دارد و T تعداد ساعاتی است که F_C محاسبه شده است و K ضریب ثابت به مقدار ۳ میلیمتر در ساعت است.

۲-۲-۱-۶- شاخص $^{25}MGPI$

این شاخص را آنوپ کومار و همکاران ارائه کرده اند. رابطه مورد استفاده به این صورت است [۴۰]:

$$MGPI = PW \times R \times RH \quad (6-2)$$

که در آن R بارش به دست آمده از الگوریتم GPI ، RH رطوبت نسبی و PW آب قابل بارش است. در این روش از رطوبت محیطی به عنوان عاملی برای تصحیح الگوریتم GPI استفاده کرده اند. این روش برای تمام فصول و عوارض زمین مورد استفاده قرار می گیرد، در حالی که تکنیک GPI فقط برای بارش همرفتی استفاده می شود. ضریب همبستگی 0.6022 بین نتایج و داده های باران سنجها نشان می دهد که روش $MPGI$ با حذف بایاس ناخواسته، مقدار بارش را دقیق تر از روش GPI برآورد می کند.

۲-۲-۱-۷- شاخص $^{26}AGPI$

این شاخص را نزرول و همکاران ارائه داده اند. این الگوریتم برای بازیابی بارش از تصاویر مادون قرمز ماهواره $GMS-5$ توسعه یافته است. رابطه استفاده شده در این روش مانند رابطه استفاده شده در روش GPI است، با این تفاوت که در این روش به جای استفاده از ضریب ثابت ۳ میلیمتر در ساعت از ضریب ثابت ۴ میلیمتر در ساعت استفاده شده است [۴۱].

²⁵ Modified GOES Precipitation Index

²⁶ Adjusted GOES Precipitation Index

۲-۲-۱-۸- شاخص برآوردگر آب^{۲۷}

این شاخص را اسکوفیلد و همکاران ارائه کرده اند. آن ها با استفاده از داده های ماهواره GOES الگوریتم های بارش ماهواره ای را برای رخداد های گسترده و وسیع بارش در ایالت متحده مورد تحلیل و بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ماهواره های مدار ثابت به علت توانایی منحصر به فرد در مشاهده اتمسفر و پوشش ابر ها و قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، از اهمیت ویژه ای برای پایش طوفان و پیش بینی بارش های سنگین در مقیاس جهانی برخوردارند [۴۲]:

$$R = \frac{R_c \times Z^2 + R_n(1.5-Z)^2}{Z^2 + (1.5-Z)^2} \quad (۷-۲)$$

$$R_c = 1.1183 \times 10^{11} \exp(-0.036382T_b^{1.2}) \quad (۸-۲)$$

$$R_c = 250 - T_b \times \frac{R_{max}}{5} \quad (۹-۲)$$

$$Z = \frac{\mu - T_{10.8}}{\sigma} \quad (۱۰-۲)$$

که در آن R مقدار بارش کلی (میلیمتر در ساعت)، R_c ضریب بارش همرفتی، R_n ضریب بارش غیر همرفتی، Z مقدار استاندارد، T_b دمای درخشندگی (۱۰/۸ میکرومتر)، R_{max} حداکثر ضریب بارش همرفتی فرضی است. μ میانگین دما در ۱۰/۸ میکرومتر و σ انحراف معیار است. این روش از داده های IR برای بازیابی بارش استفاده می کند و از قابلیت های این روش می توان به حذف تأثیر ابرهای سیروس و قابلیت استفاده در روز و شب اشاره کرد.

۲-۲-۱-۹- شاخص RT^{۲۸}

این شاخص را سوپرینو و همکاران ارائه کرده اند. این الگوریتم با استفاده از داده های مادون قرمز بازتابی مقادیر بارش را برآورد می کند و بر این فرضیه استوار است که مقدار تابش عبوری از باند بخار

²⁷ Hydro-Estimator

²⁸ Ratio-Technique

آب، از طریق اندازه گیری میزان تابش باند جذبی و مقایسه آن با تابش باند غیر جذبی قابل برآورد است. این شاخص به صورت زیر محاسبه می شود [۴۳]:

$$W_{RT} = 1/64 \left(\frac{0.58L_{22} + 0.4L_{32}}{L_{26}} \right) - 1.95 \quad (11-2)$$

که در آن W_{RT} محتوای بخار آب اتمسفر (گرم بر سانتیمتر)، L_{22} ، L_{26} ، L_{32} تابش اندازه گیری شده در باندهای ۲۲، ۲۶ و ۳۲ سنجنده ی DAIS^{۲۹} می باشد.

۲-۲-۱-۱۰- شاخص W_{SW}

این شاخص را چاکووسکی و همکاران ارائه کرده اند که با استفاده از داده های مادون قرمز حرارتی سنجنده AVHRR مقادیر بارش را برآورد می کند. این روش فرض بر این است که میزان تضعیف تابش گسیل شده از زمین به وسیله اتمسفر از اختلاف تابش اندازه گیری شده بین دو باند حرارتی به صورت همزمان قابل محاسبه است. این شاخص به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود [۴۴].

$$W_{SW} = a (T_4 - T_5) + b \quad (12-2)$$

که در آن W_{SW} بخار آب اتمسفر (گرم بر سانتیمتر مربع)، T_4 و T_5 دمای درخشندگی اندازه گیری شده به وسیله سنجنده AVHRR در باندهای ۴ و ۵ مختلف مادون قرمز و a و b ضرایب ثابتی هستند که از طریق داد های مشاهداتی در منطقه مطالعه بدست می آیند

۲-۲-۱-۱۱- شاخص $SWCVR$

این شاخص را سوپرینو و همکاران و همچنین لی و همکاران ارائه کرده اند. این الگوریتم بر مبنای واریانس و کوواریانس درجه حرارت درخشندگی اندازه گیری شده به وسیله ی دو باند مادون قرمز

²⁹ Digital Airborne Imaging Spectrometer

³⁰ Split-Window

³¹ Split-Window Convective-Variance Ratio

حرارتی محاسبه می‌شود. این تکنیک به تعداد پیکسل های مورد استفاده وابسته بوده و در جایی که بین پیکسل ها تغییرات کمی وجود داشته باشد، میزان $RMSD^{32}$ افزایش می یابد. [۴۵،۴۶]:

۲-۱-۱۲- شاخص ATBD

این شاخص را فیشر ارائه کرده که با استفاده از داده های مادون قرمز بازتابی به تخمین مقادیر بارش می پردازد و به صورت زیر محاسبه می‌شود [۴۷]:

$$W = K_0 + \log\left(\frac{L_{ch15}}{L_{ch14}}\right) + K_2 \log^2\left(\frac{L_{ch15}}{L_{ch14}}\right) \quad (2-13)$$

که در آن W مقدار بخار آب جو، L_{ch14} و L_{ch15} تابش اندازه گیری شده در باندهای ۱۴ و ۱۵ سنجنده MERIS، K_0 ، K_1 و K_2 ضرایب ثابت اند. ضرایب ثابت برای سطوح اقیانوسی به عمق نوری هواویزه ها و برای سطح زمین به فشار هوا بستگی دارد.

۲-۱-۱۳- شاخص TAMSAT³³

این شاخص را محمد برهان ارائه کرده است که برای محاسبه مقادیر بارش با استفاده از تصاویر مادون قرمز توسعه یافته است و به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود [۴۸]:

$$R = a_1 CCD + a_0 \quad (2-14)$$

$$R = 0 \text{ when } CCD = 0 \quad (2-15)$$

که در آن R بارش محتمل (میلیمتر)، CCD مدت زمان سردی ابرها در آستانه های مختلف، a_0 a_1 مقادیر ثابتی هستند که از مقایسه تصویر CCD با داده های باران سنج ها به دست می آید. این الگوریتم برای برآورد بارش از ماهواره MSG در منطقه آفریقا از سوی دانشگاه ریدینگ توسعه یافته

³²Root Mean Square Deviation

³³Tropical Application Of Meteorological Satellite

است و بر این فرضیه استوار است که ابرهای همرفتی منبع بارش می باشند، به گونه ای که مقدار بارش مستقیماً به دمای قسمت بالایی ابرهای همرفتی بستگی دارد.

۲-۲-۱-۱۴- شاخص برآوردگر خودکار^{۳۴}

این شاخص را ویسنته و همکاران ارائه نمودند. آن ها با استفاده از ترکیب داده های حاصل از محدوده باند ۱۱ میکرو متری مادون قرمز ماهواره GOES و داده های تولید شده توسط شبکه راداری آمریکا، امکان پیش بینی سریع سیلاب از طریق مدلسازی رقومی مقادیر بارش را فراهم کردند. در این روش، با ایجاد مدل های رگرسیونی بین دمای قسمت فوقانی ابر ها و بارش های برآورد شده از طریق رادارهای زمینی تخمین های مورد نظر صورت می گیرد که به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود [۵۱]:

$$Z = 300R^{\frac{1}{4}} \quad (۱۶-۲)$$

$$R = 1/1183 \times 10^{11} \times \exp(-3/6382 \times T^{\frac{1}{2}} \times 10^{-2} \times T^{\frac{1}{2}}) \quad (۱۷-۲)$$

که در آن Z بارش به دست آمده از رادار، R بارش به دست آمده از تصاویر مادون قرمز (میلیمتر در ساعت) و T دمای درخشندگی سطح بالای ابر بر حسب کلوین است. الگوریتم برآورد خودکار برای بازیابی بارش از تصاویر ماهواره ای NOAA و NESDIS^{۳۵} به منظور پیش بینی سیلاب، مدلسازی رقومی و کاربردهای هیدرولوژیکی توسعه یافته است.

۲-۲-۲- برآورد بارش از طریق تکنیک های مبتنی بر داده های مایکروویو غیر فعال

در طیف های مرئی و مادون قرمز، ابرها به صورت تیره بوده و بارش از ساختار قسمت فوقانی ابرها استخراج می شود. در فرکانس های مایکروویو، اجزاء بارش منبع اصلی تضعیف تابش اند. بنابراین، تکنیک های مبتنی بر مایکروویو غیر فعال بیشتر از تکنیک های مبتنی بر مرئی و مادون قرمز بارش را به صورت مستقیم اندازه گیری می کنند. تکنیک های مایکروویو غیر فعال بر این اصل استوارند که

³⁴ Auto-estimator

³⁵ National Environmental Satellite Data and Information Service

تابش گسیل شده از پدیده های هواشناختی متأثر می‌شوند، بدین صورت که تشعشع سبب افزایش تابش، جذب و پخش باعث کاهش انرژی می‌شود. نوع و اندازه پدیده های هواشناختی به فرکانس تابش دریافت شده بستگی دارد. در فرکانس های بالاتر از ۶۰ گیگا هرتز پخش یخ مسلط بوده و باران و سایر پدیده های جوی قابل شناسایی نیستند. فرکانس های کمتر از ۲۲ گیگا هرتز پدیده جذب امواج تابشی را تحت تأثیر قرار می دهد. فرکانس های بین ۸/۵ و ۱۹/۳ گیگا هرتز بهترین محدوده اخذ تصاویر میکروویو غیر فعال بوده و در این محدوده امواج با پدیده های هواشناختی (باران، برف و تگرگ و غیره) بر هم کنش خوبی دارند. از معایب تکنیک های مبتنی بر میکروویو غیر فعال می توان به قدرت تفکیک زمانی و مکانی پایین، پوشش مکانی اندک در مناطق دوردست و اقیانوس ها، تخصص طلبی و هزینه زیاد آن به خصوص در کشورهای جهان سوم اشاره کرد. برخی از شاخص های مورد استفاده برای برآورد بارش از طریق داده های میکروویو غیر فعال بصورت زیر ارائه می شوند.

۲-۲-۱- شاخص آمونی

این شاخص را آمونی ارائه کرد و با استفاده از داده های ماهواره Cloudsat و نسل دوم ماهواره METEOSAT مقادیر بارش را برآورد می نماید. رابطه مورد استفاده آن عبارت است از [۴۹]:

$$R = -0/13431 + (-0/05895IWC) + (0/46235 IWC) + (0/02004) \quad (۱۸-۲)$$

$$IWC = P_i \frac{\pi}{6} n_{\gamma}(D) D^3 dh \quad (۱۹-۲)$$

$$IWP = \int_{Z_{base}}^{Z_{top}} IWC(Z) dZ \quad (۲۰-۲)$$

$$RE = \frac{1}{2} \times \frac{\int_0^{\infty} n_{\gamma}(D) D^3 dD}{\int_0^{\infty} n_{\gamma}(D) D^3 dD} \quad (۲۱-۲)$$

که در آن R بارش به دست آمده از رادار (میلیمتر در ساعت)، ^{۳۶}IWC محتوای یخ، IWP ^{۳۷}مسیر یخ آب، RE شعاع مؤثر، D قطر یخ، Z بازتاب پذیری راداری و ^{۳۸}P_i چگال یخ است.

³⁶ Ice Water Content

دست می آید. هدف اصلی از این کار عملکرد بهتر سنجنده های مایکروویو است که به طور پیوسته از مکان مشخصی عبور می کنند.

۲-۳- پیشینه مطالعات در ایران

مباشری و همکاران با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و داده های رادیو ساوند، بارش کلی برای ناحیه تهران را برآورد کردند. آن ها دریافتند آب قابل بارش استخراج شده با به کارگیری الگوریتم باند مادون قرمز نزدیک سنجنده مودیس از ترکیب باندهای ۱۸ و ۲ و همچنین ۱۹ و ۲ با ضریب همبستگی ۰/۸۴ و ۰/۷۱ با آب قابل بارش محاسبه شده از داده های رادیو ساوند همخوانی دارند [۵۲]. بارانی زاده عملکرد الگوریتم ماهواره ای PERSIANN را در ایران ارزیابی و صحت سنجی کرد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که الگوریتم PERSIANN متأثر از فصل می باشد. بدین صورت که در فصل پاییز و بهار بیشترین همبستگی مکانی و در نتیجه بیشترین تطابق را با داده های زمینی دارد و به خوبی الگوی بارش حاکم بر فصل پاییز را شناسایی می کند اما مقادیر بارش را در این فصل کمتر از مشاهدات داده های زمینی برآورد می کند و در فصل بهار در بیشتر نقاط کشور عملکردی بالا برآورد دارد [۵۳]. زینالزاده پارچلو با استفاده از داده های بیش از ۲۰۰ ایستگاه هواشناسی (سینوپتیک و باران سنجی) از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ میلادی برای حوضه دریاچه ارومیه داده های PERSIANN را مورد ارزیابی قرار داد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که خطای مدل بالا می باشد. تعداد پیش بینی های صحیح وقوع و عدم وقوع بارندگی کم می باشد و همچنین در اکثر موارد مقدار بارندگی توسط مدل کمتر از مقدار اتفاق افتاده پیش بینی شده است. در ارزیابی نتایج در فصول مختلف به این نتیجه رسیده شد که الگوریتم PERSIANN متأثر از فصل می باشد [۵۴]. عبداللهی و همکاران آب قابل بارش در لایه نزدیک سطح زمین را با استفاده از تولیدات سنجنده مودیس برآورد نمودند. نتایج ارزیابی تولیدات ماهواره ای آب قابل بارش با داده های ایستگاه رطوبت نسبی، حاکی از همبستگی ۵۸ تا ۷۲ درصدی این داده ها در کلیه ایستگاه های

همدیدی استان گیلان می‌باشد. همچنین تصاویر ماهواره ای به خوبی تغییرات بخار آب موجود در جو را قبل و بعد از زمان بارش بازگو می‌کنند [۵۵]. قرائبگی و همکاران تولیدات ۱۵ دقیقه ای بارش از رادار هواشناسی داپلر و تولیدات ۳ ساعته بارندگی ماهواره TRMM^{۴۰} را در دو روز متوالی با یک رویداد بارندگی مورد مطالعه مورد بررسی قرار دارند. نتایج این پژوهش همبستگی بالای ۰/۹ را بین این دو سری داده نشان می‌دهد. همچنین میزان انطباق داده های رادار و ماهواره ای نیز به صورت زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد از نظر توزیع زمانی و مکانی بین این دو سری داده همبستگی ۰/۷ وجود دارد. با توجه به همبستگی بالای داده های رادار و بارش، الگوی مکانی بارش با استفاده از تصاویر ماهواره TRMM و رادار دارای انطباق قابل قبولی است [۵۶]. اکبری قلعه به مقایسه آماری محصول بارش 3B42 ماهواره TRMM و داده های روزانه، ماهانه و فصلی ایستگاه سینوپتیک و باران سنجی به منظور بررسی تغییرات بارش در خراسان رضوی پرداخت. نتایج حاصل، بیانگر هم خوانی بالای داده های ماهانه و فصلی بارش ماهواره با داده های زمینی بودند و از طرفی داده های ماهواره ای قادر به تخمین مقادیر بارش زمینی بودند، ولی داده های روزانه بارش ماهواره با داده های زمینی همخوانی بسیار پایینی نشان دادند [۵۷]. کاظم پور میزان دقت پیش بینی داده های بارش ماهواره TRMM در ایستگاه های سینوپتیک ایران و کالیبراسیون آن ها در مقیاس روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه را مورد بررسی قرار داد. نتایج این بررسی نشان داد که ماهواره TRMM مقادیر بارندگی را در ۶۸ درصد ایستگاه های سینوپتیک انتخابی بیش از مقادیر مشاهده ای برآورد می‌کند، همچنین داده های ماهواره TRMM توزیع مشابهی با الگوی به دست آمده از داده های زمینی دارد. این ماهواره مقادیر بارندگی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه را در ایستگاه های مناطق مرطوب با بیشترین خطا و در ایستگاه های مناطق خشک با کمترین خطا برآورد می‌کند [۵۸]. ساریخان بیگلو از داده های زمینی و تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس برای توزیع مکانی بارش های رعد و برقی استان اردبیل استفاده کرد. برای این منظور، از داده های باندهای ۱۷ و ۱۸

⁴⁰ Tropical Rainfall Measuring Mission

سنجنده مودیس استفاده شد و نتایج حاصل از تحلیل داده های زمینی و تصاویر ماهواره ای بیانگر این واقعیت است که بارش های رعد و برقی مستخرج از تصاویر ماهواره ای به مراتب دقیق تر از داده های حاصل از برداشت های زمینی می باشند. همچنین با بهره گیری از تصاویر سنجنده مودیس، امکان نظارت و پهنه بندی به هنگام بارش های رعد و برقی در استان اردبیل بطور کامل مهیا می باشد [۵۹]. باقری با استفاده از علم سنجش از دور و داده های سنجنده مودیس، ارتباط بین دمای بالای ابر و مقادیر بارش را مورد بررسی قرار داد و نقشه های هم باران را تولید نمود. نتایج مطالعات او حاکی از آن است که ارتباط معناداری بین دمای بالای ابر و مقادیر بارش مشاهده شده وجود دارد اما نمی توان از مقادیر بارش برای پیش بینی آن استفاده کرد. علت این امر عدم امکان انتخاب معادله مناسب از بین معادلات متعدد موجود است. اما در تولید نقشه های هم باران توسط تصاویر دمای بالای ابر، این فناوری از قابلیت بیشتری نسبت به روش های متداول مانند درون یابی برخوردار است و نتایج منطقی تر و دقیق تر است [۶۰]. محامدیان فرد به منظور بررسی امکان پیش بینی بارش، رابطه بین مشخصات فیزیکی ابر حاصل از تصاویر سنجنده مودیس با محصول بارش ماهواره TRMM را در بخشی از فلات مرکزی ایران مورد بررسی قرار داد. برآورد بارش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مشخصات فیزیکی ابرها برای رویداد بارش مورد مطالعه انجام گرفت که نتایج حاصل از آن دارای همبستگی بالا در بخش آزمون شبکه ی عصبی مصنوعی می باشد [۶۱].

۴-۲- پیشینه مطالعات در سایر نقاط جهان

پتی به مطالعه بر روی روش های تخمین بارش ماهواره ای پرداخت. نتایج بررسی های او نشان داد که با توجه به رابطه غیر مستقیم بین مشاهدات بالای ابر و و بارش سطح، تکنیک های تخمین بارش ماهواره ای مرئی و مادون قرمز برای پیش بینی بارش در مقیاس آب و هوایی کارایی قابل قبولی دارند [۶۲]. وایلی با کمک داده های ماهواره مدار ثابت GOES-E به تخمین بارش در منطقه مونترال کانادا که شرایط آب و هوایی مختلف را در بر می گیرد پرداخت. مطالعات و بررسی های او این نظریه

را به اثبات رساندند که روش های تخمین بارش در آینده، تصاویر ماهواره ای و داده های فضا پژوهی را با مدل ابر ترکیب می کنند و یک تکنیک کاربردی برای مناطق جغرافیایی مختلف با شرایط آب و هوایی گوناگون پدید می آورند [۶۳]. اسکوفیلد و همکاران از طریق پردازش تصاویر ماهواره های هواشناسی مدار ثابت و با استفاده از توابع محاسبه گر اتوماتیک Scofields و GMSRA^{۴۱} به تخمین مقادیر بارش پرداختند. از اصلی ترین مزیت های روش های فوق الذکر می توان به پوشش وسیع، به هنگام بودن، مدل دقیق توزیع بارش در محدوده های دور افتاده و پهنه های آبی و ثابت بودن روش تخمین اشاره کرد. اما باید محدودیت هایی نظیر لحاظ نمودن ویژگی های بخش فوقانی ابرها به جای سنجش مستقیم بارش، عدم تفکیک ابرهای سیروس از ابرهای باران زا و دشواری محاسبه دقیق مقادیر باران از ابرهای با درجه حرارت بالا را در نظر گرفت [۶۴]. آرکین با کمک روش GPI و با پردازش تصاویر ماهواره زمین آهنگ، آستانه دریافت بارش بیش از ۳ میلیمتر بر ساعت را مشروط به وجود حد دمای هر پیکسل با بیش از ۲۳۵ درجه کلوین دانست. مدل مذکور در محدوده های وسیع، به ویژه بارش های ماهانه ناشی از فعالیت های تندری مطابقت بهتری داشت [۶۵]. تسونیز و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره GOES، روشی را برای تعیین ناحیه بارش در عرض های جغرافیایی ارائه دادند. با استفاده از داده های ماهواره GOES و داده های رادار، یک تحلیل خوشه ای ساده برای تمایز بین ابر های باران زا و ابر های فاقد باران انجام شد. تحقیقات آنان نشان می دهد که میانگین احتمال شناسایی منطقه بارش در حدود ۶۶ در صد و میانگین خطا در حدود ۳۷ در صد است [۶۶]. تسونیز به بررسی شدت بارش و نوع آن با استفاده از تصاویر ماهواره GOES پرداخت. او به این نتیجه رسید که با به کارگیری تکنیک های تطبیق الگو می توان نسبت به پیش بینی مناطق دارای بارش اقدام کرد و بارش های این مناطق را به بارش های سبک و سنگین تقسیم بندی کرد. از سوی دیگر مناطق دارای بارش های همرفتی از مناطق با بارش های غیر همرفتی قابل تفکیک خواهند بود [۶۷]. آرکین و همکاران به تخمین بارش در مقیاس آب و هوایی پرداختند.

