

ارزیابی و تحلیل نقش خصوصیات فیزیکی ابر در مقدار بارش محتمل با استفاده از داده‌های ماهواره ای MSG منطقه مورد مطالعه: غرب ایران

هاشم رستم زاده^۱
علی اکبر رسولی^۲
مجید وظیفه دوست^۳
ناصر ملکی^۴

چکیده

در این پژوهش با استفاده از محصولات ماهواره متئوست و TRMM نقش هر یک از خصوصیات فیزیکی ابر در میزان بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی از سه مدل GPR، TD و MLPBR استفاده شد. محصولات مورد استفاده در این پژوهش از ماهواره متئوست (MSG) عبارتند از: فشار قله ابر، دمای قله ابر، عمق نوری ابر، فاز ترمودینامیکی ابر، میزان حجم آب موجود در ابر، شعاع مؤثر قطرات ابر و نوع ابر. ابتدا محصولات در محیط نرم افزار متلب استخراج گردید و در مرحله بعد محاسبات با محصول بارش ماهواره TRMM انجام گرفت و ضریب خطا و ضریب تعیین بدست آمد. سرانجام میزان اثر بخشی هریک از مؤلفه‌های خصوصیات فیزیکی ابر در میزان بارش در غرب ایران از طریق روش آنالیز حساسیت محاسبه و مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد که در بین مؤلفه‌های خصوصیات فیزیکی ابر نوع ابر بیشترین اثر بخشی را

۱- استادیار گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۲- استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

۴- دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

داشته و سپس شعاع مؤثر قطرات ابر و عمق نوری ابر به ترتیب در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. در بین خصوصیات فیزیکی مورد بررسی کمترین اثر مربوط به فاز ابر می‌باشد.

واژگان کلیدی: ماهواره متئوست، TRMM، MSG، خصوصیات فیزیکی ابر، شبکه عصبی مصنوعی، غرب ایران

مقدمه

سیل یکی از رویدادهای طبیعی است که هر ساله موجب تلفات انسانی، دامی و خسارات به ساختمان‌ها، تأسیسات، باغات، کشتزارها و منابع طبیعی می‌شود. اطلاع‌رسانی درباره واقع سیل و بارش‌های مخاطره‌آمیز می‌تواند به کاهش خسارات کمک کند. از اینرو برآورد بارش از دیرباز مورد توجه پژوهشگران رشته‌های مختلف قرار گرفته و همزمان با پیشرفت علوم و ظهور فناوری‌های جدید، پیشرفت‌های زیادی در زمینه روش‌های برآورد بارش و ارزیابی و اعتبارسنجی برای رسیدن به بهترین روش ایجاد شده است. در بیست سال گذشته پیشرفت‌های فراوانی در روش‌های برآورد بارش حاصل شده است. این پیشرفت به دلیل امکان کاربرد اطلاعات بسیار زیاد از نقاط متعدد دنیا، درک بهتر از پدیده‌های جوی، تبدلات و گردش‌های جوی، بهبود حاصله در اجرای مدل‌ها، پیشرفت در ابزارهای مختلف دیدبانی مانند رادار و ماهواره و قدرت رایانه‌ها بدست آمده است. روش‌های مورد استفاده برای برآورد بارش بخصوص در کوتاه مدت دارای نقایصی است و عموماً براساس مدل‌های پیش‌بینی عددی و یا استفاده از تحلیل‌های همدیدی صورت می‌گیرد که معمولاً برای بازه‌های زمانی چند ساعته از دقت بالایی برخوردار نیست لذا استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به عنوان یک مکمل برای رفع این ایراد توصیه شده است و انجام این پژوهش می‌تواند تا حد زیادی به افزایش صحت خروجی مدل‌های عددی برای برآورد بارش کمک کند. ماهواره‌ها قادرند تا از مناطق صعب العبور و دوردست داده کسب کرده و این داده‌ها می‌توانند برای پوشش و تکمیل اطلاعات ایستگاه‌های زمینی یک منطقه بکار روند. در سی سال اخیر ماهواره‌ها برای برآورد بارش هم کوتاه مدت و هم بلند مدت استفاده شده‌اند متکان و

همکاران (۱۳۸۸). با توجه به توانمندی‌های فنون سنجش از دور و با کمک دیگر سامانه‌ها می‌توان برآورد مناسبی از میزان بارش ابر در هر منطقه داشت. برای پیش‌بینی و برآورد بارش معمولاً از مدل‌های پیش‌بینی عددی استفاده می‌شود. این مدل‌ها عموماً در مقیاس‌های بزرگ زمانی و مکانی بکار می‌روند ضیائیان (۱۳۹۶). این در حالی است که پدیده‌های هواشناسی مانند طوفان‌های تندری اغلب در کوچکترین بعد زمانی از چند دقیقه تا چند ساعت و در یک مقیاس مکانی از چندصد متر تا چند کیلومتر بسط و توسعه می‌یابند.

بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی ابر با بارش نقش قابل توجهی در بهبود مدل‌های بارش و همچنین مدل‌های تغییر اقلیم دارد رسولی و همکاران (۱۳۹۳). بنابراین واضح است که مدل‌های پیش‌بینی عددی دقت کافی را برای پیش‌بینی بارش و پدیده‌های حدی هواشناسی در مقیاس کمتر از ۶ ساعت را ندارند و لازم است از ابزارهای دیگر مثل داده‌های سنجش از دور استفاده شود. با توجه به اهمیت ابرها در چالش‌های آب و هوایی، مطالعه و بررسی خصوصیات فیزیکی آنها مانند دما و فشار بالای ابر، نوع ابر، ضخامت اپتیکی و ... با شرایط اقلیمی سطح زمین مورد توجه محققان است. این خصوصیات فیزیکی به عنوان شاخص‌های استاندارد مطالعه ابرها در دنیا شناخته شده‌اند.

