

برآورد غلظت کل مواد جامد محلول و کدورت آب سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ با استفاده از

تصاویر ماهواره Sentinel-2

مصطفی کابلی زاده

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

کاظم رنگزن

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

محسن رشیدیان

دانشکده عمران و نقشه برداری، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول

حسین دلفان

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰

kazemrangzan@scu.ac.ir

چکیده

سنجش از دور از جمله فناوری‌های نوینی است که می‌تواند با صرف هزینه اندک، اطلاعات پیوسته‌ای از نظر زمان و مکان تغییرات پارامترهای کیفیت آب در منابع آب سطحی برآورد نماید، بنابراین این مطالعه با هدف برآورد غلظت پارامترهای کیفیت آب TDS و Turbidity در سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ با استفاده از تصاویر برداشت شده به وسیله ماهواره سنتینل-۲ انجام گرفت. ابتدا با انجام پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر ماهواره مذکور، شاخص‌های طیفی مناسبی از آن‌ها استخراج گردید و سپس با به کارگیری مدل شبکه عصبی، روابطی پهنه میان آن‌ها و مقادیر هر کدام از پارامترهای TDS و Turbidity برقرار شد. جهت ارزیابی دقت مدل‌سازی‌های انجام شده شاخص‌های RMSE و خطای نسبی استفاده گردید و مقادیر هر کدام از آن‌ها برای مدل‌سازی میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامتر TDS به ترتیب برابر با (ppm) ۱۰۵/۴۸ و ۰/۰۸۸ و برای مدل‌سازی میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامتر Turbidity برابر با (N.T.U) ۳/۱ و ۰/۱۱۰ به دست آمد. در نهایت با اعمال مدل‌های تهیه شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ که در سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ برداشت شده بودند، نقشه پراکندگی پارامترهای کیفیت آب ذکر شده در چهار زمان برای سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ در مقطع ملاتانی تا ایستگاه هیدرومتری فارسیات در جنوب اهواز تهیه گردید.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، سنتینل-۲، سد کرخه، سد دز، کارون بزرگ

مقدمه

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه پایش کیفیت آب با استفاده از سنجش از دور صورت گرفته است که می‌توان از میان آن‌ها به چندین تحقیق اشاره نمود. تحقیق انجام شده توسط عقیقی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره نمود. در این تحقیق تحت عنوان برآورد مقدار کدورت آب خلیج گرگان، از تصاویر سنجنده LISS-III ماهواره IRS استفاده شده است. هم‌زمان با تصویربرداری ماهواره از سطح خلیج گرگان، به صورت سیستماتیک تصادفی اقدام به نمونه‌برداری زمینی از سطح منطقه موردنظر نموده و سپس یک مدل آماری ریاضی بین داده‌های رادیانس تصویر سنجنده LISS-III و نمونه‌های زمینی به دست آورده است. مدل به دست آمده دارای ضریب تبیین $R^2=0.77$ بوده و بیان شده که این مقدار نشان‌دهنده ارتباط قوی بین مقدار SecchiDepth و رادیانس رسیده به سنجنده است. در نهایت این محقق به این نتیجه رسیده است که مدل به دست آمده می‌تواند کارایی زیادی برای برآورد رسوب در سطح خلیج گرگان داشته باشد. در مطالعه‌ای دیگر فتاحی مقدم (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی قابلیت

