



سجش از دور

GIS ایران



سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۸
Vol.1, No.2, Summer 2009

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۴۴-۳۱

قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو غیرفعال سنجش از دور و تخمین بارندگی و پایش سیلاب (مطالعه موردی: استان گلستان)

علی‌اکبر متکان^۱، علیرضا شکیبیا^۲، داوود عاشورلو^۳، جواد بندق جمالی^۴، وهب محمدیان^۵

۱. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۲. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۳. مربی گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۴. استادیار پژوهشکده هواشناسی، سازمان هواشناسی ایران
۵. کارشناس ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۵/۱۲

چکیده

طی چند سال اخیر به هنگام فصول گرم، در اثر بارندگی شدید و ناگهانی در استان گلستان سیل‌های مخربی رخ داده که در پی آن، خسارات سنگینی به منطقه وارد آمده است. از آنجا که شدت بارندگی در منطقه بسیار متغیر است و ایستگاه‌های زمینی نمی‌توانند این تغییرات را به خوبی نمایش دهند، لزوم به‌کارگیری سنجش از دور در تخمین بارندگی بیش از پیش نمایان می‌گردد. در الگوریتم‌های تخمین بارندگی ماهواره‌ای اغلب از داده‌های مادون قرمز و مایکروویو غیرفعال استفاده می‌شود. داده‌های مادون قرمز دارای قدرت تفکیک زمانی بالایی هستند (هر نیم ساعت یک تصویر) اما توان نفوذ در ابر را ندارند. در مقابل، داده‌های مایکروویو غیرفعال از ابر عبور می‌کنند و تخمین دقیق‌تری از نرخ بارندگی می‌دهند اما قدرت تفکیک زمانی پایین‌تری (هر روز دو تصویر) دارند. در نتیجه با ترکیب این دو سری داده می‌توان ضمن حفظ مزایا، معایب را تا حد امکان کاهش داد. در تحقیق حاضر، قابلیت الگوریتم ترکیبی همسان‌سازی احتمال داده‌های TRMM و Meteosat در تخمین بارندگی شدید نوزدهم مرداد ۱۳۸۴ (دهم اوت ۲۰۰۵) که منجر به وقوع سیل گردید مورد بررسی قرار گرفت و با کمک مدل هیدرولوژی GeoSFM به پایش سیلاب پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده، نشان می‌دهد که بین تخمین ماهواره و مشاهدات زمینی همبستگی ۰/۵۳۳ درصد وجود دارد و RMSE و MAD معادل ۹/۷۴ و ۶/۶۷ است. همچنین مشاهده گردید که خاک در اکثر زیرحوضه‌های جنوب شرقی منطقه رخ می‌دهد، که حداکثر حجم آن همزمان با بارندگی‌های شدید است.

کلیدواژه‌ها: باران، پایش سیلاب، سنجش از دور، همسان‌سازی احتمال، GeoSFM.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور و GIS، تلفن ۰۹۱۲۸۰۳۵۳۵۵

۱- مقدمه

باران از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی به‌شمار می‌آید، زیرا تغییرات مشاهده‌شده در چرخه هیدرولوژیکی غالباً با بارندگی مرتبطند. از لحاظ مکانی و زمانی بارندگی بسیار متغیرست، به‌طوری که ممکن است شدت بارندگی از ۰/۱ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت متغیر باشد و مدت بارندگی نیز از چند ثانیه تا چند روز به طول بینجامد (Javid, 2002).

پدیده سیلاب یکی از فاجعه‌بارترین و فراوان‌ترین بلایای طبیعی است که اکثر مواقع در اثر بارندگی‌های بیشینه رخ می‌دهد (Artan et al., 2007). شاید در نگاه نخست، ابعاد حوادثی از قبیل زلزله و آتشفشان، وسیع‌تر از دیگر حوادث طبیعی به نظر آید اما هر سال در اثر رخداد سیلاب بیش از ده میلیون انسان آواره یا کشته می‌شوند که این میزان تقریباً ۱۵ درصد مرگ و میر ناشی از سوانح طبیعی است (Hossain and Katiyar, 2008).

یکی از راهکارهای اساسی کاهش خسارات ناشی از سیل، مدیریت حین و بعد از وقوع سیلاب است که مستلزم پایش رخدادهاست. لذا نیاز است که اطلاعاتی قابل اعتماد و نزدیک به واقعیت از بارندگی به دست آید.

اصولاً اطلاعات بارندگی به‌وسیله ایستگاه‌های زمینی، رادارهای زمینی و ماهواره جمع‌آوری می‌گردد. بررسی بارندگی به روش سنتی نیازمند شبکه‌های باران‌سنجی متراکمی است که از لحاظ اجرایی و اقتصادی مقرون به صرفه نیستند و دارای مشکلاتی از قبیل برداشت نقطه‌ای، عدم توانایی ثبت باران‌های شدید، عدم پوشش مناطق صعب‌العبور و کوهستانی، وابستگی دقت آنها به شرایط محیطی و همچنین نیاز به تأسیسات گران‌قیمت‌اند (Marchi, 2006).

رادارهای بارندگی برخی از این مشکلات را برطرف می‌کنند اما آنها هم مشکلاتی از قبیل نیازمندی به تأسیسات گران‌قیمت، داشتن خطاهای معنی‌دار،

ناهمگنی داده‌های جمع‌آوری‌شده (به علت پراکندگی مکانی) و خطای تبدیل بازتاب‌پذیری^۱ به نرخ بارندگی و محدودیت پوشش مکانی دارند. در مقابل، سنجش از دور ماهواره‌ای با داشتن دیدی وسیع و متمرکز کردن جمع‌آوری، ذخیره و توزیع داده و همچنین داشتن قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا به پایش مناطق عاری از باران سنج می‌پردازد (Marchi, 2006).