در این تحقیق سعی شده است ضمن بررسی خصوصیات فیزیکی ابر و نقش آنها در برآورد بارش بیشترین تأثیر هر کدام از خصوصیات فیزیکی مشخص گردد. در همین ارتباط تاکنون محققان زیادی به بررسی برخی خصوصیات فیزیکی ابر پرداخته‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

زنگ^۱ (۱۹۹۹) ارتباط میزان بارش، دمای قله ابر و آب قابل بارش را در مناطق حاره بررسی کرد و با جمع‌آوری و بررسی داده‌های ایستگاه‌های بارانسنجی، روشی برای تصحیح ضرایب تناسب معادلات ارتباط دو کمیت آب قابل بارش و میزان بارش مشاهده شده بدست آورد.

بیریترن^۱ و همکاران (۲۰۰۴) ارتباط بین مقدار بارش مناطق حاره را برای یک دوره چهارساله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای SSM/I با مقدار ذرات آب موجود در ابر بررسی و یک مدل نمایی برای آن ارائه نمودند.

آسکلسن^۲ (۲۰۰۷) در پژوهشی از دمای قله ابر استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد مقدار بارندگی و برف استفاده کرد. ایشان ضمن اشاره به محدودیت‌ها و خطاهای برداشت داده‌های ایستگاه‌های زمینی و رادار استفاده از داده‌ها و تصاویر ماهواره را برای برآورد بارش پیشنهاد داد.

هانان^۳ و همکاران (۲۰۰۸) نقش دمای قله ابر در بارش برف و باران یخ زده برای شناخت بهتر از فرآیند میکروسکوپی آنها در ابر برای زمستان سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ ارزیابی کردند که نشان دادند حداکثر بارش برف سبک زمانی است که دمای قله ابر نزدیک به ۱۶- درجه سانتیگراد باشد. بیشینه بارش برف سنگین و باران نیز یکی در دمای قله ابر ۱۶- و دیگری بین ۳۵- تا ۵۰- درجه سانتی گراد اتفاق می‌افتد.

هاوز^۴ (۱۹۹۳) نشان داد که تأثیر ابرها بر روی تابش‌های خورشیدی و زمینی به برخی خصوصیات آنها مانند ارتفاع، ضخامت، توسعه افقی، محتوای آب، فاز ابر و اندازه ذرات بستگی دارد.

همزفیلد^۵ و همکاران (۲۰۰۳) مدلی برای بررسی ارتباط مقدار ذرات آب و یخ در ابر با عمق نوری ابر در طول موج مرئی ارائه نمودند.

رسولی و همکاران (۱۳۹۳) ارتباط چهار پارامتر مهم ابر یعنی دما و فشار قله ابر، عمق نوری و مقدار ذرات آب و یخ ابر را با بارش روزانه توسط اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و سنجنده مودیس با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و غیر خطی بطور متوسط بین ۲۰ تا

1. Bretherton
2. Askelson
3. Hanna
4. Houze
5. Heymsfield

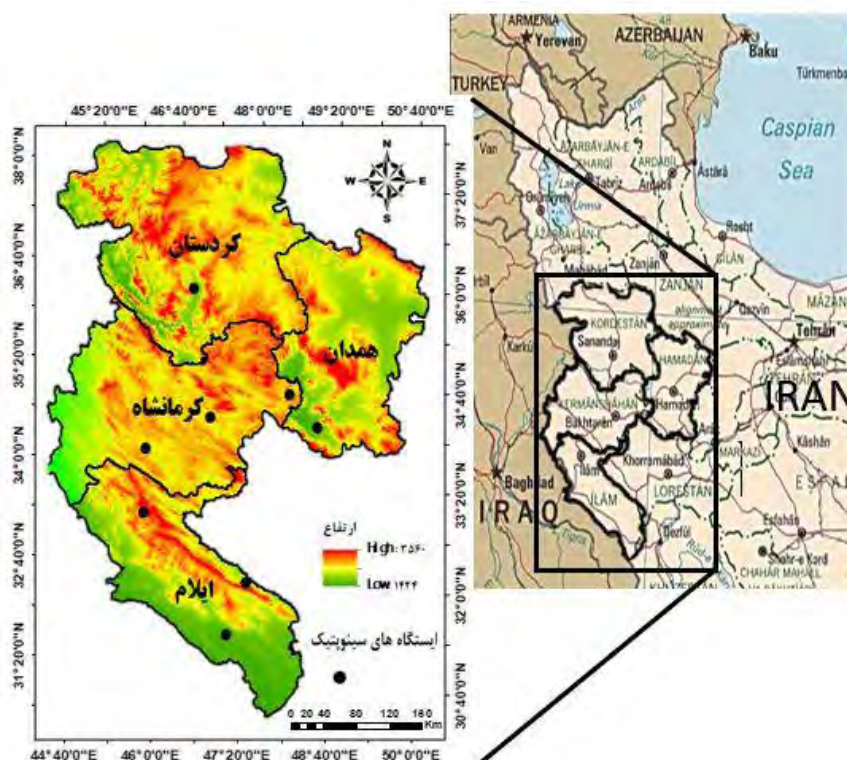
۳۷ درصد تغییرات بارشها را پیش‌بینی نمودند که با اعمال مدل رگرسیون چند متغیره این اعداد به پنجاه درصد هم رسید.

