

تخمین غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی: ایستگاه هیدرومتری ملاسانی)

محمودرضا طباطبائی^{۱*} و کریم سلیمانی^۲

* - نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی ساری و مربی پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

Taba1345@hotmail.com

۲- استاد مرکز GIS و RS دانشکده منابع طبیعی ساری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

چکیده

غلظت مواد معلق رودخانه‌ای که در ایستگاه‌های هیدرومتری به روش‌های مستقیم و سنتی اندازه‌گیری می‌شوند در اغلب موارد زمان بر و پرهزینه بوده و در حالی که در پارهای از مواقع با خطاهای انسانی توأم می‌باشند غالباً در مقیاس زمانی و مکانی به صورت ناپیوسته محاسبه و ثبت می‌گردند. در این راستا، استفاده از انعکاس طیفی داده‌های ماهواره‌ای خصوصاً تصاویر MODIS به دلیل در دسترس بودن و تصویر برداری روزانه می‌تواند ابزار مناسبی جهت برآورد غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای باشد. در این تحقیق، همبستگی میان بازتاب طیفی باندهای تصاویر سنجنده مودیس (باندهای قرمز و مادون قرمز هر یک به تنهایی و همچنین نسبت باندی بین آنها) با غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در این ارتباط، از آمار غلظت رسوبات معلق ایستگاه ملاسانی در یک دوره زمانی نه ساله (سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۰) و تصاویر مودیس روزانه همزمان با آنها (باندهای قرمز و مادون قرمز با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر) استفاده شده است. به منظور شناخت از ارتباط میان داده‌ها، ابتدا همبستگی میان کلیه تصاویر و غلظت رسوبات معلق همزمان با آنها برای کل دوره آماری (تمامی فصول سال با یکدیگر) بررسی گردید که نتایج آن همبستگی پائین داده‌ها را نشان داد. در مرحله بعد داده‌های مربوط به فصل مرطوب (ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین) دوره آماری مورد بررسی قرار گرفت که نتایج گرفته شده از آن حاکی از همبستگی بالای بین بازتاب طیفی باند قرمز و غلظت رسوبات معلق بود (درصد $r=0.88$). به منظور ایجاد یک رابطه رگرسیونی انواع روابط خطی و غیر خطی مورد بررسی آماری قرار گرفت و سرانجام یک رابطه خطی با داشتن آماره‌های مناسب $F=43$ ، $\text{Sig.}=0.000$ ، $R^2=0.77$ و اسنجی گردید ($a=1/27$ ، $b=0/242$ ، $n=15$) رابطه رگرسیونی محاسبه شده سپس با استفاده از روش LOOCV مورد ارزیابی قرار گرفت (درصد $\text{RMSE}=55 \text{ mg/l}$ و $\text{RRMSE}=26$). لازم به ذکر است که علی‌رغم کم بودن تعداد داده‌های غلظت رسوبات معلق رودخانه (در مقایسه با اغلب تحقیقات مشابه انجام شده)، وجود مشکلات تصویری (ابرناسی، ریز گردها) و همچنین برخی عوامل تأثیر گذار در بازتاب طیفی رودخانه کارون با این حال، نتایج به دست آمده بیانگر کارایی مناسب این تصاویر در تخمین روزانه غلظت رسوبات معلق در رودخانه‌های بزرگ است.

کلید واژه‌ها: رودخانه کارون، سنجنده مودیس، غلظت رسوبات معلق.

Estimation of Fluvial Suspended Sediment Concentration Using MODIS Sensor (Case Study: Hydrometry Station of Mollasani)

Mahmoodreza Tabatabaei¹ and Karim Solaimani²

1- Ph.D. student and Research Instructor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

2- Head of GIS and RS Center, Faculty of Natural Resources, University of Sari, Iran

Received: 10.Mar.2012

Accepted: 23.Oct.2012

Abstract

The fluvial suspended sediment concentration (SSC) which is directly and traditionally measured in the most times is costly and time consuming. Also, in some situations it has some human errors and also is calculated and recorded in a discontinuous time and spatial scale. MODIS data, because of high temporal resolution and accessibility are proper tools to estimate fluvial SSC.

In this research, the relationship between spectral reflectance of red and near infra red bands of MODIS sensor, their band ratios and their simultaneous fluvial SSC data have been evaluated.

Regarding with this, in a period of 9 years the SSC data of Mollasani hydrometry station (2003-2011) and simultaneous daily MODIS images (red and infra red bands with 250m spatial resolution) have been used.

In order to understand the relationship between data, the correlation between the SSC and all simultaneous images for the entire period (all seasons together) was investigated and derived results showed a low correlation among them. In the next stage, the data of wet season (22 Nov to 20 Apr) for entire statistical period were evaluated and results showed a high correlation between SSC and water spectral reflectance ($r = 0.88$). To make a regression relation, some linear and nonlinear relations were statistically considered and eventually a linear relation with having suitable parameters ($R^2 = 0.77$, $Sig = 0$, $F = 43$) was calibrated ($a = 1.27$, $b = 0.242$, $n = 15$). The calibrated relation then was validated using leave one out cross validation (LOOCV) method ($RMSE = 55 \text{ mg/l}$, $RRMSE = 26\%$). In summary, despite the insufficient number of fluvial SSC data, the existence of cloud and aerosol in the images and also other influencing parameters in spectral reflectance of Karun river, the results showed good performance of MODIS images in estimating daily fluvial SSC in large rivers in wet season.

Key Words: Karun river, Suspended Sediment Concentration, MODIS

مقدمه

یک دوره مرطوب (از ماه می تا اکتبر) و تصاویر همزمان آن‌ها به تعداد مجموعاً ۳۵ نمونه (پس از بازبینی تصاویر و حذف تصاویر دارای ابر) توانست با استفاده از بازتاب طیفی آب (تفاضل بازتاب طیفی در باندهای دو و پنج اصلاح شده به لحاظ رادیومتریک) و میزان غلظت رسوبات معلق رودخانه یک رابطه نمائی با همبستگی به میزان ۸۸ درصد را تولید نماید. به منظور ارزیابی، این رابطه، سپس در ایستگاه هیدرومتری پائین دست آن به کار گرفته شد و نتایج حاصل از آن با داده‌های مشاهداتی ثبت شده (غلظت بار معلق) مورد مقایسه قرار گرفت. در این رابطه درصد میانگین ریشه مربعات خطاهای نسبی^۴ به مقدار ۲۳/۹ درصد گزارش شد. در تحقیقی مشابه، شینگوی و تانگ^۵ (۲۱) با استفاده از همبستگی میان باند مادون قرمز تصاویر مودیس و غلظت رسوبات دریاچه تایهو^۶ در چین، توانست یک رابطه رگرسیون لگاریتمی را برای تخمین غلظت بار معلق توسعه دهد. در رابطه با کاربرد محصولات ماهواره ترا، مورنو- مادرین و آل همدان^۷ (۱۳) توانستند در سواحل تامپا بی^۸ واقع در فلوریدا با استفاده از همبستگی میان باند یک (باند قرمز) تصاویر MOD09GQ^۹ و میزان گل آلودگی آب، یک رابطه خطی رگرسیونی با ضریب همبستگی ۸۷ درصد ارائه نمایند. آن‌ها از ۳۴ نمونه آب که بعد از گذشت هشت روز از یک واقعه بارندگی جمع آوری شده بود استفاده نمودند. در زمینه کاربرد تصاویر لندست، ونگ و همکاران (۱۹) توانستند با استفاده از ۱۶ تصویر ETM⁺ و داده‌های غلظت مواد معلق همزمان، برای بخش‌های میانی و بالا دست رودخانه یانگ تسه در چین یک رابطه