مشکلات بیان‌شده و نیز در دسترس بودن و بدون وقفه بودن داده‌های ماهواره‌ای، آنها را به منبعی بالارزش برای تخمین بارندگی و پایش سیلاب تبدیل کرده است. به همین دلیل طی دهه‌های اخیر پژوهشگران زیادی به تلاش و تحقیق در زمینه تخمین بارندگی با استفاده از ماهواره پرداخته‌اند و روش‌های متعددی را ایجاد کرده و یا بهبود بخشیده‌اند و از آنها برای پایش پیش‌بینی سیلاب استفاده کرده‌اند.

برای تخمین بارندگی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تکنیک‌های مختلفی وجود دارد اما می‌توان آنها را به سه گروه عمده روش‌های غیرمستقیم، مستقیم و ترکیبی تقسیم کرد. روش‌های غیرمستقیم بیشتر از تصاویر مادون قرمز^۲ (IR) استفاده می‌کنند و براساس دمای سطح بالایی ابر، نرخ بارندگی را بیان می‌دارند. اما روش‌های مستقیم از مایکروویو غیرفعال^۳ (PMW) استفاده می‌کنند. ارتباط بین بارندگی و تابش مایکروویو در مقایسه با مادون قرمز (روش‌های غیرمستقیم) قابل اعتمادتر است، زیرا بخش مایکروویو طیف الکترومغناطیس قادر به نفوذ در ابر است و از آنجا که این طول موج‌ها با بخار آب موجود در جو واکنش نشان می‌دهند و باعث شناسایی آنها می‌گردند، تخمین‌های بهتری از بارندگی‌های ناگهانی تولید می‌کنند. از آنجا که فراوانی مشاهدات مایکروویو غیرفعال نسبت به مرئی و مادون قرمز کمتر است، هنگامی که برای تخمین بارندگی‌های کوتاه‌مدت

1. Reflectivity
2. Infrared (IR)
3. Passive microwaves (PMW)

با ایستگاه‌های زمینی، همبستگی بالای ۰/۷۰ درصد داشت. اطلاعات کاملی از این روش‌ها را می‌توان در Levizzani و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کرد.

Todd و همکاران (۲۰۰۰) برای تخمین بارندگی در سطح آفریقا یا قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا روشی ترکیبی به نام MIRA^۵ ارائه دادند که در آن برای ترکیب IR و PMW از همسان‌سازی احتمال استفاده شد و همبستگی ۰/۵۴ درصد به دست آمد. Kidd و همکاران (۲۰۰۳) نیز برای ترکیب این دو سری داده از روش مذکور استفاده کردند و همبستگی ۰/۴۰ درصد به دست آمد.

در ایران نیز کم و بیش به موضوع تخمین بارندگی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پرداخته شده و عمدتاً از روش‌های غیرمستقیم و تا حدی هم روش‌های مستقیم استفاده گردیده است (Azari, 2007).

در زمینه سیلاب، با پرتاب ماهواره‌های SPOT و LANDSAT در سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۸۶ مطالعات اولیه انجام شده بیشتر به بررسی مناطق زیر آب رفته و در معرض خطر احتمالی پرداختند؛ که شرح کاملی از این روش‌ها را می‌توان در مطالعات Sanyal و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کرد.

با گرایش روزافزون به سمت تخمین بارندگی ماهواره‌ای، مدل‌های مختلفی از قبیل HEC-، HEC-، GeoSFM، RAS در محیط GIS شرح و بسط یافتند که با کمک این تخمین‌ها و داده‌هایی همچون مدل ارتفاعی رقومی^۶ (DEM)، نقشه خاک و پوشش زمین به بررسی و پیش‌بینی سیلاب می‌پردازند. مطالعات زیادی در خصوص استفاده از این مدل‌ها در مناطق مختلف جهان انجام شده است که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: مطالعه نمایش منطقه

استفاده شوند خطای نمونه‌برداری افزایش می‌یابد، لذا طرح‌های ترکیبی با ترکیب این دو روش سعی در برطرف کردن مشکلات مذکور دارند.

استفاده از روش‌های مادون قرمز و مرئی پیشینه‌ای طولانی دارد. در تمامی این روش‌ها بین دمای سطح بالایی ابر و میزان بارندگی، ارتباطی دیده شده است. شرح کاملی از خصوصیات و توسعه این روش‌ها را می‌توان در مطالعات Levizzani و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کرد.

مطالعات مایکروویو غیرفعال برای تخمین باران، بیشتر از الگوریتم اختلاف فرکانس دمای درخشندگی در قطبش عمودی دو فرکانس مختلف (مانند ۳۷ GHz و ۸۵ GHz) استفاده می‌کنند. در سطح جهان از این روش بسیار استفاده شده است اما در ایران اولین شخصی که به بررسی تخمین بارندگی روزانه با داده‌های مایکروویو غیرفعال و مقایسه آن با ایستگاه‌های زمینی پرداخت (۱۹۹۹) Matkan بود.

در زمینه ترکیب این دو روش نیز الگوریتم‌های متعددی شکل گرفته است. Adler و همکاران (۱۹۹۳) با استفاده از داده‌های SSM/I^۱ تکنیکی را به نام AGPI^۲ ارائه دادند که در آن تخمین‌های SSM/I برای تعدیل بارندگی تخمینی GPI^۳ به کار رفت. این روش داده‌های IR و PMW همزمان را در نظر می‌گیرد و بین بارندگی و دمای درخشندگی ارتباطی به وجود می‌آورد و از آن برای تمام داده‌های مادون قرمز زمین‌آهنگ استفاده می‌کند. Xu و همکاران (۱۹۹۹) نیز روش پیچیده‌ای را به نام UAGPI^۴ شرح و بسط دادند که در آن حد آستانه دما و بارندگی ماهانه با استفاده از داده‌های همزمان IR و PMW بهینه می‌گردد و سپس برای تمامی دوره‌ها به کار گرفته می‌شود.

