

مدل شبکه عصبی مصنوعی برآورد غلظت رسوب معلق رودخانه‌ای به کمک تصاویر سنجنده مودیس (مطالعه موردی ایستگاه هیدرومتری ملاثانی - رودخانه کارون)

محمودرضا طباطبائی^{۱*} - کاکا شاهی^۲ - کریم سلیمانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

چکیده

برای مطالعات کیفی و کمی منابع آب، برآورد بار رسوب معلق رودخانه‌ها بسیار مهم است. بار رسوب معلق بطور معمول با اندازه‌گیری مستقیم غلظت رسوب معلق یا با بکارگیری منحنی سنج رسوب انجام می‌شود. اندازه‌گیری به روش مستقیم، اگر چه مطمئن‌ترین روش اندازه‌گیری غلظت رسوبات معلق بوده، با این همه، این روش، اغلب زمان بر و پر هزینه است. همچنین دقت منحنی سنج رسوب به دلیل برآورد زیاد (در مقادیر کم رسوب رودخانه) یا برآورد کم (در مقادیر زیاد رسوب رودخانه) پائین بوده و لذا از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشد. در این تحقیق، به منظور بررسی امکان تخمین غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای با استفاده از انعکاسات تصاویر ماهواره‌ای، همبستگی میان بازتاب طیفی باندهای تصاویر سنجنده مودیس (باندهای قرمز و مادون قرمز) و غلظت رسوبات معلق رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی در یک دوره زمانی ۹ ساله (سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفت. در این رابطه از دو مدل آماری (رگرسیون خطی یک متغیره) و شبکه عصبی مصنوعی (پیشخور با الگوریتم آموزش پس انتشار خطا) استفاده شد. ارزیابی مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تعیین (R^2) ۰/۸۹ و ریشه مربع خطا (RMSE) ۱۲۲ میلی‌گرم بر لیتر کارایی بیشتری در مقایسه با مدل رگرسیونی با ضریب تعیین ۰/۴۹ و ریشه مربع خطا ۲۰۴ میلی‌گرم بر لیتر داشته است. نتایج تحقیق نشان داد که از تصاویر سنجنده مودیس به همراه شبکه عصبی مصنوعی می‌توان، در تخمین و پایش غلظت رسوبات معلق روزانه رودخانه‌های بزرگ استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: رودخانه کارون، سنجنده مودیس، شبکه عصبی، غلظت رسوب معلق

مقدمه

امری ضروری است (۱۱). بار رسوب معلق رودخانه‌ای بطور معمول با اندازه‌گیری مستقیم غلظت رسوب معلق یا با بکارگیری منحنی سنج رسوب انجام می‌شود. همچنین دقت منحنی سنج رسوب به دلیل برآورد زیاد (در مقادیر کم رسوب رودخانه) یا برآورد کم (در مقادیر زیاد رسوب رودخانه) پائین بوده و لذا از کارایی لازم برخوردار نیستند (۱۹). همچنین اندازه‌گیری به روش مستقیم، اگر چه مطمئن‌ترین روش اندازه‌گیری غلظت رسوبات معلق است با این همه این روش، اغلب زمان بر و پر هزینه است. در این ارتباط، داده‌های ماهواره‌ای در زمینه اندازه‌گیری و مانیتورینگ کیفیت آب رودخانه‌ها (خصوصاً غلظت بار معلق)، منابع آلودگی و چگونگی حرکت آن‌ها از کارایی بالایی برخوردار می‌باشند. آشکار ساز^۴ها یا سنجنده‌های نصب شده بر روی ماهواره^۵ها می‌توانند مقادیر انرژی بازتابی^۶ از عوارض زمینی (در اینجا

در طراحی و ساخت سازه‌های آبی نظیر سدها و همچنین مدیریت پروژه‌های منابع آب، آگاهی از مقدار کمی بار رسوب معلق رودخانه‌ها امری ضروری است. رسوبات معلق حمل شده توسط رودخانه‌ها ممکن است سبب کاهش ظرفیت مفید مخازن سدها گردند (۱۴). از نظر کیفیت آب، رسوبات موجود در آب (بصورت معلق و یا بار بستر) سبب انتقال آلاینده‌هایی نظیر آفت‌کش‌ها، مواد غذایی و سایر مواد شیمیایی در آب می‌شوند. بنابراین آگاهی از زمان واقعی توزیع رسوب و برآورد دقیق آن برای کنترل سطح آلودگی در رودخانه‌ها و مخازن سدها

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی ساری و مربی پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

(*) - نویسنده مسئول: (Email: Tabatabaei@scwmri.ac.ir)

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیز دانشکده منابع طبیعی ساری

۳- استاد مرکز GIS و RS دانشکده منابع طبیعی ساری

چند طیفی HRV^۶ اسپات (SPOT-XS2)، همبستگی معناداری را بین غلظت رسوب (۰ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر) و بازتاب طیفی آب ارائه نمودند. در تخمین غلظت رسوبات معلق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، از نسبت‌گیری بین باندها نیز استفاده می‌شود. در این زمینه می‌توان از نسبت‌گیری بین باندهای قرمز و مادون قرمز استفاده نمود (۵). نسبت‌گیری علاوه بر آنکه در آشکارسازی تغییرات مفید است، باعث کاهش اثر زاویه تابش خورشیدی و توپوگرافی نیز می‌گردد (۲ و ۱۸).

امروزه شبکه‌های عصبی مصنوعی کاربرد فراوانی در شبیه‌سازی داده‌ها دارند. توسعه این شبکه‌ها با الهام‌گیری از توانایی مغز انسان در یادگیری از طریق تجربه و تکرار و بدون نیاز به دانستن روابط فیزیکی ماوراء داده‌ها صورت می‌گیرد. بطور کلی شبکه‌های عصبی از عناصر عملیاتی ساده‌ای به نام نرون ساخته می‌شوند که به صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. عملکرد شبکه عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزاء با تنظیم مقادیر هر اتصال که به نام وزن اتصال بیان می‌شود تعیین می‌گردد. گووین داراجو (۱۰) دلایل استفاده از شبکه‌های عصبی را بدین شرح بیان می‌کند: ۱- شبکه‌های عصبی قادرند رابطه بین ورودی و خروجی را بدون در نظر گرفتن قوانین صریح فیزیکی بین آن‌ها تشخیص دهند. ۲- هنگامی که برای آموزش شبکه‌های عصبی از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ای همراه با خطا استفاده می‌شود این شبکه‌ها هنوز خیلی خوب کار می‌کنند. ۳- شبکه‌های عصبی، قادر به انطباق با راه‌حلهائی برای جبران تغییرات بوجود آمده در طول زمان می‌باشند. ۴- شبکه‌های عصبی دارای ویژگی‌های ذاتی پردازش اطلاعات‌اند و یک بار که مورد آموزش واقع شوند استفاده از آن‌ها بسیار آسان است.