به منظور آگاهی از وضعیت تغییرات رسوبدهی حوزه‌های آبخیز، میزان فرسایش و دگرگونی در بستر و کناره‌های رودخانه‌ها و همچنین بررسی کیفیت آب، داشتن اطلاعات کافی و بهنگام از میزان غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای و پایش مستمر و پیوسته آن‌ها بسیار ضروری است (۱۴ و ۴). در شرایط فعلی محاسبه غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای اغلب به صورت سنتی و دستی انجام می‌گیرد که به دلیل زمان بر بودن و هزینه بالای آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی از پیوستگی مناسب برخوردار نیستند (۹). در این ارتباط، داده‌های ماهواره‌ای از یکسو به دلیل آنکه در زمان یکسان، سطح زیادی از مناطق تحت مطالعه را پوشش می‌دهند و از سوی دیگر منعکس کننده بازتاب طیفی پدیده‌های زمینی هستند در زمینه اندازه‌گیری و مانیتورینگ کیفیت آب رودخانه‌ها (خصوصاً "غلظت بار معلق)، منابع آلودگی و چگونگی حرکت آن‌ها از کارائی بالائی برخوردار می‌باشند. به‌طور کلی تحقیقات انجام شده در زمینه ارتباط بازتاب طیفی آب (ثبت شده در داده‌های ماهواره‌ای) و غلظت بار معلق آب نشان می‌دهد که یک همبستگی بین طول موج‌های قرمز و مادون قرمز با غلظت بار معلق وجود داشته که می‌توان از این باندها به عنوان شاخصی در ارزیابی و تخمین میزان غلظت بار معلق استفاده نمود (۱۶ و ۱۵ و ۱۱ و ۳).

در ذیل، به اختصار به بررسی برخی از تحقیقات انجام شده در رابطه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در تخمین غلظت بار معلق در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها پرداخته می‌شود.

در زمینه کاربرد تصاویر مودیس (محصول ماهواره ترا^۱)، ونگ و همکاران^۲ (۱۸) در یکی از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در بخش شرقی رودخانه یانگ تسه، با داشتن آمار غلظت رسوب روزانه برای

4-Relative Root Mean Square Error (RRMSE in %)

5-Xingwei, and Tang

6-Taihu

7- Moreno-Madrinan and Al-Hamdan

8- Tampa Bay

9-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Terra surface reflectance daily product (MOD09GQ)

1-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

2-Terra

3-Wang et al.

از هر نقطه از زمین تصویر برداری می‌نمایند و لذا شرایط نوردهی خورشید را می‌توان ثابت فرض نمود.

از جمله عوامل دیگری که در میزان بازتاب طیفی آب نقش داشته میزان غلظت و اندازه ذرات رسوبی معلق در آب می‌باشد. ونگ و لو^{۱۰} (۱۸) بیان می‌نمایند که در هر طول موج از بازتاب طیفی آب (هر یک از باندهای تصویر) با افزایش غلظت بار معلق در آب بازتاب طیفی آب افزایش می‌یابد. از سوی دیگر اندازه ذرات رسوبی معلق در آب نیز در بازتاب طیفی آب مؤثر است. در این رابطه وودروف و همکاران^{۱۱} (۲۰) بیان می‌کنند که بعد از یک بارش به دلیل آشفتگی جریان، برخی رسوبات از کف بستر که دارای اندازه بزرگ می‌باشند مجدداً به حالت تعلیق در آمده و باعث کاهش بازتاب نور از آب می‌شوند. در این رابطه دوکس آران و همکاران^{۱۲} (۶) بیان می‌کنند که در شرایط سیلابی ممکن است نمونه‌هایی از آب که دارای غلظت مواد معلق یکسان هستند به دلیل وجود ذراتی با اندازه‌های متفاوت دارای بازتاب طیفی یکسانی نباشند. در این رابطه آن‌ها استفاده از نسبت گیری بین باندها را سبب کاهش اثرات اندازه ذرات معلق در بازتاب طیفی آب می‌دانند. از جمله موارد دیگری که در بازتاب طیفی آب نقش داشته تأثیر مواد آلی محلول رنگی^{۱۳} در آب است (۱۷ و ۲۰). این مواد باعث کاهش بازتاب طیفی نور در باندهای آبی و سبز می‌گردند (جذب نور). غلظت این مواد در آب‌های ساحلی به دلیل آنکه رودخانه‌ها به آن‌ها تخلیه می‌شوند بیشتر می‌باشد (۱۲). از سوی دیگر غلظت این مواد بعد از بارش و تولید رواناب در آب بیشتر می‌گردد. اشکال چسبیده مواد آلی با دخالت برخی از میکرو ارگانیسم‌های آبی، ممکن است باعث تولید ذراتی با اندازه بیشتر شده که بر روی خصوصیات نوری آب تأثیر می‌گذارند. این تأثیر، نه به دلیل بزرگ شدن اندازه ذرات بلکه به دلیل افزایش جذب نوری می‌باشد (۷). شایان ذکر است که همان‌طور که در بالا ذکر شد این اثرات عمده‌تاً در باندهای آبی و سبز بوده و در تحقیق حاضر به دلیل استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز از بررسی این موضوع صرفنظر شده است. در عین حال میزان کاهش جذب نور از باند آبی به سمت باند قرمز به صورت نمائی^{۱۴} کاهش می‌یابد.

از موارد مهمی که بایستی در ارتباط با همبستگی بازتاب طیفی آب با غلظت رسوبات معلق در نظر داشت حذف اثرات اتمسفر می‌باشد. اتمسفر به صورت انتخابی عمل نموده و باعث جذب یا پراکنش^{۱۵} طول موج‌هایی از نور می‌شود. به‌طور کلی پراکنش طول موج‌های کوتاه بیشتر از طول موج‌های بلند است. تصحیحات اتمسفریک در موارد ذیل ضروری است (۲):

رگرسیون را تولید نمایند. آن‌ها باند چهار (باند مادون قرمز) را بهترین باند و شاخصی برای تخمین بار معلق معرفی نمودند. در رابطه با کاربرد تصاویر اسپات در تخمین بار معلق، فرویدفوند و همکاران^۱ (۸) با استفاده از باند قرمز سنجنده اسپات^۲، همبستگی معنی‌دار را بین غلظت رسوب (صفر تا ده میلی گرم بر لیتر) و بازتاب طیفی آب ارائه نمودند.