پور باقر کردی و همکاران (۱۳۸۶) برای استخراج آب قابل بارش ابر در ایستگاه مهرآباد از باندهای فروسرخ نزدیک تصاویر سنجنده مودیس استفاده کردند. آنها کل آب قابل بارش در مسیر سنجنده را با اجرای الگوریتم باند فروسرخ نزدیک مودیس در شرایط مختلف جوی محاسبه نمودند و مشخص کردند که باندهای ۱۸ و ۱۹ مودیس برای استخراج آب قابل بارش در ایستگاه مناسبند.

در مطالعات ذکر شده به بررسی حداقل یک و حداکثر سه خصوصیت فیزیکی ابر پرداخته شده است اما در این پژوهش هفت خصوصیت فیزیکی ابر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

وسعت منطقه مورد مطالعه ۸۹۵۰۵ کیلومتر مربع می‌باشد که حدوداً ۵/۵ درصد از مساحت کل ایران است. این منطقه در غرب ایران و در محدوده طول ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است. از شمال غرب با استان آذربایجان غربی، از جنوب به استان خوزستان و از شرق به استان‌های لرستان و مرکزی و از غرب به کشور عراق محدود می‌گردد. منطقه مورد مطالعه در دامنه‌های غربی زاگرس واقع شده است (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران

برای انجام این پژوهش خصوصیات فیزیکی ابر از پنج موج بین سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ استفاده شد.

داده‌های نسل دوم ماهواره هواشناسی MSG^۱ پوشش خوبی بر روی مناطق مختلف ایران دارد. این ماهواره دارای ۱۲ کانال بر روی منطقه است و محصولات دقیقی را تولید می‌کند. برخی از این محصولات در راستای خصوصیات فیزیکی ابر است که در این پژوهش

1 - Meteosat Second Generation

بکار برده شده‌اند. این محصولات به صورت روزانه و هر ۱۵ دقیقه یکبار تولید می‌شوند و شامل فشار قله ابر (CTP^۱)، دمای قله ابر (CTT^۲)، عمق نوری ابر (COT^۳) فاز ترمودینامیکی ابر (CPH^۴)، میزان حجم آب موجود در ابر قابل چگالش (CWP^۵)، شعاع مؤثر قطرات ابر (REFF^۶) و نوع ابر (CT^۷) می‌باشند. در این پژوهش ابتدا محصولات ماهواره متئوست از پایگاه داده CMSAF^۸ در بازه زمانی ۱۵ دقیقه استخراج و سپس اطلاعات مورد نیاز در محیط نرم افزار متلب بدست آمد.

معیار صحت محاسبات، دو آماره MAE (رابطه ۱) و ضریب تبیین (رابطه ۲) بوده است.

رابطه ۱:

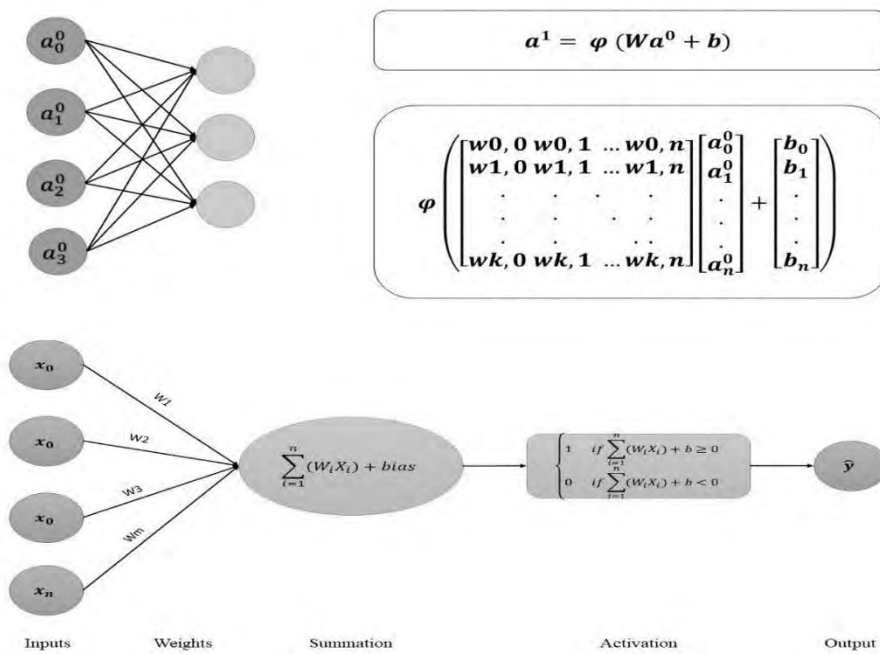
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{Re_{ms,i}^{actual} - Re_{ms,i}^{estimated}}{Re_{ms,i}^{actual}} \right|$$

رابطه ۲:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Re_{ms,i}^{actual} - Re_{ms,i}^{estimated})^2}{\sum_{i=1}^n (Re_{ms,i}^{actual} - \overline{Re_{ms,i}^{actual}})^2}$$

1. Cloud Top Pressure
2. Cloud Top Temperature
3. Cloud Optical Thickness
4. Cloud Phase
5. Cloud Water Path
6. Radius Effective cloud droplet
7. Cloud Type
8. the Satellite Application Facility on Climate Monitoring