Hsu و همکاران (۱۹۹۷ و ۱۹۹۹) و Bellerby و همکاران (۲۰۰۰) برای الحاق اندازه‌گیری‌های TRMM و داده‌های زمین‌آهنگ IR ماهواره GOES از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند که ورودی آن بافت مکانی IR و خروجی آن نرخ بارندگی ۳۰ دقیقه بود و

1. Special Sensor Microwave Imager
2. Adjusted GOSE Precipitation Index
3. GOSE Precipitation Index
4. Universally Adjusted GPI
5. Microwave Infrared Algorithm
6. Digital Elevation Model

استان گلستان در منتهی‌الیه شرقی این منطقه بین طول جغرافیایی $53^{\circ}/44'$ تا $56^{\circ}/15'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ}/3'$ تا $38^{\circ}/8'$ قرار گرفته و با آب و هوای معتدل خزری (مدیترانه‌ای) پنج حوضه آبخیز گرگانرود، اترک، قره‌سو، خلیج گرگان و نکارود را در خود جای داده است. این استان به خاطر دارا بودن شرایط خاص توپوگرافی و اقلیمی، همواره در معرض خطر وقوع سیلاب قرار داشته است. سیلاب‌های این منطقه اغلب در مردادماه و در منتهی‌الیه دامنه شمالی رشته‌کوه البرز (محل تشکیل جریانات همرفتی) رخ می‌دهند. اصلی‌ترین عامل ایجاد سیلاب در این منطقه را می‌توان باران‌های رگباری و سنگین همرفتی برشمرد، که در کنار آن عواملی همچون شکل حوضه، کم‌عرض بودن رودخانه‌ها، کوتاه بودن فاصله آبخیز تا آبریز، خشک بودن خاک، تراکم بیش از حد جمعیتی و تخریب محیط زیست نیز دخیل‌اند.

۳- مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، برگرفته از اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک، تصاویر IR2 ماهواره 7 Meteosat و داده‌های ماهواره TRMM سه روز قبل از سیل تا یک روز بعد از وقوع آن (۷ الی ۱۱ اوت ۲۰۰۵) است. از تصاویر Meteosat دمای درخشندگی در باند حرارتی و از TRMM نرخ بارندگی ساعتی استخراج شد. تصاویر Meteosat با فاصله زمانی شش ساعت از وبسایت دانشگاه Dundee تهیه و به منطقه مورد نظر برش داده شدند و براساس سامانه مختصات طول و عرض جغرافیایی و بیضوی WGS84 زمین‌مرجع گردیدند. براساس رابطه (۱) داده‌های Meteosat به رادیانس^۲ و سپس رادیانس محاسبه‌شده براساس رابطه (۲) به دمای درخشندگی^۳ تبدیل گردید (Eumetsat, 2008 & Söllheim, 2008).

1. Probability Matching Method (PMM)
2. Radiance
3. Brightness Temperature

سیلاب‌گرفته حوضه Limpopo با کمک GeoSFM به‌وسیله Artan و همکاران (۲۰۰۲)، تعیین مقدار رواناب با استفاده از تلفیق داده‌های رادار در مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به‌وسیله (2003) Holbit، ارائه مدل منطقه‌ای سیلاب در حوضه San Antonio با استفاده از تلفیق مدل HEC-RAS و HEC-HMS به‌وسیله Knebl و همکاران (۲۰۰۵) و پایش سیلاب حوضه Limpopo با استفاده از داده‌های دورسنجی Asante و NOAA و مدل GeoSFM به‌وسیله (Azari, 2007) (۲۰۰۷) و همکاران.

در ایران نیز از این مدل‌ها در سطح وسیعی استفاده شده است، که برای نمونه می‌توان به مطالعه پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز طالقان از سوی وهابی، تعیین نقش زیرحوضه‌های آبخیز در شدت سیل خیزی حوضه دماوند از سوی خسروشاهی، پهنه‌بندی سیل در بخشی از حوضه آبخیز شهری تهران از سوی جلالی‌راد و بررسی هشدار سیل در زیرحوضه مادرسو گلستان از سوی آذری اشاره کرد - شرح کاملی از این مطالعات را می‌توان در (Azari (2007) مشاهده کرد.

تحقیق حاضر به بررسی قابلیت ترکیبی داده‌های مادون قرمز و مایکروویو غیرفعال ماهواره‌های TRMM و Meteosat در پیش‌بینی بارندگی شدید ناگهانی و پایش سیلاب نوزدهم مرداد ماه ۱۳۸۴ (دهم اوت ۲۰۰۵) پرداخته است. از این رو برای پیش‌بینی بارندگی از روش ترکیبی همسان‌سازی احتمالات^۱ (PMM) و برای پایش سیلاب از مدل GeoSFM استفاده گردید.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه خزر در قسمت شمالی ایران، مابین دریای خزر و رشته‌کوه البرز واقع شده است و استان‌های گیلان، مازندران و گلستان را دربر می‌گیرد. به همین خاطر موقعیت و خصوصیات فیزیکی دریای خزر به شدت بر اقلیم منطقه تأثیرگذار است.

رابطه (۱)

$$\text{Radiance} = 0.09(DN - 5)$$

رابطه (۲)

$$\text{Radiance} = \exp\left(\frac{6}{9618} + \frac{-1255/54}{BT}\right)$$

داده‌های بارندگی نیز از الگوریتم ۱۲-۲A که اساس آن احتمال بیض (رابطه (۳)) است و برای داده‌های سنجنده TMI ماهواره TRMM به کار می‌رود استخراج گردید (Kummerow et al., 2001).

رابطه (۳)

$$\text{Prob}(RR | BT) = \text{Prob}(RR) \times \text{Prob}(BT | RR)$$

Prob(RR): احتمال مشاهده بارندگی

Prob(BT|RR): احتمال مشاهده دمای درخشندگی

به شرط داشتن پروفایل باران.

Prob (RR|BT) احتمال مشاهده پروفایل باران به

شرط داشتن دمای درخشندگی.