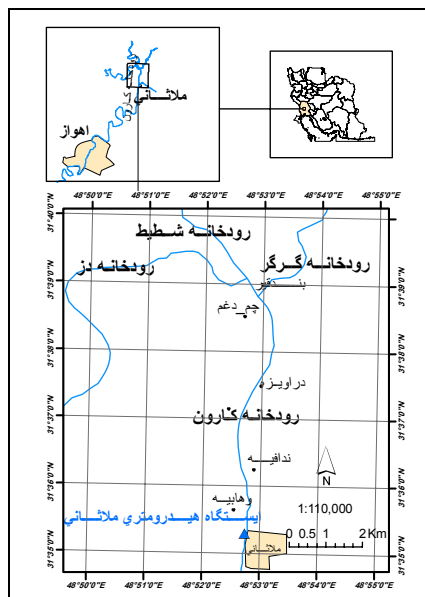
برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه تخمین غلظت رسوبات معلق آب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، بر نسبت گیری^۳ بین باندها تأکید دارند. منظور از نسبت گیری باندها، تقسیم مقادیر روشنایی یک باند طیفی به باند طیفی دیگر می‌باشد. به‌طور معمول از نسبت گیری برای آشکارسازی تغییراتی که توسط تغییرات روشنایی در باندهای مجزا ممکن نیست استفاده می‌شود. نسبت گیری علاوه بر آنکه در آشکار سازی تغییرات مفید است باعث کاهش اثر زاویه تابش خورشیدی و توپوگرافی نیز می‌گردد (۳). در زمینه نسبت گیری بین باندها و کاربرد آن در تخمین غلظت رسوبات معلق از نسبت گیری بین باندهای قرمز و مادون قرمز استفاده می‌شود (۵). برای مثال دوکس آران و همکاران^۴ (۶) با استفاده از نسبت باند مادون قرمز به باند قرمز در سنجنده اسپات^۴ توانست همبستگی قوی با غلظت رسوب معلق برقرار نماید. همچنین شن، سوهاب و سالاماب^۵ (۱۷) توانست همبستگی بالایی بین نسبت باندی ۸۱۰ نانومتر به ۷۰۰ نانومتر و غلظت رسوب معلق در رودخانه یانگ تسه در چین ارائه نماید. ایشان متذکر می‌شوند که اندازه ذرات مواد رسوبی در آب نقش مهمی در بازتاب طیفی آب داشته و در این رابطه میزان غلظت مواد و طول موج‌های باندهای مورد استفاده نقش مهمی در این مسئله دارند.

در ادامه به بررسی برخی از عوامل تأثیر گذار در روابط تجربی به‌دست آمده میان غلظت رسوبات معلق و بازتاب طیفی آب پرداخته می‌شود.

بازتاب طیفی آب می‌تواند مستقل از میزان غلظت رسوب معلق موجود در آن باشد (۶ و ۵). در این رابطه زمان و فصل تصویر برداری با تأثیر گذاری در میزان انرژی نور خورشید^۶ (که از خورشید به زمین می‌رسد) نقش مهمی در میزان انرژی بازتابی^۷ (که از زمین به آشکار ساز ماهواره‌ها می‌رسد) پدیده‌های زمینی از جمله آب داشته که این اثر^۸ در صورتی که از تصاویر چند زمانه استفاده می‌شود بایستی از تصاویر حذف شده تا تغییرات بازتاب طیفی از پدیده‌ها صرفاً^۹ به دلیل تغییرات در خود پدیده‌ها باشد تا به دلیل تغییرات در شرایط نور دهی. البته در صورت استفاده از تصاویر ماهواره‌های خورشید آهنگ^۹ و برای یک فصل می‌توان از انجام این تصحیحات صرفنظر نمود. علت آن به این دلیل است که ماهواره‌های خورشید آهنگ در یک ساعت محلی ثابت

- 1-Froidefond et al.
- 2-SPOT-XS2
- 3-Ratioing
- 4-SPOT-HRV
- 5-Shen, Suhyb and Salamab
- 6-Irradiance
- 7-Radiance
- 8-Solar zenith angle effect
- 9-Sun-Synchronous

- 10-Wang and Lu
- 11-Woodruff et al.
- 12-Doxaran et al
- 13-Colored Dissolved Organic Matter (CDOM)
- 14-Exponential
- 15-Absorption or Scattering



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد (شکل ۱). پس از تلاقی رودخانه‌های دز، شطیط و گرگر در محل بند قیر، رودخانه کارون بزرگ پدید می‌آید. این رودخانه از شهرستان ملاتانی گذشته پس از عبور از شهر اهواز و روستاهای حاشیه آن به حفر منتهی می‌گردد. از محل تشکیل کارون بزرگ تا حفر این رودخانه دارای شیب متوسط طولی در حدود $0/000052$ می‌باشد. در این ناحیه جنس مواد بستر کاملاً از مواد ریز دانه تشکیل شده است. در این ناحیه رودخانه نیز خصوصیات مئاندری را دارا است (۱).

داده‌های مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای و آمار دبی-رسوب روزانه استفاده شده است.

الف- داده‌های ماهواره‌ای: داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق از جدیدترین محصولات سنجنده مودیس (MOD09GQ)^۲ می‌باشد که کلیه تصحیحات رادیومتریک و هندسی بر روی آن‌ها لحاظ شده و ارزش‌های تصویری آن انعکاس سطح زمین^۳ بدون دخالت اتمسفر می‌باشد. این تصاویر دارای باندهای قرمز (۶۷۰-۶۲۰ نانومتر) و مادون قرمز (۸۷۶-۸۴۱ نانومتر) بوده و قدرت تفکیک زمانی و مکانی آن به ترتیب یک روز و ۲۵۰ متر می‌باشد. برای انجام این تحقیق از داده‌های روزانه این تصاویر از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۰ به مدت نه سال و به تعداد ۱۵۲ تصویر که منطبق با زمان نمونه برداری آب بوده استفاده شده است. لازم به ذکر است که ۷۳ تصویر از مجموعه تصاویر به دلیل شرایط ابری یا وجود ریز گردها از محاسبات کنار گذاشته و مجموعاً ۷۹ تصویر مورد استفاده قرار گرفت.

الف- زمانی که از نسبت باندها استفاده می‌شود. به دلیل آنکه باندهای مختلف به مقدار مختلفی تحت تأثیر شرایط اتمسفری قرار می‌گیرند، بنابراین باید تصحیح شوند.

ب- زمانی که از تصاویر چند زمانه استفاده می‌شود، به دلیل آنکه در زمان‌های مختلف سنجنده‌ها در شرایط متفاوت اتمسفری قرار دارند بنابراین بایستی تصحیح گردند.

ج- زمانی که از باندهای با طول موج کوتاه استفاده می‌شود به دلیل آنکه پراکنش اتمسفری در این باندها حداکثر است توصیه می‌گردد تصحیحات رادیومتری روی آن‌ها اعمال شود.

از مجموعه تحقیقات یاد شده می‌توان نتیجه گرفت که بازتاب طیفی آب نه تنها به آب و رسوبات معلق در آن وابسته است بلکه همان‌طور که پیشتر بدان‌ها اشاره شد سایر عناصر موجود در آب، موقعیت خورشید و نوردهی و نهایتاً شرایط اتمسفر در آن نقش اساسی دارند. در این رابطه گودین و همکاران^۱ (۱۰) اشاره می‌کنند که جداسازی و به کمیت در آوردن این اجزاء یکی از مشکل‌ترین وظایف سنجش از دور است.