شبکه‌های عصبی پس انتشار خطای رو به جلو (پیش‌خور)^۷ با داشتن توابع غیر خطی (سیگموئیدی)، دارای قابلیت انعطاف‌پذیری زیاد بوده و می‌توانند در تقریب زدن یک تابع، یافتن رابطه بین ورودی و خروجی و نظایر آن بسیار کارآمد باشند. در هیدرولوژی، با توجه به اغتشاش حاکم بر داده‌های رواناب-رسوب، استفاده از این شبکه‌ها، بسیار توصیه شده است (۷). ولی (۴) در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی بار رسوب معلق حوضه اسکندری در حوزه آبخیز زاینده رود، عملکرد دو نوع شبکه عصبی مصنوعی (ژئومورفولوژیکی و غیر ژئومورفولوژیکی) و دو نوع مدل رگرسیونی (توانی و غیر خطی چندگانه) را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه، بهترین نتایج پیش‌بینی مربوط به روش شبکه عصبی مصنوعی ژئومورفولوژیکی با ضریب تعیین ۰/۹۸ و جذر میانگین خطای ۴/۴۹ بوده است. سارانگی و بیها تاجاریا (۱۷) در حوزه آبخیز Banha هندوستان، با استفاده از

سطح آب) را در طول موج‌های مختلف ثبت و سپس به صورت مقادیر روشنائی^۱ در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای ذخیره نمایند. بطور کلی مقدار بازتاب طیفی آب در طول موج‌های مختلف، وابسته به غلظت رسوبات معلق، مواد محلول رنگی^۲ و فیتوپلانکتون‌ها می‌باشد. تحقیقات انجام شده در این زمینه وجود رابطه همبستگی میان برخی از باندهای تصاویر ماهواره‌ای (طول موج‌های قرمز و مادون قرمز) و غلظت رسوب معلق را نشان می‌دهد (۱۲، ۱۵ و ۱۶). در زمینه کاربرد تصاویر سنجنده مودیس^۳ (سنجنده نصب شده در ماهواره Terra)، ونگ (۲۰) در یکی از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در بخش شرقی رودخانه یانگ تسه، با داشتن آمار غلظت رسوب روزانه برای یک دوره مرطوب (از ماه می تا اکتبر) و تصاویر همزمان آن‌ها به تعداد ۳۵ نمونه (پس از بازبینی تصاویر و حذف تصاویر دارای ابر) توانست با استفاده از بازتاب طیفی آب (تفاضل بازتاب طیفی در باندهای ۲ و ۵ 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، در ایستگاه هیدرومتری پائین دست آن بکار گرفته شد و نتایج حاصل از آن با داده‌های مشاهداتی ثبت شده (غلظت بار معلق) مورد مقایسه قرار گرفته که در این رابطه درصد میانگین ریشه مربعات خطاهای نسبی^۴ به مقدار ۲۳/۹ درصد گزارش گردید. در تحقیقی مشابه، شینگوی (۲۲) با استفاده از همبستگی میان باند مادون قرمز تصاویر مودیس و غلظت رسوبات دریاچه Taihu در چین، توانست یک رابطه رگرسیونی لگاریتمی را برای تخمین غلظت بار معلق توسعه دهد. مورنو-مادرین و همکاران (۱۳) توانستند در سواحل خلیج Tampa واقع در فلوریدا با استفاده از همبستگی میان باند ۱ (باند قرمز) تصاویر روزانه MOD09GQ^۵ و میزان گل‌آلودگی آب (۳۴ نمونه آب)، یک رابطه خطی رگرسیونی با ضریب همبستگی ۸۷ درصد ارائه نمایند. در زمینه کاربرد تصاویر لندست، ونگ و همکاران (۲۱) توانستند با استفاده از ۱۶ تصویر ETM⁺ (باند ۴) و داده‌های غلظت مواد معلق همزمان، برای بخش‌های میانی و بالادست رودخانه یانگ تسه در چین، یک رابطه رگرسیونی را تولید نمایند. در رابطه با کاربرد تصاویر اسپات در تخمین بار معلق، فروید فوند و همکاران (۸) با استفاده از باند قرمز سنجنده

- 1-Digital Number (DN)
- 2-Yellow substance or gelbstoff
- 3-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
- 4-Relative Root Mean Square Error (RRMSE in %)
- 5-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Terra surface reflectance daily product (MOD09GQ)