با توجه به اهمیت مطالعه مستمر پهنه‌های آبی، شروع استفاده از فناوری سنجش از دور در زمینه پایش کیفی منابع آب سطحی مربوط به سال ۱۹۷۸ می‌باشد که در این تاریخ ماهواره CZCS شروع بکار کرده بود؛ در آن زمان به دلیل اینکه ماهواره مذکور قدرت تفکیک مکانی پایینی داشت، مناسب مطالعه پهنه‌های آبی با مقیاس متوسط و کوچک نبود (Gursory et al., 2015)؛ اما به مرور زمان پیشرفت‌های زیادی در رابطه با قدرت تفکیک مکانی^۱، زمانی^۲، طیفی^۳ و رادیومتری^۴ سنجنده‌ها صورت گرفته و ماهواره‌هایی با ویژگی‌های متفاوت توسط آژانس‌های هوایی و کشورهای مختلف تولید شده و شروع بکار کرده‌اند؛ به طوری که امروزه این فناوری تبدیل به ابزاری مفید و قوی شده است (Trivero et al., 2013) و با به کارگیری آن در پایش پیوسته منابع آب سطحی، می‌توان با صرف کمترین هزینه و با سرعت بالا و دقت قابل قبول، اطلاعات مناسبی از وضعیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پارامترهای کیفیت آب به دست آورد (Bonansea et al., 2015; Chawira et al., 2013).

- 1- Coastal Zone Color Scanner
- 2- Spatial Resolution
- 3- Temporal Resolution
- 4- Spectral Resolution
- 5- Radiometric Resolution

داده ها و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی در نظر گرفته شده در این تحقیق، سه منبع آبی مهم در استان خوزستان یعنی سدهای کرخه، دز و رودخانه کارون بزرگ است که این منابع آب مورد نیاز بخش‌های زیادی را مانند مصارف صنعتی، شهری، کشاورزی و زیست محیطی در سطح استان خوزستان تأمین می‌کنند (شکل ۱). سدهای کرخه و دز که در بالادست استان خوزستان قرار دارند، حجم زیادی از آب را ذخیره نموده و از نظر وضعیت کیفی دارای شرایط مناسبی هستند (سازمان آب و برق خوزستان)؛ اما رودخانه کارون بزرگ که از اتصال رودخانه‌های دز در پایین دست سد دز و رودخانه کارون در محل بند قیر به وجود می‌آید، در طی چند سال اخیر به دلیل کاهش دبی و عبور از سازندهای تخریبی واقع در مسیر خود (فتاحی مقدم، ۱۳۹۰) و همچنین ورود کنترل نشده فاضلاب‌های صنعتی، شهری و از همه مهم‌تر ورود زه آب‌های اراضی زراعی، وضعیت کیفی آن کاهش یافته و باعث شده که در حالت نامطلوبی قرار بگیرد (Bagherian et al., 2014).

داده های مورد استفاده

داده‌های زمینی

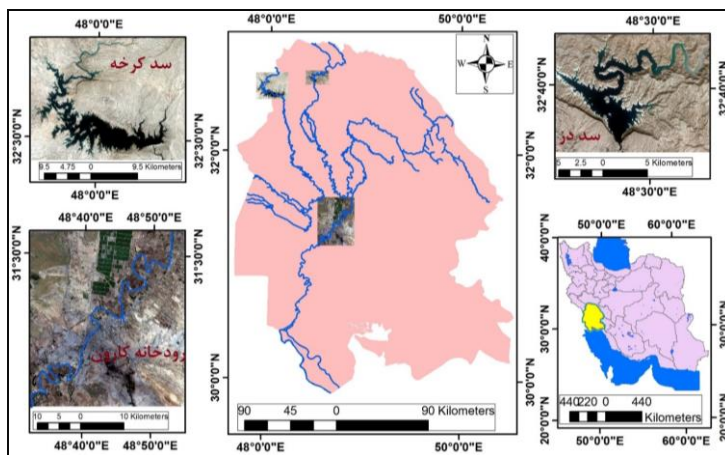
داده‌های زمینی مورد استفاده در این تحقیق که شامل اطلاعات مربوط به پارامترهای کل مواد جامد محلول (TDS) و کدورت (Turbidity) آب می‌باشند، در محل ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری کیفیت آب، توسط سازمان آب و برق خوزستان به صورت ماهانه در سطح رودخانه‌های کرخه، دز، کارون و کارون بزرگ برداشت شده‌اند (جدول ۱). دو پارامتر TDS و Turbidity از پارامترهای مهم کیفیت آب هستند که نقش مهمی در تعیین میزان کیفیت آب دارند. کدورت یکی از مشخصات مهم آب و پساب‌ها محسوب می‌شود و مقدار آن متناسب با ذرات کلوئیدی درشت و یا معلق بسیار ریز است که به طرق معمول ته‌نشین یا صاف نمی‌شوند (معصومی و محمدی، ۱۳۹۱).

