

## محاسبه آب قابل بارش رادیوساوند

## با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS در جو گرگانرود

سید مهدی پورباقر<sup>۱</sup>، قاسم عسکری<sup>۲</sup>، حسین مومن زاده<sup>۳</sup> و پاول منزل<sup>۴</sup>

**چکیده:** یکی از مشکلات روند یابی سیل در حوزه سیل خیز گرگانرود نقصان اطلاعات از بخار آب ستون اتمسفر بدلیل فقدان ایستگاه رادیوساوند است. بمنظور جبران گپ یا شکاف اطلاعاتی، اقدام به تهیه داده های ماهواره ای MODIS-level1 در تاریخ های ۲۰۰۵/۸/۱۸ و ۲۰۰۵/۸/۲۱ بطور آزمایشی گردید. سپس تصحیحات هندسی بمنظور زمین مرجع کردن و رادیومتریکی بمنظور تبدیل مقادیر عددی پیکسلها به مقادیر رادیانس واقعی انجام گرفت. آنگاه از الگوریتم Near-IR-MODIS جهت استخراج آب قابل بارش کلی با نسبت گیری باندهای مخصوص بخار آب جذبی که شامل باندهای شماره ۱۷، ۱۸ و ۱۹ به باند غیر جذبی بخار آب یعنی باند شماره ۲ مادیس استفاده شد، تا نقشه های توزیع مکانی TPW برای حوزه گرگانرود بدست آید. در نهایت با توجه به مطالعات قبلی، رابطه آماری جهت رسیدن به مقادیر بخار آب رادیوساوند جو گرگانرود به کمک داده های پردازش شده MODIS ارایه شد...

کلید واژه: گرگانرود، تصاویر ماهواره ای، آب قابل بارش، MODIS

## ۱- مقدمه

تصاویر ماهواره‌ای تخمین می‌زنند (Prince et al, 1998) بدین طریق قادر به پیش بینی وضعیت پتانسیل بارش بوده و در مراحل بعدی (مرحله تراکم و تولید ابر) نیز با در نظر گرفتن فاز ابر (بخشی یا آبی بودن) و اطلاعات کمکی مانند موقعیت جغرافیائی، فصل سال، زمان سال و غیره قادر به پیش بینی نوع و مقدار بارش می‌باشند [۵]. پژوهشگران آب قابل بارش کلی را با استفاده از الگوریتم هایی بر مبنای باند های حرارتی تصاویر ماهواره‌ای فاقد ابر، بدست می‌آورند، الگوریتم زیر نمونه ای از روش استخراج آب قابل بارش از باند های بخار آب تصاویر ماهواره ای می‌باشد [۱۰].

(۱)

$$PW = 1 / \Delta \alpha \{ (1 / \sec \theta) \ln [\tau_{s11} / \tau_{s12}] - \Delta k \}$$

که آب قابل بارش، اختلاف جذبی بین دو باند بخار آب، اختلاف جذبی بین دو باند ناشی از سایر گازهاست. زاویه سمت الراس ماهواره و نسبت شفافیت یا عبوردهی بخار آب است. شفافیت (عبور) جو در باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر می‌باشد.

INOUE و AOKI (۱۹۸۲) کل آب قابل بارش را روی

اقیانوس های مناطق حاره ای با کمک باند فروسرخ (۱۰/۵ تا ۱۲/۵

محاسبه دقیق آب قابل بارش کلی مستلزم آگاهی دقیق از حجم بخار آب در جو است [۱]. مهمترین پارامترهایی که رادیوساوندها از لایه های مختلف جو اندازه می‌گیرند، شامل فشار، دما، نقطه شبنم، سرعت و جهت باد است. (امیدی، ۱۳۷۹) با استفاده از این پارامترها، به طور سنتی و غیر مستقیم، میزان حجم بخار آب جو در ستونی که رادیوساوند در آن حرکت کرده است، برآورد می‌شود [۲]. ولی الزاماً برای استفاده در پهنه‌های وسیعتر مانند مناطق سیل خیز کشور، حوزه گرگانرود، فاقد اطلاعات پروفیل جوی مورد نیاز برای سامانه‌های هشدار سیل هستیم. عبارتی رادیوساوندها فقط در زمان و مکان های معینی، به جو فرستاده می‌شوند، پس برای محاسبه TPW در پهنه‌های وسیع با کمبود داده و یا احتمالاً داده های اشتباه مواجه هستیم. اشتباه در داده‌ها به این دلیل است که رادیوساوندها ممکن است در گذر از ابرها میزان بخار آب جو را به دلیل وجود ذرات بسیار ریز و درحد چند مولکول آب بیش از مقدار واقعی گزارش کنند [۳]. (Carlo, 1985) با وجود این محدودیت ها، از رادیوساوند برای مدلسازی و اعتبارسنجی آب قابل بارش ماهواره ای در سطح دنیا استفاده می‌شود [۴].