برای یافتن ارتباط بین دمای درخشندگی و نرخ بارندگی مایکروویو غیرفعال، از تکنیک همسان‌سازی احتمالات (PMM) استفاده شد. علت استفاده از این روش این است که نرخ بارندگی‌های ناگهانی به سمت مقادیر کم گرایش دارند (چوله هستند) پس اعمال رابطه رگرسیونی ساده منجر به آریبی نتایج گشته و بیش‌برآورد^۱ بارندگی رخ می‌دهد (Kidd et al., 2003).

فرض اولیه در تکنیک همسان‌سازی احتمالات این است که بارندگی اندازه‌گیری‌شده دقیق است و بازبایی‌های ماهواره‌ای می‌توانند توزیع فراوانی نرخ‌های بارندگی را نمایش دهند. همچنین به صورت تجربی ثابت شده است که همبستگی بین نرخ بارندگی و دمای درخشندگی منفی است، یعنی دمای درخشندگی پایین‌تر نرخ بارندگی بیشتری دارد. از این رو ایده اصلی تکنیک مذکور، تبیین ارتباط معکوس بین داده‌های دمای درخشندگی و نرخ بارندگی مایکروویو غیرفعال با استفاده از هیستوگرام متناظر رخداد آنهاست. بنابراین برای یک منطقه مفروض، مقادیر دمای درخشندگی و نرخ بارندگی مایکروویو غیرفعال در هیستوگرام‌هایی

تجمع یافت، سپس به یک هیستوگرام تجمعی تبدیل گردید و در ادامه این هیستوگرام‌ها به این صورت انطباق داده شدند که بارندگی بیشتر مربوط به دمای کمتر است (معادلات (۴) و (۵) و (۶)). به این ترتیب جدولی مرجع برای نرخ بارندگی مایکروویو غیرفعال و دمای درخشندگی به دست آمد. با استفاده از این تکنیک چنانچه ۱۰۰ نقطه مشاهده شده با نرخ بارندگی ۱۰ mm/h وجود داشته باشد، خروجی الگوریتم ماهواره نیز ۱۰۰ نقطه با نرخ بارندگی ۱۰ mm/h خواهد داشت. این روش به وسعت منطقه مورد مطالعه و به تعداد نقاط قابل دسترسی وابسته است، چرا که برای داشتن نمونه‌ای مناسب لازم است تعداد این نقاط به اندازه کافی بزرگ باشد اما از طرفی برای نمایش هر گونه خصوصیات محلی نیز تعداد آنها به اندازه کافی کوچک باشد (Todd et al., 2000).

رابطه (۴)

$$\text{Prob}(RR \leq R) = \text{Prob}(BT \geq T) = 1 - \text{Prob}(BT \leq T)$$

رابطه (۵)

$$\int_0^R P_R(R) dR = \int_T^{T_0} P_T(T) dT$$

$$= \int_0^R P_T(T) dT - \int_0^T P_T(T) dT$$

برای پایش سیلاب از مدل GeoSFM استفاده گردید. این مدل را پژوهشگران USGS برای پایش سیلاب حوضه‌های وسیع به صورت برنامه‌ای جنبی در نرم‌افزار ArcView طراحی کرده‌اند و مزایای اصلی آن تعداد پارامترهای ورودی اندک است. برای پایش سیلاب با دقتی بالاتر براساس DEM موجود و با استفاده از GeoSFM، منطقه به ۷۷۲ زیرحوضه با میانگین مساحت ۲۷/۵۶ کیلومترمربع و طول آبراهه ۶/۶۷ کیلومتر تقسیم شد و از داده‌های پوشش زمین نیز برای محاسبه مقاومت پوشش گیاهی در برابر

1. Overestimation

ارتباط بین آنها استفاده شد. در شکل ۱ توزیع دمای درخشندگی و نرخ بارش به همراه رابطه استخراجی نشان داده شده است و مشاهده می‌شود که آستانه دمای بارندگی 235° کلوین است، در حالی که در روش GPI برای 235° کلوین و کمتر از آن نرخ بارندگی 3 mm/h در نظر گرفته می‌شود. رابطه استخراجی بین دمای درخشندگی و نرخ بارندگی ساعتی با $R^2=0/98$ در رابطه (۷) نشان داده شده است.

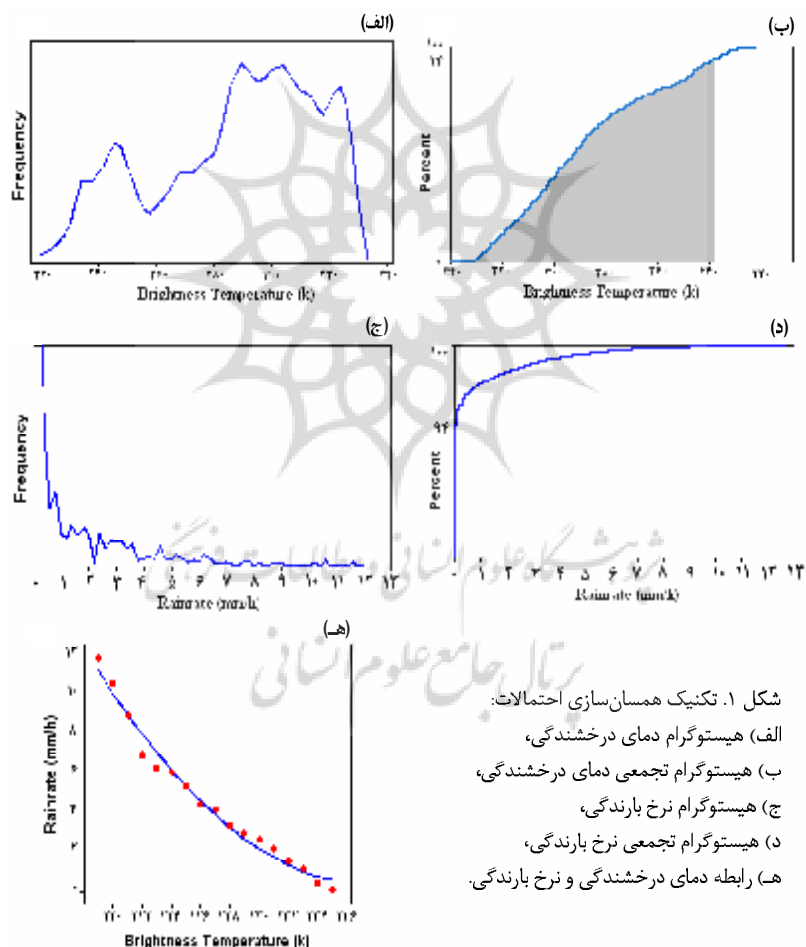
رابطه (۷)