این پارامتر که به عنوان خاصیت ظاهری آب محسوب می‌گردد، میزان شفافیت آب را مشخص نموده و موجب پراکنده شدن یا جذب نور تابیده شده به آن می‌گردد (معصومی و محمدی، ۱۳۹۱). TDS معادل با کل مواد جامد محلول در آب یا غلظت املاح آب است که برابر مجموع غلظت همه یون‌های موجود در آب است و با افزایش مقدار آن، هدایت الکتریکی (EC) نیز افزایش پیدا می‌کند (چالکش امیری، ۱۳۹۲). همچنین در این مطالعه به منظور انجام آنالیز و پردازش بر روی تصاویر ماهواره از نرم‌افزارهای SNAP، ENVI۵/۳، ArcGIS۱۰/۳، MATLAB۲۰۱۳، Google Earth و Office استفاده شد.

سنجنده‌های پریون، دستگاه فیلداسپیک ۳ و داده‌های زمینی برای برآورد پارامترهای کیفیت آب در رودخانه کارون مقطع شهر اهواز پرداخته‌است. ایشان با استفاده از آنالیز همبستگی بین داده‌های تصویر و داده‌های زمینی، باندهای مناسب را تشخیص داده و با بکارگیری روش رگرسیون چند متغیره ارتباط میان داده‌های تصویر و داده‌های زمینی را به دست آوردند؛ به طوری که دقت مدل‌سازی انجام شده را برابر با $R^2=0/84$ و $RMSE=0/03$ و $R^2=0/86$ ، $RMSE=(m)$ و $RMSE=(N.T.U)$ $0/13$ و $R^2=0/89$ ، $RMSE=(ml/m^3)$ $0/37$ به ترتیب برای SDD و کدورت و کلروفیل-a آب رودخانه برآورد شد و در نهایت با به‌کارگیری نتایج حاصل از مدل‌سازی صورت گرفته، نقشه‌های توزیع مکانی برای هر پارامتر را تهیه گردید. Gursory و همکاران (۲۰۱۵) در رودخانه‌ای در ترکیه هم‌زمان با تصویربرداری ماهواره فرا طیفی CHRISProba از سطح رودخانه، با استفاده از دستگاه اسپکتروادیومتر اقدام به نمونه‌برداری از چندین نقطه از سطح آب نموده و سپس طیف‌های زمینی برداشت شده با دستگاه اسپکتروادیومتر را مبنای کار خود قرار داده و بر اساس مشخصه‌های طیفی این طیف‌ها، اقدام به طبقه‌بندی تصاویر برداشت شده از رودخانه بر اساس پارامترهای COD، Turbidity و EC نمودند.