پژوهشگران آب قابل بارش کلی را در مناطق فاقد ابر با استفاده از

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، سازمان هواشناسی کشور

۲. کارشناس ارشد زیست محیطی، سازمان هواشناسی کشور

۳. حسین مومن زاده، کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، سازمان هواشناسی کشور

۴. دکتری هواشناسی ماهواره ای، دانشگاه ویس کانسن نیویورک

۳- نرم افزار ENVI 4.2، بمنظور پردازش داده ها، فرمول نویسی و اجرای الگوریتم فروسرخ نزدیک مادیس  
۴- نرم افزار HDF explore برای استخراج ضرایب کالیبراسیون از هدر فایل سنجنده MODIS  
۵-۲ ARC GIS 9. از این نرم افزار برای ساخت Shape file های استان گلستان و نیز تحلیل های فضایی بر روی تصاویر ماهواره ای استفاده شده است.

### ۳- روش کار

با استفاده از دو باند بخار آب فروسرخ نزدیک (۰/۹۰۵ و ۰/۹۴۰ میکرومتر) و نیز باندهای روزنه بخار آب (۰/۸۶۵ و ۱/۲۴ میکرومتر) استخراج کل مقدار بخار آب ستون جو از داده های مادیس امکانپذیر می شود. از نسبت گیری تابش اندازه گیری شده در باند جذبی (۰/۲۵ و ۰/۹۴۰) و یا (۰/۱۵ و ۰/۹۰۵ میکرومتر) به باند غیر جذبی (۰/۲۰ و ۰/۸۶۵) استخراج آب ستون جو روی اراضی خشکی را امکانپذیر می کند [۷].  
دقت برآورد آب قابل بارش ماهواره ای در این الگوریتم بستگی به دقت محاسبه شفافیت جو ( $T_w$ ) یا همان قابلیت عبور بخار آب دارد که بصورت زیر محاسبه کرده ایم:

$$T_w(940/865) = \rho^*_{0.915-0.965} / \rho^*_{0.845-0.885} \quad (۶)$$

$$T_w(905/865) = \rho^*_{0.89-0.92} / \rho^*_{0.845-0.885} \quad (۷)$$

$$T_w(936/865) = \rho^*_{0.93-0.94} / \rho^*_{0.845-0.885} \quad (۸)$$

$$\rho^* = \text{بازتابندگی ظاهری محاسبه شده در بالای جو برای هر باند}$$

$$T_w = \text{شفافیت یا عبور بخار آب}$$

بازتابندگی ظاهری عبارت از نسبت بین رادیانس واقعی رو به بالا به رادیانس یک سطح کاملاً لامبرتی که میزان بازتابندگی آن جسم ۱۰۰ درصد است (کافمن-۱۹۹۲). بازتابندگی ظاهری را بصورت زیر ارائه می دهند [۷]:

میکرومتر) از ماهواره GMS ژاپنی استخراج کردند. داده های بدست آمده از این ماهواره توافق خوبی با داده های رادیو ساوند داشتند آنها خطای RMS را ۰/۵۳ گرم بر سانتی متر مربع بدست آوردند، و از معادله زیر برای برآورد TPW استفاده کردند:

(۲)

که در آن  $\hat{\chi}$  تخمین آب قابل بارش و  $S_x$  ماتریس کواریانس  $\chi$  است و  $\sigma_{\epsilon}$  انحراف معیار خطای اندازه گیری در دمای درخشندگی اندازه گیری شده توسط سنجنده ( $T_B$ ) است.  $T_B^0$  و  $\Delta T_B = T_B - T_B^0$  دمای درخشندگی اولیه فرضی است.