در مجموع، هدف از این تحقیق، بررسی چگونگی ارتباط میان باندهای طیفی تصاویر مادیس و غلظت رسوبات معلق در رودخانه کارون در محل ایستگاه ملاتانی به منظور ایجاد یک رابطه رگرسیونی جهت تخمین غلظت رسوبات معلق می‌باشد.

علی‌رغم مشکلات یاد شده فوق، در تحقیق حاضر سعی شده است تا در حد امکان و داده‌های موجود خطاهای مورد اشاره به حداقل برسد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در رودخانه کارون و در محل ایستگاه ملاتانی در مختصات $48^{\circ}52'45''$ طول جغرافیایی شرقی و $31^{\circ}35'18''$

2-MODIS Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 250 m

3-Surface Reflectance

1- Goodin et al.

کالیبره می‌شود. سپس، این جفت داده کنار گذاشته شده برای آزمون مدل رگرسیون استفاده و مقدار خروجی (در اینجا غلظت رسوب معلق) برآورد می‌گردد. پس از آن، اختلاف مقدار مشاهده‌ای (در اینجا غلظت رسوب معلق رودخانه که قبلاً ثبت شده است) با مقدار برآورد شده محاسبه و این مقدار به‌عنوان مقدار خطا یا باقیمانده محاسبه می‌شود. این فرایند برای تمامی داده‌ها تکرار و مقادیر خطا برای آن‌ها محاسبه گردید. پس از آن، با استفاده از پارامترهای ریشه مربعات خطا و درصدخطای نسبی به‌ترتیب معادلات (۱ و ۲)، رابطه رگرسیون مورد ارزیابی قرار گرفت:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (SSCi - SSC'i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RRMSE = RMSE / \frac{\sum_{i=1}^n SSCi}{n} \times 100 \quad (2)$$

RMSE: ریشه مربعات خطا (میلی گرم در لیتر)، RRMSE: درصد خطای نسبی، SSCi: غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای (میلی گرم در لیتر)، SSC'i: غلظت رسوب معلق برآورد شده (میلی گرم در لیتر) و n: تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج

به دلیل آنکه صحت نمونه‌گیری از تصاویر در محل ایستگاه آب سنجی بسیار حائز اهمیت است لذا بایستی در انتخاب پیکسل مناسب دقت کافی به‌عمل آید. همچنین از آنجا که اندازه سلول تصویر ۲۵۰ متر می‌باشد لذا بایستی محلی از رودخانه انتخاب شود که سلول مورد نظر کاملاً در آب قرار گرفته و خالص بوده و ارزش سلولی آن صرفاً بیانگر انعکاس آب باشد. در غیر این‌صورت، انعکاس سلول، با انعکاس اراضی حاشیه رودخانه مخلوط شده و محاسبات را با خطا مواجه می‌نماید. در این تحقیق از باند مادون قرمز (باند دو تصویر) جهت تعیین موقعیت دقیق نمونه برداری از تصویر استفاده شده است. علت استفاده از این باند آن است که این باند بیش از باند قرمز نور خورشید را جذب نموده و بنابر این، آب در این تصاویر، تیره‌تر از سایر باندهای مرئی است (این مسئله تشخیص و تفکیک آب از اراضی اطراف آن را بهبود می‌بخشد). علاوه بر این، نزدیکی به ایستگاه آب سنجی ملائانی، عرض رودخانه کارون و پروفیل انعکاس آب در محل ایستگاه از جمله عوامل مهم دیگری بوده که در تعیین محل نمونه‌گیری به آن‌ها توجه شده است. همان‌طور که گفته شد، به منظور تعیین موقعیت سلول مورد نظر از پروفیل انعکاس آب نیز استفاده شده است. این کار به منظور تدقیق انتخاب محل نمونه برداری و یافتن پیکسلی است که پائین‌ترین انعکاس آب را در محدوده نزدیک ایستگاه با داشتن سایر شرایط ذکر شده دارا است (شکل‌های ۲- الف و ۲- ب).

ب- آمار دی-رسوب: داده‌های غلظت رسوبات معلق مورد استفاده در این تحقیق مربوط به ایستگاه آب سنجی ملائانی (یکی از ایستگاه‌های آب سنجی حوزه آبریز رودخانه کارون) مربوط به سال‌های ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۰ می‌باشد.

روش پژوهش

به منظور انجام این تحقیق مراحل ذیل به ترتیب انجام شده است: الف- بازبینی داده‌ها:

داده‌های ماهواره‌ای قبل از استفاده با استفاده از نرم افزارهای ENVI 4.8 و ArcGIS 9.3 مورد بازبینی قرار گرفته و در صورت وجود شرایط ابری، ریز گردها یا سایر اشکالات رادیومتریک از محاسبات خارج گردیده‌اند. در این رابطه، آمار غلظت رسوبات معلق نیز مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر پرت و مشکوک از محاسبات کنار گذاشته شدند. همچنین نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری مناسب بررسی شده است.

ب- تعیین موقعیت مناسب تصویر به منظور نمونه‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای:

به منظور انتخاب پیکسل^۱ مناسب تصویر (جهت اخذ انعکاس طیفی آب)، عواملی نظیر نوع باند، عرض رودخانه و قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد توجه قرار گرفته و بر اساس آن‌ها موقعیت صحیح نمونه‌گیری از تصاویر مشخص گردید.

ج- بررسی همبستگی میان مقادیر انعکاس آب در تصاویر و غلظت رسوبات معلق:

در این مرحله همبستگی بین انعکاس آب (متغیر مستقل) و غلظت رسوب معلق (متغیر وابسته) در طول دوره آماری تحقیق بررسی و معنی‌دار بودن آن مورد آزمون قرار گرفت. در این ارتباط، علاوه بر استفاده از مقادیر انعکاس باندها (به تنهایی)، از نسبت‌گیری طیفی باندها نیز به عنوان متغیر مستقل استفاده و در هر مورد میزان همبستگی رابطه به‌دست آمده بررسی گردید.