JiamingLiu و همکاران (۲۰۱۵) جهت محاسبه میزان Total Nitrogen و Total Phosphorus رودخانه WRT river در شهر Wenzhou و دریاچه Cihu در شهر Huangshi در چین، از تصاویر ماهواره آیکونوس استفاده نمودند. ایشان با به‌کارگیری روش رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی، جهت پیدا کردن ارتباط میان داده‌های تصویر و نمونه‌های زمینی از منطقه مورد مطالعه، دو مدل به دست آورده و چون مدل ANN دارای $R^2>0/86$ و $RMSE<0/89$ بوده و مدل رگرسیون چند متغیره دارای $R^2>0/85$ و $RMSE<2/5$ بود، نتیجه گرفتند که مدل شبکه عصبی دارای دقت بهتری بوده و می‌توان از آن، جهت بررسی تغییرات دو پارامتر کیفیت آب ذکر شده در سطح منطقه مورد مطالعه استفاده کنند. Zolfaghari و Duguay (۲۰۱۶) ضمن توسعه مدل تصحیح LME ماهواره MERIS، با برقراری ارتباط میان $\log_{10}chl-a$ و نسبت باندهای B07/B09 با خطای مدل‌سازی $RMSE=0/31$ و $MBE=0/18$ و $\log_{10}SDD$ و نسبت باندهای B06/B04 با خطای مدل‌سازی $RMSE=0/19$ و $MBE=0/06$ ، نقشه وضعیت کیفی آب دو پارامتر مذکور را برای دریاچه Erie واقع در مرز کانادا و آمریکا را تهیه نمودند.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که با بهره‌گیری فناوری سنجش از دور در کنار قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان امر پایش منابع آبی را با سهولت و دقت بالایی انجام داد، اما تاکنون مطالعات داخلی توجه چندانی به برآورد کیفیت آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نکرده‌اند، در صورتی که مطالعات خارجی انجام گرفته در سال‌های اخیر نشان دادند که این تصاویر در تعیین کیفیت آب می‌توانند بسیار مفید واقع شوند؛ بنابراین این مطالعه با هدف بررسی وضعیت کل مواد جامد محلول (TDS) و کدورت (Turbidity) آب سدهای کرخه، دز و رودخانه کارون بزرگ در مقطع ملاتانی تا فارسیات در جنوب اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره سنیتل-۲ انجام گرفت. بدین منظور با به‌کارگیری تصاویر ماهواره مذکور و مقادیر نمونه‌های کیفیت آب پارامترهای کدورت و غلظت کل مواد محلول در مناطق مورد مطالعه، ارتباط بهینه میان آن‌ها برقرار می‌گردد و سپس با استفاده از روابط به دست آمده نقشه وضعیت هر کدام از پارامترهای در نظر گرفته شده برای منابع آبی ذکر شده تهیه می‌گردد.



شکل ۱- موقعیت مکانی مناطق مورد مطالعه جهت بررسی کیفیت آب در استان خوزستان.

جدول ۱- تاریخ برداشت و میزان پارامترهای کیفیت آب TDS و Turbidity در ایستگاه‌های نمونه برداری کیفیت آب.