حاصلضرب چند پارامتر فیزیکی در دو زمان می باشد که بصورت زیر تعریف می شود.

$$K_1 = \frac{\partial \bar{T}}{\partial \rho} D_p + \tau_s^0 \ln \tau_s^0 [T_s^0 - T^0(\rho_s)] \quad (۳)$$

$$k_2 = 1 - \tau_s^0, k_3 = \tau_s^0 \quad (۴)$$

$$x_1 = r \quad x_3 = \Delta T_s \quad x_2 = \Delta \bar{T} \quad (۵)$$

$\tau_s^0$  تابع شفافیت جودر سطح زمین است.  
در دهه ۱۹۹۰ روشهای جدیدی برای تخمین TPW با در نظر گرفتن تغییرات دمایی روی اراضی خشک با استفاده از تصاویر ماهواره انجام گرفته است که نمونه ای از این کار توسط Kleespies و McMillin در سال ۱۹۹۰ انجام گرفت [۱۰].

### ۲- منطقه مورد مطالعه

ایستگاه هواشناسی آق قلا در حوزه آبخیز گرگانرود و در موقعیت ۵۴ درجه و ۲۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۰۱ دقیقه عرض جغرافیایی و به ارتفاع ۷ متر از سطح دریا، بعنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب کردیم.

از داده ها و ابزارهای زیر در این تحقیق استفاده کردیم:

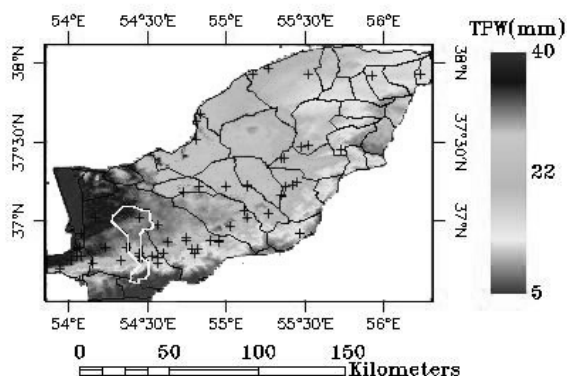
- ۱- داده های جو بالا شامل داده های رادیوساوندی همزمان با ماهواره Terra
- ۲- باندهای مخصوص بخار آب داده های ماهواره ای-Terra MODIS

انعکاس پدیده‌ها Reflectance ، DN مقادیر عددی پیکسلها، scale و Offset ضرایب کالیبراسیون می‌باشند. در این مقاله به کمک باندهای مخصوص بخار آب ماهواره TRAA-MODIS پتانسیل بارش را برای حوزه سیل خیز گرگانود بدست آورده و آنگاه با توجه به مطالعات قبلی، یک رابطه آماری برای بدست آوردن آب قابل بارش رادیوساوند به کمک داده های ماهواره ای مذکور ارائه داده شد.

#### ۴- پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های سنجنده MODIS مورخ ۲۰۰۵/۸/۱۸

استخراج میانگین مقادیر آب قابل بارش کلی حاصل از نسبت باندی ۱۸ به ۲ (باند جذبی قوی بخار آب) بعد از عملیات پیش پردازش شامل تصحیحات ژئومتریک و رادیومتریکی بر روی داده های خام MODIS، با اعمال الگوریتم Near-IR-MODIS، (الگوریتم شماره ۱) که خروجی آن آب قابل بارش ستون اتمسفر می‌باشد، تغییرات مکانی و نیز مقادیر آماری TPW برای پیکسل به پیکسل از حوزه سیل خیز گرگانود در تاریخ ۲۰۰۵/۸/۱۸ بدست آورده شد (شکل ۱). توصیف الگوریتم مذکور در منبع شماره ۳ آمده است.

$$\hat{x} = S_t K' (K S_x K' + \sigma_z^2)^{-1} \Delta T_B$$



شکل ۱- با اجرای الگوریتم شماره ۲۱ میانگین مقدار آب قابل بارش کلی حاصل از نسبت باندی ۱۸ به ۲ برای ایستگاه آق قلا در حوضه گرگانود ۲۴۰۵ میلی متر بدست آمده است.