6-High Resolution Visible

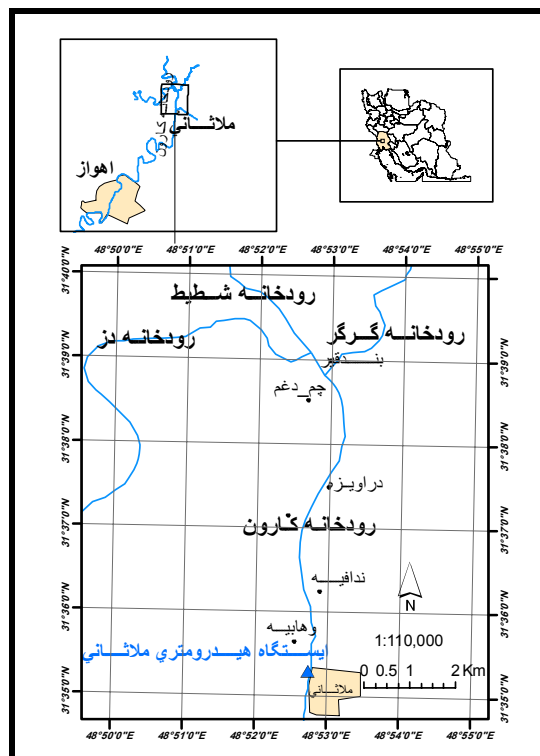
7-Feed Forward Back Propagation

محل ایستگاه ملاثانی به منظور ارائه مدلی در تخمین غلظت رسوبات معلق می‌باشد. در این رابطه، علاوه بر مدل رگرسیونی از شبکه عصبی مصنوعی نیز به منظور یافتن الگوی مناسب جهت برقراری ارتباط میان دو متغیر استفاده و عملکرد آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در رودخانه کارون و در محل ایستگاه ملاثانی در مختصات جغرافیائی ("۴۸°۵۲'۴۵" طول شرقی و "۳۱°۳۵'۱۸" عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). رودخانه کارون یکی از بزرگترین و پر آب‌ترین رودخانه‌های کشور می‌باشد که در حوزه آبخیز کارون جریان دارد و محدوده آن در استان‌های خوزستان، لرستان، چهار محال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد قرار گرفته است. مساحت حوزه آبخیز کارون ۶۶۳۵۲ کیلومتر مربع، متوسط ارتفاع ۱۵۳۷ متر و شیب متوسط آن ۲۴ درصد می‌باشد. بطور کلی پس از تلاقی رودخانه‌های دز، شطیپ و گرگر در محل بند قیر، رودخانه کارون بزرگ پدید می‌آید. این رودخانه از شهر ملاثانی گذشته پس از عبور از شهر اهواز و روستاهای حاشیه آن به حفار منتهی می‌گردد. در این ناحیه جنس مواد بستر کاملاً از مواد ریز دانه تشکیل شده است. در این ناحیه رودخانه نیز دارای خصوصیات ماندندی است (۳).



شکل ۱- موقعیت ایستگاه هیدرومتری ملاثانی در منطقه مورد مطالعه

مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی، دبی رسوب را برآورد نموده و نتیجه گرفتند که مدل شبکه عصبی از دقت بیشتری برخوردار است. در تحقیقی دیگر اکبرپور و حامد افتخار (۱) عملکرد دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون را برای پیش بینی میزان دبی رسوب حوضه اهرچای در استان آذربایجان شرقی بررسی و نتیجه‌گیری نمودند که مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پیشخور با الگوریتم پس انتشار خطا کارایی بهتری را نسبت به مدل رگرسیون نشان می‌دهد. در ادامه به بررسی برخی از عوامل تاثیر گذار در روابط تجربی بدست آمده میان غلظت رسوبات معلق و بازتاب طیفی آب می‌پردازیم. بازتاب طیفی آب می‌تواند مستقل از میزان غلظت رسوب معلق موجود در آن باشد (۵). در این رابطه زمان و فصل تصویر برداری با تاثیرگذاری در میزان انرژی نور خورشید^۱ (که از خورشید به زمین می‌رسد) نقش مهمی در میزان انرژی بازتابی^۲ (که از زمین به آشکارساز ماهواره‌ها می‌رسد) پدیده‌های زمینی از جمله آب داشته که این اثر (اثر زاویه تابش خورشید^۳) در صورتیکه از تصاویر چند زمانه استفاده می‌شود بایستی از تصاویر حذف شده تا تغییرات بازتاب طیفی از پدیده‌ها صرفاً به دلیل تغییرات در خود پدیده‌ها باشد تا به دلیل تغییرات در شرایط نور دهی. از جمله موارد دیگری که در بازتاب طیفی آب نقش دارد، تاثیر مواد آلی محلول رنگی در آب است (۱۸). این مواد باعث کاهش بازتاب طیفی نور در باندهای آبی و سبز می‌گردند (۶). شایان ذکر است که این تاثیرات عمدتاً 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 نمایی کاهش می‌یابد. از موارد مهمی که بایستی در ارتباط با همبستگی بازتاب طیفی آب با غلظت رسوبات معلق در نظر داشت حذف اثرات آتمسفر می‌باشد (تصحیح آتمسفری). آتمسفر به صورت انتخابی عمل نموده و باعث جذب یا پراکنش طول موج هائی از نور می‌شود (۲). 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 به آن‌ها اشاره شد سایر عناصر موجود در آب، موقعیت خورشید و نوردهی و نهایتاً شرایط آتمسفر در آن نقش اساسی دارند. در این رابطه گودین و همکاران (۹) اشاره می‌کنند که جداسازی و به کمیت در آوردن این اجزاء یکی از مشکل‌ترین وظایف سنجش از دور است.

هدف از این تحقیق، بررسی چگونگی ارتباط میان باندهای طیفی تصاویر مادیس و غلظت رسوبات معلق در رودخانه کارون در

- 1- Irradiance
- 2- Radiance
- 3- Solar zenith angle effect

داده‌های مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای و آمار دبی-رسوب روزانه استفاده شده است. داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق از جدیدترین محصولات سنجنده مودیس (MOD09GQ)^۱ به شرح جدول ۱ می‌باشد. کلیه تصحیحات رادیومتریک با استفاده از مدل 6S^۲ بر روی این تصاویر 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 ۱ روز و ۲۵۰ متر می‌باشد. برای انجام این تحقیق از داده‌های روزانه این تصاویر از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۰ بمدت ۹ سال و به تعداد ۱۵۲ تصویر که منطبق با زمان نمونه برداری آب بوده، استفاده شده است.

داده‌های غلظت رسوبات معلق مورد استفاده در این تحقیق مربوط به ایستگاه آب سنجی ملاثانی (یکی از ایستگاه‌های آب سنجی حوزه آبخیز رودخانه کارون) مربوط به سال‌های ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۰ و به تعداد ۱۵۲ نمونه (منطبق با تعداد تصاویر) می‌باشد.

روش پژوهش

به منظور انجام این تحقیق مراحل ذیل به ترتیب انجام شده است:

الف- بازبینی و پیش پردازش داده‌ها: جهت بازبینی داده‌های ماهواره‌ای (قبل از استفاده) از نرم افزارهای ENVI 4.8 و ArcGIS 9.3 استفاده شد و در صورت وجود شرایط ابری، ریزگردها یا سایر اشکالات رادیومتریک این گونه داده‌ها از محاسبات خارج شده‌اند. در این رابطه، آمار غلظت رسوبات معلق نیز بررسی و مقادیر پرت و مشکوک (در صورت موجود بودن) از محاسبات کنار گذاشته شده است. همچنین نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کلموگروف-اسمیرنوف^۴ (K-S) بررسی گردید. به منظور بی بعد نمودن داده‌ها و استفاده در شبکه عصبی از روش استاندارد سازی مطابق رابطه ۱ استفاده شد:

$$Ni = \frac{(Ri - Mini)}{(Maxi - Mini)} \quad (1)$$

که در آن: Ri، مقدار هر داده؛ Mini، کوچکترین داده؛ Maxi، بزرگترین داده و Ni مقدار استاندارد شده داده می‌باشد.