⁴¹ GOES Multispectral Rainfall Algorithm

آن‌ها روش‌های غیر مستقیم را که بر اساس مشاهدات داده‌های مادون قرمز و مرئی از مشخصات ابرها می‌باشند و همچنین روش‌های مستقیم مانند مشاهدات مایکروویو را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند [۶۸]. آدلر و همکاران مقادیر بارش ماهانه در ژاپن را از طریق ترکیب داده‌های مادون قرمز و مایکروویو پیش‌بینی نمودند. نتایج مطالعات آنان نشان می‌دهد در مناطقی که روش مایکروویو عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد مقادیر بایاس به طور نسبی کوچک است، از سویی دیگر تخمین‌های بارش ماهانه مایکروویو و مادون قرمز ترکیبی نتایج بهتری نسبت به روش‌های مادون قرمز و مایکروویو به صورت منفرد و جداگانه دارند [۶۹]. چنگ و همکاران مناطق دارای بارش را با استفاده از همبستگی داده‌های مرئی و مادون قرمز ماهواره MeteoSAT و داده‌های رادار در بریتانیا بررسی کردند [۷۰]. آرکین و یانوویاک با استفاده از تکنیک GPI به تخمین بارش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این تکنیک برای بارش‌های گسترده نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد [۷۱]. تاد و همکاران مقادیر بارش روزانه را در حوضه بالادست رودخانه نیل با استفاده از روش مادون قرمز ماهواره زمین ثابت MeteoSAT برآورد کردند. برای این منظور آن‌ها از تکنیک CCB4 استفاده کردند. CCB4 یک روش تخمین بارش ماهواره‌ای زمین ثابت مادون قرمز می‌باشد که به طور پیوسته کالیبره می‌شود. CCB4 داده‌های باران سنجی نزدیک به زمان واقعی را به صورت پیوسته برای آستانه‌های بارش و عدم بارش مادون قرمز در گام زمانی روزانه بهینه می‌کند. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که تکنیک CCB4 شناسایی روزهای بارش و تخمین مقادیر بارش روزانه را در محدوده مقیاس‌های مکانی، از منطقه‌ای تا مقیاس‌های پیکسلی بهبود بخشیده است [۷۲]. تایپادور با استفاده از داده‌های مادون قرمز ماهواره‌های GOES و MeteoSAT روش جدیدی را برای تخمین مقادیر بارش ارائه داد. کارایی عمده این روش تخمین مستقیم مقادیر بارش به کمک ماهواره‌های مدار ثابت می‌باشد. مطالعات او منجر به مدل سازی تابع توزیع احتمالی مقادیر بارش با کمک روش عدم قطعیت حداکثر برای استفاده از تکنیک تطبیق هیستوگرام در تصاویر مادون قرمز ماهواره‌ای شد [۷۳]. سروشیان و همکاران مقادیر بارندگی را با کمک داده‌های مادون قرمز و با استفاده از شبکه‌ی عصبی

مصنوعی (ANN) پیش بینی نمودند. نتایج تحقیقات آنان منجر به توسعه الگوریتم PERSIAN^{۴۲} شد. الگوریتم PERSIANN یک سیستم خودکار برای پیش بینی بارش سنجش از دوری با استفاده از شبکه ی عصبی مصنوعی (ANN) می باشد. الگوریتم PERSIANN در یک تفکیک پذیری مکانی با طول جغرافیایی ۰/۲۵ درجه و عرض جغرافیایی ۰/۲۵ درجه و با استفاده از تصاویر مادون قرمز طول موج بلند ماهواره زمین آهنگ، در تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه مقادیر بارش را پیش بینی می نماید [۷۴]. لویزانی و همکاران با استفاده از روش های مادون قرمز و مرئی، به تخمین مقادیر بارش پرداختند. آن ها به این نتیجه دست یافتند که در تمامی این روش ها بین دمای سطح بالایی ابر و میزان بارندگی، ارتباط وجود دارد [۷۵]. تورک و همکاران برآورد بارش از ترکیب داده های ماهواره های زمین ثابت و سنجنده های TRMM و SSMI^{۴۳} را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحلیل ها و بررسی های آنان نشان می دهد که ترکیب باند های مختلف از سنجنده های مختلف نه تنها ضعف های موجود در سنجنده های فعال و مادون قرمز را برطرف می نماید، بلکه امتیازات آن ها را در روند برآورد دقیق خصوصیات بارش افزایش می دهد [۷۶]. ییلماز و همکاران همبستگی میان مقادیر بارش به دست آمده از طریق شبکه باران سنج ها و رادار و مقادیر بارش تخمین زده شده ماهواره ای با استفاده از الگوریتم PERSIANN را در جنوب شرقی ایالات متحده و در ۷ حوضه با ابعاد مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی ها نشان می دهد، عملکرد کلی مدل شبیه سازی شده با استفاده از الگوریتم PERSIANN به ابعاد حوضه ها و بایاس پیش بینی های بارش بستگی دارد، به گونه ای که عملکرد بهتر در حوضه های بزرگ تر و عملکرد ضعیف تر در حوضه های کوچک تر اتفاق می افتد، از سوی دیگر کالیبراسیون پارامتر ها عملکرد مدل را به طور قابل ملاحظه ای بهبود می بخشد [۷۷]. جویسی و همکاران بارش های صورت گرفته در استرالیا را با استفاده از داده های ماهواره NOAA و روش CMORPH^{۴۴} پیش بینی نمودند. CMORPH روشی است که

⁴² Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

⁴³ Special Sensor Microwave Imager

⁴⁴ Climate Prediction Center morphing method

با استفاده از بردار های حرکت بدست آمده از تصاویر مادون قرمز ماهواره در فواصل زمانی نیم ۳۰ دقیقه به برآورد بارش از داده های میکروویو غیر فعال می پردازد. CMROPH تخمین خوبی از بارش در این مناطق ارائه می دهد و پیشرفت های قابل توجهی در هر دو قسمت تخمین میکروویو و ترکیب اطلاعات میکروویو و مادون قرمز داشته است [۷۸]. یانویاک و همکاران مقادیر بارش را در ایالات متحده با استفاده از داده های ماهواره ای و رادار و مدل عددی اعتبار سنجی نمودند. آن ها به این نتیجه دست یافتند که مقادیر تخمین زده شده بارش ماهواره ای در فصول گرم تقریباً به اندازه تخمین های رادار دقیق است، از سوی دیگر در فصول سرد مدل عددی پیش بینی بهتری را نسبت به محصولات ماهواره ای ارائه می دهد. تخمین های بارش سنجش از دوری که رادار را نیز در بر می گیرد، در فصول گرم به علت تبخیر بارش قبل از رسیدن به سطح، بایاس مثبت قابل ملاحظه ای را در مناطق نیمه خشک از خود نشان می دهند [۷۹]. کاپچی و همکاران با استفاده از داده های مرئی و مادون قرمز ماهواره قطبی خورشید آهنگ Terra و سنجنده MODIS و بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی ANN، بارش را در بریتانیا برآورد نمودند. تحقیقات آن ها نشان می دهد، داده های مرئی و مادون قرمز حرارتی در ترکیب با یکدیگر نتایج بهتری را نسبت به داده های مادون قرمز حرارتی بصورت منفرد ارائه می دهند [۸۰]. ژو و همکاران فراوانی و شدت بارش های موسمی فصل تابستان را در کشور چین، با استفاده از محصول بارش 3B42 ماهواره TRMM، الگوریتم PERSIANN و مقادیر بارش ثبت شده توسط باران سنج ها مورد بررسی قرار دادند. فراوانی و شدت بارش های مختلف منجر به تنوع روزانه مقادیر بارش در اکثر حوضه های شرق چین می شود. تخمین های محصول بارش 3B42 نسبت به الگوریتم PERSIANN از نقطه نظر همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا شباهت بیشتری به مشاهدات ثبت شده توسط باران سنج ها دارند. محصولات ماهواره ای، فراوانی بارش را بیشتر از مقدار واقعی و شدت آن را کمتر از مقدار واقعی تخمین می زنند [۸۱].

بهرنگی و همکاران با استفاده از تصاویر مرئی و مادون قرمز ماهواره GOES-R و الگوریتم PERSIANN به پیش بینی مقادیر بارش پرداختند. ماهواره GOES-R در مقایسه با ماهواره

GOES باند های طیفی را در دامنه های بزرگ تر و مشاهدات بارش را با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بیشتر در اختیار کاربران قرار می دهد. نتایج تحقیقات آنان حاکی از آن است که استفاده از داده های چند طیفی در مقایسه با داده های مادون قرمز حرارتی منفرد قابلیت تشخیص بارش و تخمین مقادیر آن را بیش از ۵۰ درصد و ضریب همبستگی مقادیر بارش را بیش از ۲۰ درصد ارتقاء می دهد [۸۲].

۲-۵- جمع بندی

با بررسی سوابق مطالعاتی در زمینه های پیش بینی و برآورد بارش، استفاده از روش های مختلف پیش بینی بارش سنجش از دوری و استفاده از داده های ماهواره های زمین آهنگ و قطبی خورشیدآهنگ در حوزه ها و ایستگاه های با شرائط متفاوت در ایران و سایر نقاط جهان می توان مشاهده نمود که استفاده از ترکیب داده های مرئی و مادون قرمز و روش شبکه عصبی مصنوعی بیشترین استفاده را به خود اختصاص داده اند. بارش های شبیه سازی شده از طریق داده های باندهای ۱۷، ۱۸ و ۱۹ مادون قرمز طیف الکترو مغناطیس سنجنده مودیس و روش شبکه عصبی مصنوعی بیشترین شباهت و همبستگی را با بارش های مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی دارا می باشند. در یک جمع بندی کلی می توان نتیجه گرفت که در سال های آتی، پیش بینی و اندازه گیری دقیق بارش جهت برنامه ریزی و مدیریت منابع آب، برآورد نیاز آبی و تخصیص و توزیع مناسب آب کشاورزی، پروژه های عمرانی، پیش بینی سیل و خشکسالی و پیش گیری از خسارات و تلفات ناشی از آن ها اجتناب ناپذیر بوده و با توجه به مشکلات ناشی از روش های سنتی اندازه گیری بارش، استفاده از داده های سنجش از دوری و ماهواره ای و ارائه الگوریتمی کارآمد جهت پیش بینی بارندگی امری ضروری محسوب می شود.

فصل سوم

منطقه مورد مطالعه و داده ها

۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه که شامل شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان می باشد می پردازیم. سپس درباره داده های مورد استفاده در این پژوهش توضیحاتی ارائه می شود. در نهایت داده های سنجنده مودیس معرفی می گردند.

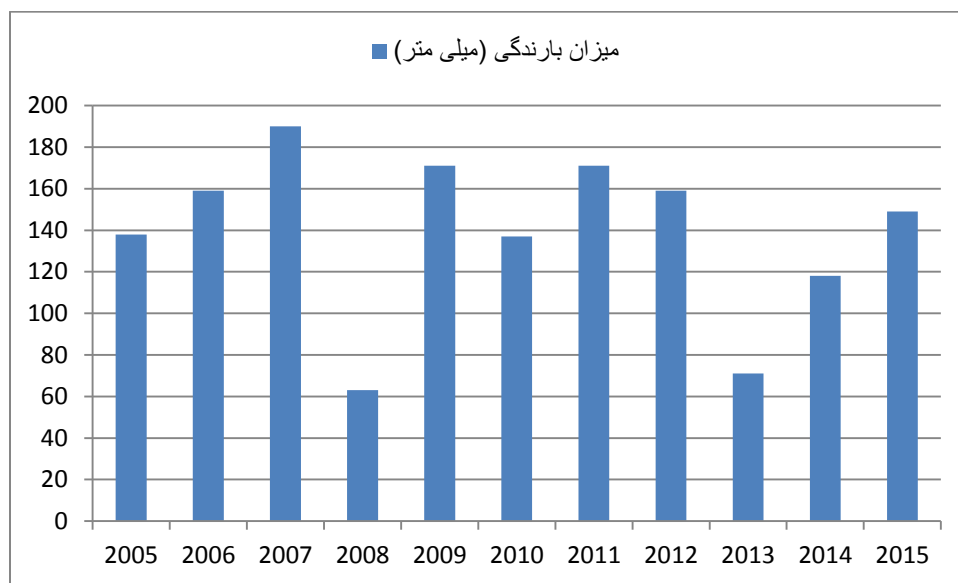
۳-۲- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان به عنوان منطقه مطالعاتی برگزیده شده اند. لذا موقعیت مکانی و ویژگی های آب و هوایی و اقلیمی شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان را به صورت جداگانه تشریح می کنیم.

۳-۲-۱- شهر شاهرود

شهرستان شاهرود با مساحتی بالغ بر ۴۳۴۰۵ کیلومتر مربع در دامنه جنوبی رشته کوه البرز و در استان سمنان قرار دارد. این شهر از نظر موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط شهر شاهرود از سطح دریا ۱۳۴۹ متر است. از نظر مساحت، این شهرستان با دارا بودن ۴۴/۵۲ درصد از مساحت کل استان در رتبه نخست شهرستان های استان قرار دارد. دمای کمینه مطلق و دمای بیشینه مطلق در ایستگاه سینوپتیک شاهرود طی یک دوره آماری به ترتیب ۱۳/۶- و ۴۰/۸ درجه سلسیوس و میانگین دمای سالانه ۱۵/۳۴ درجه سلسیوس به ثبت رسیده است. طبق بررسی های انجام شده متوسط رطوبت نسبی در شهرستان شاهرود ۴۸/۲۸ درصد و میانگین بارندگی سالانه ۱۵۳/۱ میلیمتر است. شکل ۱-۳، وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک شاهرود را در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۵-۲۰۰۵) نشان می دهد. در شهرستان شاهرود و در طول سال به طور متوسط ۲۰۸/۸ روز هوا آفتابی، ۱۰۸ روز نیمه ابری و ۴۸/۲ روز ابری می باشد. مجموع ساعات آفتابی ۳۰۳۳/۴ ساعت در سال می باشد. میانگین سالانه تبخیر از طشتک تبخیر ۱۹۸۶/۴ میلیمتر می باشد که ۱۲/۹۷ برابر میانگین

بارندگی سالانه است. میانگین سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل شهرستان شاهرود ۴۱/۸۰ میلیمتر است. میانگین سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک شاهرود ۱/۶ متر بر ثانیه و جهت غالب آن شمال شرقی می‌باشد. قابل ذکر است اقلیم شمال و جنوب شهرستان شاهرود با هم متفاوت می‌باشند، به طوری که بخش شمال شهرستان شاهرود دارای آب و هوای نیمه خشک تا مرطوب و بخش جنوبی آن که قسمت اعظم شهرستان را شامل می‌شود دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد.

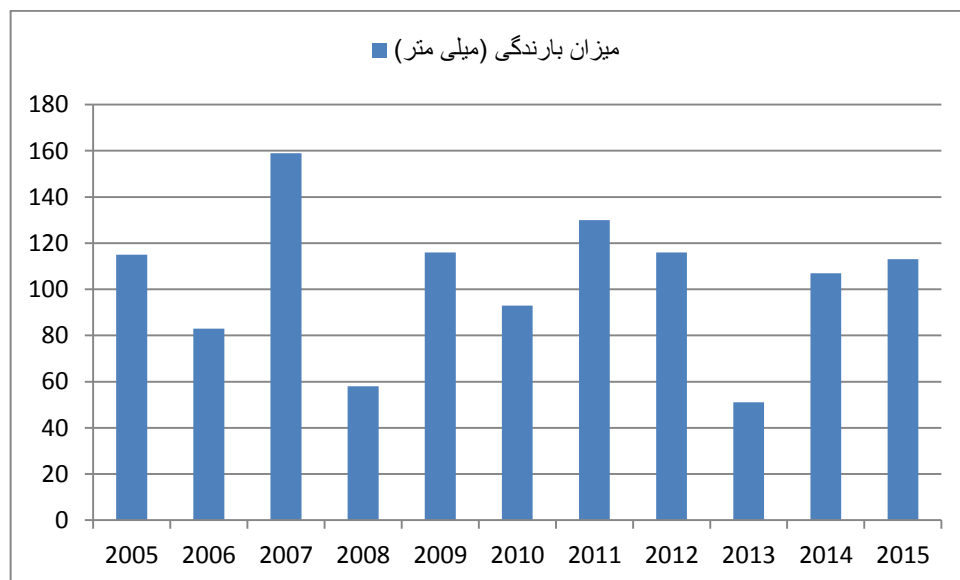


شکل (۱-۳) وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک شاهرود در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۵)

۳-۲-۲- شهر دامغان

دامغان از شهرستان های استان سمنان بوده و نام آن در گذشته ده مغان و صد دروازه بوده است. شهر دامغان در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۹ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۱۵۴/۴ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین سالانه دمای دامغان ۱۶/۳ درجه سلسیوس است. میانگین بارندگی سالانه شهر دامغان ۱۲۱/۱ میلیمتر می‌باشد که از این لحاظ رتبه آخر را در بین ایستگاه های سینوپتیک مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. شکل ۳-۲، وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک دامغان را در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۵) نشان می‌دهد. میانگین حداکثر دمای ایستگاه مورد مطالعه در گرمترین ماه سال ۳۵/۵ درجه

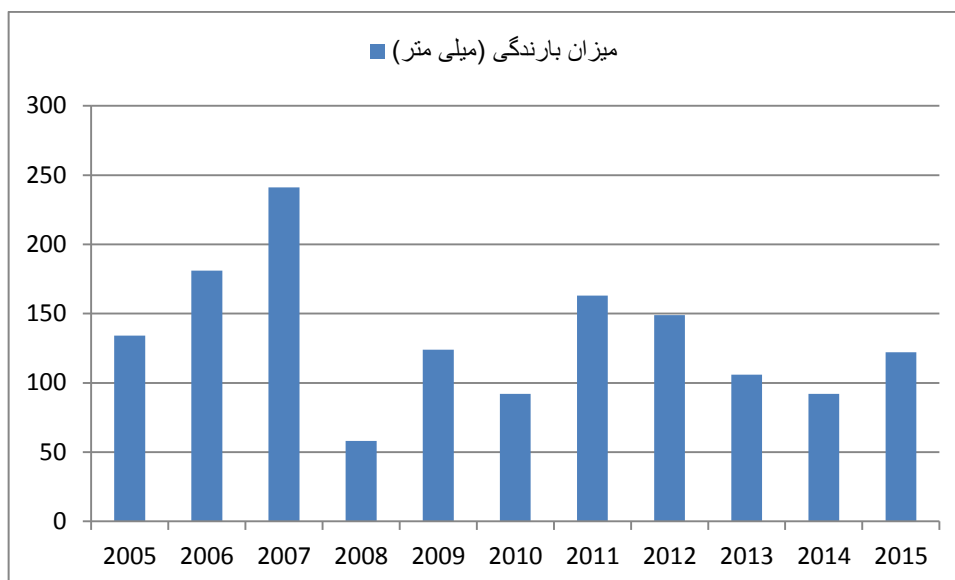
سلسیوس و میانگین حداقل دمای سردترین ماه سال به $2/4^{\circ}\text{C}$ - درجه سلسیوس می رسد. حداکثر مطلق دما در طول دوره آماری 43°C درجه سلسیوس و حداقل مطلق دما 12°C - درجه سلسیوس می باشد. بررسی میانگین ماهانه تعداد روزهای یخبندان ایستگاه سینوپتیک دامغان نشان می دهد که ایستگاه مذکور بطور متوسط ۶۶ روز از سال با پدیده یخبندان مواجه است. طبق بررسی های انجام شده رطوبت نسبی در شهر دامغان $45/9\%$ درصد می باشد. در شهرستان دامغان به طور متوسط $228/3$ روز هوا صاف، $99/4$ روز نیمه ابری و $28/3$ روز کاملاً ابری می باشد. میزان میانگین سالانه تبخیر در شهرستان دامغان $2516/4$ میلیمتر می باشد که $20/6$ برابر میانگین بارندگی سالانه شهرستان است. میانگین سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه مذکور $50/42$ میلیمتر می باشد. میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک شهرستان دامغان ۲ متر بر ثانیه و جهت آن شمال غربی می باشد. همچنین ۴۰ درصد از بادهای ثبت شده آرام می باشند. با توجه به آمارهای فوق چنین استنباط می شود که خشک ترین شهرستان استان از لحاظ رطوبتی و بارش شهرستان دامغان می باشد که این امر باعث گردیده منطقه مذکور به عنوان ناحیه ای خشک محسوب گردد.



شکل (۳-۲) وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک دامغان در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۵)

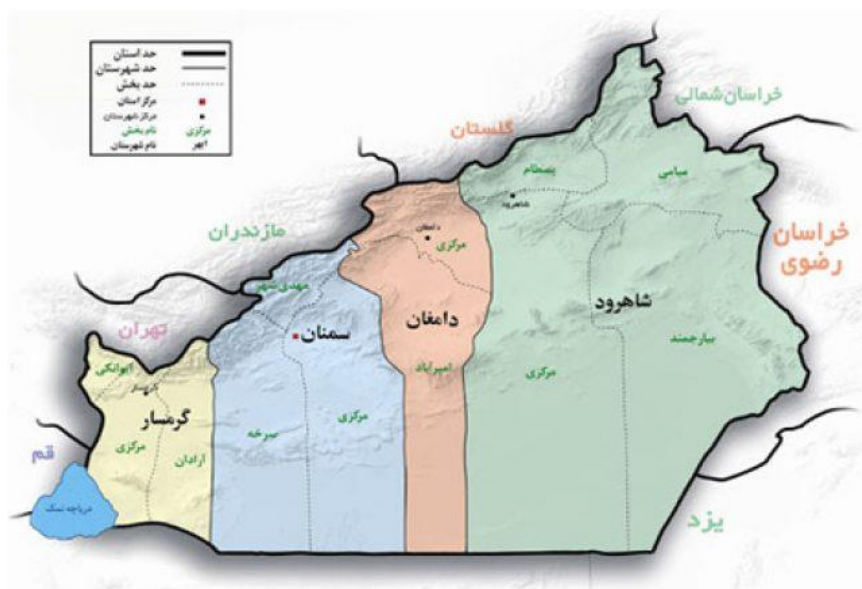
۳-۲-۳- شهر سمنان

شهر سمنان مرکز استان سمنان و پر جمعیت ترین شهر این استان می باشد. شهر سمنان در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی واقع شده است و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۱۳۰ متر است. کوه های البرز در شمال سمنان با ارتفاع متوسط ۳۲۰۰ متر شهرستان سمنان را از استان مازندران جدا کرده است. میانگین سالانه دمای هوای سمنان ۱۸/۴ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه در آن ۱۳۱/۷ میلیمتر می باشد. شکل ۳-۳، وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک سمنان را در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۵-۲۰۰۵) نشان می دهد. حداکثر مطلق دما در طول دوره آماری ۴۴ درجه سلسیوس، حداقل مطلق دما ۱۲/۶- درجه سلسیوس و میانگین دمای نقطه شبنم در شهر سمنان ۲/۶ درجه سلسیوس می باشد. بر اساس آمار موجود، سمنان گرم ترین شهر استان به شمار می رود. در شهرستان سمنان بطور متوسط ۲۱۸ روز هوا آفتابی، ۱۰۹ روز نیمه ابری، ۳۸ روز ابری و میانگین ساعات آفتابی در شبانه روز ۸/۳ ساعت است. همچنین متوسط تعداد روزهای یخبندان در طول سال ۴۸ روز می باشد. طبق بررسی های انجام شده میانگین تبخیر روزانه ۹/۱ میلیمتر و میانگین رطوبت نسبی ۳۹/۸ می باشد. میانگین سرعت وزش باد ۵/۴ کیلومتر در ساعت به ثبت رسیده است و بادهای کویری و غربی به شدت بر اقلیم آن تأثیر می گذارند. آب و هوای سمنان خشک و معتدل است، به طوری که تابستان های آن گرم و زمستان های آن نسبتاً سرد می باشد.



شکل (۳-۳) وضعیت بارندگی سالیانه ایستگاه سینوپتیک سمنان در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۵)

در شکل ۳-۴ موقعیت استان سمنان در ایران و موقعیت شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان در استان سمنان نشان داده شده است.



شکل (۳-۴) موقعیت استان سمنان در ایران و موقعیت شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان در استان سمنان

۳-۳- داده های مورد استفاده

در شبیه سازی مقادیر بارش بکار رفته در این پایان نامه که با استفاده از روش داده محور شبکه عصبی مصنوعی (ANN^{45}) انجام می شود، از داده های استخراج شده از پردازش تصاویر سنجنده مودیس به عنوان داده های ورودی به مدل و از داده های بارش مشاهداتی به عنوان داده های هدف استفاده شده است. داده های حاصل از پردازش تصاویر سنجنده مودیس شامل مقادیر بازتاب (Reflectance) باندهای ۱ الی ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶، گسیلمندی (Emissivity) باند های حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی (BT^{46}) باندهای مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده ($NDVI^{47}$) می باشند. داده های مشاهداتی، مقادیر بارش ۶ ساعته برای دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵ می باشند که از ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی شاهرود، دامغان و سمنان اخذ گردیده است. برای بکار گیری روش ذکر شده از کدهای نوشته شده در محیط نرم افزار MATLAB استفاده می شود. این کد ها تقریباً همانند کدهایی هستند که در قسمت Toolbox نرم افزار MATLAB وجود دارند، اما برای استفاده بهتر و بدست آوردن نتایج صحیح، قسمتی از آن به صورت دستی تغییر داده شده است. در این پژوهش ۷۰ درصد داده ها به قسمت آموزش، ۱۵ درصد به قسمت اعتبارسنجی و ۱۵ درصد به قسمت تست اختصاص یافته است. پس از نوشتن کد ها و درصد دهی به هر قسمت، داده های ورودی (داده های حاصل از تحلیل و پردازش سنجنده مودیس) و داده های هدف (بارش مشاهداتی) به مدل وارد می شوند. نتایج به دست آمده از مدل ها، داده های شبیه سازی شده مقادیر بارش هستند. مدلی که نتایج آن دارای بهترین عملکرد باشند به عنوان مدل بهینه انتخاب می شود.