$$\rho^*_{(\lambda)} = \frac{L_{(Sensor)}(\lambda)}{L_{(Sun)}(\lambda)} \quad (9)$$

رابطه بین شفافیت بخار آب ( $T_w$ ) و بخار آب قابل بارش کلی ( $W$  یا TPW) را می‌توان بصورت نمایی نشان داد. علاوه بر این بخاطر اشباع بودن جذب بخار آب، ریشه دوم  $W$  یعنی بعنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است [۷]:

$$T_w (940 / 865) = \exp(\alpha - \beta \sqrt{W}) \quad (10)$$

$\alpha$  و  $\beta$  ضرایب ثابت منطقه ای هستند که بستگی به نوع پوشش منطقه و نوع دید ماهواره دارد.

با توجه به زوایای سمت الراس خورشید و ماهواره می‌توان مقدار  $W$  را در مسیر اپتیکی سنسور-خورشید-زمین تعریف کرد:

$$W^* = \left( \frac{\alpha - \ln T_w}{\beta} \right)^2 \times \left( \frac{1}{\cos \theta_0} + \frac{1}{\cos \theta} \right) \quad (11)$$

که از این الگوریتم برای محاسبه آب قابل بارش ماهواره ای در محیط ENVI استفاده کرده ایم.

که در آن  $\theta$  زاویه سمت الراس ماهواره،  $\theta_0$  زاویه سمت الراس خورشید است و  $W^*$  همان TPW یا آب قابل بارش کلی در مسیر اپتیکی سنسور - خورشید- زمین بر حسب سانتیمتر است.  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب ثابتی که بستگی به نوع پوشش سطحی دارد و مثلاً برای انواع پوشش های گیاهی و خاک تغییر می‌کند.

برای اجرای الگوریتم Near-IR-MODIS (پوریاقر، ۱۳۸۵) دو تصویر ماهواره ای از MODIS با رزولوشن ۱ کیلومتر در روزهای ۲۰۰۵/۸/۱۸ و ۲۰۰۵/۸/۲۱ انتخاب و تصاویر با روش نزدیکترین همسایه در محیط نرم افزاری ENVI ۴.۳ بازنویسی شدند [۳]. تصحیحات رادیومتریکی نیز با اعمال ضرایب اصلاحی scale و Offset که از HDF reader در محیط نرم افزاری MODIS سنجنده Header file خوانده و آنگاه در محیط نرم افزاری ENVI فرمولیته شده و سرانجام تصویر از لحاظ زوایای تابش خورشید و میل ماهواره و نیز تاثیرات دید پاسو و غیر پاسو، مانند زوایای سمت الراس خورشید و ماهواره اصلاح شدند. برای تصحیح مقادیر دمای درخشندگی اندازه گیری شده توسط ماهواره از رابطه زیر استفاده شده است:

که در آن؛

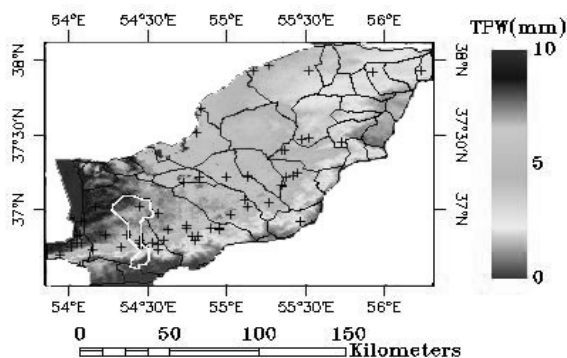
$$\text{Reflectance} = \text{scale} * (\text{DN} - \text{Offset})$$

۲۰۰۵/۸/۱۸

با اجرای الگوریتم ذیل میانگین مقدار آب قابل بارش کلی حاصل از نسبت باندی ۱۷ به ۲ برای ایستگاه آق قلا در حوضه گرگانرود، ۱۸۰۴ میلی متر بدست آمده است (شکل ۳).

(۱۴)

$$(((0.02 - \log(b17/b2))/0.65)^2 \times ((1/\cos(22.57 \times 3.14/180))) + (1/\cos(30.13 \times 3.14/180)))$$



شکل ۳- نقشه خروجی حاصل از اعمال الگوریتم شماره ۱۴ (که میانگین بخار آب قابل بارش را بر حسب میلی متر نشان می دهد).