$$\text{RainRate} = 1721 - 14/46BT + 0/3038BT^2$$

جریان‌های سطحی و سرعت سطحی رواناب استفاده شد. تخمین پارامترهای هیدرولوژی مورد نیاز، نظیر ظرفیت نگهداری آب به‌وسیله خاک و نیز بافت و عمق خاک از نقشه خاک منطقه براساس گروه‌بندی فائولیونسکو و طبقه‌بندی Zabler (1986) انجام گرفت و داده‌های تبخیر تعرق نیز از روش تورنت وایت^۱ محاسبه گردید.

۴- نتایج و یافته‌ها

با انجام محاسبات دمای درخشندگی مادون قرمز و نرخ بارندگی مایکروویو؛ از روش PMM برای یافتن



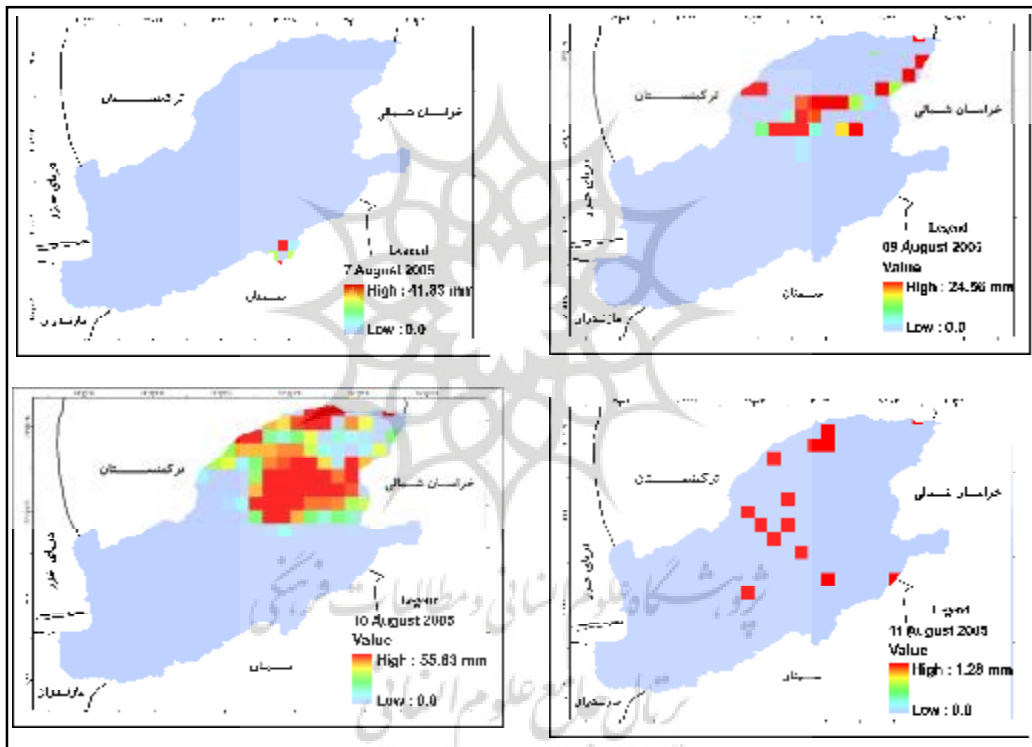
شکل ۱. تکنیک همسان‌سازی احتمالات:
 الف) هیستوگرام دمای درخشندگی،
 ب) هیستوگرام تجمعی دمای درخشندگی،
 ج) هیستوگرام نرخ بارندگی،
 د) هیستوگرام تجمعی نرخ بارندگی،
 ه) رابطه دمای درخشندگی و نرخ بارندگی.

1. Thornthwait method

قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو غیرفعال سنجش از دور و تخمین بارندگی و پایش سیلاب (مطالعه موردی: استان گلستان)

الگوریتم از داده‌های ۱۴ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی منطقه استفاده شد که برای مقایسه ابتدا اطلاعات بارندگی ایستگاه‌ها با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله^۱ (IDW) به سطح تبدیل شد و سپس آماره‌های میانگین^۲، انحراف استاندارد^۳ (SD)، ریشه مجذور مربعات خطا^۴ (RMSE)، اریبی^۵، میانگین مربعات خطا^۶ (MAD) و ضریب همبستگی پیرسون^۷ (PCC) محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

با اعمال معادله (۷) بر دمای درخشندگی به‌دست آمده از تصاویر Meteosat نرخ بارندگی ساعتی هر تصویر محاسبه شده و از آنجا که فاصله تصاویر شش ساعته (هر روز چهار تصویر) بود، با ضرب آنها در ۶ و جمع نتایج، تخمین روزانه به‌دست آمد. شکل ۲ بارندگی روزانه تخمینی را طی روزهای هفتم تا یازدهم اوت نشان می‌دهد (باران تخمینی هشتم اوت برابر صفر است). پس از محاسبه بارندگی روزانه، برای سنجش دقت



شکل ۲. بارندگی تخمینی حاصل از همسان‌سازی احتمالات (هفتم تا یازدهم اوت ۲۰۰۵)