به منظور کالیبراسیون مدل آماری و معماری شبکه عصبی و در

ادامه ارزیابی عملکرد آن‌ها، داده‌ها به صورت تصادفی و با کمک توابع تعبیه شده در محیط نرم افزار MATLAB به دو دسته آموزش (۸۰ درصد) و آزمون (۲۰ درصد) طبقه‌بندی شدند، که از داده‌های آموزش جهت کالیبراسیون مدل رگرسیون، معماری شبکه عصبی و از داده‌های آزمون، جهت ارزیابی مدل‌های یاد شده استفاده گردید.

ب- تعیین موقعیت مناسب تصویر به منظور نمونه‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای: به دلیل آنکه صحت نمونه‌گیری از تصاویر در محل ایستگاه آب سنجی بسیار حائز اهمیت است، لذا بایستی در انتخاب پیکسل مناسب دقت کافی بعمل آید. به منظور انتخاب پیکسل^۵ مناسب تصویر (جهت اخذ انعکاس طیفی آب)، عواملی نظیر نوع باند، عرض رودخانه و قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد توجه قرار گرفت و بر اساس آن‌ها موقعیت صحیح نمونه‌گیری از تصاویر مشخص گردید. در این تحقیق از باند مادون قرمز (باند ۲ 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 بنابراین، آب در این تصاویر، تیره‌تر از سایر باندهای مرئی است. این مسئله تشخیص و تفکیک آب از اراضی اطراف آن را بهبود می‌بخشد (اشکال ۲- الف و ۲- ب). در شکل ۲-ب از موقعیت سلول شماره ۳ به منظور استخراج انعکاس طیفی آب استفاده شده است.

ج- مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی: شبکه عصبی مصنوعی به کار گرفته شده در این تحقیق از نوع چند لایه پیشخور، با الگوریتم آموزش پس انتشار خطا با تابع آموزشی Trainlm می‌باشد. نوع تابع محرک، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌های هر لایه با سعی و خطا و بررسی پارامترهای ضریب تعیین و ریشه مربعات خطا که در ادامه بیان می‌گردد تعیین شده است. در شکل ۳، بازتاب طیفی باندهای قرمز و مادون قرمز به عنوان ماتریس ورودی، و F1 و F2 توابع محرک و غلظت رسوب معلق به عنوان بردار خروجی می‌باشد. به منظور یافتن تعداد نرون بهینه در ساختار لایه پنهان، قطعه برنامه‌ای در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شد که در آن، از شاخص میانگین مطلق خطا^۶ جهت تعیین تعداد نرون مناسب در ساخت شبکه استفاده شده است.

عملکرد این برنامه بدین صورت است که در یک حلقه تکرار شدنی ابتدا یک شبکه با خصوصیات یاد شده فوق با یک نرون ساخته شده، سپس یک بردار خروجی شبیه سازی می‌شود. این بردار خروجی (غلظت رسوب شبیه سازی شده) با مقادیر مشاهداتی (غلظت رسوب مشاهداتی) مقایسه و سپس میانگین خطای مطلق حاصل از تفاضلات داده‌ها محاسبه می‌گردد. حلقه، مجدداً با ۲ نرون ساخته و عملیات فوق، تکرار می‌گردد. در این حلقه، ساخت و شبیه سازی شبکه عصبی با نرون‌های بیشتر ادامه یافته تا سرانجام میزان میانگین خطای مطلق به حداقل برسد.

5- Pixel

6- Mean Absolute Error

1- MODIS Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 250 m

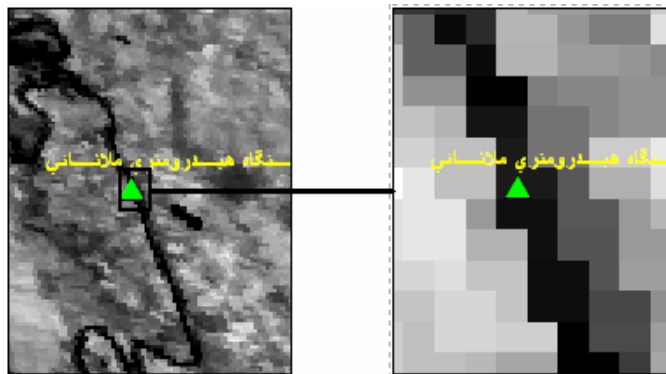
2- 6S (Second Simulation of the Satellite signal in the Solar Spectrum)

3- Surface Reflectance

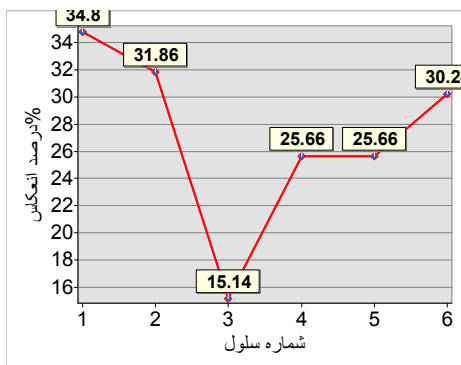
4- One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

جدول ۱- خصوصیات باندهای قرمز و مادون قرمز تصاویر MOD09GQ

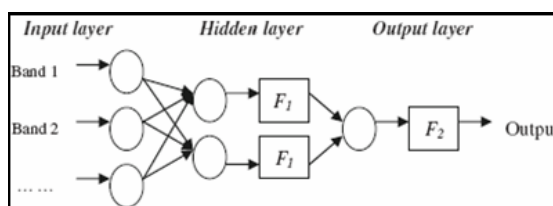
| SDS | Units | Data type | Fill value | Valid range | Scale factor |
|--------------------|-------------|-----------------------|------------|--------------|--------------|
| Band1 (620–670 nm) | Reflectance | 16-bit signed integer | -28,672 | -100- 16,100 | 0.0001 |
| Band2 (841–876 nm) | Reflectance | 16-bit signed integer | -28,672 | -100- 16,100 | 0.0001 |



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



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



شکل ۳- نمودار شبکه عصبی بکار گرفته شده در مطالعه

د- بررسی همبستگی میان مقادیر انعکاس آب در تصاویر و غلظت رسوبات معلق و مدل سازی آماری: در این مرحله همبستگی بین انعکاس آب (متغیر مستقل) و غلظت رسوب معلق (متغیر وابسته) در طول دوره آماری تحقیق بررسی، و معنی دار بودن آن مورد آزمون قرار گرفته است. در این ارتباط، علاوه بر استفاده از مقادیر انعکاس باندها (به تنهایی)، از نسبت گیری طیفی باندها نیز به عنوان متغیر مستقل استفاده و در هر مورد، میزان همبستگی رابطه بدست آمده بررسی شد. همچنین معنادار بودن همبستگی میان غلظت رسوبات

معلق و بازتاب طیفی آب با استفاده از آزمون فرض همبستگی (آزمون وجود یا عدم وجود همبستگی) بررسی شده است. در این آزمون، فرض صفر (H_0) حاکی از عدم همبستگی بین داده‌های ورودی و فرض مقابل آن (H_1) بیانگر همبستگی بین متغیرها است. به منظور تعیین نوع مدل رگرسیونی (خطی یا غیر خطی بودن) و معنی داری ضرائب به کار رفته در آن، از تجزیه واریانس در محیط نرم افزار SPSS استفاده گردید. در این رابطه، با بررسی و مقایسه پارامترهای آماری نظیر ضریب تعیین (R^2)، F و P-Value بهترین الگوی

رگرسیون انتخاب شد.