⁴⁵ Artificial Neural Network

⁴⁶ Brightness Temperature

⁴⁷ Normalized Difference Vegetation Index

۳-۵- داده های سنجنده مودیس (MODIS)

سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا^{۴۸}، برای مشاهده و اندازه‌گیری حرکات و تغییرات جهانی، سنجنده های ماهواره ای پیشرفته ای را طراحی، توسعه و پرتاب نموده است. سنجنده (Sensor) را می‌توان دستگاهی دانست که انرژی الکترومغناطیس را دریافت کرده، انرژی دریافتی را پس از اعمال یک سری تبدیلات به صورت قابل بازیافت (به صورت عددی و آنالوگ) ذخیره می‌نماید [۸۳]. با شناخت دقیق خصوصیات سنجنده ها، می‌توان به راحتی تصمیم گرفت که کدام سنجنده داده های مناسب تری برای هدف مورد نظر ما تولید می‌کند [۸۴]. سنجنده مودیس بر روی ماهواره های Aqua و Terra نصب شده است. مدار Terra به دور زمین در هنگام صبح، از شمال به جنوب و مدار Aqua در بعد از ظهر، از جنوب به شمال در طول خط استوا قرار دارد. این سنجنده در پاسخ به نیاز محققان رشته های مختلف در تهیه تصاویر از سطح زمین در فواصل زمانی کوتاه ۱ تا ۲ روز، با قدرت تفکیک طیفی بالا (۳۶ باند) و قدرت تفکیک مکانی مناسب (تقریباً ۱ کیلومتر) طراحی شده است. هدف محققان این بود تا بتوانند پدیده های ژئوفیزیکی مختلف سطح زمین را با استفاده از این دامنه طیفی بالا (از ناحیه مرئی تا طول موج های بزرگ مادون قرمز) شناسایی کنند، اما با توجه به این مسئله که با این قدرت تفکیک مکانی نسبتاً پایین امکان شناسایی همه ی پدیده ها ممکن نبود، در بعضی از باندها، قدرت تفکیک مکانی به ۲۵۰ متر (۲ باند) و ۵۰۰ متر (۵ باند) افزایش یافت، به طوری که حدود دو سوم اطلاعاتی که از این سنجنده استخراج می‌شود از این ۷ باند می‌باشد. ۲۹ باند دیگر تصاویر با توان تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کنند. اگرچه این سنجنده تفاوت های عمده ای با سایر سنجنده ها دارد اما از جمله مهم ترین مشخصات متمایز کننده این سنجنده می‌توان به تعداد باندهای آن اشاره کرد (۳۶ باند). در جدول ۳-۱، مشخصات طیفی سنجنده مودیس و کاربردهای عمده آن شرح داده شده است. با توجه به این تعداد باند طیفی، تعداد ۴۹۰ آشکارساز در آن به کار رفته است که هر کدام از آن ها بطور مجزا مستلزم انجام عملیات کالیبراسیون مربوط به

⁴⁸ NASA

خود هستند. سنجنده مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) از طول موج ۰/۴ میکرون الی ۱۴/۴ میکرون می‌باشد که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. زاویه اسکن این سنجنده ۵۵ درجه می‌باشد و در مدار ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد و در نتیجه، در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم می‌سازد. آینه ی اسکن این سنجنده از یک آینه اسکن که بطور پیوسته به دو طرف می‌چرخد استفاده می‌کند و سیستم عدسی این سنجنده از یک تلسکوپ غیر کانونی و دو آینه ای تشکیل شده است که انرژی را به چهار مجموعه انعکاس کننده هدایت می‌کند. هر کدام از این مجموعه ها، یکی از نواحی طیف مرئی (VIS)، مادون قرمز نزدیک (^{۴۹}NIR)، مادون قرمز طول موج کوتاه (^{۵۰}SIR)، مادون قرمز میانی (^{۵۱}MIR) و مادون قرمز طول موج بلند (^{۵۲}LIR) را می پوشانند و در کل دامنه طیفی ۰/۴ تا ۱۴۰/۴ میکرومتر را پوشش می‌دهند.

جدول (۱-۳) مشخصات طیفی سنجنده MODIS و کاربردهای عمده آن

باند	پهنای باند	قدرت تفکیک مکانی (m)	کاربردهای عمده
۱	۶۲۰-۶۷۰	۲۵۰	تعیین محدوده ابرها ، زمین ، هواویزه ها
۲	۸۴۱-۸۷۶	۲۵۰	
۳	۴۷۹-۵۴۹	۵۰۰	خصوصیات ابرها ، سطح زمین ، هواویزه ها
۴	۵۴۵-۵۶۵	۵۰۰	
۵	۱۲۳۰-۱۲۵۰	۵۰۰	
۶	۱۶۲۸-۱۶۵۲	۵۰۰	
۷	۲۱۰۵-۲۱۵۵	۵۰۰	
۸	۴۰۵-۴۲۰	۱۰۰۰	رنگ اقیانوس ها ،
۹	۴۳۸-۴۴۸	۱۰۰۰	
۱۰	۴۸۳-۴۹۳	۱۰۰۰	
۱۱	۵۲۶-۵۳۶	۱۰۰۰	

⁴⁹ Near infrared

⁵⁰ Short infrared

⁵¹ Middle Infrared

⁵² Long Infrared

فیتوپلانکتونها ، زیست شیمی زمین	۱۰۰۰	۵۴۶-۵۵۶	۱۲
	۱۰۰۰	۶۶۲-۶۷۲	۱۳L
			۱۳H
	۱۰۰۰	۶۷۳-۶۸۳	۱۴L
			۱۴H
	۱۰۰۰	۷۴۳-۷۵۳	۱۵
تعیین میزان بخار آب موجود در جو	۱۰۰۰	۸۶۲-۸۷۷	۱۶
	۱۰۰۰	۸۹۰-۹۲۰	۱۷
	۱۰۰۰	۹۳۱-۹۴۱	۱۸
تعیین درجه حرارت سطح زمین و ابرها	۱۰۰۰	۹۱۵-۹۶۵	۱۹
	۱۰۰۰	۳/۶۶۰-۳/۸۴۰	۲۰
	۱۰۰۰	۳/۹۳۰-۳/۹۸۹	۲۱
	۱۰۰۰	۳/۹۸۹-۳/۹۳۰	۲۲
تعیین درجه حرارت جو	۱۰۰۰	۴/۰۲۰-۴/۰۸۰	۲۳
	۱۰۰۰	۴/۴۳۳-۴/۴۹۸	۲۴
مطالعه ابرهای سیروس	۱۰۰۰	۴/۴۸۲-۴/۵۴۹	۲۵
	۱۰۰۰	۱/۳۶۰-۱/۳۹۰	۲۶
تعیین میزان بخار آب	۱۰۰۰	۶/۵۳۵-۶/۸۹۵	۲۷
	۱۰۰۰	۷/۱۷۵-۷/۴۷۵	۲۸
	۱۰۰۰	۸/۴۰۰-۸/۷۰۰	۲۹
آزن	۱۰۰۰	۹/۵۸۰-۹/۸۸۰	۳۰
تعیین درجه حرارت ابر و سطح زمین	۱۰۰۰	۱۰/۷۸۰-۱۱/۲۸۰	۳۱
	۱۰۰۰	۱۱/۷۷۰-۱۲/۲۷۰	۳۲
خصوصیات ارتفاع بالایی ابرها	۱۰۰۰	۱۳/۱۸۵-۱۳/۴۸۵	۳۳
	۱۰۰۰	۱۳/۴۸۵-۱۳/۷۸۵	۳۴
	۱۰۰۰	۱۳/۷۸۵-۱۴/۰۸۵	۳۵
	۱۰۰۰	۱۴/۰۸۵-۱۴/۳۸۵	۳۶

❖ پهنای باندهای ۱ الی ۱۹ بر حسب نانومتر و پهنای باندهای ۲۰ الی ۳۶ بر حسب میکرومتر

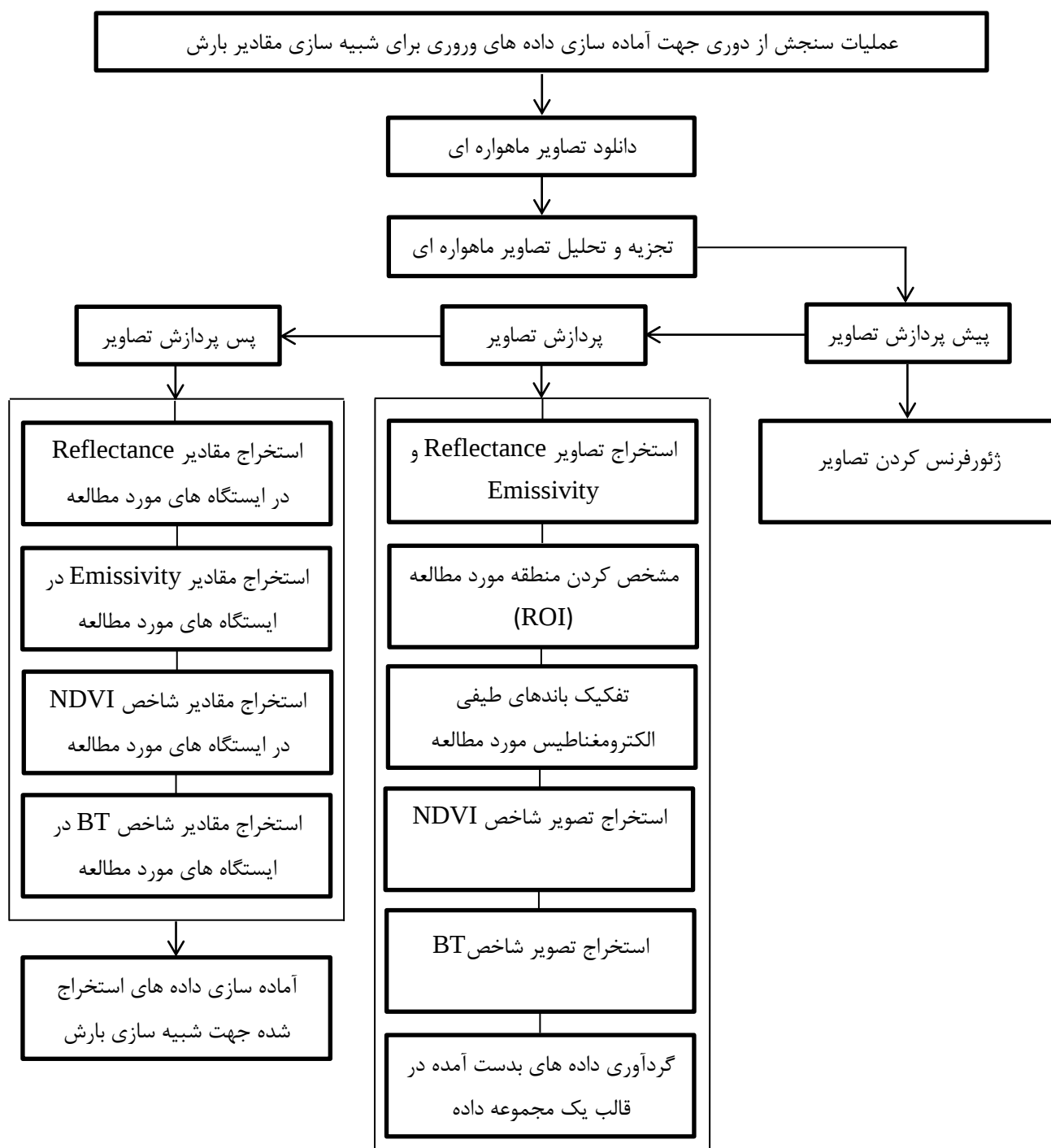
می باشد.

فصل چهارم

روش تحقیق

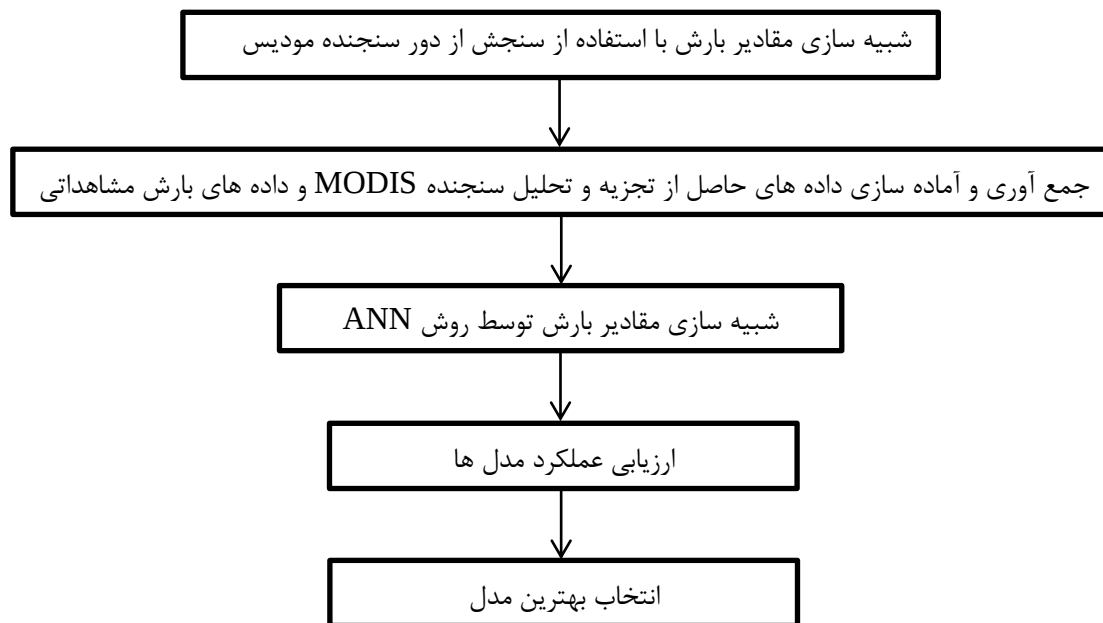
۴-۱- مقدمه

کارهای صورت گرفته در این پژوهش شامل مراحل تحلیل و پردازش تصاویر ماهواره ای و شبیه سازی مقادیر بارش در دو فلوچارت به تصویر کشیده شده است. فلوچارت شکل ۴-۱ مراحل تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای و آماده سازی داده های ورودی برای شبیه سازی مقادیر بارش را نشان می دهد.



شکل (۱-۴) الگوریتم پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ۱

پس از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای و استخراج داده های ورودی جهت شبیه سازی بارش، روند شبیه سازی مقادیر بارش به صورت فلوچارت شکل ۲-۴ نشان داده می شود.



شکل (۲-۴) الگوریتم پیشنهادی برای شبیه سازی بارش

در شبیه سازی مقادیر بارش بکار رفته در این پایان نامه که با استفاده از روش داده محور شبکه عصبی مصنوعی (ANN) انجام می شود، از داده های استخراج شده از پردازش تصاویر سنجنده مودیس به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی و از داده های بارش مشاهداتی به عنوان داده های هدف استفاده شده است. داده های حاصل از پردازش تصاویر سنجنده مودیس شامل مقادیر بازتاب (Reflectance) باندهای ۱ الی ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶، گسیلمندی (Emissivity) باند های حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی (BT) باندهای مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) می باشند. داده های مشاهداتی، مقادیر بارش ۶ ساعته برای دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۵ می باشند که از ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی شاهرود، دامغان و سمنان اخذ گردیده است. انواع داده های ورودی مختلف شامل داده های مرئی و مادون قرمز بازتابی، گسیلمندی باند های حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای مادون قرمز

حرارتی ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده بصورت منفرد و ترکیبی با یکدیگر در مقابل داده های هدف به شبکه عصبی مصنوعی خورانده می شوند. داده های خروجی مقادیر بارش شبیه سازی شده خواهند بود. جهت ارزیابی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی از معیارهای ضریب همبستگی، نش ساتکلیف و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده می شود. با توجه به ترکیب داده های ورودی در هر مدل و مقادیر معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه، مدلی که عملکرد و بهره وری بالاتری داشته باشد، می تواند جهت پیش بینی مقادیر بارش در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲- نرم افزار ENVI 5.3

نرم افزار ENVI^{۵۳} محصول شرکت RSI^{۵۴} است و در سال ۱۹۹۴ منتشر شده است که تاکنون نسخه های مختلف آن به بازار عرضه شده است. این نرم افزار گرچه دیر به بازار تجاری نرم افزارهای سنجش از دور وارد شد ولی با توجه به قابلیت های بالای آن به سرعت جای خود را در میان متخصصان باز نمود. بسیاری از قابلیت های ENVI در نسخه های متعدد آن به سرعت پیشرفت کردند و باعث شدند تا این نرم افزار در بعضی از جنبه ها منحصر به فرد شود. ENVI را تقریباً می توان بر روی تمامی سیستم عامل های متداول نظیر Linux, Unix و Windows نصب نمود و از این جنبه می توان گفت که کمترین محدودیت را برخلاف بسیاری از نرم افزارهای دیگر تحمیل می کند. یکی از جنبه های قوی نسخه 5.3 این نرم افزار قابلیت نمایش آن است که علاوه بر سرعت بالا از امکانات جانبی بسیاری نیز برخوردار است. انواع نمایش های سه بعدی و دو بعدی تصاویر، داده های رستری مختلف نظیر DEM و داده های برداری در فرمت های گوناگون از جمله این امکانات است. این نرم افزار تکنیک های باندی (Band-Based) و فایلی (File-Based) را با توابع نرم افزاری توسعه یافته (Interactive Functions) ترکیب می کند. زمانی که یک فایل اطلاعاتی داخل نرم افزار باز می شود، باندهای آن بصورت یک لیست ذخیره می شوند و می توان بوسیله کل توابع

⁵³ Environment for Visualizing Images

⁵⁴ Research System, Inc.

سیستم به آن دسترسی پیدا کرد. تمام توابع اصلی پردازش تصاویر در نرم افزار ENVI 5.3 بطور کامل یافت می‌شوند. توابعی نظیر انواع تبدیل ها، فیلترها، طبقه بندی، تصحیح هندسی، آنالیزهای طیفی متعدد، پردازش داده های راداری، کار با داده های فرایندی متعدد، پشتیبانی از انواع فرمت ها از جمله امکانات معمول ENVI 5.3 هستند. در این نرم افزار مشاهده اطلاعات بصورت کامل و جامع، همچنین آنالیز و پردازش تصاویر در ابعاد و اندازه های مختلف به نحوی کاربرپسند ارائه می‌شوند. در این نرم افزار شما می‌توانید بر اساس نوع سنجنده انواع فرمت ها را قرائت نمایید و تصحیحات مربوط به آن را اعمال کنید. کتابخانه طیفی ENVI 5.3 مرجع بسیار خوبی برای تحقیقات و پروژه های کاربردی است که در بسیاری از نرم افزارهای سنجش از دور یافت نمی‌شود. کار با داده های غیرطیفی نظیر DEM نیز در محیط این نرم افزار دارای توابع مخصوص به خود است و بسیاری از پردازش های مورد نیاز برای این نوع داده ها به راحتی در خود نرم افزار قابل اعمال است. این نرم افزار با استفاده از زبان برنامه نویسی IDL نوشته شده است و برای اجرا نیاز به این محیط دارد. IDL یک زبان بسیار قوی برنامه نویسی با گرایش ماتریسی و پردازش تصاویر است که در کنار ENVI طیف وسیعی از توابع را در اختیار کاربر قرار می‌دهد تا بسیاری از الگوریتم ها را به صورت خودکار اجرا نماییم.

۴-۳- افزونه MCT (MODIS Conversion Toolkit)

یکی از افزونه های مهم و کاربردی در پیش پردازش و پردازش تصاویر سنجنده مودیس می‌باشد، بطوری که با کمک این افزونه می‌توان به راحتی تصاویر خام سنجنده مودیس (سطح صفر) را تصحیح هندسی کرده و انواع مختلف محصولات مودیس را استخراج کرد. این افزونه درمحل نصب نرم افزار ENVI 5.3 و در پوشه Extensions ذخیره می‌شود و به راحتی در نرم افزار ENVI 5.3 دسترس خواهد بود.

۴-۴- دانلود تصاویر ماهواره ای

با توجه به مقادیر ثبت شده بارش در ایستگاه های باران سنجی و سینوپتیک، تصاویر ماهواره ای را برای روز وقوع بارش در هر ایستگاه دانلود می کنیم. سنجنده مودیس در طول شبانه روز دوبار از مناطق مورد مطالعه تصویر برداری می کند. مدار Terra به دور زمین در هنگام صبح، از شمال به جنوب و مدار Aqua در بعد از ظهر، از جنوب به شمال در طول خط استوا قرار دارد. در تصاویر بعد از ظهر و شب هنگام سنجنده مودیس، اطلاعات باند های مرئی در دسترس نیست و تنها می توان به اطلاعات باندهای حرارتی بسنده کرد. با توجه به این موضوع، در این تحقیق از تصاویر سنجنده مودیس که بر روی ماهواره Terra نصب شده است استفاده می شود. تصاویر فوق حاوی اطلاعات باندهای مرئی و مادون قرمز بازتابی و حرارتی می باشد. این تصاویر در هنگام صبح و در حد فاصل ساعت ۸ الی ۱۱ از مناطق مورد مطالعه تهیه می شوند. در پژوهش حاضر، تصاویر level1-B سنجنده MODIS و ماهواره Aqua از طریق سایت <https://reverb.echo.nasa.gov> دانلود شده تا در تحلیل و پردازش های بعدی مورد استفاده قرار گیرد. تصاویر دانلود شده دارای فرمت HDF هستند و با توجه به فریم تصاویر مودیس، هر تصویر دانلود شده هر سه ایستگاه شاهرود، دامغان و سمنان را پوشش می دهد. شکل ۳-۴ یک نمونه از تصاویر Level 1-B دانلود شده را برای مناطق مورد مطالعه نشان می دهد. تصویر فوق خام بوده و در مختصات صحیح خود قرار نگرفته است.



شکل (۴-۳) تصویر Level 1-B سنجنده MODIS در تاریخ ۲۸/۰۱/۲۰۰۹

۴-۴-۱- تصاویر Level-1B سنجنده مودیس

تصاویر ماهواره ای به صورت چندین سطح پردازشی متفاوت در دسترس می باشند که سطوح دریافتی همه این تصاویر در ابتدا به صورت صفر هستند و بقیه سطوح داده ها از داده های اولیه خام قابل حصول می باشند. داده ها در سطح یک به دو شکل Level 1-A و Level 1-B تولید می شوند. سطح Level 1-A شامل داده های رقومی پردازش نشده در همه باند ها بوده و ضرایب تصحیحی در روند تبدیل داده ها به مقادیر تابندگی و سایر ویژگی های متا دیتای تصویر بستگی دارد. لیکن در این حالات تبدیلات اصلی هنوز صورت نگرفته است. در تصاویر Level 1-B داده های رقومی خام Level- 1A به ارزش تابندگی تبدیل شده و ضرایب برای تصحیح هندسی به کار گرفته می شوند]

[۸۵]

۴-۲- فرمت تصاویر دانلود شده

فرمت های تصویری ساختاری برای چگونگی نگهداری تصاویر و همچنین فشرده سازی آن ها می باشند. یک تصویر معمولی اگر بدون فشرده سازی ذخیره شود به فضای زیادی نیاز دارد. بنابراین فرمت های مختلف تصویری سعی می کنند تا حد ممکن داده های تصویری را فشرده سازی نمایند که در این راه، بعضی داده های اصلی را حفظ کرده و برخی دیگر با از دست دادن بخشی از داده ها به درصد فشرده سازی بالاتری می رسند. فرمت های تصویری HDF, BMP, GeoTiff فرمت های فشرده سازی معمولی بدون از دست دادن داده (Lossless) و فرمت های MrSID, JPEG از فرمت های فشرده سازی با قابلیت بالا هستند که داده های خام تصویری را به شدت تحت تأثیر قرار می دهند (Loosely). تصاویر دانلود شده در این پژوهش دارای فرمت HDF می باشند.