1. Inverse Distance Weighted
2. mean
3. Standard Deviation
4. Root Mean Square Error
5. bias
6. Mean Absolute Erroe
7. Pearsons Correlation Coefficient

علی‌اکبر منکان و همکاران

جدول ۱. آمارهای قیاس تخمین ماهواره با ایستگاه‌های زمینی (هفتم تا یازدهم اوت ۲۰۰۵)

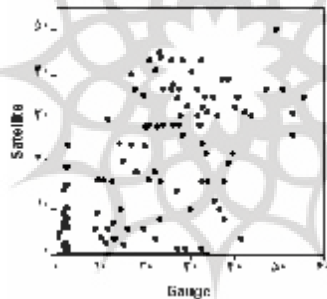
PCC	MAD	RMSE	BIAS	SD	Mean(mm/day)
مشاهده زمینی	تخمین ماهواره	مشاهده زمینی	تخمین ماهواره		
۰/۵۳۳	۶/۶۷	۹/۷۴	۰/۴۵	۱۰/۵	۱۰/۸۹
					۴/۰۴
					۸/۹۱

گرفت و رابطه (۸) با $R^2 = ۰.۴۷$ حاصل گشت.

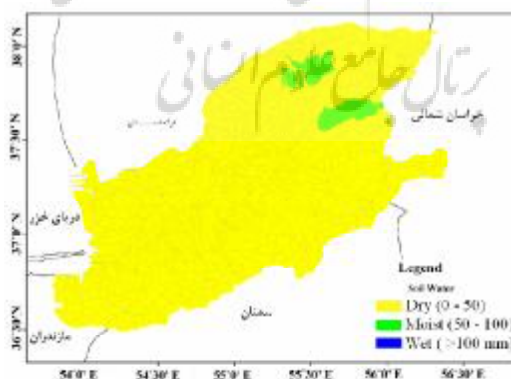
$$\text{Calibrate} = ۱/۱۶ + ۰/۹۳۵ \text{Satellite} \quad (۸)$$

برای پایش سیلاب نیز براساس میانگین بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل هر حوضه، رطوبت خاک حوضه مربوط به آن محاسبه گردید و براساس طبقه‌بندی USGS حوضه‌ها به سه دسته خشک، مرطوب و خیس (Dry, Moist and Wet) تقسیم‌بندی شد؛ که نتیجه حاصل در شکل ۴ آورده شده است.

در جدول ۱ تخمین ماهواره در مقایسه با مشاهدات زمینی دارای میانگین و انحراف استاندارد کمتری است و RMSE و MAD و Bias که مشخصه‌هایی از خطا و تفاوت بین تخمین و مقادیر مشاهده شده هستند به ترتیب مقادیر ۹/۷۴ و ۶/۶۷ و ۰/۴۵ دارند و همبستگی پیرسون نیز ۰/۵۳۳ به دست آمده است. نتایج جدول ۱ و شکل ۳ نیاز به کالیبراسیون تخمین‌های ماهواره را نشان می‌داد که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی، کالیبراسیون صورت



شکل ۳. پراکنش داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی



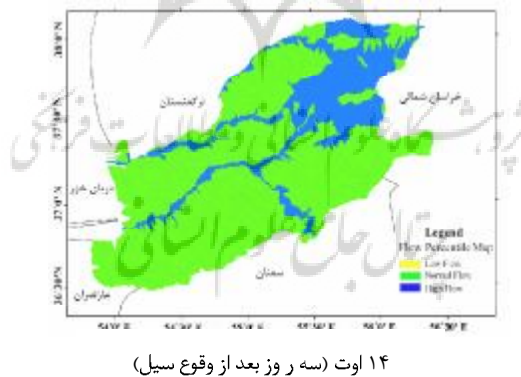
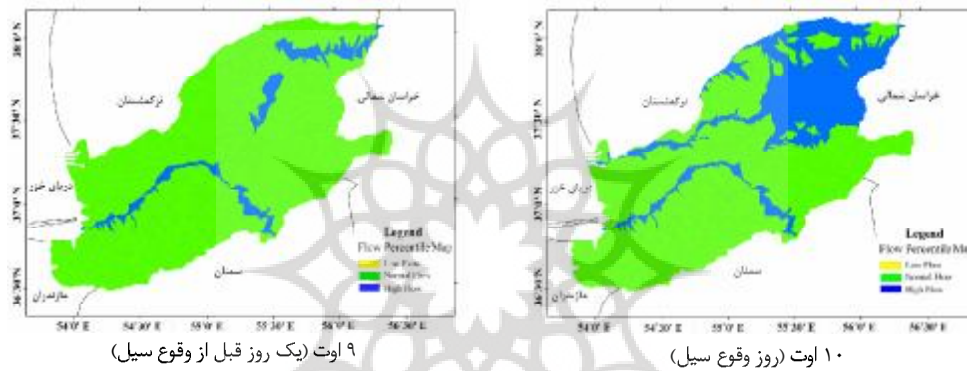
شکل ۴. نقشه رطوبت خاک منطقه (هفتم تا یازدهم اوت ۲۰۰۵)

قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو غیرفعال سنجش از دور و تخمین بارندگی و پایش سیلاب (مطالعه موردی: استان گلستان)

بعد از وقوع سیل، نقشه جریان آورده شده است. البته به علت فقدان داده‌های زمینی مناسب در آن زمان اعتبارسنجی صورت نگرفت.