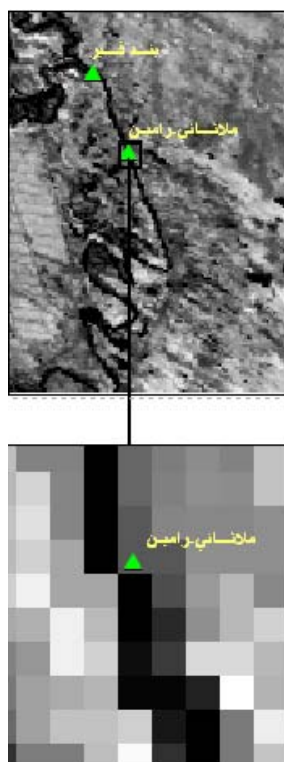
د- تعیین الگوی مناسب، آزمون‌های آماری و اعتبار سنجی^۲ مدل: به منظور تعیین نوع مدل رگرسیونی (خطی یا غیر خطی بودن) و معنی داری ضرائب به‌کار رفته در آن، از تجزیه واریانس (به کمک نرم افزار SPSS) استفاده شده است. در این رابطه با بررسی و مقایسه پارامترهای آماری نظیر ضریب تعیین (R^2)، F، P-Value و غیره، بهترین الگوی رگرسیونی انتخاب گردید. اعتبار سنجی مدل، سپس با استفاده از روش LOOCV^۳ و استفاده از پارامتر RMSE^۴ بررسی شد. این روش در سنجش از دور متداول بوده و هنگامی که تعداد داده‌ها به اندازه کافی زیاد نیست که بتوان آن‌ها را به دو دسته آموزش و آزمون طبقه‌بندی نمود استفاده می‌گردد. در این روش، در هر مرحله یکی از جفت داده‌ها (شامل متغیر مستقل و متغیر وابسته) از معادله رگرسیون کنار گذاشته شده و با بقیه داده‌ها یک معادله رگرسیون

1-Pixel

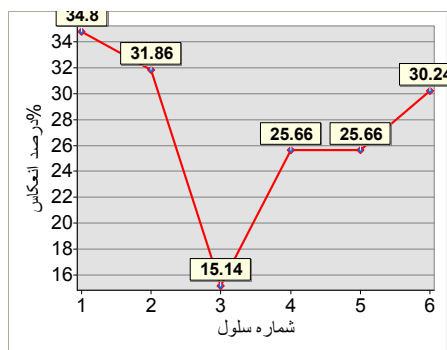
2- Validation

3- Leave One Out Cross Validation

4-Root Mean Square Error



شکل ۲-الف: باند مادون قرمز تصویر مودیس و موقعیت ایستگاه هیدرومتری ملاثنایی



شکل ۲-ب: نیمرخ بازتاب طیفی سلول های مجاور ایستگاه هیدرومتری ملاثنایی

بررسی قرار گرفت. در این ارتباط توزیع داده‌ها نرمال نبوده و به منظور رفع آن داده‌ها به مبنای لگاریتم طبیعی تبدیل شدند (جدول شماره ۱). همان‌طور که نتیجه آزمون K-S نشان می‌دهد مقدار معیار تصمیم از سطح معنی‌دار پنج درصد ($\alpha=5\%$) بیشتر بوده و به عبارت دیگر فرض صفر (H_0) آزمون که مبتنی بر نرمال بودن داده‌ها است تأیید می‌گردد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌های غلظت رسوبات معلق، همبستگی آن‌ها با باندهای تصاویر مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به شکل (۲-ب) از موقعیت سلول شماره سه به‌منظور استخراج انعکاس طیفی آب استفاده شده است. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق از تصاویر مادیس همزمان با روزهای دارای آماره دی-رسوب ایستگاه آب سنجی ملاثنایی و برای یک دوره آماری نه ساله (سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۸۲) در نظر گرفته شده‌اند. این مجموعه از تصاویر سپس به منظور حذف تصاویر دارای ابر یا غبار مورد بازبینی قرار گرفته و در مجموع تعداد ۷۹ تصویر برای دوره آماری یاد شده انتخاب گردید. به منظور بررسی همبستگی میان غلظت رسوبات معلق رودخانه کارون (در محل ایستگاه ملاثنایی) و باندهای تصاویر انتخاب شده ابتدا چند داده پرت از مجموعه داده‌های غلظت رسوبات معلق حذف و سپس نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون K-S^۱ مورد

2- P-Value or Sig.

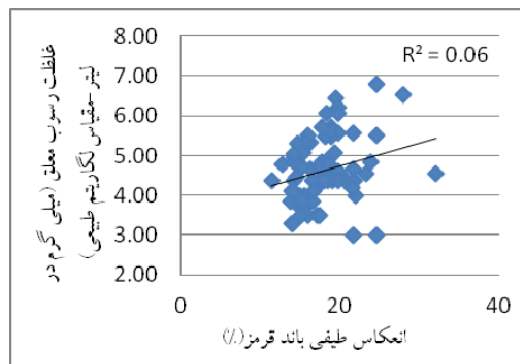
1- One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است بیشترین همبستگی در بهترین حالت متعلق به رابطه همبستگی باند قرمز با غلظت رسوب معلق در شکل (۳) است. در این رابطه، غلظت رسوبات معلق از ۲۰ میلی گرم تا ۹۰۰ میلی گرم در نوسان می‌باشد.

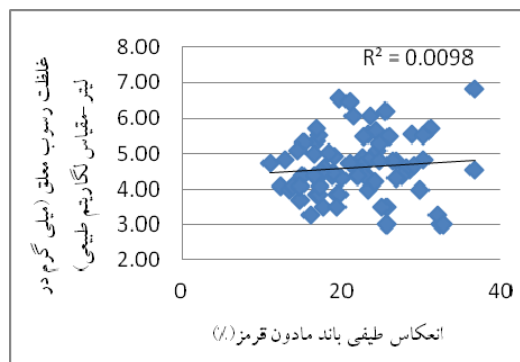
در این رابطه علاوه بر باندهای قرمز و مادون قرمز از نسبت باندها (نسبت باند قرمز به مادون قرمز و بالعکس) نیز استفاده گردید. در بررسی انجام شده ابتدا همبستگی بین تصاویر و داده‌های غلظت رسوبات معلق برای تمامی روزهای سال و برای کل دوره آماری به‌طور همزمان انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان همبستگی داده‌ها بسیار کم می‌باشد (شکل های ۳ تا ۶).

جدول ۱- نتایج آزمون K-S

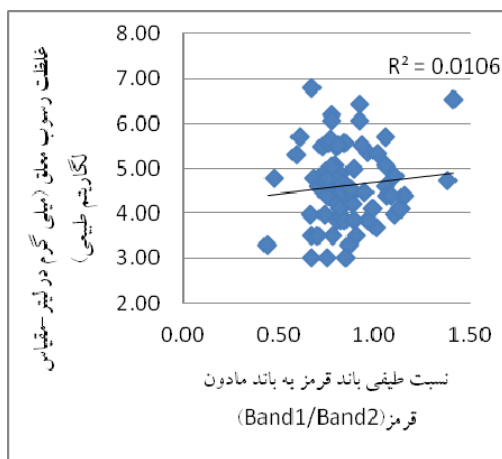
تعداد	۷۷
پارامترهای توزیع نرمال	
- میانگین	۴/۶
- انحراف معیار	۰/۸۷
بیشترین انحراف	
- قدر مطلق بیشترین انحرافات	۰/۰۸۹
- بیشترین انحراف مثبت	۰/۰۸۹
- بیشترین انحراف منفی	۰/۰۵۶
مقدار آماره Z	۰/۷۸
مقدار sig. (دو دنباله)	۰/۵۷



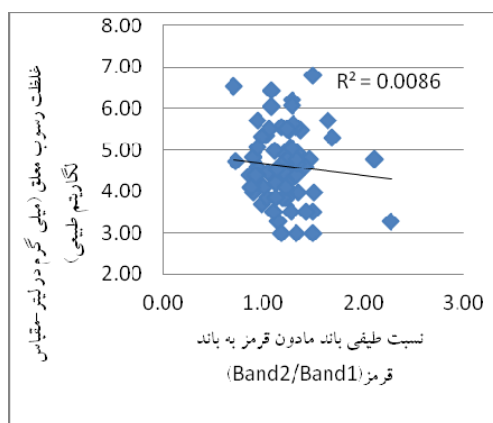
شکل ۳- همبستگی میان باند قرمز و غلظت رسوب معلق (کل روزهای دوره آماری سال های ۱۳۹۰-۱۳۸۲)