۴-۵- تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره ای

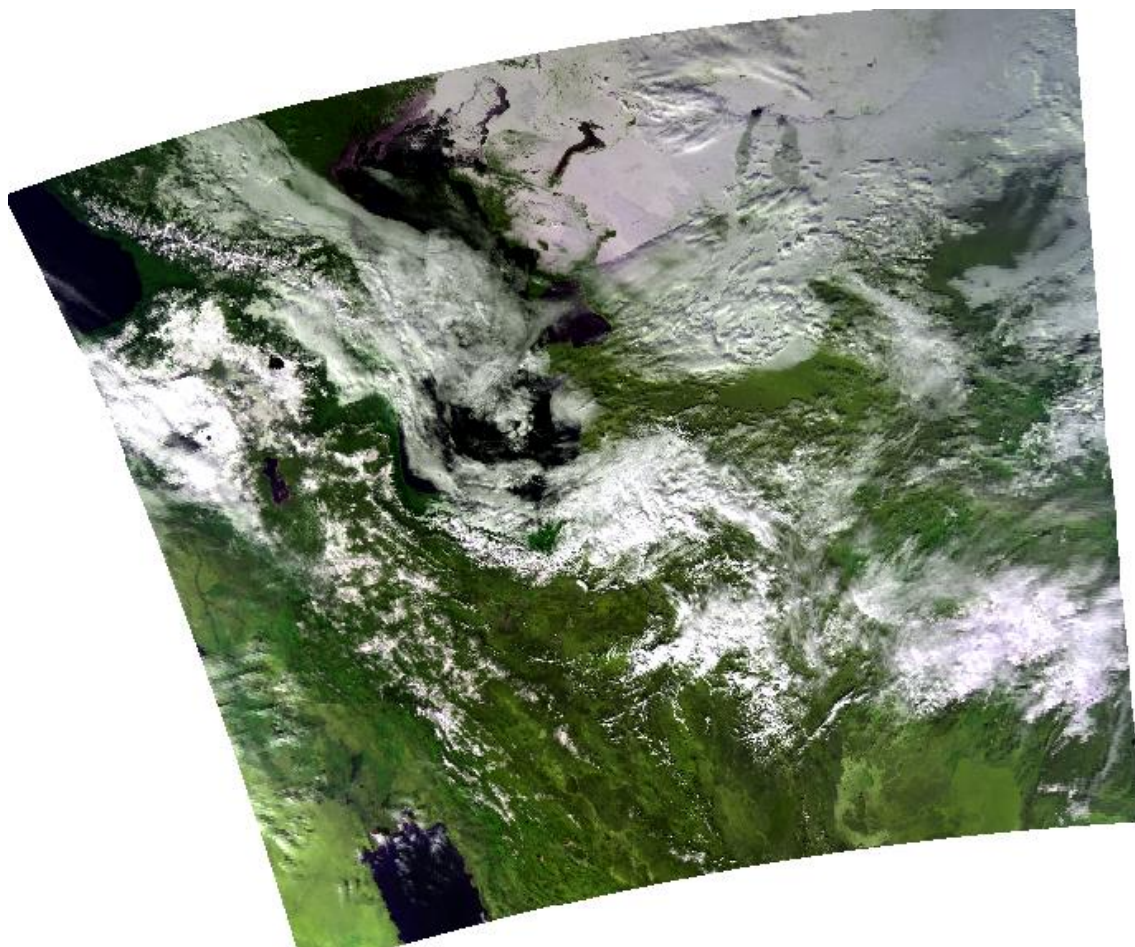
تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره ای را می توان فرآیند های بررسی و تحلیل هدفمند شناسایی موقعیت ها، اشیاء، عوارض و پدیده های سطح زمین دانست که از طریق اعمال روش های آنالوگ (تفسیر بصری) و کامپیوتری (پردازش رقومی) توسط متخصصان صورت می گیرد [۸۶]. با استناد به روش های گرافیکی، آماری و ریاضی، می توان داده های حاصله از سنجنده های جوی را به منظور جست وجو، تشخیص، اندازه گیری، طبقه بندی و ارزیابی حقایق جوی و اقلیمی تحلیل نمود. در حال حاضر به منظور مدیریت اصولی و سازمان دهی شده اطلاعات ماهواره ای، تئوری سه مرحله ای پیش پردازش، پردازش و پس پردازش رقومی داده های حاصل از سنجش از دور مطرح است. در این تحقیق عملیات پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره ای با استفاده از نرم افزار ENVI 5.3 و عملیات پس پردازش تصاویر با استفاده از نرم افزار ENVI Classic انجام می شود.

۴-۵-۱- پیش پردازش تصاویر ماهواره ای

عملیات پیش پردازش که در مواردی از آن به عنوان بازیابی مجدد و تجدید ساختار یک تصویر تعبیه می‌گردد، در واقع کلیه اقداماتی است که ضمن تصحیح کلیه اعوجاج ها و خطاهای احتمالی، با استخراج اطلاعات اولیه، آن ها را برای مرحله پردازش آماده می‌کنند. ممکن است خطاها به واسطه تغییرات روشنایی در تصویر، خطاهای هندسی، نحوه نظاره‌گری، شرایط اتمسفر و سیگنال های غیر استاندارد سنجنده ایجاد شده باشند. اولین گام در پیش پردازش تصاویر ماهواره ای، عملیات مربوط به تصحیح هندسی تصاویر می‌باشند. تصاویر دانلود شده ژئورفرنس (Geo Reference) نیستند و باید نسبت به زمین مرجع کردن آن ها اقدام کرد.

۴-۵-۱-۱- ژئورفرنس کردن تصاویر

منظور از ژئورفرنس کردن عملیاتی است که طی آن یک تصویر یا یک نقشه که فاقد مختصات است، دارای مختصات صحیح زمینی می‌شود. با استفاده از افزونه MCT در نرم افزار ENVI 5.3 تصویر دانلود شده با فرمت HDF را فراخوانی می‌کنیم. با استفاده از ابزارهای منوی Projection سیستم مختصات جغرافیایی (Geographic Lat/Lon) را بر حسب WGS-84 و واحد درجه برای تصویر تعریف می‌کنیم. روش نمونه گیری مجدد (Resampling Method) را نیز روش نزدیک ترین همسایه (Nearest Neighbor) انتخاب می‌کنیم. شکل ۴-۴ نمونه یک تصویر سنجنده مودیس می‌باشد که عملیات پیش پردازش بر روی آن انجام شده و در مختصات صحیح خود قرار گرفته است.



شکل (۴-۴) تصویر Level 1-B سنجنده MODIS با ترکیب رنگ کاذب (۱۲۳) در تاریخ ۲۸/۰۱/۲۰۰۹ بعد از عملیات پیش پردازش

۴-۵-۲- پردازش تصاویر ماهواره ای

پردازش تصاویر ماهواره ای به معنای اعمال نوعی از فرآیند های محاسباتی است که در محیط نرم افزار به کمک اجرای روابط آماری و ریاضی مشخص بر روی ماتریس ارقام موجود در یک تصویر یا باند های مختلف، با هدف کشف و شناخت دقیق ماهیت اتمسفر و پدیده های مرتبط صورت می گیرد. در اصل پردازش تصاویر ماهواره ای به مفهوم بکارگیری دقیق روش های آماری، گرافیکی و الگوریتم های ریاضی در روند تفسیر رقومی به کمک نرم افزار های کامپیوتری تعبیر می گردد [۸۷].

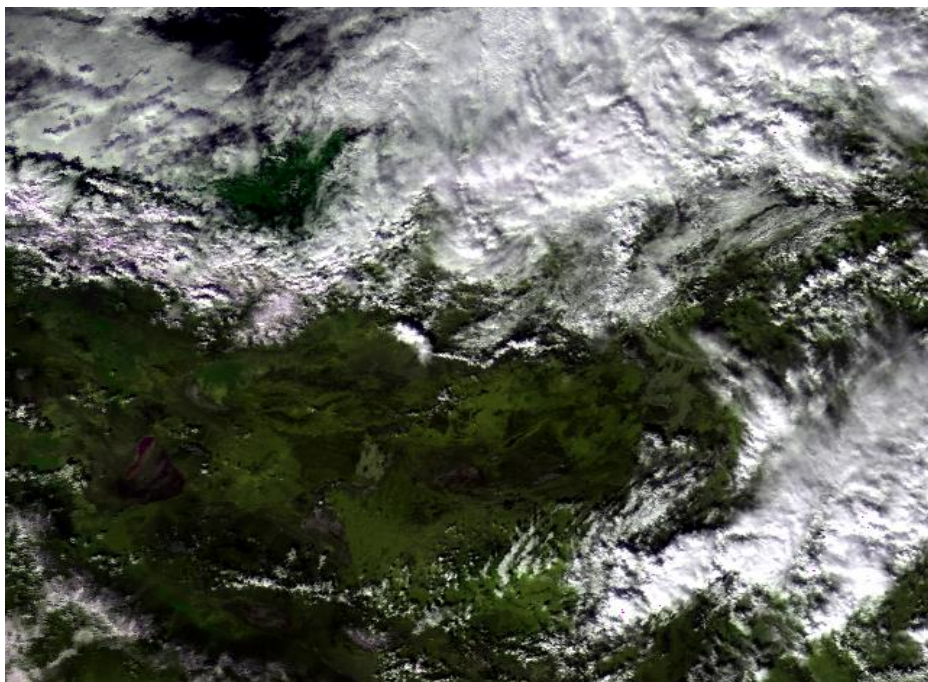
۴-۵-۲-۱- استخراج تصاویر بازتاب (Reflectance) - گسیلمندی (Emissivity)

از طریق منوی Processing Option در افزونه MCT می توان مقادیر مربوط به پارامترهای تابش (Reflectance)، بازتاب (Radiance) و گسیلمندی (Emissivity) را محاسبه نمود، به این ترتیب که مقادیر تابش - گسیلمندی در قالب یک تصویر و مقادیر بازتابش - گسیلمندی نیز در قالب یک تصویر ارائه خواهند شد. در این پژوهش تصویر بازتابش - گسیلمندی برای انجام پردازش های بعدی مورد نیاز می باشد، لذا تصویر فوق را در مختصات جغرافیایی استخراج می نماییم.

۴-۵-۲-۲- مشخص کردن منطقه مورد مطالعه (ROI)

پس از استخراج تصاویر بازتاب - گسیلمندی، باید محدوده ی مورد مطالعه را بر روی تصاویر مشخص نماییم تا از طریق اعمال فرمول های NDVI و BT، مقادیر مربوط به آن ها را محاسبه کنیم. تصویر بازتاب - گسیلمندی را در محیط نرم افزار ENVI 5.3 فراخوانی می کنیم. از طریق منوی ROI و با توجه به مختصات منطقه مورد مطالعه، تصویر را برش می دهیم. از آنجا که تصویر برش زده شده باید سه منطقه شاهرود، دامغان و سمنان را در بر گیرد، مختصات ۳۶/۵۵ شمالی، ۳۵/۲۹ جنوبی، ۵۲/۸۸ غربی و ۵۵/۳۸ شرقی را برای تصویر انتخاب می کنیم. دستور ROI این امکان را برای ما فراهم می آورد تا محاسبات و عملیات پردازش را بر روی بخش کوچکی از تصویر که شامل منطقه مورد مطالعه است انجام دهیم تا ضمن صرفه جویی در وقت، سرعت انجام عملیات پردازش را بالا ببریم و حجم تصویر خروجی و اطلاعات و پارامترهای بدست آمده در مقایسه با حجم اطلاعات و پردازش های انجام شده بر روی تصویر اصلی کمتر باشد. شکل ۴-۵ نمونه ای از تصویر برش زده شده از منطقه مورد مطالعه با مختصات ذکر شده می باشد.

⁵⁵ Region Of Interest



شکل (۴-۵) تصویر ROI با ترکیب رنگ کاذب (۱۲۳) در تاریخ ۲۸/۰۱/۲۰۰۹

۴-۵-۲-۳- تفکیک و جداسازی باندهای طیفی مورد مطالعه

بعد از مشخص کردن منطقه مورد مطالعه، آن دسته از باندهای طیف الکترومغناطیس را که می‌خواهیم پردازش و بررسی‌های مورد نظر را بر روی آن‌ها انجام دهیم، بر اساس ROI زده شده در مرحله قبل جداسازی می‌کنیم. این عملیات به منظور افزایش سرعت انجام کار، صرفه جویی در وقت و کاهش حجم اطلاعات خروجی انجام می‌شود. اساس کار در این پژوهش باندهای بازتابی و باندهای ۳۱ و ۳۲ حرارتی طیف الکترومغناطیس می‌باشد. در محیط نرم افزار ENVI 5.3 و از منوی Toolbox دستور Subset data via ROI را اجرا می‌کنیم. در پنجره Select Input File بعد از انتخاب تصویر مبنا که همان تصویر بازتاب - گسیلمندی می‌باشد، با استفاده از گزینه Spectral Subset اقدام به جداسازی باندهای بازتابی و باندهای ۳۱ و ۳۲ حرارتی طیف الکترومغناطیس می‌نماییم. در پنجره ی Spatial Subset Data Via ROI Parameters، تصویر ROI زده شده در مرحله قبل را که می‌خواهیم باندهای طیف الکترومغناطیس بر اساس آن تصویر تفکیک شوند را انتخاب کرده و مراحل ذخیره سازی تصویر جدید را انجام می‌دهیم. تصویر خروجی تصویری است که منطقه مورد

مطالعه را با باندهای بازتابی و باندهای ۳۱ و ۳۲ حرارتی طیف الکترومغناطیس شامل می‌شود. در مرحله بعد می‌توان نسبت به استخراج تصاویر شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده و درجه حرارت درخشندگی بر روی تصویر Subset زده شده اقدام کرد.

۴-۵-۲-۴- استخراج تصویر شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)

شاخص های گیاهی تبدیلات محاسباتی هستند که بر اساس رفتار طیفی گیاهان تعریف می‌شوند و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره ای چند طیفی طراحی شده اند [۸۸]. بیشترین باند هایی که در محاسبه شاخص های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند. دلیل این امر خاصیت جذب نور باند قرمز توسط رنگدانه های موجود در کلروفیل (که باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته باشند) و انعکاس شدید گیاهان در بخش مادون قرمز طیف الکترومغناطیس است. شاخص های گیاهی از پرکاربردترین نمونه های محاسبات باندی می‌باشند که به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی، بررسی انواع پوشش گیاهی، وضعیت سبزینگی یک منطقه طی دوران مختلف به کار می‌روند. شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) از معروف ترین، ساده ترین و کاربردی ترین شاخص های گیاهی شناخته شده تا کنون است [۸۹]. فرآیند محاسباتی ساده دارد و در مقایسه با دیگر شاخص ها دارای بهترین توان دینامیک می‌باشد. این شاخص دارای مقادیر نرمال می‌باشد، یعنی دارای قدر مطلق مساوی یا کمتر از یک می‌باشد، از این رو بررسی آن از طریق نمودارها و هیستوگرام ها به راحتی امکان پذیر است. شاخص NDVI از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۹۰]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1-4)$$

که در آن NIR، بازتاب باند مادون قرمز نزدیک و RED، بازتاب باند قرمز است. اگرچه از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده ۱- و ۱+ می‌باشد، ولی در عمل کم تر از ۱+ و بیش تر از ۱- است. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد یک میل می‌کند ولی ابرها، برف و

آب با مقادیر منفی مشخص می شوند. سنگ ها و خاک های بایر که واکنش های طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده دارند با مقادیر نزدیک به صفر دیده می شوند [۹۱]. برای محاسبه شاخص NDVI در محیط نرم افزار ENVI 5.3، ابتدا تصویر Subset زده شده در مرحله قبل را فراخوانی کنیم. از منوی Toolbox دستور Band Math را اجرا می کنیم. این دستور این امکان را برای کاربران فراهم می آورد تا انواع الگوریتم ها و توابع ریاضیاتی و فرمول های محاسباتی را در محیط نرم افزار پیاده سازی کنند. در پنجره ی Band Math فرمول محاسباتی شاخص NDVI را به صورت زیر وارد می کنیم :

$$\text{Float } ((b2 - b1) / (b2 + b1)) \quad (۲-۴)$$

که در آن b2 بازتاب باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و b1 بازتاب باند قرمز (Red) می باشد. در پنجره Variables To Band Pairings برای پارامتر b1 باند اول طیف الکترومغناطیس یا باند قرمز و برای پارامتر b2 باند دوم طیف الکترومغناطیس یا باند مادون قرمز نزدیک را تعریف می کنیم. اگر بر روی تصویر خروجی گزینه ی Crosshair را فعال کنیم، در هر نقطه از تصویر مقادیر شاخص NDVI نشان داده خواهد شد.

۴-۵-۲-۵- استخراج تصویر درجه حرارت درخشندگی (BT)

درجه حرارت درخشندگی مقدار تابندگی اشعه الکترومغناطیس می باشد که از ناحیه ی بالای اتمسفر به سمت ماهواره در حال حرکت است و معادل درجه حرارت جسم سیاه تعریف می شود. اگر خورشید یک تابنده کامل بود می توانست به عنوان یک جسم سیاه در نظر گرفته شود. جسم سیاه ماده ای است که بتواند تمام انرژی الکترومغناطیس را جذب کرده و سپس تابش نماید. چنین جسمی در دنیای واقعی وجود ندارد ولی بر اساس این جسم فرضی، پارامترهای مختلفی تعریف می شوند. قدرت تابش یک جسم واقعی نسبت به یک جسم سیاه هم دما را گسیلمندی (Emissivity) می نامند. گسیلمندی یک جسم سیاه معادل ۱ فرض می شود. تمامی اجسام گسیلمندی کمتر از ۱ خواهند

داشت و به عنوان جسم خاکستری در نظر گرفته می‌شوند [۸۴]. درجه حرارت درخشندگی با استفاده از رابطه پلانک به صورت زیر محاسبه می‌شود که در آن میزان بازتاب ثبت شده در یک پیکسل به صورت عدد رقومی به عامل دمای روشنایی تبدیل می‌شود.

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_y} + 1\right)} \quad (3-4)$$

که در آن BT درجه حرارت درخشندگی بر حسب کلوین، L_y رادیانس طیفی (μ^{-1} - steradian^{-1} - $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)، K_1 ضریب ثابت اول ($3/741775 \times 10^{-22} \text{W} \cdot \text{m}^3 \cdot \mu^{-1}$)، K_2 ضریب ثابت دوم ($0/0143877 \text{m}^\circ \text{K}$).

برای استخراج شاخص BT در محیط نرم افزار ENVI 5.3، ابتدا تصویر Subset زده شده را فراخوانی می‌کنیم. از طریق منوی Toolbox دستور Band Math را اجرا کرده و فرمول محاسباتی شاخص BT را که به صورت زیر ساده شده است وارد می‌کنیم، قابل ذکر است که فرمول فوق برای هر دو باند مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس به صورت جداگانه ارائه می‌شود.

$$BT_{31} = ((1305/64) / (\log((733.88 / b31) + 1))) \quad (4-4)$$

$$BT_{32} = ((1195/5) / (\log((472/34 / b32) + 1))) \quad (5-4)$$

که در آن BT_{31} درجه ی حرارت درخشندگی باند ۳۱ و BT_{32} درجه حرارت درخشندگی باند ۳۲ است. در پنجره ی Variables To Band Pairings برای پارامترهای $b31$ و $b32$ به ترتیب باندهای مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲ را تعریف می‌کنیم. تصویر خروجی تصویری است که اگر در هر نقطه از آن Crosshair را فعال کنیم، مقادیر BT_{31} و BT_{32} در دسترس خواهند بود.

۴-۵-۲-۶- سازمان دهی تصاویر استخراج شده در مراحل قبل در قالب یک تصویر

پس از استخراج تصاویر Subseted، NDVI و BT مربوط به سه ایستگاه شاهرود، دامغان و سمنان جهت سهولت دسترسی به اطلاعات و داده های پردازش شده، می‌توان از طریق دستور Layer

Stacking نسبت به جمع آوری تصاویر و داده های مربوط به آن ها در قالب یک تصویر اقدام کرد. دستور Layer Stacking این امکان را فراهم می آورد تا بتوان داده های گوناگون از تصاویر مختلف را در قالب یک تصویر جمع آوری کرد. در محیط نرم افزار ENVI 5.3 به ترتیب تصاویر Subsetting، NDVI و BT استخراج شده در مراحل قبل را فراخوانی می کنیم. از منوی Toolbox دستور Layer Stacking را اجرا می کنیم. در پنجره Layer Stacking Parameters تصاویر فراخوانی شده را انتخاب می کنیم، سپس با استفاده از گزینه ی Recorder file ترتیب قرار گرفتن داده ها را در دیتاست نهایی مشخص می نماییم. در این پژوهش در دیتاست نهایی ابتدا داده ها و مقادیر تصویر Subset زده شده که شامل مقادیر مربوط به بازتاب و گسیلمندی باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ می باشد گنجانده شده است و به تبع آن مقادیر مربوط به شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده و درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ گردآورده شده است. در منوی مربوط به سیستم مختصات تصویر، سیستم مختصات جغرافیایی Geographic Lat/Lon را بر اساس WGS-84 و بر حسب واحد درجه انتخاب و روش Resampling را روش نزدیک ترین همسایه بر می گزینیم. تصویر نهایی که با نام Data ذخیره می شود شامل یک دیتاست می باشد که با استفاده از گزینه ی Crosshair در هر نقطه از آن می توان به ترتیب به هر یک از مقادیر بازتاب برای باندهای ۱ الی ۲۶، گسیلمندی برای باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲، مقادیر شاخص های پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده و درجه حرارت درخشندگی باند های ۳۱ و ۳۲ برای هر پیکسل دسترسی داشت.

۴-۵-۳- پس پردازش تصاویر ماهواره ای

پس پردازش تصاویر ماهواره ای به مجموعه اقداماتی گفته می شود که به منظور استخراج پارامترها و داده های مورد نیاز از تصاویر پردازش شده در مختصات مورد نظر، از مقیاس پیکسلی تا مقیاس منطقه ای صورت می می گیرد.

۴-۵-۳-۱- استخراج مقادیر شاخص های محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه

پس از تولید مجموعه دیتای حاوی پارامترهای بازتاب، گسیلمندی باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده و درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲، می بایست نسبت به استخراج مقادیر شاخص های فوق برای هر پیکسل در منطقه ی مورد مطالعه در قالب یک فایل Ascii اقدام نماییم. هدف از انجام این عملیات این است که مقادیر شاخص های فوق را برای هر پیکسل به صورت جداگانه یادداشت نماییم ، تا ضمن صرفه جویی در وقت، آن ها را به ترتیب ذکر شده در قالب یک فایل Ascii ذخیره نماییم. برای این منظور از نسخه کلاسیک نرم افزار ENVI استفاده می کنیم. در محیط کلاسیک نرم افزار ENVI تصویر Data را فراخوانی می کنیم و ترکیب رنگ کاذب (۱۲۳) را بر روی تصویر اعمال می کنیم. از طریق منوی Tools در Image Display گزینه Pixel Locator را اجرا می کنیم. در این قسمت می توانیم با استفاده از مختصات مناطق مورد مطالعه، به پیکسل های مورد نظر رفته و مقادیر شاخص های اخذ شده را در قالب یک فایل Ascii ذخیره کنیم. به عنوان مثال در پنجره ی Pixel Locator برای تصویر Data در یک روز مشخص و مربوط به ایستگاه شاهرود، با وارد کردن مختصات مربوط به شاهرود، به پیکسل مورد نظر رفته و مقادیر پارامترهای بازتاب، گسیلمندی باندهای ۳۱ و ۳۲، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده و درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ را به ترتیب در قالب یک فایل Ascii ذخیره می نماییم. عملیات فوق را برای سایر تصاویر مناطق مورد مطالعه با توجه به مختصات آن ها اعمال می کنیم.

۴-۴- گردآوری داده های بدست آمده در قالب یک جدول اکسل

پس از استخراج مقادیر مربوط به پارامترهای بازتاب، گسیلمندی باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده و درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ نسبت به گردآوری مقادیر فوق در قالب یک جدول اکسل اقدام می کنیم. برای برخی از باندهای بازتابی در محدوده طیف

الکترومغناطیس مقدار NAN^{56} درج شده است که علت آن را می توان در وجود برخی بد پیکسل ها و خطاهای ناشی از سنجنده جستجو کرد. باند هایی که مقداری برای آن به ثبت نرسیده است را حذف می کنیم تا در مراحل بعدی پژوهش و شبیه سازی مقادیر بارش با مشکل مواجه نشویم.

۴-۵- نتایج حاصل از تحلیل و پردازش تصاویر سنجنده مودیس

داده های حاصل از پردازش تصاویر سنجنده مودیس شامل مقادیر بازتاب باندهای ۱ الی ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶، گسیلمندی باند های حرارتی ۳۱ و ۳۲، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده و درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ می باشند که در مراحل بعدی پژوهش به عنوان داده های ورودی جهت شبیه سازی مقادیر بارش از آن ها استفاده خواهد شد.