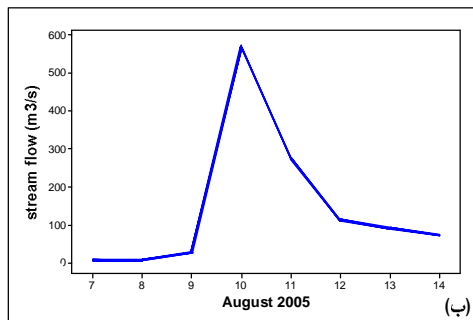
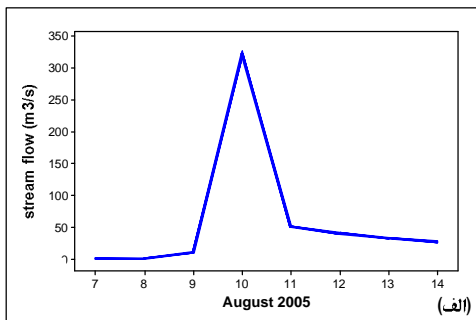
در ادامه برای مشاهده وضعیت افزایش یا کاهش میزان رواناب طی روزهای آتی و نیز اینکه آیا حوضه‌هایی با رطوبت بالا دارای بیشترین رواناب هستند یا خیر، از نمودار هیدروگراف استفاده گردید. در شکل ۶ هیدروگراف یکی از زیرحوضه‌های سرچشمه و زیرحوضه ورودی خزر آورده شده است.

برای مدیریت جریان و تصمیم‌گیری‌های آینده یکی از ملزومات، دانستن میزان جریان در هر حوضه آبخیز است؛ لذا براساس محاسبات میان‌چارکی^۱، جریانات نهر برای هر حوضه به سه کلاس جریان کم، نرمال و شدید تقسیم شد. در این مطالعه براساس پیش‌فرض GeoSFM آستانه وضعیت جریان کم و نرمال و مرز بین جریان نرمال و شدید به ترتیب صدک ۳۳م و صدک ۶۶م جریان انتخاب شد که در شکل ۵ برای یک روز قبل از وقوع سیل، روز وقوع سیل و سه روز



شکل ۵. نقشه شدت جریان برای روزهای ۹ و ۱۰ و ۱۴ اوت (خروجی مدل GeoSFM)

1. Quartile calculations



شکل ۶. هیدروگراف سیل در یکی از زیرحوضه‌های سرچشمه (الف) و خروجی (ب)

بارندگی در ماه اوت در منطقه گلستان ۲۳۵ درجه کلون است، در حالی که در روش GPI برای دماهای سردتر از ۲۳۵ درجه کلون نرخ بارندگی ۳ میلی‌متر بر ساعت منظور می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت که شرایط محیطی و زمانی بر ارتباط بین نرخ بارندگی و دما تأثیر بسزایی می‌گذارد.

همچنین دیده شد که الگوریتم ترکیبی PMM به خوبی بارندگی رخ داده در دهم اوت را ثبت کرده و با داده‌های زمینی، همبستگی پیرسون ۰/۵۳۳ دارند؛ در حالی که Todd و همکاران (۲۰۰۰) و Kidd و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از این روش برای آفریقا همبستگی حدود ۵۴ درصد و ۴۰ درصد را محاسبه کرده‌اند.

همچنین مشاهده گردید که نتایج حاصل از این الگوریتم در مقایسه با مشاهدات زمینی، دارای مقادیر RMSE و MAD و BIAS معادل ۹/۷۴ و ۶/۶۷ و ۰/۴۵ است که با توجه به دامنه پراکنش داده‌ها (حدود ۶۰ واحد) مناسب می‌نماید. به علاوه با توجه به نمودار پراکنش و مقایسه با داده‌های زمینی، انجام کالیبراسیون تخمین ماهواره قبل از هر گونه استفاده‌ای ضروری به نظر می‌رسید، لذا رابطه‌ای رگرسیونی با $R^2 = 0.47$ برای این عمل تعیین شد.

در زمینه پایش سیلاب نیز مدل GeoSFM با استفاده از داده‌های بارندگی کالیبره شده، رخداد سیل را به خوبی نمایش داده است، که نشان می‌داد اکثر زیرحوضه‌های منطقه دارای شرایط رطوبتی خاک

همان‌گونه که در شکل ۶ مشخص است، حداکثر حجم رواناب مطابق با دهم اوت است که حداکثر بارندگی رخ داده است. بعد از این روز، حجم رواناب کاهش می‌یابد اما سرعت کاهش آن نسبت به سرعت افزایش آن در روزهای قبل کمتر است. علت این امر را می‌توان رطوبت خاک ناشی از این بارندگی شدید، کاهش نفوذپذیری خاک و جریان‌های زیرسطحی دانست. همچنین ملاحظه می‌گردد که حجم رواناب بیش از آنکه به رطوبت خاک وابسته باشد به رخداد بارندگی بستگی دارد.

۵- نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های میکروویو غیرفعال نسبت به مادون قرمز، دقت بیشتری در تخمین بارندگی‌های ناگهانی دارند؛ چرا که بخش میکروویو طیف الکترومغناطیس، قابلیت نفوذ در ابر را دارد و با بخار آب موجود واکنش انجام می‌دهد و سبب شناسایی آنها می‌شود. از طرفی سنجنده‌های میکروویو غیرفعال بر روی ماهواره‌های مدار قطبی قرار می‌گیرند و تعداد نمونه‌برداری روزانه آنها بسیار کم است. به همین دلیل با ترکیب آنها با داده‌های مادون قرمز که نمونه‌برداری روزانه بالایی دارند می‌توان این ضعف را تا حدودی برطرف کرد.

در پژوهش حاضر با استفاده از روش همسان‌سازی، احتمالات داده‌های مادون قرمز Meteosat و میکروویو TRMM ترکیب شد و ملاحظه گردید که آستانه دمای

Artan G.A., Restrepo M., and Asante K., 2002, **A Flood Early Warning System for Southern Africa**, Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS 2002 Conference Proceedings.

Artan, G., Gadain, H., Smith, J.L., Asante, K., Bandaragoda, C.J., and Verdin, J.P., 2007, **Adequacy of Satellite Derived Rainfall Data for Stream Flow Modeling**, Nat Hazards, 43:167-185.

Asante, K.O., Macuacua, R.D., Artan, G.A., Lietzow, R.W., and Verdin, J.P., 2007, **Developing a Flood Monitoring System from Remotely Sensed Data for the Limpopo Basin**, IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 45(6): 1709-1714.