رابطه آماری پیشنهادی برای محاسبه TPW رادیوساوند در حوضه گرگانرود (۲۰۰۵/۰۸/۱۸)

بر اساس داده های داشتی و مطالعات قبلی در ایستگاه رادیوساوند مهرآباد و ماهواره درگمانه زنی های ستون عمودی از جو، مدل ساده و کاربردی زیر برای تخمین آب قابل بارش کلی به کمک داده های ماهواره ای پیشنهاد می شود. لازم به ذکر است این رابطه با فرض عادی بودن شرایط جو، قابل بررسی است. یعنی در شرایط غیر متعارف جو، محاسبات پیچیده تر خواهد بود. که در آن:

$TPW_{Radiosonde}$  میانگین آب قابل بارش کلی رادیوساوند بر حسب میلی متر و اعداد ۱/۷۱۷۸ و ۱/۹۳۳۱ ضرایب ثابت آماری می باشند. بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده اند. با استفاده از مدل فوق مقادیر TPW های رادیوساوند برای حوضه گرگانرود محاسبه شده و در جدول ۱ آورده شده است.

$$(((0.02 - \log(b18/b2))/0.65)^2 \times ((1/\cos(22.57 \times 3.14/180))) + (1/\cos(30.13 \times 3.14/180))) \quad (12)$$

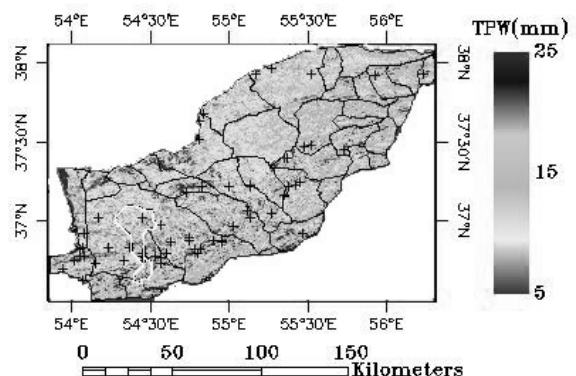
که در آن  $b18/b2$  نسبت باند شماره ۱۸ مادیس (باند جذبی قوی بخار آب) به باند شماره ۲ (باند روزنه بخار آب) می باشد. ضرایب ۰.۰۲ و ۰.۶۵ ضرایب ثابت محلی می باشند که بستگی به نوع پوشش سطح خاک و درصد انعکاس دارد [۷]. اعداد ۲۲.۵۷ و ۳۰.۱۳ به ترتیب زوایای زینت یا سمت الراس خورشید و ماهواره هستند که از هدر فایل در مراحل پردازشی قابل دسترسی هستند.

۴-۱- میانگین مقدار آب قابل بارش کلی حاصل از نسبت باندی ۱۹ به ۲ (باند جذبی نرمال بخار آب) مورخ ۲۰۰۵/۸/۱۸

با اجرای الگوریتم ۱۳ مقدار آب قابل بارش حاصل از نسبت باندی ۱۹ به ۲ برای ایستگاه آق قلا در حوضه گرگانرود ۱۲۰۲ میلی متر در تاریخ ۲۰۰۵/۸/۱۸ بدست آمده است.

(۱۳)

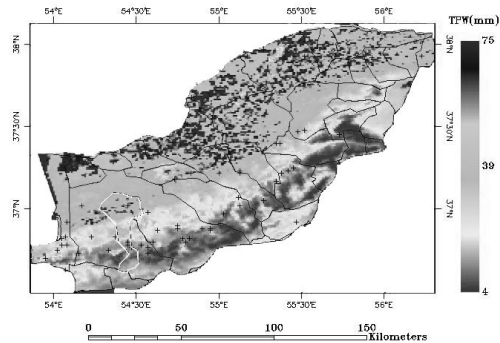
$$(((0.02 - \log(b19/b2))/0.65)^2 \times ((1/\cos(22.57 \times 3.14/180))) + (1/\cos(30.13 \times 3.14/180)))$$



شکل ۲- نقشه خروجی حاصل از اعمال الگوریتم شماره ۱۳ (که میانگین بخار آب قابل بارش را بر حسب میلی متر نشان می دهد)