۵- روش ارزیابی و مقایسه مدل شبکه عصبی و مدل رگرسیون: مدل‌های ساخته شده به روش شبکه عصبی و رگرسیون با استفاده از داده‌های آموزش تعلیم و سپس به کمک داده‌های آزمون مورد ارزیابی قرار گرفتند. خروجی هر دو مدل یک بردار متشکل از داده‌های غلظت رسوب بوده و مقایسه کارایی دو مدل با استفاده از دو پارامتر ضریب تعیین^۱ (رابطه ۲) و ریشه مربعات خطا^۲ (رابطه ۳) انجام شد.

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

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (SSCi - \overline{SSC})^2}{\sum_{i=1}^n (SSCi - \overline{SSC})^2} \quad (3)$$

در این روابط:

$RMSE$ ، ریشه مربعات خطا، $SSCi$ ، غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای، $SSC'i$ ، غلظت رسوب معلق برآورد شده، \overline{SSC} متوسط غلظت رسوب برآورد شده، \overline{SSC} متوسط غلظت رسوب مشاهده‌ای و n ، تعداد مشاهدات می‌باشد. واحد اندازه گیری پارامترهای غلظت رسوبات معلق، میلی گرم در لیتر می‌باشد.

نتایج

به منظور استفاده از انعکاس تصاویر سنجنده مودیس در ایجاد رابطه با غلظت رسوب رودخانه‌ای در ابتدا ۷۳ تصویر از مجموعه تصاویر به دلیل شرایط ابری یا وجود ریزگردها از محاسبات کنار گذاشته شد و مجموعاً ۷۹ تصویر مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج حاصل از مدل سازی آماری

به منظور بررسی همبستگی میان داده‌های غلظت رسوبات معلق رودخانه کارون (در محل ایستگاه ملاثانی) و باندهای تصاویر انتخاب شده، نرمال بودن داده‌های غلظت بررسی و به دلیل عدم نرمال بودن آن‌ها داده‌ها به مبنای لگاریتم طبیعی تبدیل شدند. در بررسی انجام شده، ابتدا همبستگی بین تصاویر و داده‌های غلظت رسوبات معلق برای تمامی روزهای سال و برای کل دوره آماری (غلظت رسوب معلق از ۹۰۰-۲۰۰ میلی گرم) بطور همزمان انجام گرفت. نتایج نشان

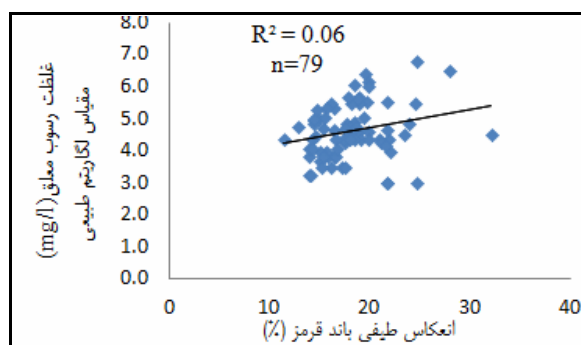
داد که میزان همبستگی داده‌ها بسیار کم می‌باشد (شکل ۴). بررسی‌های بعدی نشان داد که این همبستگی بیشتر تحت تاثیر غلظت‌های بالاتر رسوبات معلق است. در این رابطه، با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده که از فصل مرطوب به عنوان دوره آماری مناسب استفاده شده است، داده‌های غلظت رسوبات معلق روزانه و تصاویر ماهواره‌ای همزمان با آن، برای ۷ ماه سال (آبان تا اردیبهشت) به طور پیوسته و برای کل دوره آماری انتخاب شدند که نتایج آن نشان از همبستگی نسبتاً مناسب بین انعکاس طیفی آب در باند قرمز و غلظت رسوبات معلق رودخانه کارون در محل ایستگاه آب سنجی ملاثانی دارد (شکل ۵). در این رابطه تعداد ۳۶ نمونه غلظت رسوبات معلق که دامنه غلظت آن‌ها از ۶۰ تا حدود ۹۰۰ میلی گرم در لیتر متغیر بوده به همراه بازتاب طیفی تصاویر ماهواره‌ای همزمان با آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی بالغ بر ۷۲ درصد (ضریب تعیین $R^2 = 0.518$) می‌باشد. معنادار بودن همبستگی میان غلظت رسوبات معلق و بازتاب طیفی آب (باند قرمز) 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 ۱ درصد و به صورت دو دامنه انجام شده و در آن میزان Sig (پارامتر آزمون) از ۱ درصد کمتر بوده و معنای آن این است که فرض صفر (H_0) رد و فرض مقابل آن (H_1) تأیید می‌گردد. همانطور که در جدول ۲ مشخص شده است، ضریب همبستگی برای دوره مرطوب بالغ بر ۷۲ درصد با تعداد ۳۶ داده شامل بازتاب طیفی آب و غلظت رسوب معلق همزمان بوده است. نتیجه آنکه همبستگی معنا داری بین غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای با بازتاب طیفی آب وجود داشته که علت آن شانس نبوده است. پس از اطمینان از معنا دار بودن همبستگی، نوع رابطه رگرسیونی (خطی یا غیر خطی) میان غلظت رسوب معلق رودخانه و بازتاب طیفی آب مشخص گردید (جدول ۳). همانطور که در جدول ۳ مشخص شده است، مقدار Sig. برای همه رابطه‌ها از ۵ درصد کوچکتر است و در این شرایط مدلی که آماره F و R^2 بیشتری دارد برانده‌تر می‌باشد. با توجه به تفاوت جزئی در میزان R^2 بین روابط خطی و معادلات درجه ۲ و ۳ و با توجه به بزرگتر بودن شاخص F در رابطه خطی و به دلیل ساده‌تر بودن معادله خطی در مقایسه با معادلات درجه ۲ و ۳، رابطه خطی بعنوان بهترین الگوی رگرسیون میان بازتاب طیفی باند قرمز و غلظت رسوب معلق انتخاب شد.