۴-۶- شبیه سازی مقادیر بارش

در این پژوهش شبیه سازی مقادیر بارش با استفاده از نرم افزار MATLAB و از طریق روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) انجام می گیرد.

۴-۶-۱- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک روش نوین، در مدل سازی و پیش بینی سری های زمانی غیرخطی و غیرماندگار فرآیند هایی که برای شناخت و توصیف دقیق آنها راه حل و رابطه صریحی وجود ندارد، عملکرد خوبی از خود نشان داده است. شبکه عصبی با برخورداری از قابلیت تشخیص الگو، رابطه خوبی بین داده های ورودی و خروجی برقرار می کند. این روش در قیاس با دیگر روش ها، حساسیت کمتری نسبت به وجود خطا در اطلاعات ورودی دارد. مدل های شبکه عصبی مصنوعی با آموزشی که دیده اند، می توانند بدون ایجاد رابطه صریح ریاضی، رفتار سیستم را پیش بینی کنند. نظریه شبکه های عصبی مصنوعی برای بار نخست در سال ۱۹۴۳م. توسط مک کلاچ و پیتر ارائه شد که در حقیقت از ساختار عصبی مغز انسان الهام گرفته بودند. شبکه های عصبی از یک سری لایه ها به نام نرون تشکیل شده است

⁵⁶ Not Available Number

که بصورت موازی باهم عمل می‌کنند. اکثر شبکه‌های عصبی دارای سه لایه و یا بیشتر می‌باشند. لایه ورودی که برای ورود داده‌ها به شبکه استفاده می‌شود، لایه خروجی، برای تولید پاسخ‌های مناسب به ورودی‌های داده شده و یک یا تعداد بیشتر لایه حد واسط که از گره‌های پردازشگر تشکیل شده‌اند و محل پردازش داده‌ها بشمار می‌روند. تعداد نرون‌های موجود در لایه‌های ورودی و خروجی با توجه به ماهیت مسأله مورد بررسی مشخص می‌شود. حال آن که شمار لایه‌های مخفی و تعداد نرون در هر لایه مخفی معمولاً بوسیله روش آزمون و خطا در جهت کاهش مقدار خطا توسط طراح مشخص می‌شود [۹۲]. با این حال توصیه شده است که تعداد لایه‌های پنهان تا حد امکان باید کم باشد. بطوری که ابتدا شبکه با یک لایه پنهان آموزش داده شده و در صورت عملکرد نامناسب، تعداد لایه‌ها افزوده می‌شود. این موضوع در مورد تعداد نرون‌های لایه‌های مخفی نیز صدق می‌کند. به گونه‌ای که در ابتدا تعداد نرون‌های کم مورد بررسی قرار گرفته و در صورت همگرا نشدن به جواب مطلوب، آنها را افزایش می‌دهند. گره‌های لایه‌های مجاور در شبکه بطور کامل با هم در ارتباط هستند [۹۳]. ورودی‌های هر گره ممکن است از متغیرهای ورودی یا از خروجی گره‌های دیگر حاصل شود. هر گره دارای یک تابع تبدیل گر (محرک) است که سه تابع معروف فوق عبارت است از: تابع تانژانت سیگموئید، خطی و لگاریتم سیگموئید (دموٹ و بیله). ورودی‌ها به شکل یک بردار $X (X_1, X_2, \dots, X_n)$ هستند و هر ورودی توسط یک وزن به گره پردازشگر مربوط می‌شود و در نهایت تسلسلی از وزن‌ها به شکل بردار وزن $W (W_1, W_2, \dots, W_n)$ به گره مورد نظر مرتبط می‌گردد. خروجی گره که Y نامیده می‌شود طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Y = f(X.W - b) \quad (۴-۶) \quad \text{که}$$

در رابطه فوق X داده‌های ورودی، W بردار وزن و b مقدار آستانه یا بایاس می‌باشد. به طور کلی شبکه‌های عصبی به دو نوع پیشرو و پسرو تقسیم می‌شوند. تفاوت آنها در این است که در شبکه‌های پسرو، حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون‌های همان لایه و یا لایه قبل وجود دارد. در بیشتر موارد، شبکه‌های عصبی پسرو می‌توانند بسیار مفید واقع شوند، ولی با این حال در ۸۰ درصد کاربردها از شبکه‌های عصبی پیشرو استفاده می‌شود. با گذشت ۶۰ سال از مطرح شدن ایده اولیه شبکه

۴-۷-۱- ارزیابی عملکرد شبکه

برای مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل، می‌توان از پارامترهای آماری مختلفی استفاده نمود. در این زمینه معیارهای متفاوتی برای مطابقت دادن داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در مدل‌سازی پیشنهاد شده است. در این پژوهش جهت ارزیابی عملکرد شبکه و انتخاب بهترین حالت، از سه معیار نش ساتکلیف، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی استفاده شده است.

۴-۷-۱-۱- نش ساتکلیف^{۵۷}

معیاری است که توان پیش‌بینی مدل را ارزیابی می‌کند و می‌تواند مقداری بین ۱ و $-\infty$ را به خود اختصاص دهد. هر چه مقدار E به عدد یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد و بهره‌وری مدل بالاتر است. رابطه نش ساتکلیف به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E = \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{to} - Q_{ts})^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{to} - \bar{Q}_0)^2} \quad (۴-۸)$$

که در آن Q_{to} مقادیر مشاهداتی در زمان t ، Q_{ts} مقادیر شبیه‌سازی شده در زمان t و $\bar{Q}_0$ میانگین داده‌های مشاهداتی است.

۴-۷-۲- ریشه میانگین مربعات خطا^{۵۸}

یکی دیگر از پارامترهای آماری که کاربرد زیادی دارد، ریشه میانگین مربعات خطا است که برای بیان تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی شده و شبیه‌سازی شده در مدل بکار می‌رود و معیار مناسبی برای درک کارایی مدل است. رابطه آن به صورت زیر می‌باشد. مقادیر کمتر RMSE حاکی از دقت بالاتر مدل است.

$$RMSE = \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{ts} - Q_{to})^2}{T} \quad (۴-۹)$$

⁵⁷ Nash Sutcliffe

⁵⁸ Root Mean Square Error

۴-۷-۳- ضریب همبستگی

ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر (و یا یک مجموعه داده با یک مجموعه داده دیگر) است که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود

$$R = \frac{M \sum_{i=1}^M X_{i.m} \cdot X_{i.o} - \sum_{i=1}^M X_{i.m} \cdot \sum_{i=1}^M X_{i.o}}{\sqrt{[M \sum_{i=1}^M X_{i.m}^2 - (\sum_{i=1}^M X_{i.m})^2] \cdot [M \sum_{i=1}^M X_{i.o}^2 - (\sum_{i=1}^M X_{i.o})^2]}} \quad (۴-۱۰)$$

که در روابط فوق M تعداد کل داده های ورودی، $X_{i.m}$ معرف i امین داده پیش بینی شده و $X_{i.o}$ معرف i امین داده مشاهده شده است. محدوده‌ی مقادیر ضریب همبستگی R در جدول ۴-۱ نشان داده شده است. بدیهی است بهترین روش، روشی است که دارای کمترین مقدار $RMSE$ و بیشترین مقدار R و $Nash$ باشد.

جدول (۴-۱) محدوده‌ی مقادیر ضریب همبستگی R

دسته بندی	عالی	بسیار خوب	خوب	ضعیف	خیلی ضعیف
معیار جمعی	بیشتر از ۰/۸۵	۰/۷-۰/۸۵	۰/۵۵-۰/۷	۰/۴-۰/۵۵	کمتر از ۰/۴

فصل پنجم

نتایج و بحث

۵-۱- مقدمه

این پژوهش به پیش بینی و برآورد مقادیر بارش با استفاده از سنجش از دور و تصاویر سنجنده مودیس برای دوره تاریخی ۲۰۱۵-۲۰۰۵ در شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان پرداخته است. با توجه به مطالبی که در فصول قبل ارائه شد، در این فصل نتایج بدست آمده بصورت کامل نمایش داده خواهد شد.

۵-۲- نتایج شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

همان طور که در فصول گذشته توضیح داده شد، برای استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی ابتدا باید داده های مشاهداتی فراهم شوند. با توجه به دوره آماری در نظر گرفته شده در این پژوهش (داده های بارش ۶ ساعته از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵)، برای این دوره تاریخی ۱۳۲ واقعه بارش مشاهداتی استخراج شد. این داده ها به عنوان داده های هدف برای شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته می شوند. پس از دانلود تصاویر سنجنده مودیس برای روز وقوع بارش و تحلیل و پردازش آن ها در نرم افزار ENVI 5.3، نتایج حاصل از این پردازش ها، به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی خوراند می شوند. پس از آماده کردن داده های ورودی و داده های هدف، برای آموزش مدل و اعتبارسنجی آن اقدام می شود. در این پژوهش ۷۰ درصد داده ها به قسمت آموزش، ۱۵ درصد به قسمت اعتبارسنجی و ۱۵ درصد به قسمت تست اختصاص یافته است. شبکه عصبی مصنوعی از نوع پیشرو بوده و جهت آموزش آن از الگوریتم لوبز - مارکوات استفاده می شود. ابتدا شبکه با یک لایه پنهان آموزش داده شده و در صورت عملکرد نامناسب، تعداد لایه ها افزوده می شود. این موضوع در مورد تعداد نرون های لایه های مخفی نیز صدق می کند. به گونه ای که در ابتدا تعداد نرون های کم مورد بررسی قرار گرفته و در صورت همگرا نشدن به جواب مطلوب، آنها را افزایش می دهیم. ترکیبات مختلفی از داده های ورودی به شبکه خوراند می شود و عملکرد شبکه مورد ارزیابی قرار می گیرد. خروجی مدل، داده های شبیه سازی شده بارش خواهد بود. در جدول ۵-۱، مدل های

منتخب شبکه عصبی مصنوعی، شامل بهترین مدل ها از نظر عملکرد و برخی دیگر از مدل های مهم که نتایج آن ها قابل بحث و تأمل می باشند و ترکیب داده های ورودی آن ها نشان داده شده است.

جدول (۵-۱) مدل های منتخب شبکه عصبی مصنوعی و داده های ورودی به آن ها

نام مدل	داده های ورودی به مدل
ANN 1	Reflectance باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶، Emissivity باندهای ۳۱ و ۳۲، NDVI و BT باندهای ۳۱ و ۳۲
ANN 2	Reflectance باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶
ANN 3	BT باندهای ۳۱ و ۳۲، NDVI، Emissivity باندهای ۳۱ و ۳۲
ANN 4	NDVI
ANN 5	BT باندهای ۳۱ و ۳۲
ANN 6	Emissivity باندهای ۳۱ و ۳۲
ANN 7	Reflectance باندهای ۱، ۳ و ۴
ANN 8	Reflectance باندهای ۱، ۳ و ۴، BT باندهای ۳۱ و ۳۲، NDVI، Emissivity باندهای ۳۱ و ۳۲
ANN 9	Reflectance باندهای ۱، ۳ و ۴ و Emissivity باندهای ۳۱ و ۳۲
ANN 10	Reflectance باندهای ۱۸ و ۱۹
ANN 11	Reflectance باندهای ۱۸ و ۱۹، BT باندهای ۳۱ و ۳۲، NDVI و Emissivity باندهای ۳۱ و ۳۲
ANN 12	Reflectance باندهای ۱ و ۱۹
ANN 13	Reflectance باندهای ۱ و ۱۸
ANN 14	Reflectance باندهای ۱، ۳، ۵، ۱۸ و ۱۹
ANN 15	Reflectance باندهای ۳، ۵ و ۱۸
ANN 16	Reflectance باندهای ۱، ۳ و ۱۹
ANN 17	Reflectance باندهای ۱، ۴ و ۱۹
ANN 18	Reflectance باندهای ۳، ۵، ۱۸ و ۱۹

عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل های فوق، در جدول ۵-۲ نشان داده شده است. در این جدول با توجه با پارامترهای آماری شرح داده شده در فصل قبل، عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل های معرفی شده بررسی شده است.

جدول (۵-۲) ارزیابی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی

Models	Nash		R		RMSE		Neuron
	Train	Test	Train	Test	Train	Test	
ANN 1	۰/۹۳	۰/۴۴	۰/۹۶	۰/۷۶	۰/۹۴	۲/۵۸	۱۴
ANN 2	۰/۹۹	۰/۵۴	۰/۹۹	۰/۷۸	۰/۰۴	۲/۲۸	۲۷
ANN 3	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۸۳	۰/۷۰	۲/۳۳	۲/۶۴	۴۱
ANN 4	۰/۷۱	۰/۵۹	۰/۸۴	۰/۸۲	۲/۳۴	۲/۷۶	۳۸
ANN 5	۰/۸۷	۰/۴۷	۰/۹۳	۰/۸۱	۱/۷	۱/۶۸	۴۴
ANN 6	۰/۷۳	۰/۴۵	۰/۸۵	۰/۷۰	۲/۲۳	۲/۱۲	۳۵
ANN 7	۰/۸۳	۰/۵۴	۰/۹۱	۰/۷۵	۱/۴۷	۲/۱۶	۴۷
ANN 8	۰/۸۳	۰/۴۶	۰/۹۱	۰/۷۳	۱/۸۲	۲/۵۹	۳۵
ANN 9	۰/۹۱	۰/۴۷	۰/۹۵	۰/۷۶	۱/۱۶	۱/۹۷	۳۲
ANN 10	۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۹۳	۰/۹۱	۱/۵۷	۱/۹۶	۲۷
ANN 11	۰/۷۱	۰/۵۴	۰/۹۷	۰/۷۷	۰/۸۸	۲/۸	۱۱
ANN 12	۰/۹۴	۰/۶۶	۰/۹۷	۰/۹۰	۱/۰۷	۲/۰۱	۲۳
ANN 13	۰/۹۸	۰/۷۱	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۵۶	۱/۹۶	۵۰
ANN 14	۰/۹۹	۰/۶۶	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۲	۱/۹۶	۴۳
ANN 15	۰/۹۸	۰/۷۷	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۴۶	۱/۷۱	۳۷
ANN 16	۰/۹۱	۰/۷۶	۰/۹۵	۰/۸۸	۱/۳۲	۱/۶	۲۱
ANN 17	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹۴	۱/۸۵	۲۵
ANN 18	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۹۳	۱/۰۳	۱/۴۹	۱۹

۵-۳- تشریح مدل های منتخب شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۵-۲)، به بررسی مدل های ANN 1 تا ANN 18 می پردازیم.

در مدل ANN 1 تمام داده های استخراج شده از تحلیل و پردازش تصاویر سنجنده مودیس شامل داده های مرئی و مادون قرمز بازتابی باندهای ۱ الی ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶، گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی خورانده می شوند. با توجه به معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه، نتایج این مدل رضایت بخش نیست، به گونه ای که در بهترین تعداد

نورون در لایه پنهان، یعنی ۱۴ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۶، NASH برابر ۰/۹۳ و RMSE برابر با ۰/۹۴ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۷۶، NASH برابر با ۰/۴۴ و RMSE برابر با ۲/۵۸ می‌باشد.

در مدل ANN 2 از داده‌های بازتابی باندهای ۱ الی ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶ در محدوده مرئی و مادون قرمز طیف الکترومغناطیس به عنوان داده‌های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. در این مدل، در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۲۷ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۹، NASH برابر ۰/۹۹ و RMSE برابر با ۰/۰۴ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۷۸، NASH برابر با ۰/۵۴ و RMSE برابر با ۲/۲۸ می‌باشد.

با مقایسه نتایج دو مدل ANN 1 و ANN 2 این گونه استنباط می‌شود که داده‌های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده موجب افت عملکرد شبکه عصبی مصنوعی می‌شوند.

مدل دیگری که به بررسی آن می‌پردازیم، مدل ANN 3 می‌باشد. داده‌های ورودی به این مدل گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده می‌باشند. نتایج این مدل بسیار ضعیف می‌باشند و مقادیر نش ساتکلیف و ضریب همبستگی به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کنند. در این مدل، در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۴۱ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۸۳، NASH برابر ۰/۶۹ و RMSE برابر با ۲/۳۳ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۷۰، NASH برابر با ۰/۴۴ و RMSE برابر با ۲/۶۴ می‌باشد.

در مدل ANN 4، تنها از داده‌های شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده به عنوان داده‌های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. در این مدل مقادیر معیار های نش ساتکلیف، ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا نسبت به مدل ANN 3 مطلوب تر شده اما نمی‌توان

آن را به عنوان مدلی قابل قبول قلمداد کرد. در این مدل، در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۳۸ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۸۴، NASH برابر ۰/۷۱ و RMSE برابر با ۲/۳۴ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۸۲، NASH برابر با ۰/۵۹ و RMSE برابر با ۲/۷۶ می‌باشد.

مدل ANN 5 از داده های درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌کند. عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در این حالت کاهش پیدا می‌کند، به گونه ای که در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۴۴ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۳، NASH برابر ۰/۸۷ و RMSE برابر با ۱/۷ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۸۱، NASH برابر با ۰/۴۷ و RMSE برابر با ۱/۸۳ می‌باشد.

مدل ANN 6 مدل دیگری است که به بررسی آن می‌پردازیم. در این مدل گسیلمندی باندهای مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲ به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی خوانده می‌شوند. باند حرارتی ۳۱ سنجنده مودیس در محدوده ۱۰/۷۸۰-۱۱/۲۸۰ میکرومتر و باند حرارتی ۳۲ در محدوده ۱۱/۲۸۰-۱۲/۲۷۰ میکرومتر طیف الکترومغناطیس می‌باشند و تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر را ارائه می‌دهند. عملکرد این مدل رضایت بخش نبوده، به گونه ای که معیارهای نش ساتکلیف و ضریب همبستگی به شدت نزول پیدا کرده و ریشه میانگین مربعات خطا افزایش می‌یابد. در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۳۵ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۸۵، NASH برابر ۰/۷۳ و RMSE برابر با ۲/۲۳ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۷۰، NASH برابر با ۰/۴۵ و RMSE برابر با ۲/۱۲ می‌باشد.

با توجه به نتایج مدل های ANN3، ANN4، ANN5 و ANN 6 هنگامی که داده های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده، چه بصورت ترکیبی با یکدیگر و چه بصورت جداگانه، به

عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی خورانده می شوند، عملکرد شبکه عصبی بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و نتایج آن مطلوب نمی باشد.

در مدل ANN 7، تنها از داده های بازتابی باندهای ۱، ۳ و ۴ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس به عنوان داده های ورودی به شبکه استفاده می شود. باند ۱ سنجنده مودیس در تعیین محدوده ابرها، زمین و هواویزه ها کاربرد داشته و پهنای آن در محدوده ۶۷۰-۶۲۰ نانومتر بوده و دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر می باشد. باندهای ۳ و ۴ سنجنده مودیس نیز در شناسایی خصوصیات ابرها، سطح زمین و هواویزه ها کاربرد دارند. پهنای باند ۳ در محدوده ۵۴۵-۴۷۰ نانومتر می باشد، در حالی که باند ۴ محدوده ۵۶۵-۵۴۵ نانومتر را پوشش می دهد. قدرت تفکیک مکانی باندهای ۳ و ۴ سنجنده مودیس ۵۰۰ متر می باشد. عملکرد شبکه در مقایسه با مدل ANN 2 که از ترکیب داده های مرئی و مادون قرمز بازتابی به عنوان داده های ورودی استفاده می کند ضعیف تر شده، بگونه ای که در در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۴۷ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۱، NASH برابر ۰/۸۳ و RMSE برابر با ۱/۴۷ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۷۵، NASH برابر با ۰/۵۴ و RMSE برابر با ۲/۱۶ به ثبت رسیده است.

مدل ANN 8 از داده های بازتابی باندهای ۱، ۳ و ۴ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس و داده های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده به عنوان داده های ورودی به مدل بهره می برد. در این مدل در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۳۵ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۱، NASH برابر ۰/۸۳ و RMSE برابر با ۱/۸۲ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۷۳، NASH برابر با ۰/۴۶ و RMSE برابر با ۲/۵۹ می باشد. همانطور که ملاحظه می شود ترکیب داده های بازتابی مرئی و داده های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت

درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده چندان قابل اعتماد نیست و عملکرد شبکه مطلوب نمی‌باشد.

مدل ANN 9 از داده‌های بازتابی باندهای ۱، ۳ و ۴ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس و داده‌های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲ به عنوان داده‌های ورودی به شبکه استفاده کرده است. عملکرد شبکه نسبت به مدل ANN 8 تغییر چندانی نداشته، به گونه‌ای که در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۳۲ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۵، NASH برابر ۰/۹۱ و RMSE برابر با ۱/۱۶ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۷۶، NASH برابر با ۰/۴۷ و RMSE برابر با ۱/۹۷ به ثبت رسیده است.

با توجه به خروجی مدل های ANN 7، ANN 8 و ANN 9 به این نتیجه می‌رسیم که داده‌های بازتابی باندهای مرئی هنگامی که به صورت منفرد استفاده می‌شوند، نسبت به حالتی که در ترکیب با داده‌های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده مورد استفاده قرار می‌گیرند، نتایج بهتری ارائه می‌دهند، به عبارت دیگر، داده‌های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده عملکرد شبکه عصبی مصنوعی را کاهش داده و نتایج مطلوبی را به همراه ندارند.

در مدل ANN 10 از داده‌های بازتابی باندهای ۱۸ و ۱۹ محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس به عنوان داده‌های ورودی استفاده شده است. باند های ۱۸ و ۱۹ سنجده مودیس به عنوان باندهای جذبی بخار آب جو شناخته می‌شوند. باند ۱۸ محدوده ۹۴۱-۹۳۱ نانومتر و باند ۱۹، محدوده ۹۶۵-۹۴۱ نانومتر طیف الکترومغناطیس را پوشش می‌دهند و دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر می‌باشند. عملکرد کلی شبکه در این مدل نسبت به مدل های قبلی بهبود یافته است، به گونه‌ای که در این مدل، در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۲۷ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر

با ۰/۹۳، NASH برابر ۰/۸۷ و RMSE برابر با ۱/۵۷ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۹۱، NASH برابر با ۰/۶۸ و RMSE برابر با ۱/۹۶ می‌باشد.

در مدل ANN 11 داده های مادون قرمز بازتابی باند های ۱۸ و ۱۹، گسیلمندی باند های حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی خوراند می‌شوند. عملکرد مدل نسبت به مدل ANN 10 به شدت کاهش پیدا می‌کند. به گونه ای که در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۱۱ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۷، NASH برابر ۰/۷۱ و RMSE برابر با ۰/۸۸ و برای دوره تست مقدار R برابر با ۰/۷۷، NASH برابر با ۰/۵۴ و RMSE برابر با ۲/۸ می‌باشد.

خروجی های دو مدل ANN 10 و ANN 11، نتایج بدست آمده از مدل های پیشین را تأیید می‌کنند که داده های گسیلمندی باند های حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده به شدت بر عملکرد شبکه عصبی مصنوعی تأثیر منفی گذاشته و نمی‌توانند در ترکیب با داده های مرئی بازتابی و مادون قرمز بازتابی نتایج قابل قبولی را ارائه دهند.

در مدل ANN 12، داده های بازتابی باند ۱ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس و باند ۱۹ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده اند. ترکیب داده های مرئی و مادون قرمز بازتابی موجب بهبود عملکرد مدل شده است. در بهترین تعداد نرون در لایه پنهان، یعنی ۲۳ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۷، NASH برابر ۰/۹۴ و RMSE برابر با ۱/۰۷ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۹، NASH برابر با ۰/۶۶ و RMSE برابر با ۲/۰۱ به ثبت رسیده است.

در مدل ANN 13، داده های بازتابی باند ۱ محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس و باند ۱۸ محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی خوراند

شده‌اند. در این مدل، در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۵۰ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۹، NASH برابر ۰/۹۸ و RMSE برابر با ۰/۵۶ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۸۸، NASH برابر با ۰/۷۱ و RMSE برابر با ۱/۹۷ می‌باشد.

مدل ANN 14 از داده های بازتابی باند های ۱ و ۳ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس و از داده های بازتابی باندهای ۵، ۱۸ و ۱۹ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس به عنوان داده‌های ورودی به مدل استفاده می‌کند. باند ۵ سنجنده مودیس در شناسایی خصوصیات ابرها، سطح زمین و هواویزه ها کاربرد دارد. پهنای باند ۵ در محدوده ۱۲۵۰-۱۲۳۰ نانومتر طیف الکترومغناطیس بوده و قدرت تفکیک مکانی آن ۵۰۰ متر می‌باشد. در این مدل، در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۴۳ نورون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۹، NASH برابر ۰/۹۹ و RMSE برابر با ۰/۲ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۸۷، NASH برابر با ۰/۶۶ و RMSE برابر با ۱/۹۱ به ثبت رسیده است.