ایستگاه پل زال	تاریخ	۱۳۹۴/۶/۹	۱۳۹۴/۱۰/۲	۱۳۹۴/۱۱/۴	۱۳۹۴/۱۲/۵	۱۳۹۵/۱/۱۶
	TDS	۳۸۷	۴۲۱	۵۳۵	۳۷۳	۱۸۲
X=223682 Y=3633555	Turbidity	۴	۱	۲۳	۲۸	۳۸
ایستگاه تله زنگ	تاریخ	۱۳۹۴/۵/۲۵	۱۳۹۴/۶/۲۵	۱۳۹۴/۱۰/۲۴	۱۳۹۴/۱۱/۲۴	۱۳۹۵/۱/۲۴
	TDS	۴۴۲	۴۹۳	۲۸۴	۲۸۶	۱۴۷
X=291031 Y=3633752	Turbidity	۲۸	۲۲	۱۷	۵۷	۶۸
ایستگاه دزفول	تاریخ	۱۳۹۴/۵/۲۳	۱۳۹۴/۶/۲۳	۱۳۹۴/۱۰/۲۲	۱۳۹۴/۱۱/۲۲	۱۳۹۵/۱/۲۲
	TDS	۲۱۹	۳۱۱	۲۵۶	۲۶۷	۲۵۱
X=254996 Y=3586731	Turbidity	۱	۲	۳	۱	۱
ایستگاه حرمله	تاریخ	۱۳۹۴/۹/۹	۱۳۹۴/۱۱/۲۰	۱۳۹۵/۳/۱۷	۱۳۹۵/۴/۸	۱۳۹۵/۶/۱۵
	TDS	۵۴۷	۵۵۶	۹۹۴	۸۳۱	۱۱۵۵
X=269536 Y=3537195	Turbidity	۵۱	۳	۲۶	۳۲	۶۱
ایستگاه بامدژ	تاریخ	۱۳۹۵/۷/۸	۱۳۹۵/۶/۱۷	۱۳۹۵/۷/۱۵	۱۳۹۵/۸/۲۵	۱۳۹۵/۹/۱۵
	TDS	۶۵۴	۱۳۰۸	۹۰۲	۱۳۲۷	۸۳۵/۲
X=281202 Y=3510532	Turbidity	۵۵	۴۰	۷	۷۸	۳۱
ایستگاه گتوند	تاریخ	۱۳۹۴/۹/۱۰	۱۳۹۴/۱۰/۲۰	۱۳۹۴/۱۱/۱۲	۱۳۹۵/۱/۲۴	۱۳۹۵/۵/۵
	TDS	۱۰۶۸	۱۰۵۶	۹۷۹	۷۷۵	۵۸۶
X=295897 Y=3571303	Turbidity	۳	۹	۱	۱۱	۱
ایستگاه شوشتر	تاریخ	۱۳۹۴/۱۱/۱۰	۱۳۹۵/۱/۲۳	۱۳۹۵/۴/۶	۱۳۹۵/۵/۶	۱۳۹۵/۶/۱۴
	TDS	۱۴۳۶	۱۱۲۳	۷۷۶	۶۴۷	۶۴۲
X=297121 Y=3546050	Turbidity	۶	۱۴	۴۷	۳	۵
ایستگاه ولی آباد	تاریخ	۱۳۹۴/۱۱/۱۰	۱۳۹۵/۵/۶	۱۳۹۵/۶/۱۴	۱۳۹۵/۷/۲۸	۱۳۹۵/۹/۱۵
	TDS	۲۲۵۵	۱۹۳۶	۱۵۸۰	۱۷۷۹	۱۸۸۹/۴
X=303309 Y=3509833	Turbidity	۵۶	۱۱۳	۷۱	۳۵	۸۹
ایستگاه ملاتانی	تاریخ	۱۳۹۴/۱۰/۹	۱۳۹۵/۵/۱۷	۱۳۹۵/۶/۱۴	۱۳۹۵/۸/۲۴	۱۳۹۵/۱۰/۱۳
	TDS	۱۳۸۲	۱۱۶۸	۱۱۳۴	۱۰۳۳	۱۰۶۳
X=298807 Y=3496192	Turbidity	۳۶	۴۲	۴۳	۵	۵۳
ایستگاه اهواز	تاریخ	۱۳۹۴/۹/۱۰	۱۳۹۵/۶/۱۵	۱۳۹۵/۷/۱۲	۱۳۹۵/۸/۲۶	۱۳۹۵/۱۰/۱۴
	TDS	۱۲۸۶	۱۳۵۰	۱۵۸۷	۱۱۲۵	۱۱۲۳
X=280764 Y=3469651	Turbidity	۵۲	۱۵	۴۰	۹	۳۴
ایستگاه کوت امیر	تاریخ	۱۳۹۴/۷/۷	۱۳۹۴/۹/۹	۱۳۹۴/۱۱/۷	۱۳۹۴/۱۱/۲۴	۱۳۹۵/۶/۱۶
	TDS	۱۶۱۹	۱۳۶۹	۱۱۷۴	۱۵۲۹	۱۲۸۶
X=271847 Y=3457873	Turbidity	۶۰	۸۱	۲۸	۲۱	۵۳
ایستگاه دارخوین	تاریخ	۱۳۹۴/۷/۱۱	۱۳۹۴/۹/۸	۱۳۹۵/۲/۱۱	۱۳۹۴/۱۱/۹	۱۳۹۵/۶/۶
	TDS	۱۹۷۷	۱۵۳۶	۱۳۴۴	۷۴۶	۱۷۴۷
X=253700 Y=3404831	Turbidity	۱۲	۲۹	۶۹	۹۴	۱۱