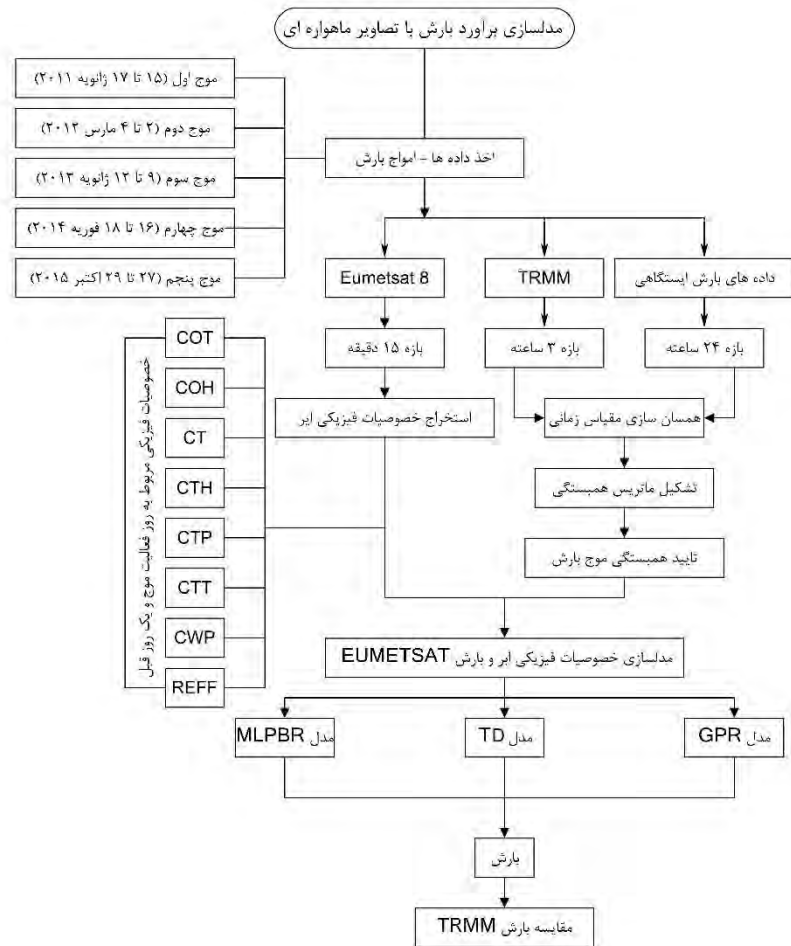
در این جا از روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، درخت‌های طبقه بندی رگرسیون و رگرسیون فرایند گوسی برای برآورد بارش استفاده شده است.



$$a^1 = \varphi (W a^0 + b)$$

$$\varphi \left(\begin{bmatrix} w_{0,0} & w_{0,1} & \dots & w_{0,n} \\ w_{1,0} & w_{1,1} & \dots & w_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{k,0} & w_{k,1} & \dots & w_{k,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0^0 \\ a_1^0 \\ \vdots \\ a_n^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \right)$$

شکل (۲): شبکه عصبی مصنوعی با ورودی های مختلف. (اولازار، ۲۰۱۸)



شکل (۳): فلوجارت انجام پژوهش

نتایج و بحث:

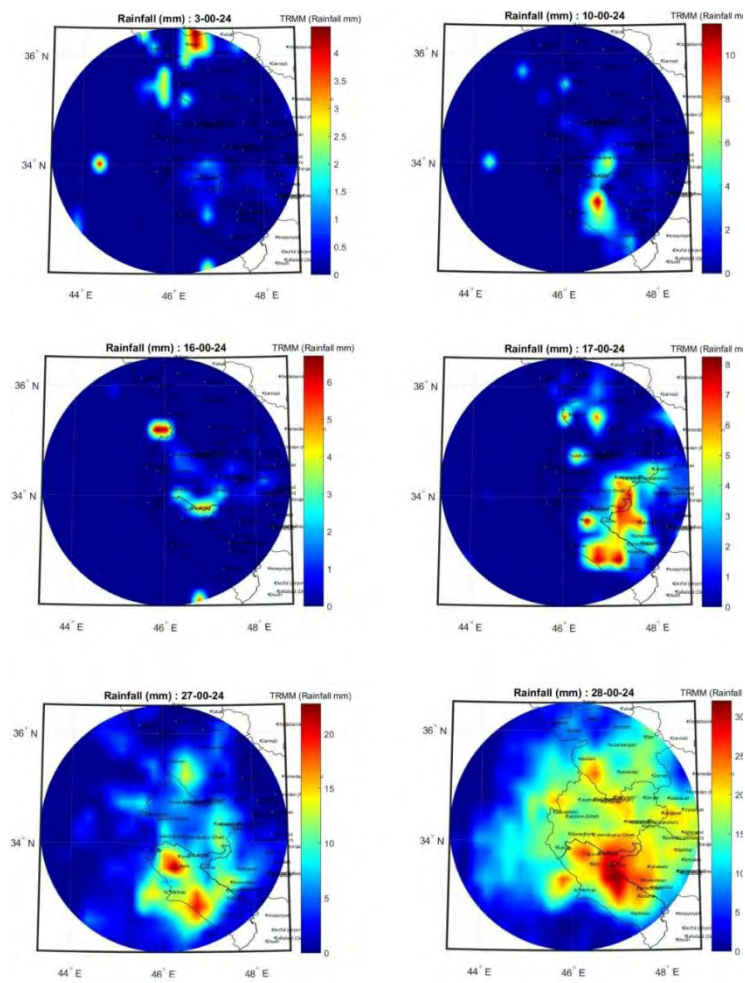
در این تحقیق داده‌های ماهواره TRMM بعنوان داده‌های شاهد در نظر گرفته شد. بعد از دریافت تصاویر TRMM در محیط نرم افزار متلب برنامه نویسی انجام و داده‌های بارش از فایل‌های NETCDF^۱ استخراج گردید^۲. نمونه برنامه استخراج داده TRMM در شکل ۴ آورده شده است. پس از استخراج داده‌های ماهواره TRMM، محصولات ماهواره متئوست از طریق پایگاه داده CMSAF^۳ تهیه و داده‌های آنها با استفاده از کدهای نرم افزار متلب استخراج گردید. نمونه برنامه استخراج داده متئوست در شکل ۶ و نتایج حاصل از محاسبه ضریب تعیین و ضریب خطا در بررسی امواج به تفکیک در جدول یک آورده شده است.