در مدل ANN 15، داده های بازتابی باندهای ۵ و ۱۸ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس و باند ۳ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی خورانده می‌شوند. در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۳۷ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۹، NASH برابر ۰/۹۸ و RMSE برابر با ۰/۴۶ و برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۹۱، NASH برابر با ۰/۷۷ و RMSE برابر با ۱/۷۱ می‌باشد.

در مدل ANN 16، داده های ورودی به مدل ترکیبی از داده های بازتابی باند های ۱ و ۳ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس و باند ۱۹ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس می‌باشند. در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۲۱ نرون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۵، NASH برابر ۰/۹۱ و RMSE برابر با ۱/۳۲ و برای دوره تست مقدار R برابر با ۰/۸۸، NASH برابر ۰/۷۶ و RMSE برابر با ۱/۶ به ثبت رسیده است.

داده های ورودی به مدل ANN 17 داده های بازتابی باندهای ۱ و ۴ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس و داده های بازتابی باند ۱۹ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس می باشند. باند ۴ سنجنده مودیس مانند باند های ۳ و ۵ در شناسایی خصوصیات ابرها، سطح زمین و هواویزه ها کاربرد دارد. پهنای باند ۴ در محدوده ۵۴۵-۵۶۵ نانومتر طیف الکترومغناطیس بوده و قدرت تفکیک مکانی آن ۵۰۰ متر می باشد. مدل مذکور یکی از بهترین عملکردها را از خود نشان می دهد، به گونه ای که در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۲۵ نورون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۷، NASH برابر با ۰/۹۵ و RMSE برابر با ۰/۹۴، و برای دوره تست، R برابر با ۰/۹۱، NASH برابر با ۰/۸۱ و RMSE برابر با ۱/۸۵ به ثبت رسیده اند.

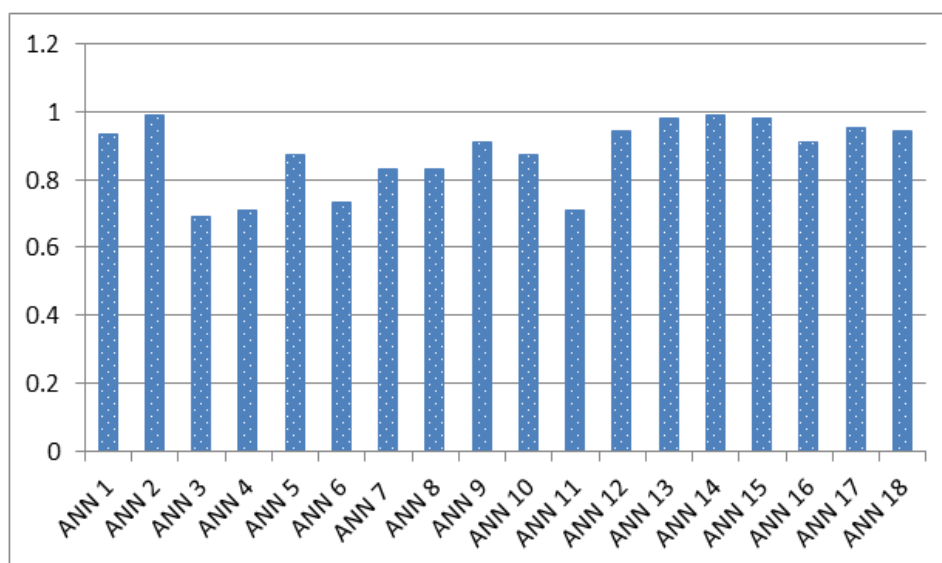
مدل ANN 18 بهترین عملکرد را از خود نشان می دهد. در این مدل، داده های ورودی ترکیبی از داده های بازتابی باندهای ۵، ۱۸ و ۱۹ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس و داده های بازتابی باند ۳ در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس می باشند. عملکرد مدل با توجه به معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی، نش ساتکلیف و ریشه میانگین مربعات خطا بهترین وضعیت را در میان مدل های بررسی شده دارا می باشد. در مدل مذکور، در بهترین تعداد نورون در لایه پنهان، یعنی ۱۹ نورون، برای دوره آموزش، مقدار R برابر با ۰/۹۷، مقدار NASH برابر با ۰/۹۴ و مقدار RMSE برابر با ۱/۰۳ می باشد. همچنین برای دوره تست، مقدار R برابر با ۰/۹۳، مقدار NASH برابر با ۰/۸۱ و مقدار RMSE برابر با ۱/۴۹ به ثبت رسیده است.

با توجه به نتایج بدست آمده از مدل های ANN 12 تا ANN 18 اینگونه استنباط می شود که ترکیب داده های مرئی و مادون قرمز بازتابی، بهترین ترکیب داده های ورودی برای شبکه عصبی مصنوعی می باشند.

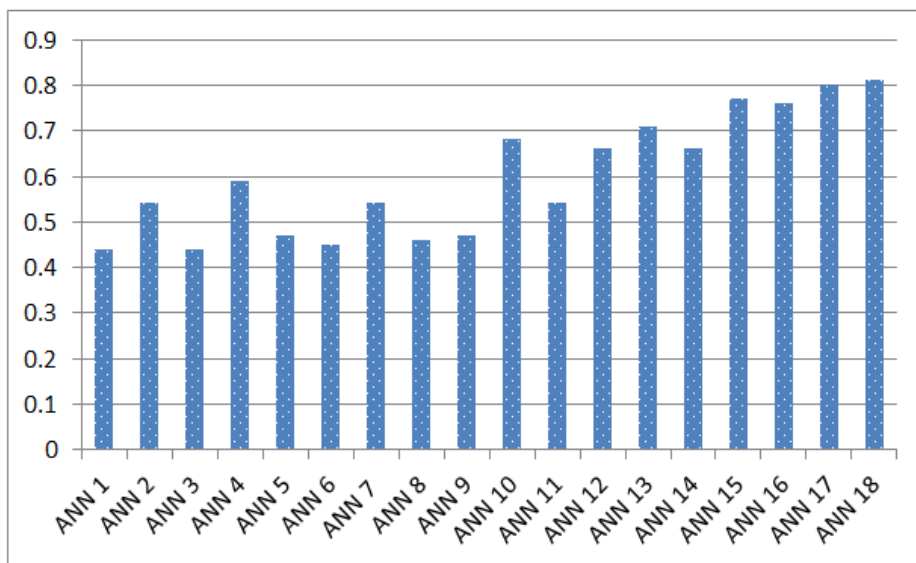
داده های باند های ۱۸ و ۱۹ محدوده مادون قرمز بازتابی طیف الکترومغناطیس با توجه به ماهیت خود، هنگامی که به عنوان داده های ورودی به شبکه (چه بصورت تکی و چه بصورت ترکیبی با داده های باندهای دیگر) مورد استفاده قرار می گیرند، عملکرد شبکه را بهبود می بخشد.

داده های مرئی بازتابی باندهای ۱، ۳ و ۴، هنگامی که بصورت تکی و یا در ترکیب با یکدیگر به عنوان داده های ورودی به شبکه مورد استفاده قرار می گیرند، نتایج قابل قبولی را ارائه نمی دهند، اما در ترکیب با داده های مادون قرمز بازتابی باندهای ۵، ۱۸ و ۱۹، عملکرد شبکه را بهبود می بخشد.

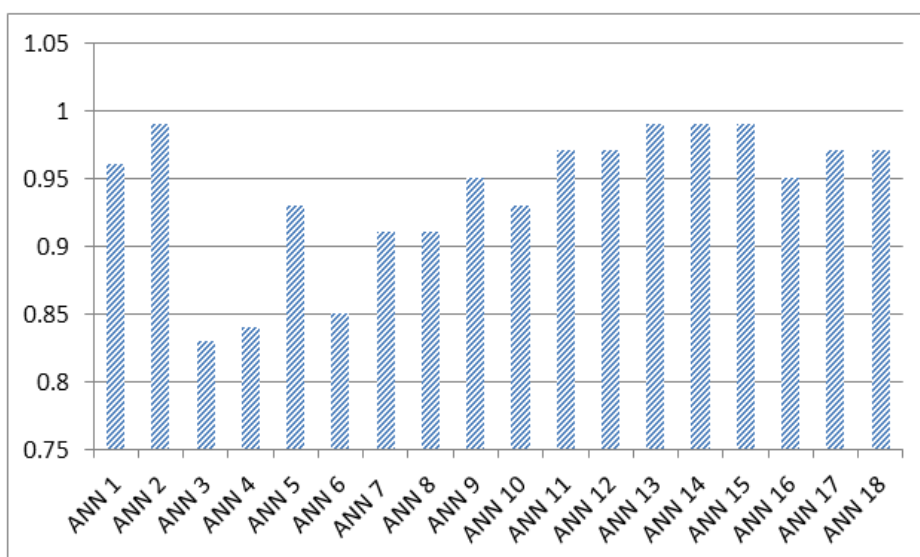
به منظور ارزیابی بهتر معیارهای عملکرد شبکه، آن ها را در شکل های ۵-۱ تا ۵-۶ با یکدیگر مقایسه می کنیم.



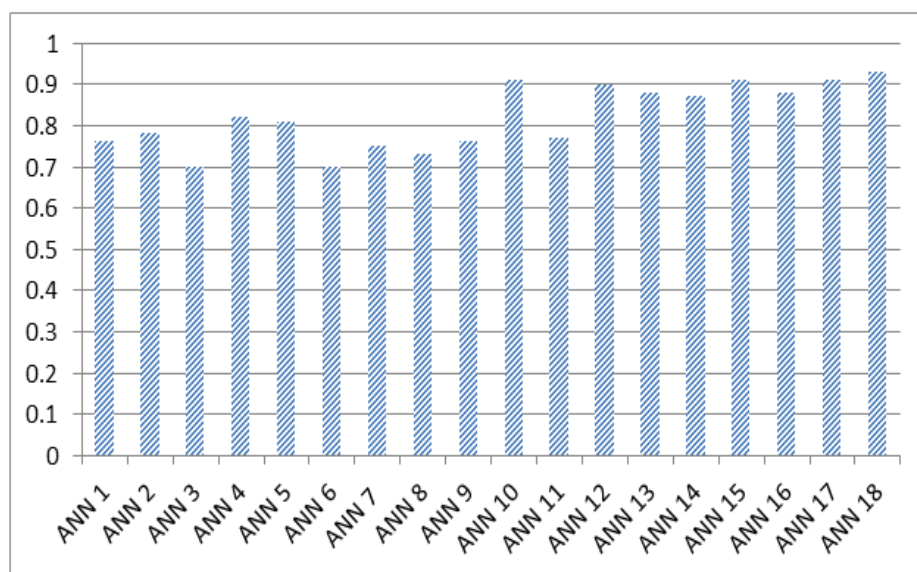
شکل (۵-۱) مقدار ضریب نش ساتکلیف (NASH) برای مدل های ANN 1 تا ANN 18 برای داده های آموزش



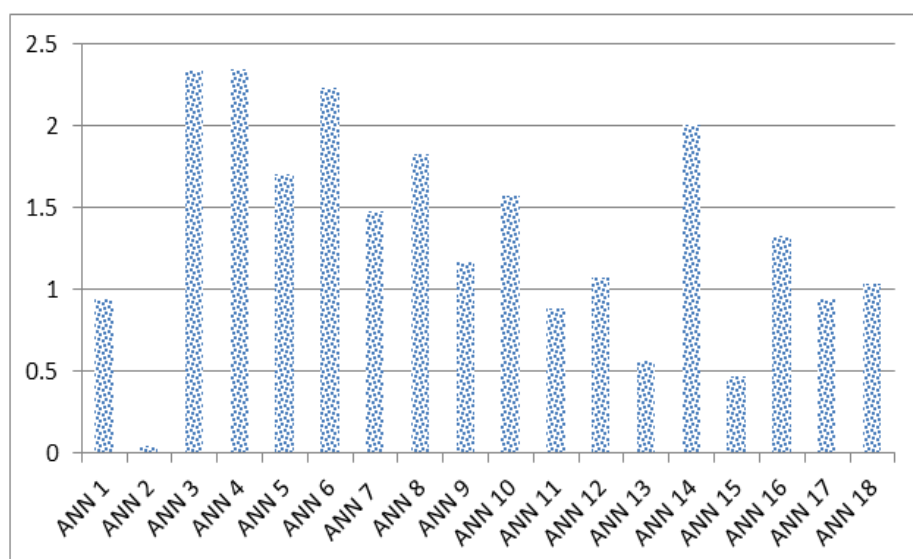
شکل (۵-۲) مقدار ضریب نش ساتکلیف (NASH) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های تست



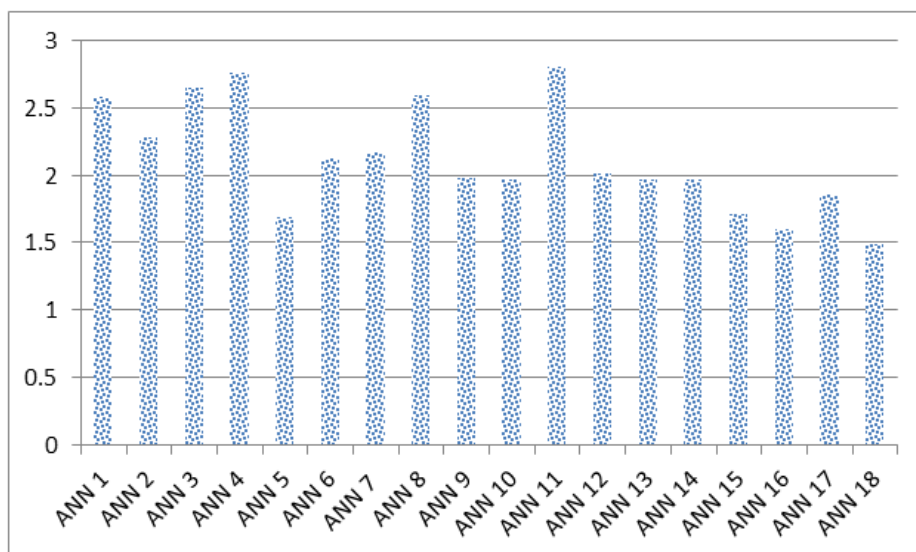
شکل (۵-۳) مقدار ضریب همبستگی (R) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های آموزش



شکل (۴-۵) مقدار ضریب همبستگی (R) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های تست



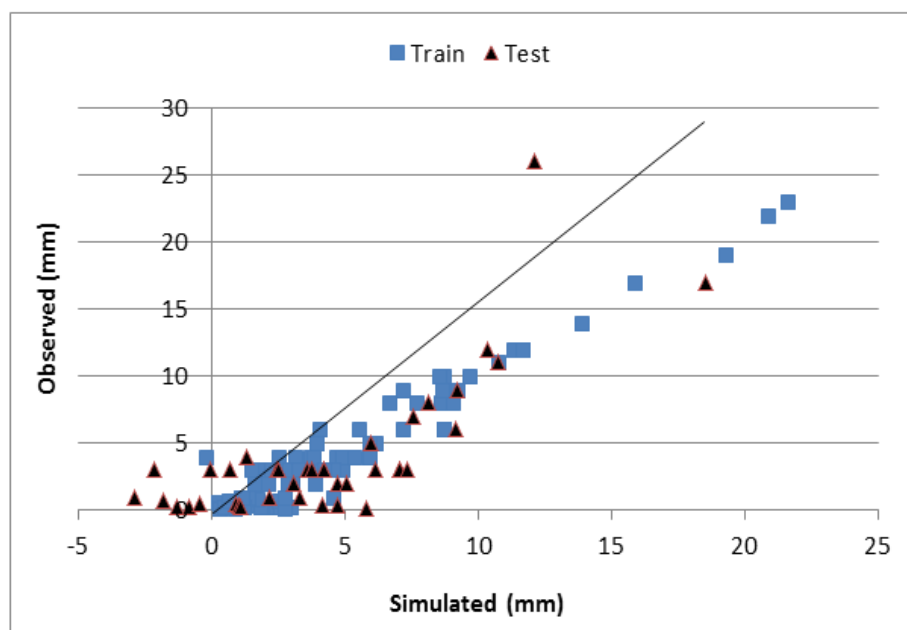
شکل (۵-۵) مقدار میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های آموزش



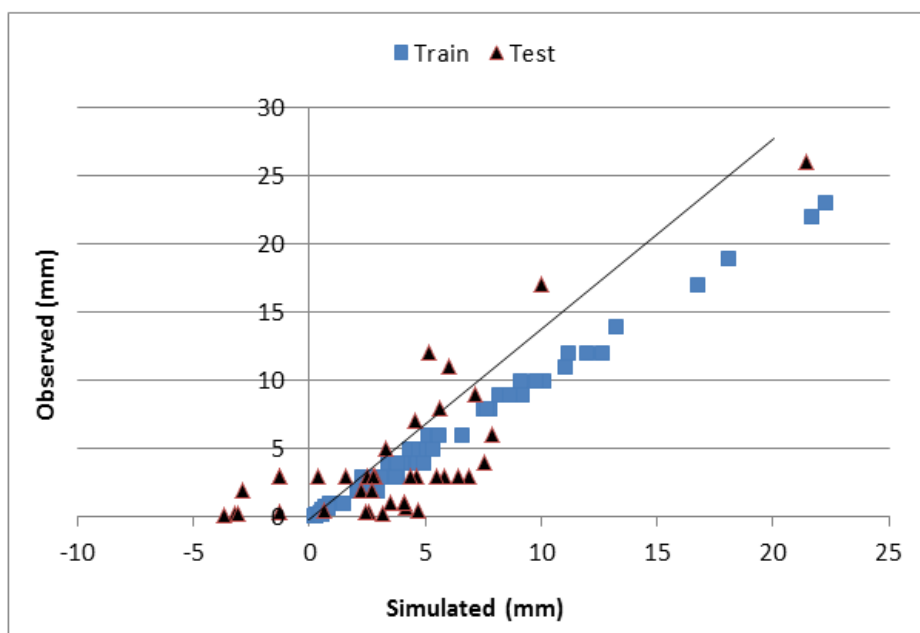
شکل (۵-۶) مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل های ANN1 تا ANN 18 برای داده های تست

همان گونه که در شکل های ۵-۱ تا ۵-۶ ملاحظه می شود، مدل ANN 18 بهترین عملکرد را از خود ارائه می دهد، این مدل از داده های بازتابی باند ۳ در محدوده مرئی و داده های بازتابی باند های ۵، ۱۸ و ۱۹ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی بهره می برد. بطور کلی، مدل هایی که از ترکیب داده های مرئی و مادون قرمز بازتابی به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی استفاده می کنند نتایج بهتری را ارائه می دهند.

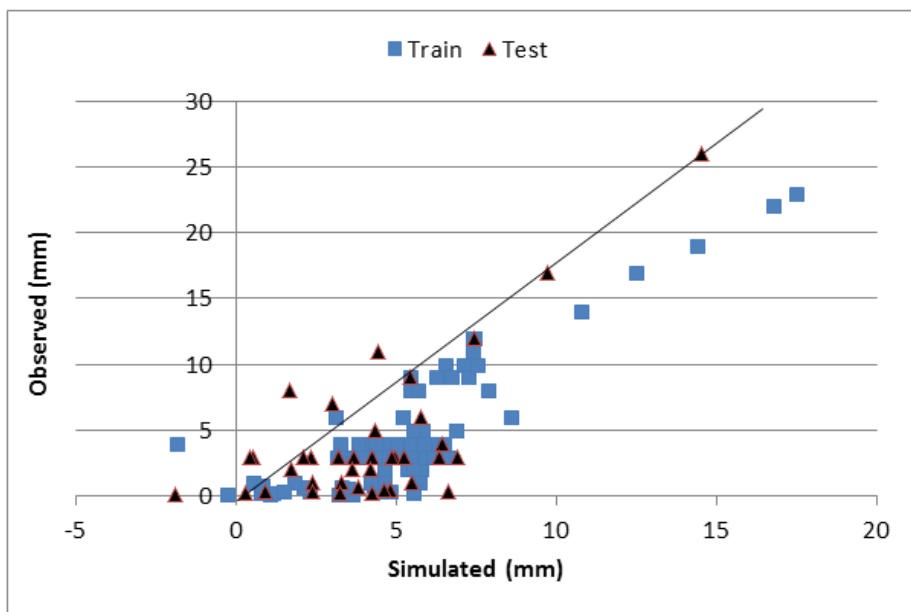
شکل های ۵-۷ تا ۵-۲۴ خروجی شبکه عصبی مصنوعی را برای مدل های ANN 1 تا ANN 18 نشان می دهند. مطابق با این شکل ها نیز مدل ANN 18 بهترین عملکرد را ارائه می دهد.