تصاویر ماهواره‌ای

سنتینل-۲ که یک ماهواره اپتیک است، توسط سازمان فضایی اروپا با سه هدف اصلی: (۱) ارائه تصاویر چند طیفی با پوشش جهانی و دارای توان تفکیک مکانی و زمانی بالا، (۲) ارائه تصاویری که مکمل داده‌های تصویری ماهواره‌های Landsat و SPOT باشد و آن‌ها را بهبود بخشد، (۳) جمع‌آوری اطلاعات برای نسل بعدی محصولات از قبیل نقشه‌های پوششی زمین، نقشه تغییرات زمین و متغیرهای ژئوفیزیکی به فضا پرتاب شده است (عزت‌آبادی‌پور، ۱۳۹۵). سنجنده حمل شده توسط این ماهواره دارای ۱۳ باند تصویربرداری در محدوده مرئی تا مادون قرمز میانی است (Du et al., 2016). سنتینل ۲- یک ماهواره دوقلو

است که اگر هر دو ماهواره به‌طور هم زمان تصویربرداری کنند، می‌توانند در طول ۵ روز از کل زمین یک پوشش کامل تهیه نمایند. (Baillarian et al., 2012). در این مطالعه از ۱۴ تصویر ماهواره‌ای که تاریخ برداشت آن‌ها هم‌زمان با تاریخ اندازه‌گیری بود، استفاده شد (جدول ۲). این تصاویر در سطح LIC ارائه شده و از نظر خطای هندسی به دلیل زمین مرجع بودن، فاقد خطا بوده و چون انعکاس آن‌ها در سطح بالای اتمسفر است، باید با اعمال تصحیح اتمسفریک بر روی آن‌ها، انعکاس آن‌ها به‌صورت انعکاس زمینی تبدیل گردد (Egbers, 2016) که مشخصات کامل ماهواره در (جدول ۳) آمده است.

جدول ۲- زمان برداشت تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش حاضر.

سال	ماه	روز	سال	ماه	روز
۱۳۹۴	۶	۲۳	۱۳۹۵	۷	۷
۱۳۹۴	۷	۸	۱۳۹۵	۷	۲۷
۱۳۹۴	۱۱	۱۲	۱۳۹۵	۹	۱۷
۱۳۹۴	۱۲	۲۷	۱۳۹۵	۹	۲۷
۱۳۹۵	۳	۵	۱۳۹۵	۱۰	۱۴
۱۳۹۵	۴	۲۳	۱۳۹۵	۱۰	۲۷
۱۳۹۵	۵	۹	۱۳۹۵	۱۲	۱۴

جدول ۳- مشخصات باندهای تصویربرداری ماهواره Sentinel-2 (Main-Knorn et al, 2015).

اهداف	پهنای باند (نانومتر)	مرکز طول موج (نانومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)	شماره باند
بررسی هواویزها	۲۰	۴۴۳	۶۰	B01
آبی	۶۵	۴۹۰	۱۰	B02
سبز	۳۵	۵۶۰	۱۰	B03
قرمز	۳۰	۶۶۵	۱۰	B04
طبقه‌بندی پوشش گیاهی	۱۵	۷۰۵	۲۰	B05
طبقه‌بندی پوشش گیاهی	۱۵	۷۴۰	۲۰	B06
طبقه‌بندی پوشش گیاهی	۲۰	۷۸۳	۲۰	B07
مادون قرمز نزدیک	۱۱۵	۸۴۲	۱۰	B08
طبقه‌بندی پوشش گیاهی	۲۰	۸۶۵	۲۰	B08A
بخار آب	۲۰	۹۴۵	۶۰	B09
ابر	۳۰	۱۳۷۵	۶۰	B10
تفکیک و جداسازی برف، یخ و ابر	۹۰	۱۶۱۰	۲۰	B11
تفکیک و جداسازی برف، یخ و ابر	۱۸۰	۲۱۹۰	۲۰	B12

پیکسل تمامی باندهای تصاویر بکار گرفته شده یکسان می‌گردد (Egbers, 2016).