۴-۲- میانگین مقدار آب قابل بارش کلی حاصل از نسبت باندی ۱۷ به ۲ (باند جذبی ضعیف بخار آب) مورخ

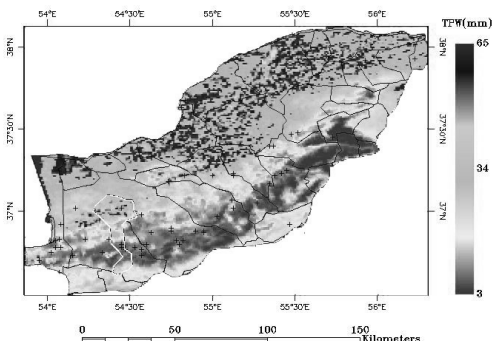
تعیین کلاسه کیفی آب رودخانه‌های شهرستان نور / ۵۳



شکل ۵- با اجرای الگوریتم ذیل مقدار میانگین آب قابل بارش حاصل از نسبت بانندی ۲ به ۱۹ در تاریخ ۲۰۰۵/۰۸/۲۱ برای ایستگاه آق قلا در حوضه گرگانو ۳۰.۰۵ میلی متر بدست آمده است.

(۱۷)

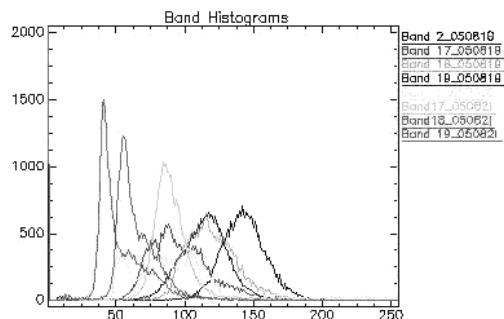
$$(((0.02 - \log(b19 / b2)) / 0.65)^2 \times ((1 / \cos(31.33 \times 3.14 / 180))) + (1 / \cos(13.8 \times 3.14 / 180)))$$



شکل ۶- با اجرای الگوریتم ۱۸ مقدار میانگین آب قابل بارش حاصل از نسبت بانندی ۲ به ۱۷ در تاریخ ۲۰۰۵/۰۸/۲۱ برای ایستگاه آق قلا در حوضه گرگانو ۲۱.۷۵ میلی متر بدست آمده است.

(۱۸)

$$(((0.02 - \log(b17 / b2)) / 0.65)^2 \times ((1 / \cos(31.33 \times 3.14 / 180))) + (1 / \cos(13.8 \times 3.14 / 180)))$$

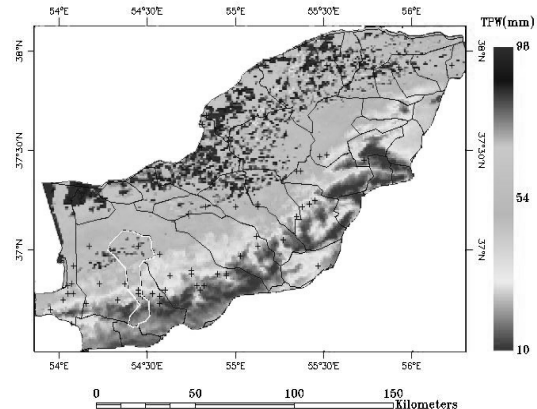


شکل ۷- هیستوگرام باندهای بکار گرفته شده در دو تاریخ نشان می‌دهد که تغییرات بخار آب جو در تاریخ ۲۰۰۵/۰۸/۲۱ به مراتب بیشتر از سه روز قبل است.

۳-۴- پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های سنجنده

MODIS مورخ ۲۰۰۵/۰۸/۲۱

تمامی مراحل پردازش و اعمال الگوریتم مذکور، بر روی تصویر مورخ ۲۰۰۵/۰۸/۲۱ مربوط به MODIS نیز انجام گرفته و فقط خروجی نقشه‌ها در زیر آورده شده است.