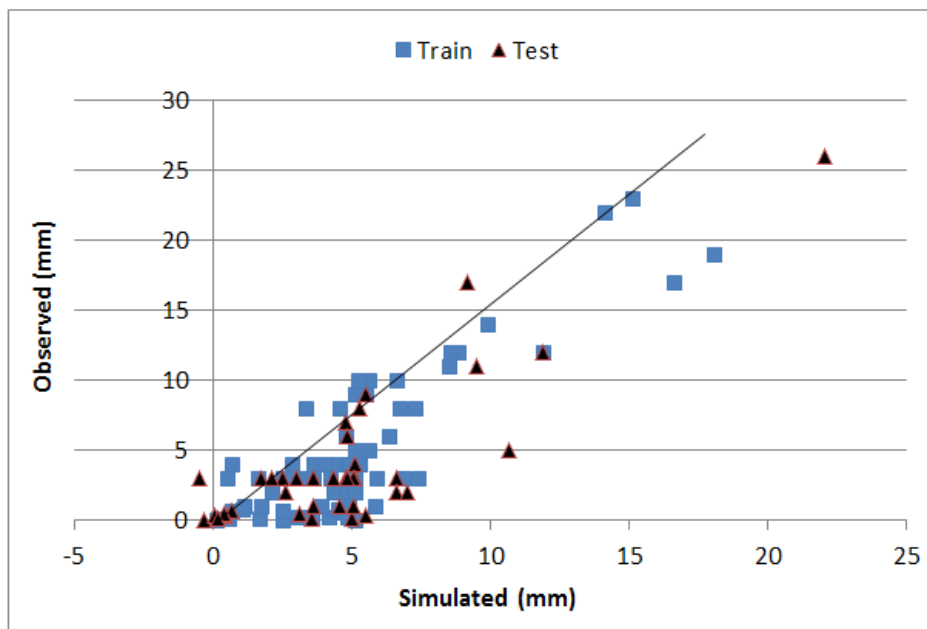
شکل (۷-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 1 برای داده های آموزش و تست



شکل (۸-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 2 برای داده های آموزش و تست

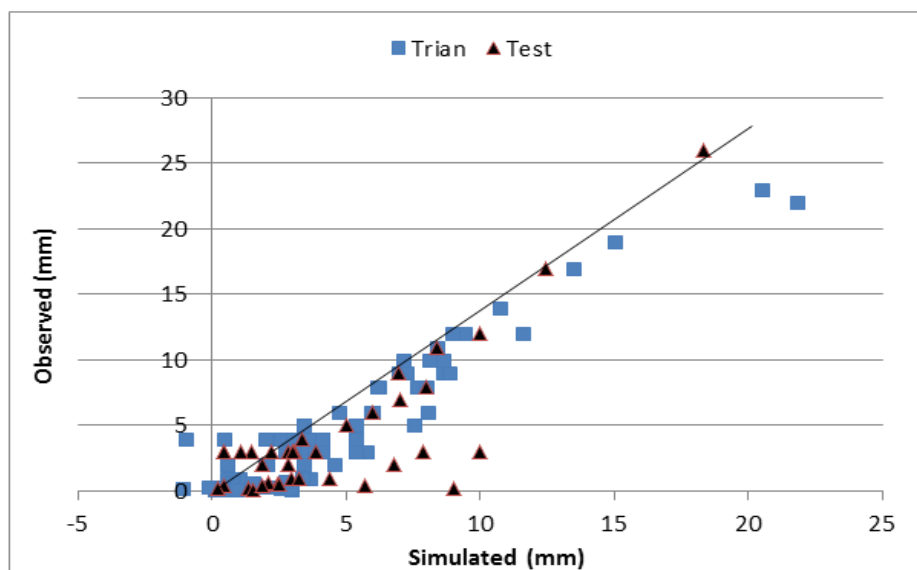


شکل (۹-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 3 برای داده های آموزش و تست



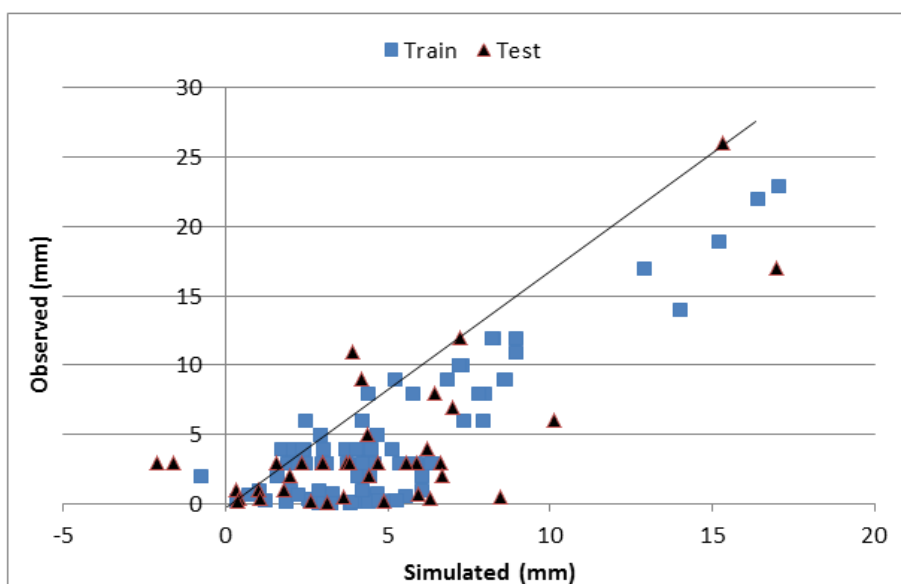
شکل (۱۰-۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 4 برای داده های آموزش و

تست



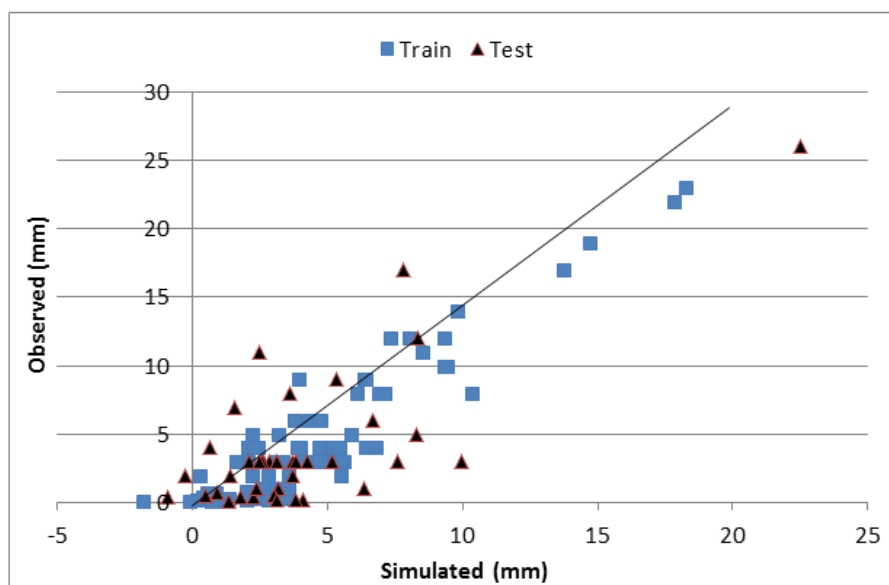
شکل (۵-۱۱) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 5 برای داده های آموزش و

تست



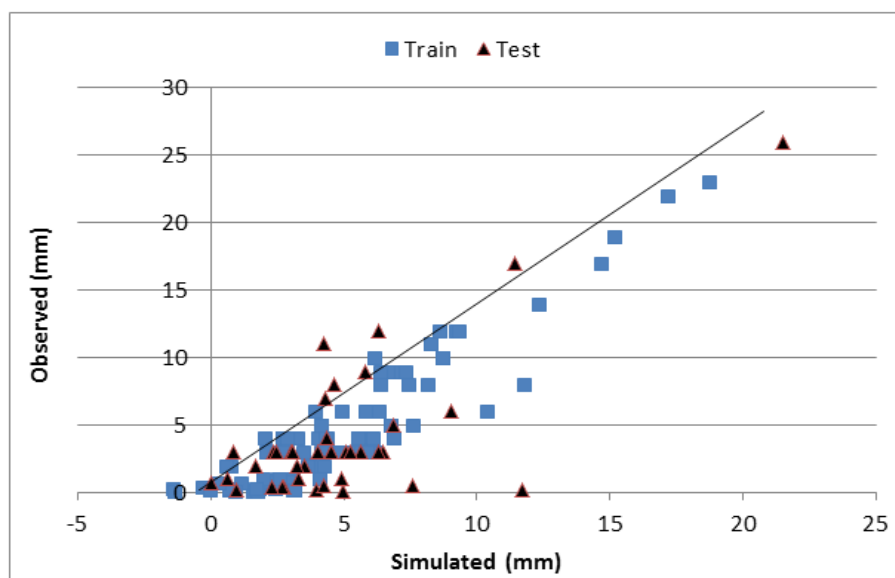
شکل (۵-۱۲) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 6 برای داده های آموزش و

تست



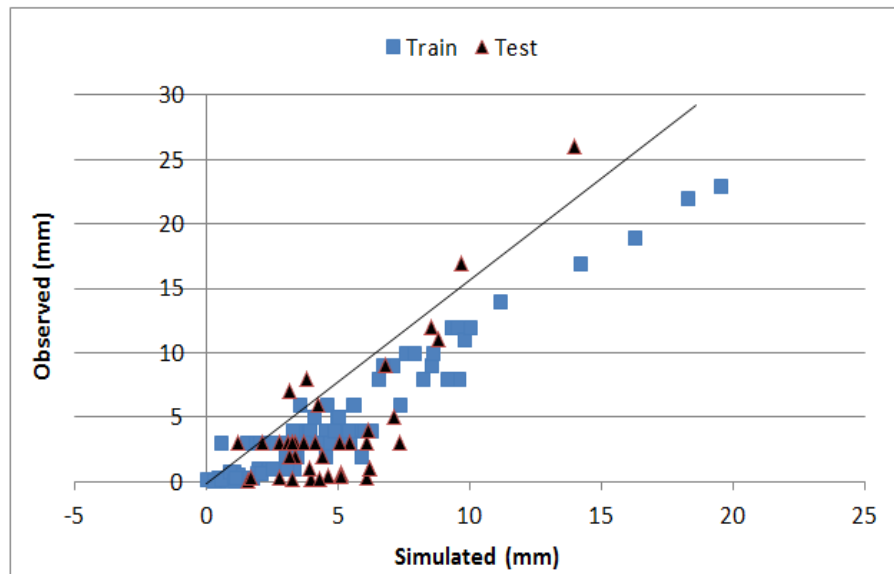
شکل (۵-۱۳) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 7 برای داده های آموزش و

تست



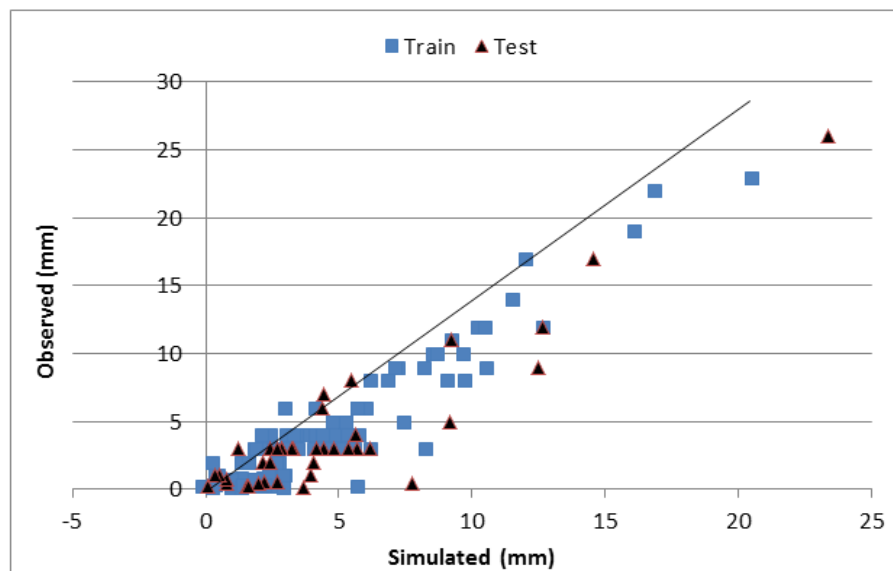
شکل (۵-۱۴) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 8 برای داده های آموزش و

تست



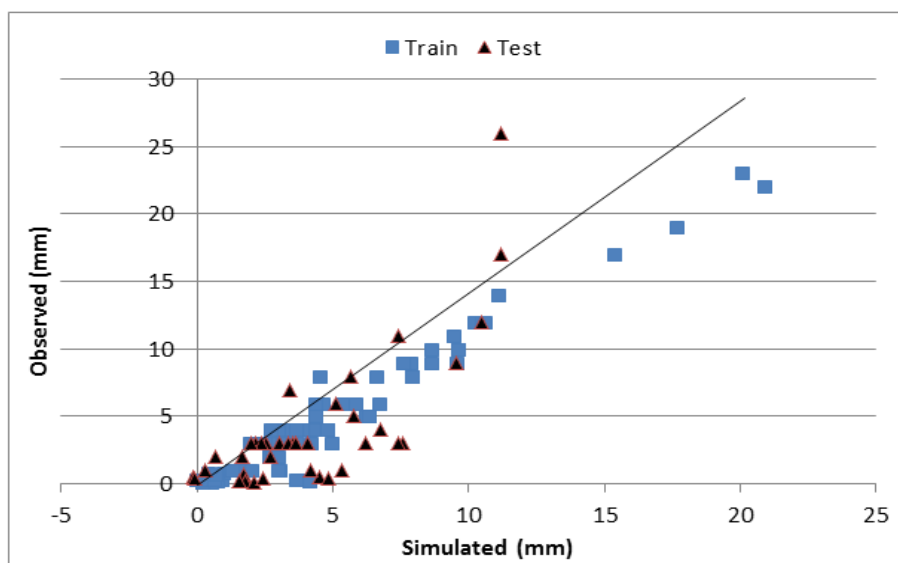
شکل (۵-۱۵) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 9 برای داده های آموزش و

تست



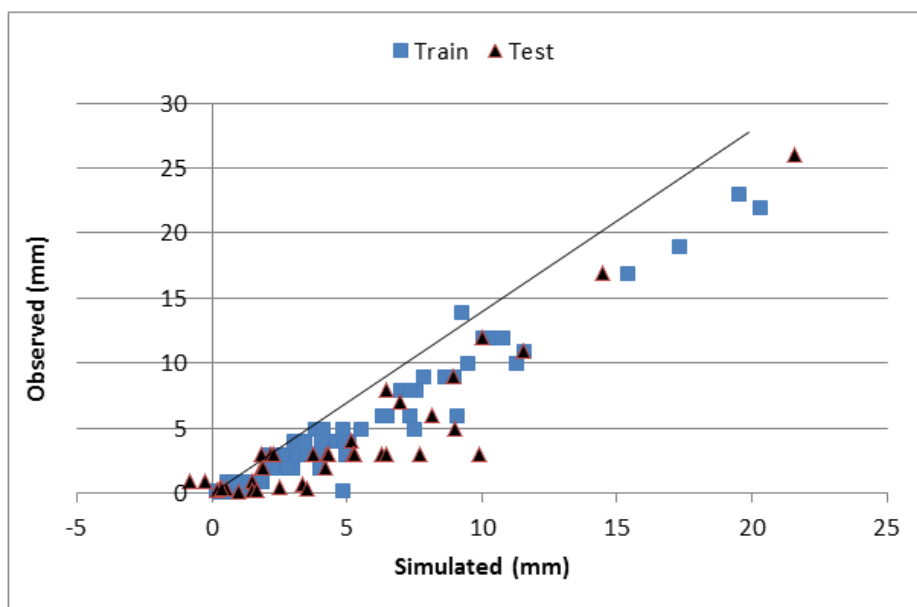
شکل (۵-۱۶) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 10 برای داده های آموزش و

تست



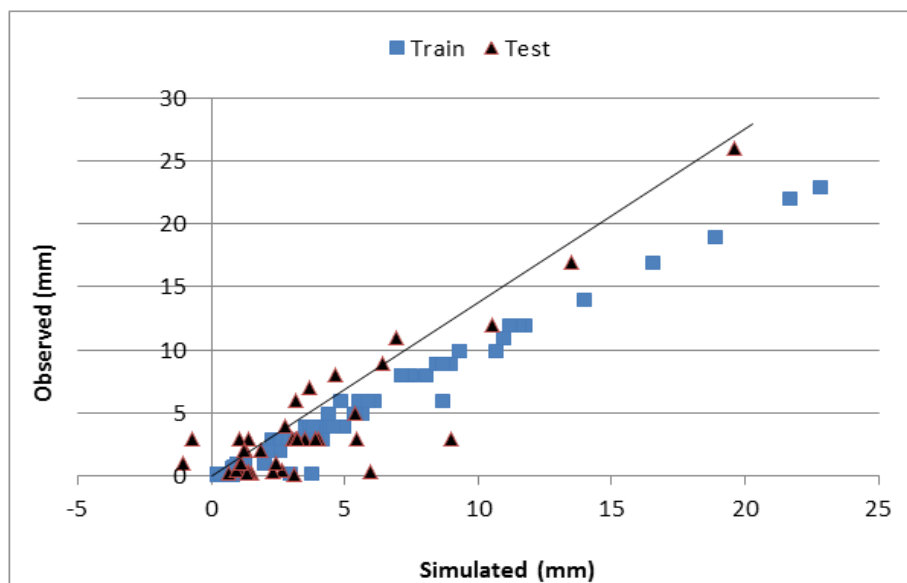
شکل (۵-۱۷) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 11 برای داده های آموزش و

تست



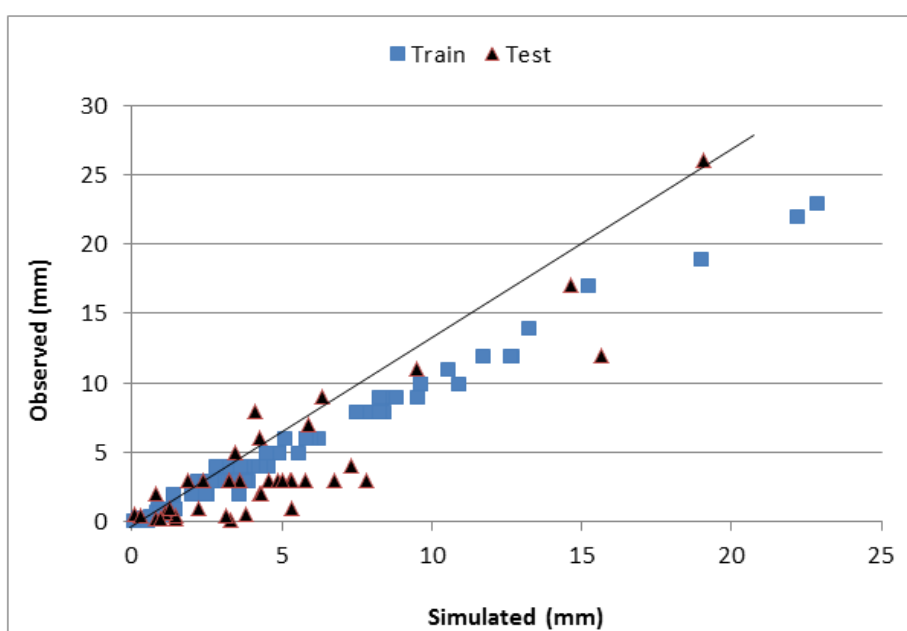
شکل (۵-۱۸) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 12 برای داده های آموزش و

تست



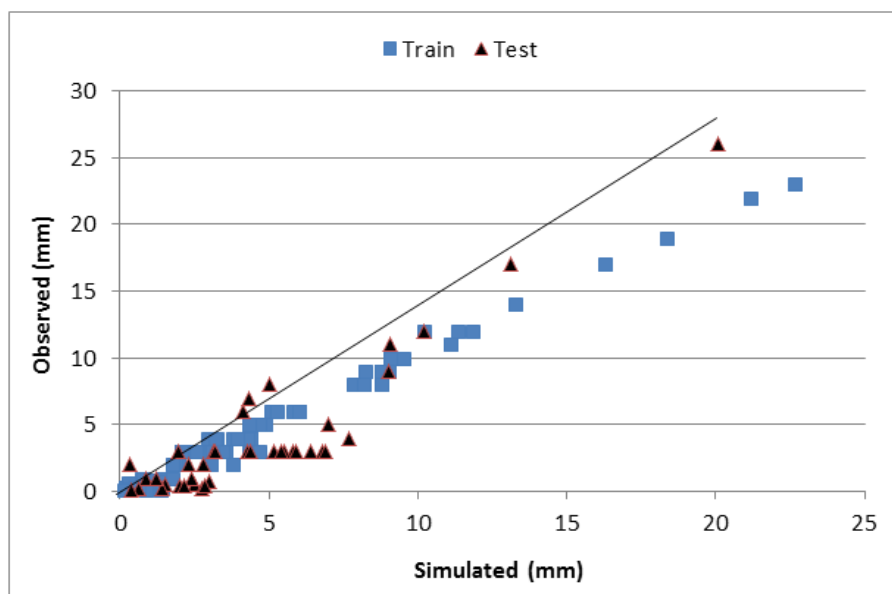
شکل (۵-۱۹) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 13 برای داده های آموزش و

تست



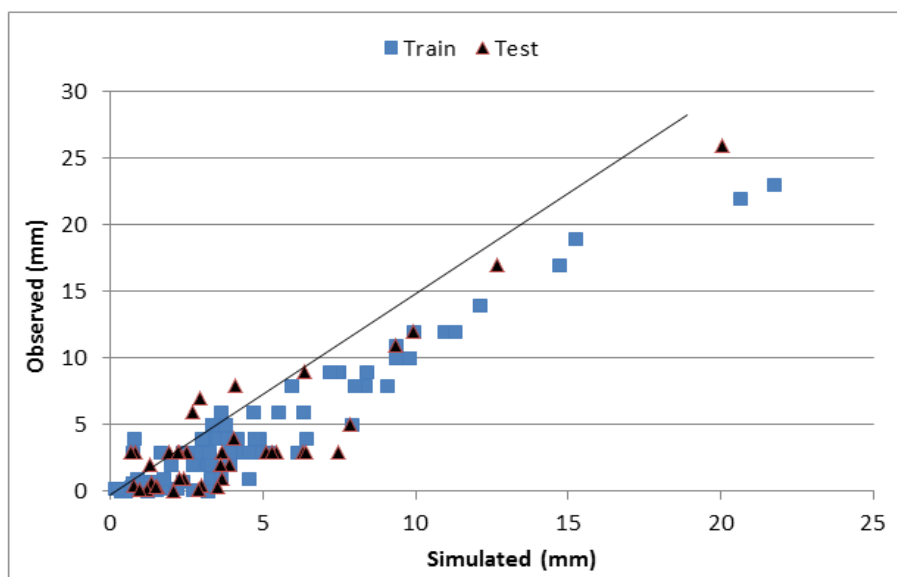
شکل (۵-۲۰) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 14 برای داده های آموزش و

تست



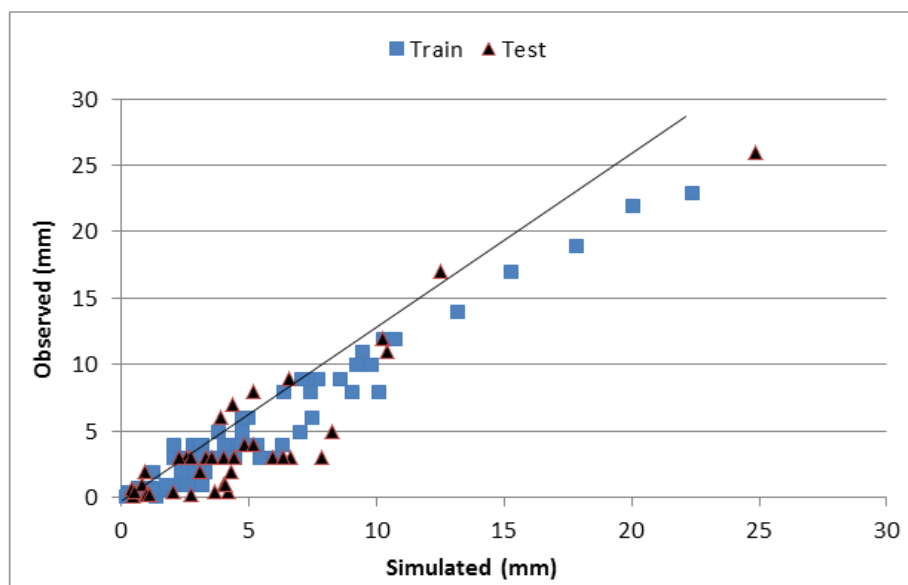
شکل (۵-۲۱) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 15 برای داده های آموزش و

تست



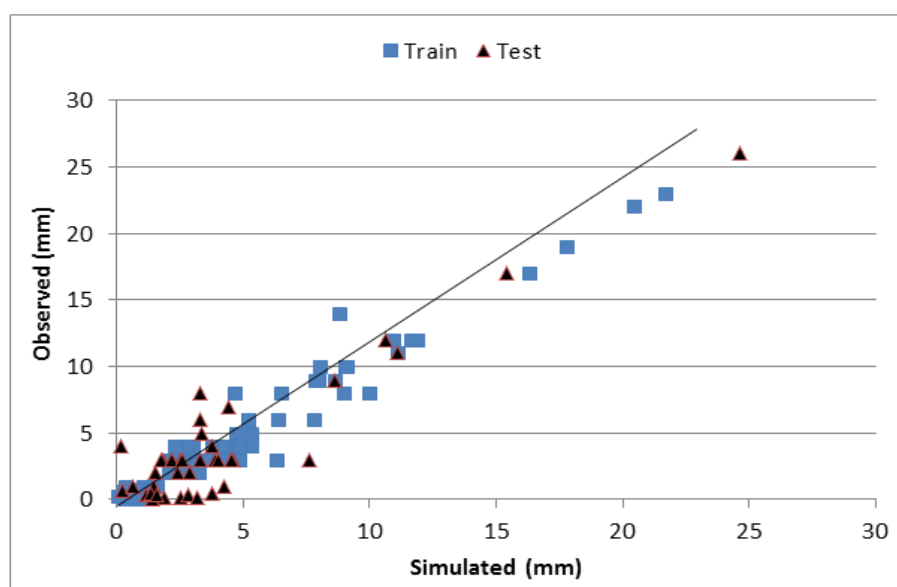
شکل (۵-۲۲) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 16 برای داده های آموزش و

تست



شکل (۵-۲۳) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 17 برای داده های آموزش و

تست



شکل (۵-۲۴) مقادیر بارش برای داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل ANN 18 برای داده های آموزش و

تست

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهاد ها

۶-۱- مقدمه

هدف از انجام این پژوهش، پیش بینی مقادیر بارش با کمک سنجش از دور و داده های حاصل از تحلیل و پردازش تصاویر سنجنده مودیس MODIS برای سه منطقه شاهرود، دامغان و سمنان طی دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۵ می باشد. در این پایان نامه از روش داده محور شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای مدلسازی بهره برده شد که در آن از داده های استخراج شده از پردازش تصاویر سنجنده مودیس به عنوان داده های ورودی به مدل و از داده های بارش بارش مشاهداتی به عنوان داده های هدف استفاده شده است. در این تحقیق، از داده های بارش مشاهداتی ۶ ساعته برای دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۵ در ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی شاهرود، دامغان و سمنان استفاده شد. با توجه به روز و ساعت وقوع بارش، تصاویر ماهواره ای واقعه بارش دانلود شده و از طریق نرم افزار ENVI 5.3، تصاویر تحلیل و پردازش شدند. نتایج حاصل از تحلیل و پردازش تصاویر ماهواره ای، داده هایی هستند که به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی در نرم افزار متلب خورنده می شوند. این داده ها شامل مقادیر بازتاب (Reflectance) باندهای مرئی و مادون قرمز ۱ الی ۵، ۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۶، گسیلمندی (Emissivity) باندهای مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی (BT) باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) می باشند. در نهایت با توجه به عملکرد شبکه و داده های شبیه سازی شده بارش، بهترین ترکیب از داده ها به عنوان الگوریتمی جهت تخمین و پیش بینی بارش در نظر گرفته خواهد شد.