در بررسی امواج، ضریب تعیین در مدل GPR در بخش آزمایش ۰,۷۲ و در بخش آموزش ۰,۷۷ بوده است. در مدل TD ضریب تعیین در بخش آزمایش ۰,۶۴ و در بخش آموزش ۰,۸۷ محاسبه شده است. اما در مدل شبکه عصبی در بخش آزمایش ضریب تعیین ۰,۶۸ و در بخش آموزش ۰,۷۲ است. نتایج نشان دهنده ارتباط خوب بین مولفه‌های مورد بررسی است.

1-Network Common Data Form

۲- هر بار اجرای برنامه برای هر روز ۱۲۲۰۰ پیکسل شناسایی و مقدار بارش برای هر پیکسل محاسبه شد.

1-Climate Monitoring – Satellite Application Facility



شکل (۴): نمونه بارش استخراج شده ماهواره TRMM

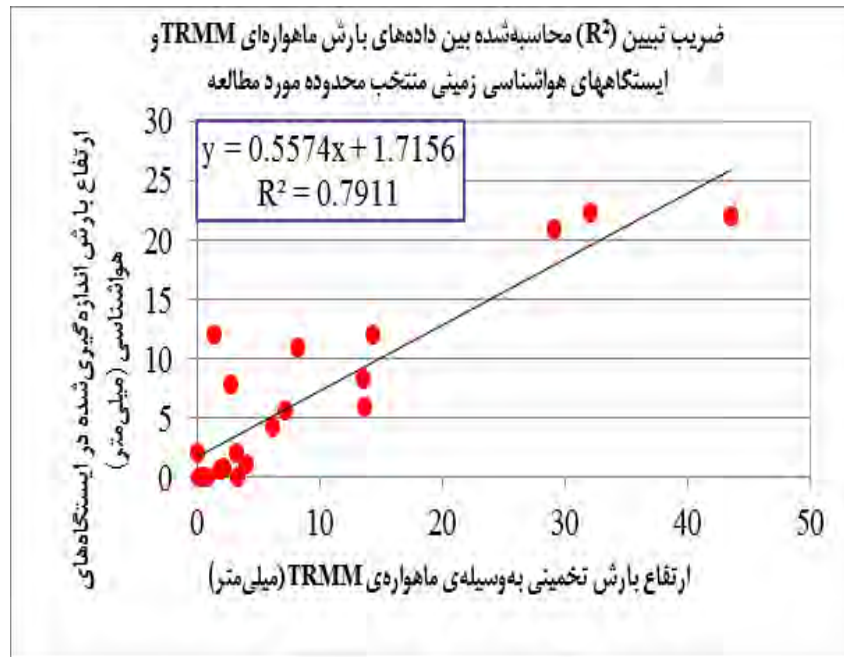
جدول ۱: ضریب خطا و ضریب تعیین مدل‌های مورد ارزیابی و ضریب آنالیز حساسیت به تفکیک امواج

	آنالیز حساسیت خصوصیات فیزیکی ابر									مقدار همبستگی و ضریب تعیین										
										TEST GPR		TRAIN GPR		TEST DT		TRAIN DT		TEST MLPBR		TRAIN MLPBR
	COT	GPH	CT	CTH	CTP	CTT	GWP	REFE	MAE	R ²	MAE	R ²	MAE	R ²	MAE	R ²	MAE	R ²	MAE	R ²
موج اول	0.25	0	2.5	1.35	0.7	1.15	1.25	1.3	0.6658	0.2538	0.4829	0.5075	0.5960	0.3472	0.3850	0.5730	0.6223	0.3170	0.4752	0.4894
موج دوم	1.25	0.5	1.4	0.9	0.92	0.9	0.85	1.7	0.4021	0.4556	0.3611	0.5013	0.4330	0.3868	0.3038	0.5955	0.4165	0.4177	0.3673	0.5068
موج سوم	1.4	0.4	2	1.13	1	1.28	1.7	1.5	0.7408	0.4795	0.5595	0.6697	0.7486	0.4373	0.4548	0.7594	0.7523	0.4534	0.6461	0.7541
موج چهارم	2.4	1.6	2.77	1.7	0.8	1.5	2	2.7	0.8636	0.4218	0.8636	0.5249	0.9009	0.2467	0.4681	0.7582	0.9072	0.3754	0.7686	0.5170
موج پنجم	1.7	0.75	2.25	1.15	1.4	2.2	1.35	1.7	2.2572	0.4794	2.0809	0.5742	2.4610	0.3767	1.5822	0.6823	2.5664	0.3490	2.4475	0.4509
تمام امواج	1.42	0.75	2.2	1.23	0.97	1.4	1.41	1.75	1.1812	0.7232	1.0409	0.7687	1.2676	0.6437	0.6880	0.8675	1.2586	0.6789	1.1505	0.7205