شکل ۴- با اجرای الگوریتم ذیل مقدار آب قابل بارش حاصل از نسبت بانندی ۲ به ۱۸ در تاریخ ۲۰۰۵/۰۸/۲۱ برای ایستگاه آق قلا در حوضه گرگانو ۴۱.۱۱ میلی متر بدست آمده است.

(۱۶)

$$(((0.02 - \log(b18 / b2)) / 0.65)^2 \times ((1 / \cos(31.33 \times 3.14 / 180))) + (1 / \cos(13.8 \times 3.14 / 180)))$$

همانطور که در تصویر فوق دیده می‌شود میزان آب قابل بارش کلی در این تاریخ نسبت به سه روز قبل (۲۰۰۵/۰۸/۱۸) افزایش ناگهانی داشته است که یکی از علل آن نفوذ توده هوای مرطوب همراه با پیکسل‌های ابری به رنگ آبی در حوضه مورد مطالعه است. با بررسی هیستوگرام تمام باندهای مورد استفاده در دو تاریخ معلوم شده است که جو در تاریخ ۲۰۰۵/۰۸/۲۱ روند افزایشی درپتانسیل بارانزایی دارد (شکل ۷). با توجه به تعریف حد آستانه سیل برای مناطق سیل خیز، می‌توان میزان ریسک آن را از اینگونه تصاویر پیش بینی کرد.

جدول ۱- نتایج محاسبات مقادیر میانگین آب قابل بارش کلی رادیوساوند (به میلیمتر).

| Satellite TPW<br>(2005/08/18) | Radiosond TPW<br>(2005/08/18) | Satellite TPW<br>(2005/08/21) | Radiosond TPW<br>(2005/08/21) |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 17 to 2                       | 12.04                         | 22.25                         | 21.75                         |
| 18 to 2                       | 24.58                         | 49.49                         | 41.11                         |
| 19 to 2                       | 18.22                         | 32.25                         | 30.05                         |

## ۵- نتیجه گیری

با توجه به قابلیت سنجنده MODIS در داشتن باندهای مخصوص جذبی بخار آب می توان رطوبت اندازه گیری شده توسط رادیوساوند را اعتبارسنجی کرد و نیز می توان با عملیاتی کردن داده های ماهواره ای، داده های ناقص یا احياناً اشتباه در مسائل آب را اصلاح و کامل کرده و بانک جامعی از داده ها در اختیار داشت و در مواقع نیاز بازایی کرد.

از آنجائیکه جو گرگانه رود، جوی مرطوب می باشد، ملکول های بخار آب بیش از ظرفیت جذبی باند شماره ۱۸ مادیس می باشد زیرا پهنای این باند باریکتر از سایر باندهای بخار آب است (۸۹۰ - ۹۲۰ نانومتر)، لذا قبل از اینکه این باند تمام سیگنالهای حاصل از بخار آب را دریافت کند به مرحله اشباع شدگی می رسد و این عامل، خطای زیادی ایجاد می کند. پس مقادیر TPW های حاصل از نسبت باند جذبی قوی بخار آب به باند غیر جذبی (باند شماره ۲ مادیس) در شرایط اتمسفر خشک و نیمه خشک بهتر عمل می کند. در نتیجه باند مناسبی برای استخراج TPW برای جو مرطوب گرگانه رود نمی باشد.

میانگین مقادیر بدست آمده از نسبت باندی ۱۸ به ۲ سنجنده مادیس در حوالی ایستگاه آق قلا که به صورت بزرگنمایی در حاشیه سمت چپ تصویر نشان داده شده است.

از آنجائیکه پهنای باند شماره ۱۹ مادیس ۹۱۵ - ۹۶۵ نانومتر می باشد پس ضخامت آن ۵ برابر بیشتر از پهنای باند شماره ۱۸ مادیس است، لذا ظرفیت جذبی سیگنالهای بخار آب بیشتری نسبت به باند شماره ۱۸ دارد، و قبل از مرحله اشباع شدگی تقریباً تمام بخار آب را کشف کرده و دقت خیلی بیشتری نسبت باند شماره ۱۸ در نمایان سازی بخار آب جو گرگانه رود ارائه می دهد.