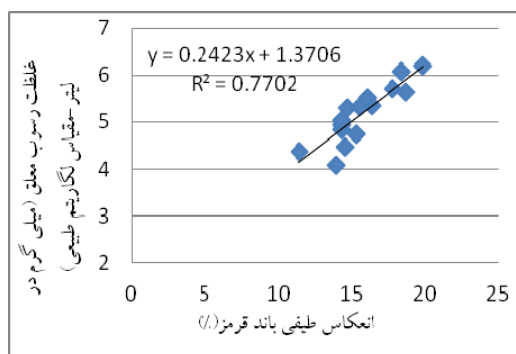
شکل ۴- همبستگی میان باند مادون قرمز و غلظت رسوب معلق (کل روزهای دوره آماری سال های ۱۳۹۰-۱۳۸۲)



شکل ۵- همبستگی میان نسبت باند قرمز به باند مادون قرمز و غلظت رسوب معلق (کل روزهای دوره آماری سال های ۱۳۸۲-۱۳۹۰)



شکل ۶- همبستگی میان نسبت باند مادون قرمز به باند قرمز و غلظت رسوب معلق (کل روزهای دوره آماری سال های ۱۳۸۲-۱۳۹۰)



شکل ۷- همبستگی میان باند قرمز و غلظت رسوب معلق (۵۰۰-۶۰۰ میلی گرم در لیتر) برای روزهای فصل مرطوب در دوره آماری سال های ۱۳۸۲-۱۳۹۰

تصاویر ماهواره‌ای همزمان با آن، برای پنج ماه سال (آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین) به طور پیوسته و برای کل دوره آماری انتخاب شدند که نتایج آن نشان از همبستگی بسیار بالا بین انعکاس طیفی آب در باند قرمز و غلظت رسوبات معلق رودخانه کارون در محل ایستگاه آب

بررسی های بعدی نشان داد که این همبستگی بیشتر تحت تأثیر غلظت‌های بالاتر رسوبات معلق می‌باشد. در این رابطه با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده که از فصل مرطوب به عنوان دوره آماری مناسب استفاده شده است، داده‌های غلظت رسوبات معلق روزانه و

پس از اطمینان از معنی‌دار بودن همبستگی، لازم بود تا نوع رابطه رگرسیونی (خطی یا غیر خطی) میان غلظت رسوب معلق رودخانه و بازتاب طیفی آب مشخص گردد. در این ارتباط با استفاده از نرم افزار SPSS چندین نوع رابطه بررسی و از میان آن‌ها با توجه به پارامتر Sig و آماره F در جدول تجزیه واریانس، رابطه خطی به عنوان بهترین الگو برای داده‌ها انتخاب گردید (جدول ۳ و شکل ۸). همانطور که در جدول (۳) مشخص شده است، مقدار Sig. برای همه رابطه‌ها از پنج درصد کوچک‌تر است و در این شرایط مدلی که آماره F بیشتری دارد (رابطه خطی) برارنده‌تر می‌باشد. شکل (۸)، شامل نمودار پراکنش مشاهدات و نمودار رگرسیون‌های مورد نظر می‌باشد. در ادامه، با فرض خطی بودن رابطه غلظت رسوب معلق و بازتاب طیفی آب (چنانچه به آن اشاره شد) خلاصه نتایج آماری گرفته شده در مورد این رابطه به ترتیب در جدول‌های (۴) تا (۶) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۶) مشخص شده است مقدار Sig. آزمون t کوچک‌تر از یک درصد می‌باشد و معنی آن این است که فرض صفر آزمون (H_0) که بیانگر صفر بودن ضرایب رابطه خطی (a, b) است رد و فرض مقابل آن (H_1) که آن‌ها را مخالف صفر می‌داند تأیید می‌شود.

سنجی ملاثاتی دارد. در این رابطه غلظت رسوبات معلق از ۶۰ میلی گرم در لیتر تا حدود ۵۰۰ میلی گرم در لیتر متغیر بوده و ضریب تعیین (R^2) آن ۰/۷۷ (ضریب همبستگی (r) بالغ بر ۸۷ درصد) می‌باشد (شکل ۷).

در ادامه، معنی‌دار بودن همبستگی میان غلظت رسوبات معلق و بازتاب طیفی آب در باند قرمز تصاویر، برای ماه‌های مرطوب، با استفاده از آزمون فرض همبستگی (آزمون وجود یا عدم وجود همبستگی) بررسی شده است (جدول ۲). در این جدول، آزمون در سطح خطای یک درصد (احتمال ۹۹ درصد صحت آزمون) و به صورت دو دامنه انجام شده و در آن میزان Sig (پارامتر آزمون) از یک درصد کمتر بوده و معنی آن این است که فرض صفر (H_0) آزمون که حاکی از عدم همبستگی بین داده‌های ورودی است رد و فرض مقابل آن (H_1) که بیانگر همبستگی بین متغیرها است تأیید می‌گردد. همان‌طور که در جدول مشخص شده است، ضریب همبستگی برای دوره مرطوب بالغ بر ۸۷ درصد با تعداد ۱۵ داده شامل بازتاب طیفی آب و غلظت رسوب معلق همزمان بوده است. نتیجه آنکه همبستگی معنی‌داری بین غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای با بازتاب طیفی آب وجود داشته که علت آن شانس یا تصادف نبوده است.

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی میان باند قرمز و غلظت رسوب معلق برای دوره مرطوب دوره آماری

سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۰

پارامتر آماری	غلظت رسوب معلق (SSC)	انعکاس باند قرمز (درصد)
-ضریب همبستگی پیرسن -مقدار sig. (دو دنباله)	۱	۰/۸۷۸*
-تعداد نمونه		۰/۰۰۰
غلظت رسوب معلق (SSC)		۱۵

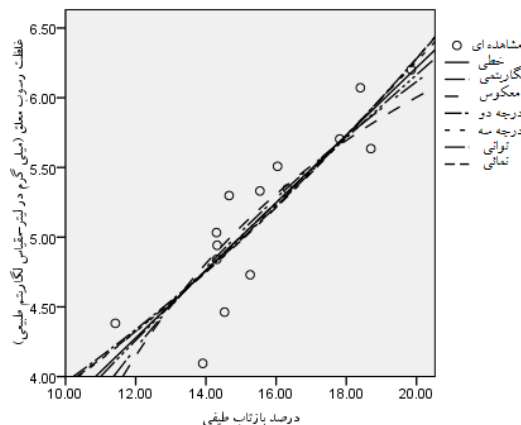
* همبستگی در سطح یک درصد (دو دنباله) معنی دار است