گام دوم؛ ثبت انعکاس تک باند و آنالیز همبستگی اولیه

در این قسمت ابتدا با استفاده از یک فیلتر مکانی ۳*۳ میانگین انعکاسی برای هر باند محاسبه شده (Su and Chou, 2015) و سپس با به‌کارگیری روش رگرسیون چند متغیره، همبستگی مقادیر محاسبه شده بر روی هر باند با میزان پارامترهای کیفیت آب زمینی به تفکیک بررسی می‌گردد. با این عملیات باندهای دارای بیشترین همبستگی با هر کدام از پارامترهای TDS و Turbidity مشخص می‌گردد.

گام سوم؛ محاسبه شاخص‌های طیفی و آنالیز همبستگی ثانویه

در مرحله بعد شاخص‌های طیفی نسبت و ترکیب باندی (روابط شماره ۱، ۲ و ۳) برای باندهای دارای بیشترین همبستگی که با استفاده از آنالیز همبستگی اولیه مشخص شدند، محاسبه می‌گردد. این شاخص‌ها که در واقع با اعمال

روش کار

به‌طور کلی این تحقیق در پنج مرحله انجام می‌شود که در زیر هر کدام از آن‌ها به تفکیک تشریح خواهد شد:

گام اول؛ آماده‌سازی داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای

در این مرحله، ابتدا روزهایی که نمونه‌برداری زمینی و تصویربرداری ماهواره‌ای به‌صورت هم‌زمان از منطقه مورد مطالعه انجام شده مشخص می‌شود و سپس اقدام به جمع‌آوری داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده در روزهای مذکور می‌گردد. در مرحله بعد هر کدام از تصاویر ماهواره‌ای دریافت شده، از نظر خطای اتمسفری تصحیح شده (Navarro et al., 2017) و سپس جهت یکسان‌سازی اندازه پیکسل تصاویر در باندهای مختلف، باندهای با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر با تغییر اندازه پیکسل آن‌ها به ۱۰ متر، اندازه

طیفی است، به قسمت‌های از تصاویر که دارای آب هستند، مقداری بین ۰ تا ۱ (مقدار ۱ به قسمتی که حاوی آب خالص است اختصاص داده می‌شود) و به قسمت‌های دیگری که فاقد آب می‌باشند، مقداری بین ۰ تا ۱- اختصاص می‌دهد (Feyisa et al., 2014). در نهایت، با محاسبه شاخص‌های طیفی که در گام چهارم استفاده شدند و به کارگیری مدل‌های حاصل از شبکه‌های عصبی که بهترین مدل‌سازی را با کمترین مقادیر خطا برای هر پارامتر کیفیت آب انجام می‌دهند، نقشه پراکنش برای هر پارامتر به صورت مجزا تهیه می‌گردد.

$$\text{رابطه ۴: } \text{MNDWI} \left(\frac{B3 - B11}{B3 + B11} \right)$$

B3: انعکاس باند شماره ۳ ماهواره سنتینل ۲، B11: انعکاس باند شماره ۱۱ ماهواره سنتینل ۲

شبکه عصبی مصنوعی (ANN^۱)