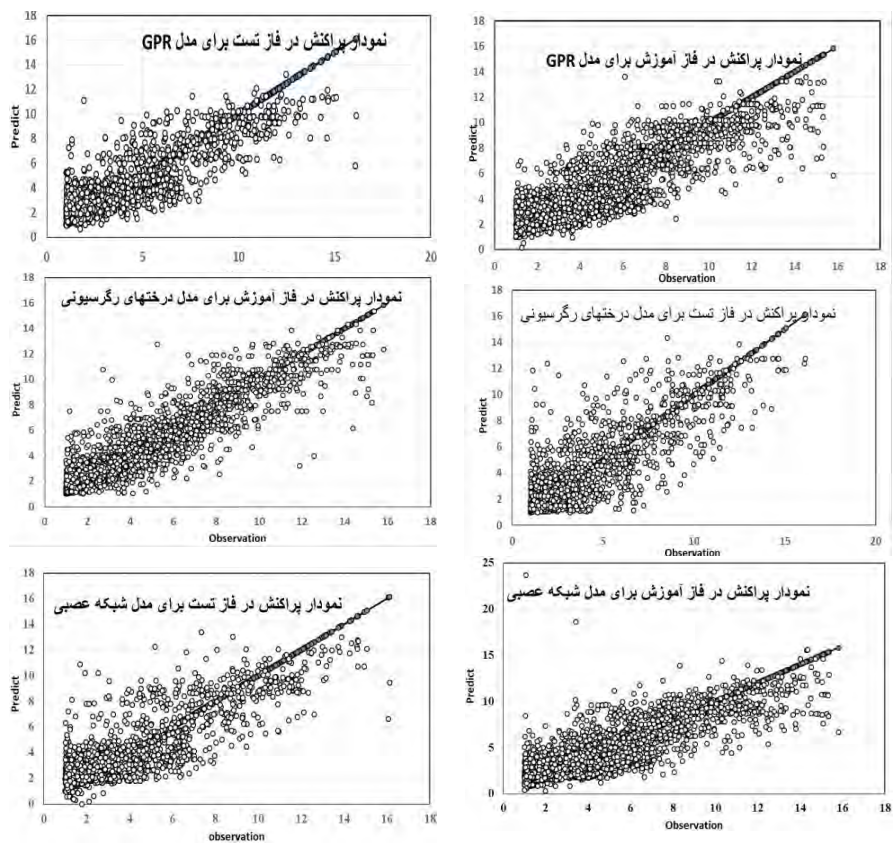
بررسی اثرات خصوصیات فیزیکی ابر: یکی از روش‌های تعیین میزان اثربخشی هر کدام از خصوصیات فیزیکی ابر در برآورد بارش روش آنالیز حساسیت است. پس از محاسبه ضریب تعیین و ضریب خطا، میزان حساسیت هر کدام از خصوصیات فیزیکی در برآورد بارش از روش محاسبه آنالیز حساسیت انجام شد. همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد آنالیز حساسیت برای تمامی امواج محاسبه گردید. محاسبات نشان می‌دهد که نوع ابر بیشترین اثر بخشی را داشته و سپس شعاع مؤثر قطرات ابر و پس از آن عمق نوری ابر به ترتیب در جایگاه‌های دوم و سوم قرار دارند. در بین خصوصیات فیزیکی مورد بررسی کمترین اثر مربوط به فاز ابر می‌باشد.

برای بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی ابر و میزان بارش پنج موج بارش فراگیر بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ انتخاب شد. اطلاعات بارش ایستگاه‌های منطقه استخراج

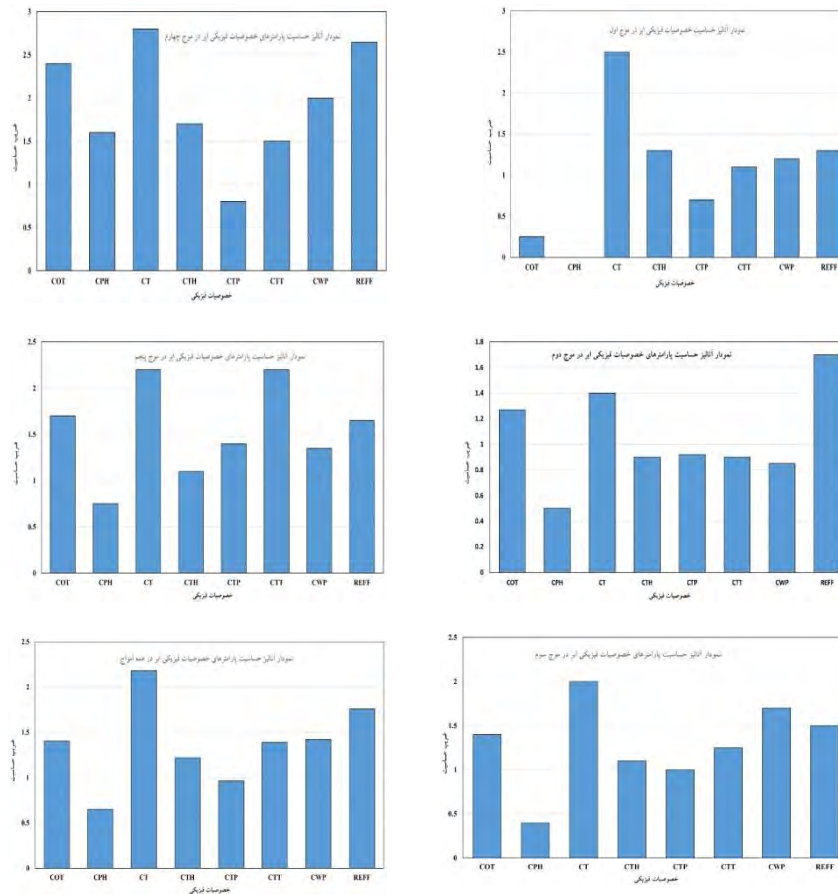
شد به منظور صحت سنجی داده های TRMM مقایسه ای بین داده های بارش ایستگاههای منتخب و بارش این ماهواره صورت گرفت که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. پیش تر مقایسه بین داده های ایستگاههای زمینی و محصولات ماهواره های GPM , TRMM و رادار داپلر توسط رستم زاده و همکاران (۱۳۹۷) ارائه گردید. برای استخراج ویژگی های فیزیکی ابر از محصولات ماهواره متئوست استفاده گردید . پس از استخراج داده های خصوصیات فیزیکی ابر همسان سازی مقیاس زمانی داده ها انجام و با استفاده از بارش ماهواره TRMM بعنوان شاهد ارزیابی انجام شد.