نتایج آماری در جدول ۱ نشان می دهد که پهنای این باند ۸۹۰ - ۹۲۰ نانومتر که ضخامت آن ۳۰ نانومتر می باشد، نسبت باندی جذبی باند ۱۷ مادیس به باند غیر جذبی آن، دقت بیشتری از نسبت باندی ۱۸ به ۲ و دقت کمتری از نسبت باندی ۱۹ به ۲ دارد. با توجه به مطالب و تصاویر بالا می توان گفت در شرایط عادی جو، نسبت های باندی ۱۹

و ۱۷ به ۲ مادیس بهترین و مناسبترین باندها در برآورد TPW به کمک تصاویر ماهواره ای MODIS و نسبت باندی ۱۸ به ۲ نامناسبترین نسبت باندی بخار آب برای منطقه گرگانه رود هستند.

همچنین نتایج بدست آمده از مقادیر آب قابل بارش ماهواره ای با استفاده از الگوریتم باند فروسرخ نزدیک MODIS نشان داده است که میزان TPW در حوضه گرگانه رود حوالی ایستگاه آق قلا تغییرات ناگهانی و قابل توجهی از مقادیر آب قابل بارش در دو تصویر ماهواره ای فوق الذکر داشته اند، پس از طرفی با آگاهی از مقادیر بروز TPW از ماهواره، برای حوزه های سیل خیز کشور، می توان آنومالی های رطوبتی جو را پایش کرده و از طرف دیگر مدتها قبل از اینکه آب قابل بارش به مرحله بارش های سیل آسا مبدل گردند، پیش آگاهی های لازم را منتشر کرد. در نهایت برای اعتبار سنجی بیشتر مقادیر پیش بینی شده از مدلسازی، در ابتدا بایستی از ایستگاههای رادیوساوندی بیشتری استفاده شده، تا در نهایت به بهترین مدل پیش بینی آب قابل بارش ماهواره ای بدون نیاز به هزینه های هنگفت سامانه رادیوساوند برای مناطق مختلف کشور دست پیدا کرد.

## منابع و مآخذ

- ۱- علیزاده، امین، ۱۳۷۹ اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ دوازدهم، آستان قدس، دانشگاه امام رضا(ع).
- ۲- امید، شیرین، ۱۳۷۹، طراحی و ساخت سیستم فرستنده و گیرنده رادیوساوند پروژه فاز اول، انتشارات سازمان هواشناسی کشور؛ سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران.
- ۳- پورباقر، سید مهدی، امکان سنجی استفاده از داده های رادیوساوند و تصاویر ماهواره ای MODIS در برآورد آب قابل بارش کلی (منطقه مورد مطالعه: ناحیه تهران)، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۵.
4. Carlo, Ulivieri, 1985, Remote sensing of precipitable water by a thermal infrared multichannel approach, Acta Astronautica Volume 12, Issue 2, pages 121-125.
5. Princea S.D, Goetza S.J, Dubayaha R.O, Czajkowskia. K.P, Thawleya.M, 1998, Inference of surface and air temperature, atmospheric precipitable water and vapor pressure deficit using Advanced Very High-Resolution

- Radiometer satellite observations: comparison with field observations” *Journal of Hydrology* 212–213 , 230–249
6. Ferraro, R. R. , F. Weng, N. C. Grody, and A. Basist, 1996: An eight year (1987–94) climatology of rainfall, clouds, water vapor, snowcover, and sea- ice derived from SSM/I measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* , 77, 894–905 .
  7. Kaufman. Y. J, and Gao. B. C, 1992, Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS, *IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, vol. 30, pp. 871–884
  8. King, M. D. , Menzel, W. P. , Kaufman, Y. J. , Tanre, D. , Gao, B. C. , Platnich, S, Acherman. S. A. Remer, L. A. , Pincus, R. , & Hubanks, P. A., 2003.
  9. Cloud and aerosol properties, precipitable water, and profiles of temperature and humidity from MODIS *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 41, Issue2, Page(s): 442 - 458.
  10. Kleespies, T. J. , McMillin, L. M. , 1990, Retrieval of precipitable water from observations in the split window over varying surface temperatures, *Journal of Applied Meteorology*, 29, 851–862
  11. Wang W, Sun. X, Zhang. R, Z. Li, Zhu. Z and H. Su, 2006, multi- layer perceptron neural network based algorithm for estimating precipitable water vapour from MODIS NIR data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 3, 617–621.