رابطه نهائی رگرسیون برای دوره مرطوب سال برای ایستگاه ملاثانی در رابطه ۴ آمده است:

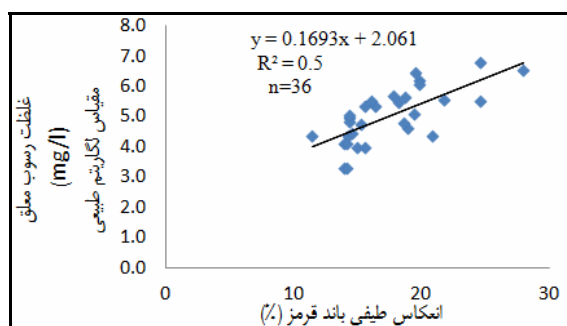
$$Y = 2.061 + 0.169X \quad (4)$$

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.

- 1- Coefficient of Determination (R^2)
- 2- Root Mean Square Error (RMSE)



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



شکل ۵- همبستگی میان باند قرمز و غلظت رسوب معلق (روزهای دوره مرطوب سال های ۱۳۸۲-۱۳۹۰)

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی میان باند قرمز (Band1_Ref) و غلظت رسوب معلق (SSC) برای دوره مرطوب دوره آماری سال های ۱۳۸۲-۱۳۹۰

| Correlations | | | |
|--------------|---------------------|-----------|--------|
| | | Band1_Ref | SSC |
| Band1_Ref | Pearson Correlation | 1 | .721** |
| | Sig. (2-tailed) | | .000 |
| | N | 36 | 36 |
| SSC | Pearson Correlation | .721** | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | |
| | N | 36 | 36 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس رگرسیون

Model Summary and Parameter Estimates

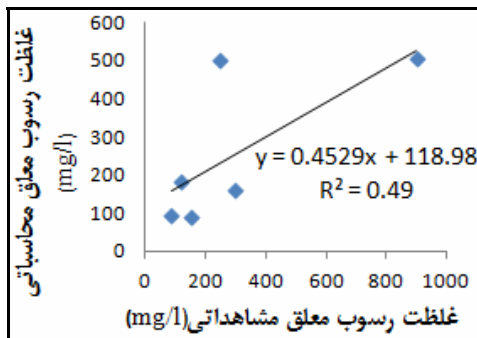
Dependent Variable: SSC

| Equation | Model Summary | | | | | Parameter Estimates | | | |
|-------------|---------------|-------|-----|-----|------|---------------------|------|-------|-----------|
| | R Square | F | df1 | df2 | Sig. | Constant | b1 | b2 | b3 |
| Linear | .51 | 28.77 | 1 | 28 | .000 | 2.058 | .169 | | |
| Quadratic | .52 | 14.56 | 2 | 27 | .000 | .089 | .384 | -.006 | |
| Cubic | .52 | 14.57 | 2 | 27 | .000 | .741 | .278 | .000 | -9.5E-005 |
| Power | .48 | 26.04 | 1 | 28 | .000 | .838 | .625 | | |
| Exponential | .47 | 24.52 | 1 | 28 | .000 | 2.754 | .033 | | |

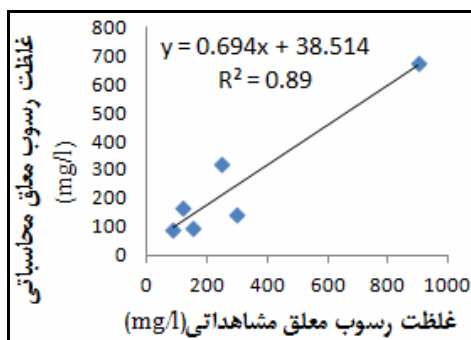
The independent variable is Band1_Ref.

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل های رگرسیونی و شبکه عصبی در تخمین غلظت رسوب معلق با استفاده از داده های آزمون

| نام مدل | ضریب تعیین (R^2) | شاخص RMSE (میلی گرم در لیتر) |
|-------------|----------------------|------------------------------|
| رگرسیون خطی | ۰/۴۹ | ۲۰۴ |
| شبکه عصبی | ۰/۸۹ | ۱۲۲ |



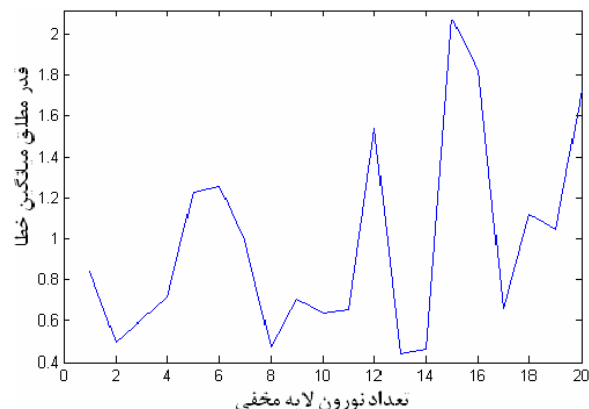
شکل ۷- نمودار پراکنش برای مدل رگرسیون



شکل ۸- نمودار پراکنش برای شبکه عصبی مصنوعی

نتایج حاصل از مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی

در معماری شبکه عصبی از یک شبکه عصبی سه لایه (یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی) پیشخور با الگوریتم آموزش پس انتشار خطا^۱ با تابع آموزشی Trainlm استفاده شد. همچنین با توجه به نتایج گرفته شده از آزمون و خطا، نوع تابع محرک، لوگ سیگموئید و تعداد نرون های لایه پنهان با استفاده از برنامه نوشته شده در محیط نرم افزار MATLAB تعداد ۱۳ عدد محاسبه گردید. نتایج این مرحله در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- مقادیر قدر مطلق میانگین خطا (بین داده های شبیه سازی شده و مشاهداتی) به ازاء تعداد نرون بکار رفته در شبکه عصبی