شکل (۵): ضریب تبیین محاسبه شده از داده های بارش ماهواره ای و داده های زمینی (۲۴ ساعته)



شکل (۶): نمودار پراکنش داده‌های تست و آموزش در مدل‌های GPR، TD و MLPBR



شکل (۷): نمودار آنالیز ضریب حساسیت به تفکیک امواج

نتایج به دست آمده در این تحقیق نسبت به نتایج رسولی و همکاران (۱۳۹۳) که به بررسی نقش چهار ویژگی فیزیکی پرداختند و نقش آنها را بین ۲۰ تا ۳۷ درصد در بارندگی عنوان نمودند از صحت بالاتری برخوردار است. در بین مطالعات محققین خارجی می توان به نتایج تحقیقات زنگ (۱۹۹۳)، بیرترین (۲۰۰۴)، آسکلسن (۲۰۰۷)، هانا و همکاران

(۲۰۰۸)، هاووز (۱۹۹۳) و همزفیلد و همکاران (۲۰۰۳) اشاره نمود که میزان همبستگی‌های متفاوتی ارائه نموده‌اند با این حال تمام پژوهش‌های مورد اشاره، بررسی نقش یک یا دو ویژگی فیزیکی ابر انجام گرفته و اکثراً فقط دمای قله ابر را بررسی نموده‌اند. در این پژوهش ۸ خصوصیت فیزیکی ابر مورد ارزیابی قرار گرفت که تعداد زیاد مؤلفه‌های مورد ارزیابی مزیت این تحقیق نسبت به موارد مشابه محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

برای انجام این تحقیق از پنج موج بارشی مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ استفاده شد معیار انتخاب امواج به گونه‌ای بود که این امواج حداقل دو روز تداوم و نیز کل منطقه را در بر بگیرند. در روز فعالیت امواج اطلاعات بارش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه اخذ و همچنین اطلاعات بارش ماهواره TRMM نیز استخراج شد (شکل ۴) به منظور صحت سنجی داده‌های ماهواره TRMM اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی با بارش TRMM مقایسه و همبستگی لازم بدست آمد. به منظور حصول نتیجه بهتر همسان سازی اعداد از لحاظ مقیاس زمانی انجام شد. در مرحله بعد با استفاده از محصولات ماهواره متئوست خصوصیات فیزیکی ابر برای همه امواج بدست آمد. استخراج داده‌ها در تمامی مراحل برای هر پیکسل انجام گرفت. پس از آن ماتریس همبستگی بین داده‌ها با سه مدل GPR، TD و MLPBR انجام که نتایج آن در جدول یک آورده شده است. بدلیل استفاده از مدل‌های مختلف و همچنین بررسی ۸ خصوصیت فیزیکی ابر نتایج نشان‌دهنده ارتباط بالای مؤلفه‌های مورد بررسی است بطوریکه میزان ضریب تعیین در مدل GPR برای بخش‌های آزمایش و آموزش به ترتیب ۰,۷ و ۰,۷۷ بوده است. این ضرایب برای مدل TD در بخش‌های آزمایش و آموزش به ترتیب ۰,۶۴ و ۰,۸۷ است. در مدل شبکه مصنوعی (MLPBR) ضرایب بدست آمده در بخش آزمایش و آموزش به ترتیب ۰,۶۸ و ۰,۷۲ است. اعداد بدست آمده نشان از ارتباط نسبتاً خوب مؤلفه‌ها دارد. در ادامه آنالیز حساسیت صورت گرفت نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که خصوصیت نوع ابر بیشترین اثر بخشی را در میزان بارش داشته و سپس شعاع مؤثر قطرات ابر و پس از آن عمق نوری ابر به ترتیب در جایگاه‌های دوم و



سوم قرار دارند. در بین خصوصیات فیزیکی بررسی شده کمترین اثر مربوط به فاز ابر می‌باشد.