پارامتر آماری	غلظت رسوب معلق (SSC)	انعکاس باند قرمز (درصد)
-ضریب همبستگی پیرسن -مقدار sig. (دو دنباله)	۱	۰/۸۷۸*
-تعداد نمونه		۰/۰۰۰
غلظت رسوب معلق (SSC)		۱۵

* همبستگی در سطح یک درصد (دو دنباله) معنی دار است

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس رگرسیون

نوع رگرسیون	R ²	F	df1	df2	Sig.	ضریب ثابت	b1	b2	b3
خطی	۰/۷۷	۴۳/۵۲	۱	۱۳	۰/۰۰۰	۱/۳۷	۰/۲۴		
معکوس	۰/۷۲۱	۳۳/۵۲	۱	۱۳	۰/۰۰۰	۸/۷۸	-۵۵/۶۶		
درجه دو	۰/۷۷۳	۲۰/۴۲	۲	۱۲	۰/۰۰۰	۲/۷۳	۰/۰۶۸	۰/۰۰۵	
درجه سه	۰/۷۷۴	۲۰/۵۱	۲	۱۲	۰/۰۰۰	۲/۹۴	۰/۰۰۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰
توانی	۰/۷۳۲	۳۵/۵۱	۱	۱۳	۰/۰۰۰	۰/۷۰	۰/۷۲		
نمایی	۰/۷۴۳	۳۷/۵۹	۱	۱۳	۰/۰۰۰	۲/۴۷	۰/۰۴		



شکل ۸- نمودار پراکنش مشاهدات و نمودار رگرسیون های مورد نظر

جدول ۴- ضریب تعیین رابطه رگرسیون

ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب تعیین تعدیل شده	خطای استاندارد تخمین
۰/۸۷۸	۰/۷۷	۰/۷۵۳	۳۰۴

انعکاس باند قرمز به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس رگرسیون

مجموع مربعات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات	F	Sig.
۴/۰۱۸	۱	۴/۰۱۸	۴۳/۵۷۲	۰/۰۰۰
۱/۱۹۹	۱۳	۰/۰۹۲		
۵/۲۱۶	۱۴			

انعکاس باند قرمز به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است

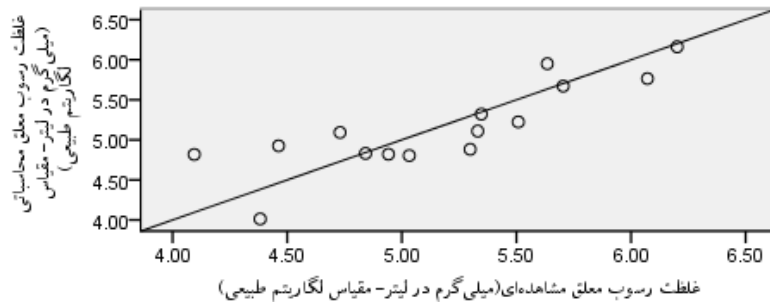
جدول ۶- ضرایب رابطه رگرسیون و آزمون معنی دار بودن آن‌ها

مدل	ضرایب استاندارد نشده	ضرایب استاندارد شده	آماره t	Sig.
انعکاس باند قرمز	B	بتا	۶/۶۰۱	۰/۰۰۰
ثابت	خطای استاندارد		۲/۳۵۸	۰/۰۳۵

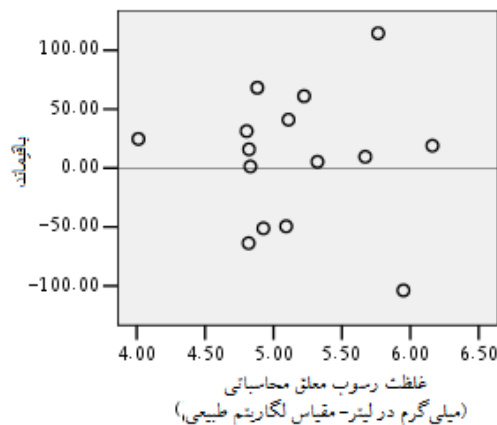
که در آن، Y: غلظت رسوب معلق (میلی گرم در لیتر-در مقیاس لگاریتم طبیعی) و X: درصد بازتاب طیفی باند قرمز تصویر مودیس می‌باشد. به منظور ارزیابی مدل رگرسیون به دست آمده از روش LOOCV استفاده شد و مقدار RMSE و RRMSE به ترتیب ۵۵ میلی گرم در لیتر و ۲۶ درصد محاسبه گردید. در شکل (۹)، نمودار

در مجموع با توجه به تأیید فرض معنی‌داری ضرایب، رابطه نهائی به صورت زیر برای دوره مرطوب سال برای ایستگاه ملائانی به صورت زیر محاسبه گردیده است:

$$Y = 1.37 + .242X \quad (۳)$$



شکل ۹- مقایسه مقادیر غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای و برآورد شده بعد از ارزیابی مدل



شکل ۱۰- پراکنش باقیمانده رگرسیون

انعکاس سلول تصویر مخلوطی از انعکاس آب و اراضی حاشیه رودخانه بوده و بنابراین نمی‌تواند انعکاس خالص آب باشد. همچنین عمق رودخانه در محل نمونه برداری از تصویر بایستی به قدر کافی عمیق باشد تا انعکاس کف رودخانه به حداقل برسد. در این زمینه بر طبق تحقیق انجام شده توسط مورنو- مادرین و آل همدان (۱۳) حداقل عمق رودخانه بایستی از ۲/۴ متر بیشتر باشد. البته این مسئله به میزان غلظت رسوب معلق آب نیز بستگی داشته و نمی‌توان آن را برای تمامی رودخانه‌ها به کار برد. عمق پیشنهاد شده در آب‌هایی با غلظت ۴-۸۴ میلی گرم در لیتر بوده است. از دیگر نکات مهمی که بایستی به آن توجه شود همبستگی یا عدم همبستگی میان داده‌های غلظت رسوبات معلق و بازتاب طیفی آب در ماه‌ها و فصول مختلف سال می‌باشد. همان‌طور که در این تحقیق بیان گردید، همبستگی معنی‌داری میان داده‌ها، زمانی که برای تمامی فصول سال در نظر گرفته می‌شوند وجود نداشته ولی با محدود کردن آن‌ها به یک دوره مرطوب (علی‌رغم کاهش نمونه‌ها به ۱۵ مورد) شاهد همبستگی زیاد میان داده‌ها هستیم. این مسئله شاید به دلیل میزان غلظت رسوبات معلق رودخانه به دلیل بارش در فصل یا فصول خاصی از سال باشد. به عبارت دیگر با افزایش غلظت رسوب معلق در آب، بازتاب طیفی آب افزایش یافته و از آنجا که علاوه بر رسوبات معلق مواد دیگری نیز در آب حضور دارند، لذا سهم رسوبات معلق در بازتاب طیفی آب افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، با افزایش غلظت رسوب معلق در آب،

پراکنش غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای در مقابل غلظت رسوب معلق برآورد شده را بعد از ارزیابی مدل به وسیله روش LOOCV نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است نقاط به‌طور مناسب در یک رابطه ۱:۱ توزیع شده‌اند. در شکل (۱۰) نمودار پراکنش باقیمانده‌های رگرسیون نمایش داده شده و شکل پراکنش نقاط از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند.

بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر و سایر تحقیقات مشابه نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس به دلیل توان تفکیک زمانی بالا (تصویر برداری روزانه) می‌تواند نقش مهمی در برآورد رسوب معلق رودخانه‌ای ایفا نماید. این موضوع از این نظر حائز اهمیت می‌باشد که در شرایط فعلی آمار پیوسته و مناسبی از میزان غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ها در دست نیست و اندازه‌گیری غلظت رسوبات رودخانه‌ای در غالب ایستگاه‌های هیدرومتری بسیار محدود بوده به نحوی که برای هر ماه اغلب یک یا دو مقدار غلظت گزارش شده است.

در ارتباط با ایجاد روابط رگرسیونی میان تصاویر ماهواره‌ای و آمار مشاهداتی غلظت رسوبات رودخانه‌ای بایستی به نکاتی چند توجه شود. اول آنکه بایستی به عرض و عمق رودخانه مورد نظر توجه گردد. چنانچه عرض رودخانه کوچک‌تر از اندازه سلول تصویر مورد نظر باشد،

۲- به منظور افزایش دقت بر آورد روابط رگرسیونی بهتر است قبل از ایجاد این روابط، همبستگی میان داده‌های غلظت رسوبات معلق در ماه‌های مختلف بررسی و چنانچه لازم باشد برای هر فصل یا بازه زمانی یک رابطه رگرسیونی ویژه ارائه گردد.

تشکر و قدردانی

از اساتید دانشکده منابع طبیعی ساری و مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به‌خاطر مساعدت و فراهم نمودن امکانات لازم و مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از آقای دکتر عبدالنبی کلاه‌چی عضو محترم هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به خاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان سپاس‌گزاری می‌شود.

همبستگی بالاتری میان غلظت رسوب معلق و انعکاس طیفی آب به‌وجود می‌آید. همان‌طور که در نتایج تحقیق بیان شد این غلظت در دوره مرطوب از ۶۰ میلی گرم به بعد شروع می‌گردد در حالی که کمترین غلظت برای کل دوره آماری ۲۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده، به نظر می‌رسد که در استفاده از رابطه‌های رگرسیونی تولید شده میان غلظت رسوب معلق رودخانه و انعکاس طیفی آب بایستی به نکات ذیل توجه گردد:

۱- در هنگام استفاده از روابط رگرسیونی بایستی حتی المقدور سعی گردد تا بر آورد غلظت رسوب معلق در بازه مقادیر متغیر مستقل و متغیر وابسته مشاهداتی (به ترتیب درصد بازتاب طیفی آب و غلظت رسوب معلق) که رابطه رگرسیونی از آن‌ها تولید شده است انجام شود. این مسئله بدین خاطر است که تغییرات میزان غلظت رسوب در آب بسیار پیچیده بوده و ممکن است در یک کلاس غلظت به‌عنوان مثال (۲۰ تا ۴۰۰ میلی گرم) از رابطه خطی و از ۴۰۰ میلی گرم به بالا از یک رابطه غیر خطی تبعیت نماید.

منابع

- ۱- بی‌نام. ۱۳۸۵. گزارش طرح تعیین حریم و بستر رودخانه‌های کارون، اروند و بهمنشیر. مطالعات هیدرولیک رودخانه و فرسایش و رسوب (قسمت اول)، سازمان آب و برق خوزستان، وزارت نیرو.
- ۲- علوی پناه، ک. ۱۳۸۷. کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاکشناسی رقومی). موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۴۵۷ ص.
- 3- Chen, Z., Hu, C. and F. Muller-Karger. 2007. Monitoring turbidity in Tampa Bay using MODIS/Aqua 250-m imagery. *Remote Sensing of Environment*, 109: 207-220.
- 4- Collins, A. L. and D. E. Walling. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources problems, approaches and prospects. *Progress in Physical Geography*, 28:159-196.
- 5- Doxaran, D., Froidefond, J. M., Castaing, P. and M. Babin. 2009. Dynamics of the turbidity maximum zone in a macrotidal estuary (the Gironde, France): Observations from field and MODIS satellite data. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 81:321-32.
- 6- Doxaran, D., Froidefond, J. M., Lavender, S. and P. Casting. 2002. Spectral signature of highly turbid waters: Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. *Remote Sensing of Environment*, 81: 149-161.
- 7- Eisma, D. 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in Estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1986, 20, 183-199.
- 8- Froidefond, J. M., Casting, P. and M. Mirmand. 1991. Analysis of the turbid plume of the Gironde (France) based on SPOT radiometric data. *Remote Sensing of Environment*, 36: 149-163.
- 9- Gao, J. and S. M. O'Leary. 1997. Estimation of suspended solids from aerial photographs in a GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 18(10): 2073-2086.
- 10- Goodin, D. G., Han, L., Fraser, R. A., Rundquist, D. C., Stebbins, W. A., and J. F. Schalles. 1993. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59:505-510.
- 11- Miller, R. L. and B. A. McKee. 2004. Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 93: 259-266.

- 12- Moran, M. A., Pomeroy, L. R., Sheppard, L. P., Atkinson, L. P., and R. E. Hodson. 1991. Distribution of terrestrially derived dissolved organic matter in the southeastern US continental shelf. *Limnology and Oceanography*, 36: 1134–1149.
- 13- Moreno-Madrinan, M. and M. Z. Al-Hamdan. 2010. Using the surface reflectance MODIS Terra product to estimate turbidity in Tampa Bay, Florida. *Remote Sensing*, 2: 2713-2728.
- 14- Ouillon, S., Douillet, P. and S. Andrefouet. 2004. Coupling satellite data with in situ measurements and numerical modeling to study fine suspended-sediment transport: A study for the lagoon of New Caledonia. *Coral Reefs*, 23:109–22.
- 15- Ritchie, J. C. and F. R. Schiebe. 2000. water quality, remote sensing in hydrology and water management (G. A. Schultz and E. T. Engman, editors), Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 287–303, 351–352
- 16- Rodríguez-Guzmán, V. and F. Gilbes-Santaella. 2009. Using MODIS 250 m imagery to estimate total suspended sediment in a tropical open bay. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*. 3(1):36-44.
- 17- Shen, F. and M. H. D. Suhyb Salamab. 2010. Remote-sensing reflectance characteristics of highly turbid estuarine waters – a comparative experiment of the Yangtze River and the Yellow River. *International Journal of Remote Sensing*, 31(10): 2639-2654
- 18- Wang, J. and X. Lu. 2009. Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the lower Yangtze river, China. *Journal of Science of the Total Environment*, 408(5): 1131-1138
- 19- Wang, J. J., Lu, X. X., Liew, S. C. and Y. Zhou. 2009. Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers using Landsat ETM+: An example from the Yangtze river, China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(8): 1082–92.
- 20- Woodruff, D. L., Stumff, R. O. and J. A. Scope. 1999. Remote estimation of water clarity in optically complex estuarine waters. *Remote Sensing of Environment*, 68:41-52.
- 21- Xingwei, J. and J. Tang. 2009. Application of MODIS data in monitoring suspended sediment of Taihu Lake, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 27(3):614-620.