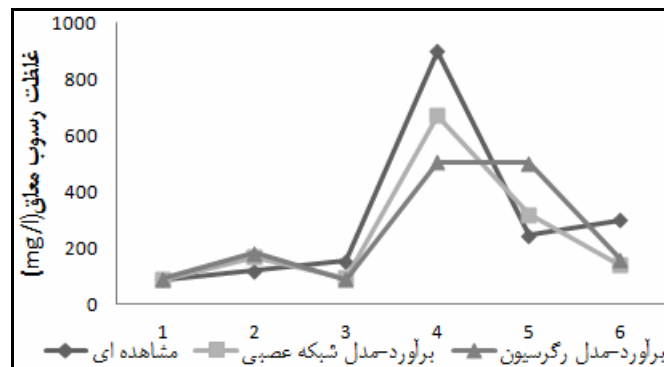
همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، به ازاء ۱۳ عدد نرون در لایه پنهان، مقدار قدر مطلق میانگین خطا در کمترین مقدار خود (۰/۴۴) می باشد. مقدار ضریب تعیین شبکه عصبی (R^2) ۰/۷۳ و ضریب همبستگی (R) آن ۰/۸۶ محاسبه گردید.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در یک دوره زمانی ۹ ساله (سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۰)، همبستگی میان بازتاب طیفی باندهای قرمز و مادون قرمز تصاویر و غلظت رسوبات معلق رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج گرفته شده نشان داد در فصول مرطوب، همبستگی مناسبی بین انعکاسات باندها و غلظت رسوب معلق رودخانه ای وجود دارد. در این رابطه، ارزیابی مدل های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی ساخته شده (میان بازتاب طیفی تصاویر و غلظت رسوبات معلق) نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی کارایی بیشتری در مقایسه با مدل رگرسیونی داشته است. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات ونگ (۲۰ و ۲۱)، رودریگز (۱۶)، میلر (۱۲) و سایرین مطابقت می نماید (جدول ۵).

ارزیابی مدل های آماری و شبکه عصبی مصنوعی

به منظور ارزیابی کارایی مدل های مذکور از داده های آزمون (۲۰ درصد داده ها) استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. نتایج ارزیابی مدل ها نشان می دهد شاخص های ضریب تعیین و ریشه مربعات خطا در مدل شبکه عصبی از کارایی بالاتری برخوردار است. در شکل های ۷ و ۸، نمودار پراکنش برای دو مدل در هنگام ارزیابی نمایش داده شده و همانطور که مشاهده می شود در مدل شبکه عصبی مصنوعی خط رگرسیون برازش بهتری به داده ها داشته است. در شکل ۹ مقدار غلظت رسوب معلق مشاهده ای و محاسباتی توسط هر دو مدل با یکدیگر مقایسه شده اند. همانطور که دیده می شود شبکه عصبی مصنوعی توانسته روند و مقادیر حدی را بهتر از مدل رگرسیون برآورد نماید.



شکل ۹- مقایسه مقادیر غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای و محاسبه شده به وسیله مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۵- مقایسه نتایج برخی از تحقیقات انجام شده با تحقیق حاضر در زمینه برآورد غلظت رسوب معلق

| مقیاس | محل تحقیق | نوع تصویر | نوع مدل | تعداد نمونه | دامنه غلظت رسوب معلق (mg/l) | ضریب تعیین (R ²) | معیار ارزیابی |
|--------------|---------------|------------------|---------------|-------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|
| ونگ (۲۰) | رودخانه زرد | مودیس | رگرسیون-نمائی | ۳۵ | ۴۵-۹۰۹ | ۰/۷۸ | RMSE=96 (mg/l) |
| ونگ (۲۱) | رودخانه زرد | ETM ⁺ | رگرسیون-خطی | ۲۴ | ۲۲-۲۶۱۰ | ۰/۸۸ | MAE=96 (mg/l) |
| رودریگز (۱۶) | خلیج Mayaguez | مودیس | رگرسیون-خطی | ۷۲ | ۲/۵-۲۵ | ۰/۷۳ | RMSE=6.2 (mg/l) |
| میلر (۱۲) | خلیج مکزیک | مودیس | رگرسیون-خطی | ۵۲ | ۰-۴۴ | ۰/۸۹ | MSE=4.7 (mg/l) |
| تحقیق حاضر | رودخانه کارون | مودیس | رگرسیون-خطی | ۳۶ | ۶۰-۹۰۰ | ۰/۴۹ | RMSE=204 (mg/l) |
| تحقیق حاضر | رودخانه کارون | مودیس | شبکه عصبی | ۳۶ | ۶۰-۹۰۰ | ۰/۸۹ | RMSE=122 (mg/l) |

داری میان داده‌ها، زمانی که برای تمامی فصول سال در نظر گرفته می‌شوند وجود نداشته ولی با محدود کردن آن‌ها به یک دوره مرطوب 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. 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، همبستگی بالاتری میان غلظت رسوب معلق و انعکاس طیفی آب بوجود می‌آید. همانطور که در نتایج تحقیق بیان شد این غلظت در دوره مرطوب از ۶۰ میلی‌گرم به بعد شروع می‌گردد، در حالیکه کمترین غلظت برای کل دوره آماری ۲۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. از دیگر نکات قابل ذکر، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی غلظت رسوب معلق می‌باشد. نتایج این تحقیق رجحان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی را در تخمین غلظت رسوبات معلق نسبت به مدل‌های رگرسیونی نشان داد.

در ارتباط با ایجاد روابط 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، انعکاس سلول تصویر مخلوطی از انعکاس آب و اراضی حاشیه رودخانه بوده و بنابراین این نمی‌تواند انعکاس خالص آب باشد. همچنین عمق رودخانه در محل نمونه برداری از تصویر بایستی بقدر کافی عمیق باشد تا انعکاس کف رودخانه به حداقل برسد. در این زمینه بر طبق تحقیق انجام شده توسط مورنو- مادرین و همکاران (۱۳) حداقل عمق رودخانه بایستی از ۲/۴ متر بیشتر باشد. البته این مسئله به میزان غلظت رسوب معلق آب و طول موج نور نیز بستگی داشته و نمی‌توان آن را برای تمامی رودخانه‌ها بکار برد. عمق پیشنهاد شده در آب‌هائی با غلظت ۴-۸۴ میلی‌گرم 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 معنا

از اساتید دانشکده منابع طبیعی ساری و همچنین مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور بخاطر مساعدت و فراهم نمودن امکانات لازم و مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد. از آقای دکتر عراقی نژاد، استادیار گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران بخاطر همکاری در قسمت شبکه عصبی تشکر و قدردانی می‌شود.