Azari, H., 2007, **Flood Forecasting with Integration of Hydrological Model, Remote Sensing and GIS, (Case Study: Madarsoo Subbasin, Golestan Province)**, M.Sc. thesis, Shahid beheshti university.

Bellerby, T., Todd, M., Kniveton, D., and Kidd, C., 2000, **Rainfall Estimation from a Combination of TRMM Precipitation Radar and GOES Multispectral Satellite Imagery Trough the Use of an Artificial Neural Network**, J. Appl. Meteor. 39: 2115 - 2128.

Eumetsat, 2008, <http://www.eumetsat.int/> (Accessed on December 2008).

خشک هستند. همچنین دیده شد که قبل از بارندگی شدید و ناگهانی دهم اوت (نوزدهم مرداد) جریان زیرحوضه‌ها شرایط نرمالی دارند، در حالی که در روز نوزدهم، زیرحوضه‌های واقع در شرق و جنوب شرقی استان که کانون بارندگی‌های ناگهانی بودند شرایط جریان شدید پیدا می‌کنند و رخداد سیلاب به وضوح مشخص است. به علاوه دیده شد که طی روزهای بعد از وقوع سیل، بیشتر زیرحوضه‌هایی که در مسیر جریان اصلی هستند هنوز شرایط جریان شدید را دارند و به همین دلیل لزوم مراقبت و مدیریت جریان در این زیرحوضه‌ها و زیرحوضه‌های شرق و جنوب شرقی مشخص می‌گردد.

هیدروگراف جریان نیز رخداد سیل در نوزدهم مرداد را نشان می‌دهد. همچنین در هیدروگراف، بازوی پایین‌رونده نسبت به بازوی بالارونده شیب کمتری دارد که می‌توان علت آن را رطوبت خاک و جریانات زیرسطحی ناشی از بارندگی رخ داده دانست که مانع نفوذ آب در خاک و جاری شدن جریان می‌گردد.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مسئولان محترم سازمان هواشناسی کشور بابت حمایت‌های مالی صورت گرفته کمال تشکر و سپاس‌گزاری را دارند.

۷- منابع

Adler, R.F., Negri, J.A., Keehn, P.R., and Hakkarinen, I.M., 1993, **Estimation of Monthly Rainfall over Japan and Surrounding Waters from a Combination of Low-orbit Microwave and Geosynchronous IR Data**, J. Appl. Meteor, 32: 335-356.

- Hoblit, B.C., And Curtis, D.C., 2003, **Integration of Radar Rainfall into Hydrologic Models**, Retrieved May, 2009, from <http://www.onerain.com>.
- 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), 79, 163–181.
- Hsu, K., Gao, X., Sorooshian, S., and Gupta, H. V., 1997, **Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks**, J. Appl. Met. 36: 1176-1190.
- Hsu, K., Gupta, H.V., Gao, X., and Sorooshian, S., 1999, **Estimation of Physical Variables from Multi-Channel Remotely Sensed Imagery Using a Neural Network: Application to Rainfall Estimation**, Water Resources Research, 35(5): 1605-1618.
- Javid, F., 2002, **Assessment of Daily Snow with Microwave Sensor**, M.Sc. thesis, Shahid Beheshti University.
- Kidd, C., Kniveton, D.R., Todd, M.C., and Bellerby T.J., 2003, **Satellite Rainfall Estimation Using Combined Passive Microwave and Infrared Algorithms**, Journal Hydrometeorology, 4: 1088-1104.
- Knebl, M.R., Yang Z.L., Hutchison K. and Maidment, D.R., 2005, **Regional Scale Flood Modeling Using NEXRAD, Rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: A Case Study for the Sun Antonio River Basin Summer 2002 Storm Event**, Journal of Environmental Management, 75: 325-336.
- Kummerow, C., Hong, Y., Olson, W.S., Yang, S., Adler, R.F., Mccollum, J., Ferraro, R., Petty, G., Shin, D.B., and Wilheit, T.T., 2001, **The Evolution of the Goddard Profiling Algorithm (GPROF) for Rainfall Estimation from Passive Microwave Sensors**, J. Of App. Met., 40: 1801-1820.
- Levizzani, V., Amorati, R., and Meneguzzo, F., 2002, **A Review of Satellite-based Rainfall Estimation Methods**, Available in www.isac.cnr.it Date: 2008-06-02.
- Marchi, D.C., 2006, **Probabilistic Estimation of Precipitation Combining Geostationary and TRMM Satellite Data**, PhD. Thesis, Georgia Institute of Technology.
- Matkan, A.A., 1999, **Passive Microwave Monitoring of Snow Cover And Rainfall over Iran**, Using DMSP F-11 Special Sensor Microwave / Imager Data, Ph.D. Thesis, Bristol University, United Kingdom.

- Sanyal, J., and Lu, X.X., 2004, **Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review**, Natural Hazards, 33: 283-301.
- Söllheim, A.L.D.L., 2008, **Two Satellite-based Rainfall Algorithms, Calibration Methods and Post-processing Corrections Applied to Mediterranean Flood Cases**, PhD. Thesis, Balearic Islands University, Spain.
- Todd, M.C., Kidd C., Kniveton, D., and Bellerby, T.J., 2000, **A Combined Satellite Infrared and Passive Microwave Technique for Estimation of Small-Scale Rainfall**, Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology, 18, 742-755
- Xu, L., Gao, X., Sorooshian, S., Arkin, P.A., and Imam, B., 1999, **A Microwave Infrared Threshold Technique to Improve the GOES Precipitation Index**, J. Appl. Meteor, 38: 569-579.
- Zobler, L., 1986, **A World Soil File for Global Climate Modeling**, NASA Technical Memorandum 87802, NASA Goddard Institute for Space Studies, New York, USA.





پښتونستان د علومو او انساني مطالعاتو فریښی
پرتال جامع علوم انسانی