۶-۲- نتیجه گیری

با توجه به مدل های معرفی شده در فصل قبل، عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و داده های شبیه سازی شده بارش، نتایج حاصل از این تحقیق بصورت زیر خلاصه می شوند.

داده های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده، هنگامی که به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرند (چه به صورت جداگانه و چه در ترکیب با یکدیگر)، نتایج قابل قبولی را ارائه نمی دهند و بارش های شبیه سازی شده از طریق داده های فوق با مقادیر بارش های مشاهداتی در ایستگاه های سینوپتیک شاهرود، سمنان و دامغان اختلاف چشمگیری دارند.

ترکیب داده های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده با داده های مرئی تأثیر چندانی در عملکرد شبکه عصبی مصنوعی نداشته و داده های شبیه سازی شده اختلاف زیادی با داده های مشاهداتی دارند.

ترکیب داده های گسیلمندی باند های مادون قرمز حرارتی ۳۱ و ۳۲، درجه حرارت درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده با داده های مادون قرمز تا حدودی موجب بهبود عملکرد شبکه عصبی مصنوعی می شود، اما عملکرد شبکه عصبی همچنان ضعیف بوده و نتایج قابل قبولی را ارائه نمی دهد.

داده های مرئی بازتابی، هنگامی که به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرند، موجب کاهش عملکرد شبکه عصبی می شوند و بارش های شبیه سازی شده از طریق این داده ها با مقادیر بارش های مشاهداتی دارای اختلاف قابل توجهی می باشند.

استفاده از داده های مادون قرمز بازتابی در قالب داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی، موجب ارتقاء عملکرد شبکه می شود. با توجه به این که باندهای ۱۸ و ۱۹ سنجنده مودیس به عنوان باندهای جذبی بخار آب جو شناخته می شوند، بارش های شبیه سازی شده از طریق این داده ها، شباهت بیشتری را با بارش های مشاهداتی از خود نشان می دهند. به عبارت دیگر داده های مادون قرمز

بازتابی باندهای ۱۸ و ۱۹ طیف الکترو مغناطیس، چه به صورت ترکیبی با یکدیگر و چه به صورت ترکیبی با سایر باند ها، عملکرد شبکه عصبی مصنوعی را بهبود می‌بخشند.

داده های مادون قرمز بازتابی در ترکیب با داده های مرئی بازتابی به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی، بهترین عملکرد شبکه عصبی را ارائه می‌دهند. بارش های شبیه سازی شده از طریق این داده ها دارای بیشترین شباهت با بارش های ثبت شده در ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی شهرهای شاهرود، دامغان و سمنان می‌باشند.

از میان داده هایی که به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند، ترکیب داده های بازتابی باند ۳ محدوده مرئی و داده های بازتابی باند های ۵، ۱۸ و ۱۹ محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس بهترین نتایج را در بر داشته و بارش های شبیه سازی شده از طریق آن ها، بیشترین شباهت را با بارش های مشاهداتی دارا می باشند. ترکیب داده های باندهای ۱ و ۴ در محدوده مرئی و داده های باند ۱۹ در محدوده مادون قرمز طیف الکترومغناطیس نیز نتایج خوبی را ارائه می‌دهند.

۶-۳- پیشنهادات

با توجه به پژوهش صورت گرفته، پیشنهادهایی در جهت بهبود نتایج و ارتقای کیفیت تحقیق به منظور کاهش چالش های پیش روی منابع آب در سطح ملی و منطقه ای بصورت زیر ارائه شده است.

۱. استفاده از داده های ماهواره TRMM و محصول بارش 3B42 جهت برآورد بارش و مقایسه

بارش های پیش بینی شده با نتایج این پژوهش

۲. استفاده از دیگر الگوریتم های برآورد بارش مانند GPI و AGPI جهت تخمین مقادیر بارش

و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از این پژوهش

۳. استفاده از داده های مایکروویو جهت برآورد بارش و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج حاصل

از این پژوهش

۴. استفاده از الگوریتم ارائه شده شده در این پژوهش برای سایر مناطق با خصوصیات اقلیمی

متفاوت

۵. استفاده از الگوریتم توسعه داده شده جهت پیش بینی بارش در آینده

منابع

[۱] رسولی، ع.، (۱۳۹۰)، "مقدمه ای بر هواشناسی و اقلیم شناسی ماهواره ای، انتشارات دانشگاه تبریز"، ۴۵۵ صفحه.

[۲] فهمی، ه. و ن. احمدیانی، (۱۳۸۹)، "پیش بینی بلند مدت بارش با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و سری فوریه با در نظر گرفتن سیگنال هواشناسی NAO در حوزه معرف کسپلیان"، چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، ص ۲۹-۳۸

[۳] شیراوند، ه. و ف. درگاهیان، (۱۳۸۹)، "بررسی تغییرات نوع بارش های استان لرستان طی دهه های آتی در مقایسه با گذشته"، چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، ص ۹۹-۱۰۸

[4] Intergovernmental Panel Climate Change, (IPCC), 2007, Climate Change 2007- synthesis report of forth assessment, IPCC

[5] Marshal, E., Randhir, T., (2008), "Effect of Climate Change on Watershed System: a regional analysis", Climate Change, Vol. 89, pp. 263-280

[۶] حاجی حسینی، ر.، (۱۳۹۵)، "ریز مقیاس نمایی داده های هیدرولوژیکی با استفاده از خروجی مدل های GCM و روش های داده محور"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود

[7] Artan, G.A., Resreppo, M., Astane, K., (2002), "A Flood early warning system for Southern Africa", Pecora 15/land satellite information IV/ISPRS commission I/FIOES 2002 conference proceeding

[۸] جمشیدی، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی تأثیر بارش بر هیدروگراف سیل و هیدروگراف واحد در حوضه آبخیز جاماش"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان

[۹] خسروی، م. و ه. شکيبا، (۱۳۸۹)، "پیش بینی بارش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به منظور مدیریت سیل (مورد: ایران‌شهر)"، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام

[۱۰] صادقی، ف.، سلیمانی، ا.، و ص. شکری، (۱۳۹۲)، "اثرات سیل های سال ۱۳۹۱ بر روی شریان های حیاتی کشور جمهوری اسلامی ایران"، کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان های حیاتی و صنایع و مدیریت شهری

[11] Hossain F., and N., Katiyar, (2008), "Advancing the Use of Satellite Rainfall Datasets for Flood Prediction in Ungauged Basins: The Role of Scale, Hydrologic Process Controls and the Global Precipitation Measurement Mission", Studies in Computational Intelligence (SCI), Vol. 79, pp. 163-181.

[۱۲] مقدسی اصل، ح.، (۱۳۹۳)، "کاربرد پردازش تصاویر ماهواره ای و داده های هواشناسی و هیدرولوژی در برآورد خشکسالی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا

[۱۳] آریقدار، ر.، (۱۳۷۷)، "برآورد حداکثر بارش محتمل به روش سینوپتیک و آماری (مورد: حوضه آبریز آجی چای)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم

[۱۴] مهدوی، م.، (۱۳۸۴)، "هیدرولوژی کاربردی"، جلد اول، چاپ یازدهم، انتشارات دانشگاه تهران،

۳۶۰ صفحه

[15] Socrates Ngongondo, C., (2006), "Analysis of long term rainfall variability trend and ground water in Mulunguzi river catchment area: Zumba mountain, Southern Malawi", Quaternary international, Vol.148, pp. 45-50.

[۱۶] بابایی فینی، ا. و م. فرج زاده اصل، (۱۳۸۱)، "الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران"، مدرس علوم انسانی، شماره ۴، ص ۵۱-۷۰

[۱۷] جهانبخش، س. و ح. ذوافقاری، (۱۳۸۰)، "بررسی الگوهای سینوپتیک بارش روزانه در غرب ایران"، نشریه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۳ و ۶۴، ص ۲۳۳-۲۵۸

[18] Frostick, L.E., Reid, I., (1977), " The origin of horizontal laminae in ephemeral stream channel fill, Sedimentology, Vol. 24, pp. 1-9

[۱۹] خلیلی، ع.، (۱۳۷۹)، "بررسی اثر محتمل تغییر اقلیم بر منابع آب کشور"، گزارش طرح جاماب کشور

[۲۰] پورمحمدی، س.، دستورانی، م.ت.، و م.ح. رحیمیان، (۱۳۸۹)، " تأثیر تغییر اقلیم بر روی رژیم جریان در نقاط مختلف ایران"، چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، ص ۴۳۵-۴۴۱

[۲۱] بختیاری، م.، (۱۳۹۰)، "تحلیل روند بارش سالانه ایران"، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۲، شماره ۳، ص ۹۵-۱۰۶

[22] Marchi, D.C., (2006), PhD. Thesis, "Probabilistic estimation of precipitation combining geostationary and TRMM satellite data", Georgia institute of technology

[23] Elachi, C., (1987), "Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing", John Wiley & Sons, New York, USA

[۲۴] رسولی، ع.، (۱۳۸۷)، "اصول سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره ای"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تبریز، تهران، ۸۰۶ صفحه

[25] Sumner, G.N., (1988), "Precipitaion: process and analysis", John Willey and Sons, New York, USA

[26] Kidd, C., (2001), "Satellite rainfall climatology", International Journal of Climatology, Vol. 21, pp. 1041-1066

[27] Quanwei, L., (1996), " The application of remote sensing in rainfall monitoring", Helsinki University of Technology

[۲۸] کریستوفر، ای. لگ.، (۱۳۸۲)، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، ترجمه م. فرید و

تنگستانی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران

[29] Elbert, B., (2003), "Rainfall Estimation from Satellite Data", Satellite Applications Workshop, BMRC

[30] Elbert, B., (2004), "Monitoring the quality of operational and semi operational satellite precipitation estimations" the IPWG validation / intercomparison study, 2nd IPWG, Working Group Meeting, Naval Research Laboratory, Monterey, USA

[31] Hong, Y., K. Hsu, S. Sorooshian, X. Gao, (2004), "Precipitation Estimation from Remotely Sensed Imagery Using Artificial Neural Network – Cloud Classification System", Journal of Applied Meteorology, Vol. 43, No. 12, pp. 1434-1453

[32] Kidd, C., (2004), "Validation of satellite rainfall estimates over the mid-latitudes", 2nd IPWG Working Group Meeting, Naval Research Laboratory, Monterey, USA

[33] Weng, F.W., L. Zhao, R. Ferraro, G. Pre, X. Li, and N.C. Grody, (2003), "Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) cloud and precipitation algorithms, Radio Science, Vol. 38(4), pp. 8068-8979.

[۳۴] کردوانی، پ.، (۱۳۸۳)، "منابع و مسائل آب در ایران"، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۰

- [35] Moazami, S., S. Golian, M.R. Kavianpour and Y. Hong, (2013), "Comparison of PERSIANN and V7 TRMM and Multi Satellite Precipitation Analysis (TMPA) Product with Rain Gauge Data Over Iran", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 34(22), pp. 8156-8171
- [36] Barrett, E.C., Martin, D.W., (1981), "The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring, Academic Press, New York
- [37] Griffith, C.G., Woodley, W.L., Gube, P.G., Martin, D.W., Stout, J., and D.N Sikdar, (1978), "Rain estimates from geosynchronous satellite imagery: Visible and infrared studies", *Monthly Weather Review*, Vol. 106, pp. 1153-1171
- [38] Adler, R.F., Negri, A.J., (1988), "A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 27, pp. 30-51
- [39] Arkin, P.A., Meisner, B.N., (1987), "The relationship between large scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982-84", *Monthly Weather Review*, Vol. 115, pp. 51-74
- [40] Anoop Kumar, M., Gairola, R.M., Varma, A.K., Agrawal, K., (2011), "Improved rainfall estimation over the Indian region using satellite infrared techniques", *Elsevier*, Vol. 48, pp. 49-55
- [41] Nazrul, I., Mukammel, M.D., Wahid, C.M., (2003), "Adaption of a technique to estimate rainfall for satellite data in Bangladesh", *Seri Lankan, Journal of Physics*, Vol. 4, pp. 25-36
- [42] Scofield, R.A., Kuligowski, R.J., (2003), "Status and Outlook of Operational Satellite Precipitation Algorithm for Extreme Precipitation Events", *Monthly Weather Review*, Vol. 18, pp. 1037-1051

- [43] Sobrino, J.A., Kharraz, EL,J., Li, Z.L., (2003), "Surface temperature and water vapor retrieval from MODIS data", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, pp. 5161-5182
- [44] Czajkowski, K.P., Goward, S.N., Shirey, D., Walz, A., (2002), "Thermal remote sensing of near surface water vapor", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 79, pp. 253-265
- [45] Sobrino, J.A., Li, Z.L., Stoll, M.P., Becker, F., (1994), "Improvements in the split-window technique for land surface temperature determination", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 32, pp. 243-253
- [46] Li, Z.L., Jia, L., Su, Z., Wan, Z., Zhang, R., (2003), "A new approach for retrieving perceptible water from ATSR2 split-window channel data over land area", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, pp. 5095-5117
- [47] Fischer, J., (1998), "High resolution spectroscopy for remote sensing of physical cloud properties and water vapor in current problems in atmospheric radiation" , Lenoble and Geleyn, Deepak Publishing, pp. 151-156
- [48] Mohammedberhan, N., (1998), "Satellite Based Rainfall Estimation Over Eritrea", The University of Reading
- [49] Amoni, E.L, (2010), "Estimation of rainfall rates using 3D cloud properties from METEOSAT second generation and cloudsat satellites", *International Institute for Geo-information Science and Earth Observation* , Enscheda, The Netherland

[50] Wentz, F.J., Spencer, R.W., (1998), "SSM/I retrievals within a unified all weather ocean algorithm", Journal of the Atmospheric Science, Vol. 45, pp. 1397-1415

[51] Vicente, G.A., Scofield, R., Menzel, A., Paul, A., (1998), "The operation of GOES infrared rainfall estimation techniques", American Meteorology Society, Vol. 70, pp. 24-33

[۵۲] مباشری، م.ر.، پورباقری کردی، س.م.، فرج زاده اصل، م.، و ع. صادقی نائینی، (۱۳۹۳)، "برآورد آب قابل بارش کلی با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS و داده های رادیو ساوند (مورد: تهران)"، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، ص ۱۰۷-۱۲۶

[۵۳] بارانی زاده، ا.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی و صحت سنجی داده های بارندگی الگوریتم ماهواره ای PERSIANN با استفاده از شبکه دیده بانی زمینی در ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان

[۵۴] زینالزاده پارچلو، م.، (۱۳۹۱)، "ارزیابی قابلیت های تولید ماهواره ای بارش در حوضه دریاچه ارومیه با رویکرد در مدلسازی حوضه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی

[۵۵] عبداللهی، و.، پیرمردیان، ن.، وظیفه دوست، م.، و ا. شرفزاده، (۱۳۹۲)، "ارزیابی تولیدات ماهواره ای آب قابل بارش از سنجنده MODIS با داده ها زمینی"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی

[۵۶] قرااییگی، ف.، وظیفه دوست، م.، پیرمردیان، ن.، و ا. اشرف زاده، (۱۳۹۲)، "ارزیابی سیستم های سنجش از دور فعال و غیر فعال در تخمین بارش"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی

[۵۷] اکبری قلعه، م.، (۱۳۹۲)، "کارایی و دقت داده های محصول 3B42 ماهواره TRMM در برآورد بارش روزانه، ماهانه و فصلی خراسان رضوی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی

[۵۸] کاظم پور جوری، س.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی و کالیبراسیون داده های بارش ماهواره TRMM در ایستگاه های سینوپتیک ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه

[۵۹] دیهم ساریخان بیگلو، رباب.، (۱۳۹۳)، "مدلسازی توزیع مکانی و زمانی بارش های رعد و برقی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در استان اردبیل"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی

[۶۰] باقری، ع.، (۱۳۹۳)، "بررسی ارتباط بین دمای ابر و مقدار بارش باران توسط داده ها و تصاویر ماهواره ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی

[۶۱] محامدیان فرد، ح.، (۱۳۹۳)، "بررسی امکان پیش بینی بارش روزانه با استفاده از تحلیل سری زمانی داده های ماهواره ای و مشخصات فیزیکی ابر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی

[62] Petty, G.W., (1995), "The Status of Satellite-Based Rainfall Estimation over Land", Elsevier, Vol. 51, pp.125-137

[63] Wylie, D.P., (1980), "An Application of Geostationary Satellite Rain Estimation Technique to an Extratropical Area", Journal of Applied Meteorology, Vol. 18, pp. 1640-1648

[64] Scofield, R.A., Oliver, V.J., (1977), "A scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery", NOAA tech, memo, dept. of commerce, Washington, D.C., PP. 47

- [65] Arkin, P.A., (1979), "The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulation during GATE over the Bscale array", *Monthly Weather Review*, Vol. 115, pp. 1153-1171
- [66] Tsonis, A.A., and G.A. Isaac, (1985), "On a New Approach for Instantaneous Rain Area Delineation in the Midlatitudes Using GOES Data", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 24, pp. 1208-1218
- [67] Tsonis, A.A., (1987), "Determining Rainfall Intensity and Type from GOES Imagery in the Midlatitudes", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 21, pp. 29-36
- [68] Arkin, P.A, and P.E. Ardanuy, (1989), "Estimating Climatic-Scale Precipitation from Space: A Review", *Journal of Climate*, Vol. 2, pp. 1229-1238
- [69] Adler, R.F., Negri, A.J., Keehn, P.R., and I.M. Hakkarinen, (1993), "Estimation of Monthly Rainfall over Japan and Surrounding Waters from a Combination of Low-Orbit Microwave and Geosynchronous IR Data", *American Meteorological Society*, Vol. 32, pp. 335-356
- [70] Cheng, M., and R. Brown, (1995), "Delineation of Precipitation Areas by Correlation of METEOSAT Visible and Infrared Data with Radar Data", *American Meteorological Society*, Vol. 123, pp. 2743-2757
- [71] Arkin, P.A., and J. Janowiak, (1991), "Analysis of the global distribution of precipitation: The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring", *Academic Press*, pp. 340
- [72] Todd, M.C., Barrett, E.C., Beaumont, M.J. and T.J. Bellerby, (1999), "Estimation of daily rainfall over the upper Nile river basin using a

continuously calibrated satellite infrared technique", Meteorological Applications, Vol. 6, pp. 201-210

[73] Tapiador, F.J., (2002), "A new algorithm to generate global rainfall rates from satellite infrared imagery", Revista de teledeteccion, pp. 57-61

[74] Sorooshian, S., Gao, X., Hsu, K., Maddox, R.A., Hong, Y., Gupta, H.V., and B. Imam, (2002), "Diurnal Variability of Tropical Rainfall Retrieved from Combined GOES and TRMM Satellite Information", American Meteorological Society, Vol.15, pp. 983-1001

[75] Levizzani, V., and R. Amorati, (2002), "A review of satellite-based rainfall estimation methods, a look back and a perspective", pp. 344-353

[76] Turk, F.j., Monterey, C.A., Rohali, G., Hawkins, J., Smith, E.A., Grose, A., Morzano, F.S., Mugnai, A., and V. Levizzani, (2000), "Analysis and Assimilation of Rainfall from Blended SSM/I, TRMM and Geostationary Satellite Data", 10th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography

[77] Yilmaz, K.K., Hogue, T.S., Hsu, K.L., Sorooshian, S., Gupta, H., and T. Wagener, (2005), "Intercomparison of Rain Gauge, Radar, and Satellite-Based Precipitation Estimates with Emphasis on Hydrologic Forecasting", American Meteorological Society, Vol. 6, pp. 497-517

[78] Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A. and P. Xie, (2004), "CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution", Journal of Hydrometeorology, Vol. 5, pp. 487-503

[79] Janowiak, J.E., Xie, P., Joyce, R.J., Chen, M., and Y. Yarosh, (2004), "Validation of satellite-derived rainfall estimates and numerical model forecasts of precipitation over the united states", 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group

[80] Capacci, D and B.J. Conway, (2005), "Delineation of precipitation areas from MIDS visible and infrared imageri with artificial neural networks", Meteor. Appl., 12, 291–305.

[81] Zhou, T., Yu, R., Chen, H., Dai, A., and Y. Pan, (2008), "Summer Precipitation Frequency, Intensity, and Diurnal Cycle over China: A Comparison of Satellite Data with Rain Gauge Observations", American Meteorology Society, Vol. 21, pp. 3997-4010

[82] Behrangi, A., Hsu, K.L., Imam, B. and S. Sorooshian, (2009), "PERSIANN-MSA: A Precipitation Estimation Method from Satellite-Based Multispectral Analysis", American Meteorology Society, Vol. 10, pp. 1414-1429

[83] ITC, (1999), "Principles of Remote Sensing", ITC Core Module, Version 1, Enschede, Netherlands.

[84] Mather, P.M., (1999), " Computer Processing of Remotely Sensed Images", 2nd Edition, John Wiley & Sons

[۸۵] رسولی، ع.ا.، (۱۳۸۷)، "مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره ای"،

انتشارات دانشگاه تبریز، تهران، ۸۰۶ صفحه

[86] Jensen, J.R., (1986), "Introductory Digital Image Processing", Prentice Hall, USA

[87] Jensen, J.R., (1997), "Introductory Digital Image Processing", A Remote Sensing Perspective (Second Edition), Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 316

[۸۸] کبیری، ک.، (۱۳۸۰)، "بررسی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی ایران در دهه ۹۰ میلادی با

استفاده از تصاویر ماهواره NOAA"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین

طوسی

[89] Kassa, A., (1990), "Drought risk monitoring for Sudan using NDVI", A Dissertation Submitted to the University College London

[90] Kogan, F.N., (1993), "United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellite", International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vol. 1, pp. 197-199

[91] Allison, E.W., (1989), "Monitoring drought affected vegetation with AVHRR Digest-International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vol. 4, pp. 1965-1967

[۹۲] احمدی، ا.، (۱۳۸۲)، "طبقه بندی تغییرات بارش بوشهر با استفاده از شبکه های عصبی

مصنوعی مبتنی بر مدل خود سازمانده کوهنن"، گروه جغرافیا دانشگاه تربیت معلم تهران

[۹۳] کارآموز، م.، رضانی، ف.، و س. رضوی، (۱۳۸۵)، "پیش بینی بلند مدت بارش با استفاده از

سیگنال های هواشناسی کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی"، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی

عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران

[۹۴] علیجانی، ب.، و ی. قویدل رحیمی، (۱۳۸۴)، "مقایسه و پیش بینی تغییرات دمای سالانه تبریز

با ناهنجاری های دمایی کره زمین با استفاده از روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی"،

مجله جغرافیا و توسعه دانشگاه سیستان بلوچستان، شماره ۶، ص ۲۱-۳۸

ABSTRACT

Precision measurements of rainfall with high spatial and temporal resolution are important for modeling surface currents, proper location of dams, flood and drought prediction, and water resource management and agricultural projects. Over the past few decades, far-reaching data from remote sensing and satellite technologies have been used to estimate precipitation values in order to increase the accuracy of world-class precipitation recordings and overcome the problems caused by traditional rainfall measurement methods. In this research, extracted data from the analysis and processing of MODIS sensor images, also Shahrood, Damghan and Semnan stations 6 hourly precipitations observed data in the period 2005-2015 be used. In order to simulate rainfall, ANN method was used for modeling. the obtained data from processing of MODIS sensor images include the reflection values of visible bands and infrared bands, the emission of thermal infrared bands, brightness temperature of thermal infrared bands and normalized difference vegetation index Separately or in combination to each other as input and observed rainfall data were fed into the model as output. Then simulated data were compared with observation data. The result shows that, the simulated precipitations by combining visible reflection data of band 3 and Infrared reflection data of bands 5, 18 and 19 are more similar to observational precipitations and the performance of the model is acceptable.

Key Words : Precipitation, Remote Sensing, IR Data, Visible Data, BT, NDVI, ANN



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

Engineering and Water Resource Management

Rainfall estimation using remote sensing images

(Case Study: Shahrood, Damghan and Semnan)

By:

Mohammad Khedmatkar Boland Akhtar

Supervisor:

DR Saeed Golian

January 2018