با توجه به نتایج گرفته شده از تحقیق حاضر و همچنین تحقیقات مشابه انجام شده، تصاویر روزانه سنجنده مودیس به همراه شبکه عصبی مصنوعی دارای کارایی مناسبی جهت برآورد غلظت رسوبات آب بوده و لذا می‌توانند در برآورد و پایش غلظت رسوبات معلق روزانه رودخانه‌های بزرگ کشور و خلیج‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

سپاسگزاری

منابع

- ۱- اکبرپور ا. خ. و افتخار ح. ۱۳۸۵. مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون در پیش بینی آورد رسوب در حوضه اهرچای آذربایجان شرقی. اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب
- ۲- علوی پناه ک. ۱۳۸۷. کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاکشناسی رقومی). موسسه انتشارات دانشگاه تهران
- ۳- وزارت نیرو، سازمان آب و برق خوزستان. ۱۳۸۵. گزارش طرح تعیین حریم و بستر رودخانه‌های کارون، اروند و بهمنشیر، مطالعات هیدرولیک رودخانه و فرسایش و رسوب (قسمت اول).
- ۴- ولی ع.ع. ۱۳۸۸. تحلیل مقایسه عملکرد شبکه های عصبی مصنوعی و مدل های رگرسیونی پیش بینی رسوب معلق. مطالعه موردی حوضه آبخیز اسکندری واقع در حوضه آبریز زاینده رود.
- 5-Doxaran D., Froidefond J.M., Castaing P., and Babin M. 2009. Dynamics of the turbidity maximum zone in a macrotidal estuary (the Gironde, France): observations from field and MODIS satellite data. *Estuar Coast Shelf Sci* 2009; 81:321-32.
- 6-Eisma D. 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in Estuaries. *Neth. J. Sea Res.* 1986, 20, 183-199.
- 7-Flood I., and Kartman N. 1996. Neural network in civil engineering principles and understanding. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 8(2):131-148.
- 8-Froidefond J.M., Casting P., and Mirmand M. 1991. Analysis of the turbid plume of the Gironde (France) based on SPOT radiometric data. *Remote Sensing of Environment* 36: 149-163.
- 9-Goodin D.G., Han L., Fraser R.A., Rundquist D.C., Stebbins W.A., and Schalles J.F. 1993. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59:505-510
- 10-Govindaraju R.S. 2000. ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN HYDROLOGY. I: PRELIMINARY CONCEPT. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 5, No. 2, April, 2000.
- 11-Lopez L., Efolliott F.P., and Baker B.M. 2001. Impacts of Vegetative Practices on Suspended Sediment from Watershed of Arizona. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 127(1), 41-47
- 12-Miller R.L., and McKee B.A. 2004. Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 93: 259-266.
- 13- Moreno-Madrinan M. J., Al-Hamdan M. Z., Rickman D. L., Muller-Karger F. E. Using the Surface Reflectance MODIS Terra Product to Estimate Turbidity in Tampa Bay, Florida. *Remote Sensing*. 2010; 2(12):2713-2728
- 14-Nakto T. 1990. Test of Selected-Transport Formula. *J. Hydrol. Eng.*, 116(3), 362-379.
- 15-Ritchie J.C., and Schiebe F.R. 2000. Water quality. In *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*, Schultz GA, Engman ET (eds). Springer-Verlag: Berlin; 287-303, 351-352.
- 16-Rodríguez-Guzmán V., and Gilbes-Santaella F. 2009. Using MODIS 250 m imagery to estimate Total Suspended Sediment in a tropical open bay. *Int. J. Syst. Appl. Eng. Devel.* 2009, 3, 36-44.
- 17-Sarangi A., and Bhattacharya A.K. 2005. Comparison of artificial neural network and regression models for sediment loss prediction from Banha watershed in India. *Water technology Center, IARI, Pusa Campus, New Dehli* 110012, India.
- 18-Shen F., and Suhyb Salamab M.H.D. 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* Volume 31, Issue 10, pages 2639-2654.
- 19-Walling D.E., and Webb W.B. 1998. The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments, Sediment budgets, in: IAHS Publication No 174, edited by: Boardas, M. P. and Walling, D. E., IAHS Press, Wallingford, 337 & ndash; 350, 1988

- 20-Wang J., and Lu X. 2009. Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China. *Journal of Science of the Total Environment* STOTEN-11703; No of Pages 8, available at: www.elsevier.com/locate/scitotenv
- 21-Wang J.J., Lu X.X., Liew S.C., and Zhou Y. 2009. Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers using Landsat ETM+: an example from the Yangtze River, China. *Earth Surf Proc Land* 2009;34:1082–92.
- 22-Xingwei J., and Tang J. 2009. Application of MODIS data in monitoring suspended sediment of Taihu Lake, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* Volume 27, Number 3, 614-620

An Artificial Neural Network Model for Estimating Fluvial Suspended Sediment Concentration Using MODIS Sensor Images (Case Study: Mollasani Hydrometric Station, Khuzestan Province)

M.R. Tabatabaei^{1*} - K. Shahedi² - K. Soleimani³

Received: 02-10-2012

Accepted: 10-03-2013

Abstract

The estimation of suspended sediment load is very important for water resources quantity and quality studies. The suspended sediment load is generally calculated by direct measurement of suspended sediment concentration (SSC) of a river or by using sediment rating curve (SRC) method. Direct measurement of the SSC is the most reliable but it is very expensive and time consuming. Also, the efficiency of the SRC method is low because it can substantially underpredict the high and overpredict the low loads. In this research, in order to consider the possibility of estimating the fluvial SSC, using reflectance of satellite images, the correlation between red and infrared bands of MODIS sensor and SSC of Karoun river at Mollasani station for a period of 9 years (2003-2011) was considered. In this relation, two models (statistical simple linear regression and feed forward back propagation ANN) were used. The evaluation of models results showed that the efficiency of ANN model with having $R^2 = 0.89$ and $RMSE = 122 \text{ mg/l}$ was better than the regression relation with $R^2 = 0.49$ and $RMSE = 204 \text{ mg/l}$. The research results showed that MODIS sensor images and ANN can be used together to estimate fluvial daily SSC in large rivers.

Keywords: ANN, Karoun River, MODIS, Suspended Sediment Concentration, SSC

1- PhD Candidate, Department of Watershed Management, University of Sari, and Research Instructor of Soil Conservation & Watershed Management Research Institute

(*-Corresponding Author Email: Tabatabari@Scwmri.ac.ir)

2 - Assistant Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural and Natural Resource University, Sari, Iran

3 - Professor of GIS &RS Center, Faculty of Natural Resources, University of Sari, Iran