منابع

- پورباقر کردی سید مهدی، مباشری محمدرضا، فرج زاده اصل منوچهر (۱۳۸۶). امکان سنجی استفاده از داده‌های رادیوسوند و تصاویر ماهواره‌ای مودیس در برآورد آب قابل بارش کلی، همایش ژئوماتیک تهران، سازمان نقشه برداری کشور.
- جوان خدیجه، رسولی علی اکبر، عرفانیان مهدی، ساری صراف بهروز (۱۳۹۷). ارزیابی تطبیقی روشهای برآورد مقدار بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۵، شماره ۶۵، صص ۱۰۰-۸۳.
- رستم زاده هاشم، رسولی علی اکبر، وظیفه دوست مجید، ملکی ناصر (۱۳۹۷). مقایسه تطبیقی بارش بدست آمده از ماهواره TRMM، GPM و رادار داپلر با داده های ایستگاههای زمینی (مطالعه موردی بارش فراگیر ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۵ در غرب ایران)، *نشریه پژوهش های اقلیم شناسی* در دست چاپ.
- رسولی علی اکبر، جهانبخش سعید، قاسمی احمدرضا (۱۳۹۳). بررسی ارتباط بین پارامترهای مهم ابر و بارش روزانه ایران، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، سال ۲۹، شماره اول، بهار ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۲.
- رسولی علی اکبر (۱۳۸۷). *مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای* - انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول.
- ضیائیان صادق (۱۳۹۶). *پیش بینی کوتاه مدت بارشهای شدید تابستانه بر مبنای تلفیق محصولات ماهواره و پیش بینی عددی وضع هوا*، رساله دکتری، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو.
- فیضی زاده بختیار، حسنی تبار محمد، جعفر زاده جعفر (۱۳۹۷). امکان سنجی استفاده از تکنیک های تلفیق و بهینه سازی در ارتقاء پارامتر مقیاس سگمنت جهت پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۵، شماره ۶۵، صص ۱۹-۱.
- قلی زاده محمد حسین، دارند محمد (۱۳۸۹). پیش بینی بارش ماهانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مورد تهران) *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، شماره ۷۱، صص ۶۳-۵۱.
- متکان، علی اکبر، آذری، حمید، شکبیا علیرضا، پورعلی، حسین (۱۳۸۸) قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو و غیرفعال سنجش از دور در تخمین بارندگی و پایش سیلاب، *نشریه سنجش از دور ایران*، سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۸، صص ۴۴-۳۱.

- مسعودیان، ابوالفضل، جعفری شندی، فاطمه (۱۳۹۳). بررسی رابطه سامانه های همید مؤثر در بارش های سنگین پهنه کم بارش شمال ایران، *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، سال ۱۸، شماره ۵۰، صص ۳۳۱-۳۰۵

- Askelson, M. (2007). On the use of satellite cloud top pressure data in the estimation of snowfall occurrence and precipitation rates. 23rd Conference on IIPS.
- Blaine Rister, Daniel.L Rubin. (2017). Piece wise convexity of artificial neural networks . *J. neural networks* . 94:34 -45.
- Bretherton, H.S., E.P. Matthew and E.B. Larissa. (2004). Relationships between Water Vapor-Path and Precipitation over the Tropical Oceans. *J. Climate*. 17:1517 -1528.
- Ioannidou, M. P., Kalogiros, J. A., & Stavrakis, A. K. (2016). Comparison of the TRMM Precipitation Radar rainfall estimation with ground-based disdrometer and radar measurements in South Greece. *Atmospheric Research* , 181, 172-185.
- Javan, K., & Azizzadeh, M. R. (2017). Evaluation of the TRMM-3B43V7 rainfall products on a monthly scale in the Northwest of Iran. *Environmental Resources Research*, 5(2), 153-168
- Hanna, W., D.M. Schultz and A.R. Irving. (2008). Cloud-Top Temperatures for Precipitating Winter Clouds. *J of Appl. Meteorolo. and Climatolo*. 47: 351-359.
- Houze, R. A. (1993). *Cloud Dynamics*. Academic Press, 573 pp.
- Henderson, D., S., Ch., D. Kummerow, D., A. Marks, and W., Berg, (2017), A Regime-Based Evaluation of TRMM Oceanic Precipitation Biases, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 34, No. 12, pp 2613-2635
- Heymsfield, A.J., S. Matrosov and B. Baum. (2003). Ice Water Path – Optical Depth Relationships for Cirrus and Deep Stratiform Ice Cloud Layers. *J of Appl. Meteorolo*. 42: 1369 – 1389

- Hong ,y. adler , Rf. , Hossain,f.,Curtis , s. and Huffman Gj(2007) afirst approach to global run off simulation using satellite rain fall estimation. journal of water resour Resources research 43 , w08502.doi: 10.1029 1200, wr 005739
- Hosseini, S. H., Rezaei, M. J., Bag-Mohammadi, M., Altzibar, H., & Olazar, M. (2018). Smart Models to Predict the Minimum Spouting Velocity of Conical Spouted Beds with Non-porous Draft Tube. *Chemical Engineering Research and Design*.
- Leo, B., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). Classification and regression trees. *Wadsworth International Group*.
- Menzel, W.P., R.A. Frey, H. Zhang, D.P. Wylie, C. Moeller, R. Holz, B. Maddux, B. Baum, K. Strabala, and L. Gumley. (2008). MODIS Global Cloud-Top Pressure and Amount Estimation Algorithm Description and Results. *Journal of applied meteorology and climatology*. 47:11751198.
- Mehdizadeh, S., Behmanesh, J., & Khalili, K. (2018). New approaches for estimation of monthly rainfall based on GEP-ARCH and ANN-ARCH hybrid models. *Water Resources Management*, 32(2), 527-545.
- Mong , HSU ,KL. sorooshian ,s .and Gao,x -(2004)precipitation estimation from remotely sensed imagery using and artificial neural network cloud classification system applied meteorology and climatology. 43 , 1834 – 1853 , doi: 10.1175/jam 2173.10
- Ouallouche, F., Lazri, M., & Ameer, S. (2018). Improvement of rainfall estimation from MSG data using Random Forests classification and regression. *Atmospheric Research*, 211, 62-72.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K. J., ... & Sadeghi, S. H. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific reports*, 7(1), 4175.
- Pan, X., Cao, C., Yang, Y., Li, X., Shan, L., & Zhu, X. (2018, April). Land surface temperature downscaling using random forest

regression: primary result and sensitivity analysis. In Ninth International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2017) (Vol. 10615, p. 106154C). International Society for Optics and Photonics.

-Zeng, x, 1999. The relationship among precipitation cloud- top temperature and precipitable water over the tropics: j of climate. 12 ,2503 -2514