در حالت کلی شبکه‌های عصبی از سه نوع لایه نرونی شامل لایه ورودی (با دریافت اطلاعات خام، به توزیع و پراکنش داده‌های ورودی می‌پردازد)، لایه‌های پنهان (عمل پردازش اطلاعات و وزن‌دهی به داده‌های ورودی را انجام می‌دهد) و لایه خروجی (علاوه بر پردازش داده‌ها، به ازای بردار ورودی شبکه، نتایج و خروجی را نشان می‌دهد) تشکیل شده‌اند و با پردازش روی داده‌ها، قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کند (Sherfey et al., 2018). شبکه‌های عصبی تقسیم‌بندی‌های مختلفی دارند؛ به طوری که یا بر اساس نوع اتصال (مانند شبکه‌های پس‌خور و شبکه‌های پیش‌خور) و یا بر اساس نوع آموزش (مانند شبکه‌های پس انتشار خطا، شبکه‌های با توابع شعاع مینا) می‌توان آن‌ها را دسته‌بندی کرد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۵). معمولاً شبکه‌های عصبی چند لایه پیش‌خور با حداقل یک لایه پنهان و تابع انتقال سیگموئید، در صورت دارا بودن نرون‌های پنهان به اندازه کافی، قادر به تقریب اکثر توابع دلخواه می‌باشند و به همین دلیل به عنوان تقریب زنده‌های جامع معرفی و به یکی از پرستفاده‌ترین و پرکاربردترین شبکه‌ها تبدیل گشته‌اند (Xie et al., 2011). با توجه به نتایج به دست آمده به وسیله دیگر محققان که حاکی از این است که در بسیاری از کارهای تئوری و آزمایشگاهی یک لایه پنهان منفرد برای مدل‌سازی کافی است تا بتواند هر پدیده غیرخطی را تخمین بزند (رضوی‌راد و کوهساری، ۱۳۹۲). با توجه به این اینکه جهت انجام مدل‌سازی به شبکه‌هایی نیاز است که براساس داده‌های خروجی مطلوب (الگوهای واقعی) آموزش داده شوند، بنابراین از شبکه‌هایی با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا استفاده گردید که بهترین عملکرد را در این نوع مسائل دارد (عظیمی، ۱۳۹۳). این نوع شبکه‌ها که از نوع شبکه‌های نظارت شده هستند، داده‌های ورودی را در طول شبکه به جلو رانده و سپس اختلاف خروجی تولید شده را با خروجی مطلوب محاسبه می‌کند. سپس خطای مذکور در طول شبکه به عقب فرستاده شده و طی چند چرخه تکرار ضرایب وزنی طوری تنظیم می‌شوند که مقدار خطا به حداقل برسد. زمانی که خروجی تولید شده بیشترین شباهت یا همپوشانی را با خروجی مطلوب داشته باشند آموزش به پایان می‌رسد (Sherfey et al., 2018). توابع انتقال استفاده شده در این شبکه‌ها توابع تانژانت سیگموئید و لوگ سیگموئید است. علت انتخاب این توابع آن است

عملیات ساده ریاضی بر روی دو یا چند باند به دست می‌آیند که در تصویر به دست آمده حاصل از این شاخص‌ها ممکن است در تک باندها وجود نداشته باشد (فتاحی‌مقدم، ۱۳۹۰).

- رابطه (۱)، نسبت باندی اول:
- $$\left(\frac{B_{min}}{B_{max}} \right)$$
- رابطه (۲)، نسبت باندی دوم:
- $$\left(\frac{B_{max}}{B_{min}} \right)$$
- رابطه (۳)، ترکیب باندی:
- $$\left(\frac{B_{max} - B_{min}}{B_{max} + B_{min}} \right)$$

Bmax: انعکاس باند با طول موج بزرگ‌تر، **Bmin:** انعکاس باند با طول موج کوچک‌تر

سپس با به کارگیری مجدد روش رگرسیون چند متغیره، میزان همبستگی شاخص‌های طیفی انعکاس تک باند، نسبت باندی و ترکیب باندی محاسبه شده، تعیین می‌گردد. هدف از انجام بررسی همبستگی، در واقع شناسایی شاخص‌های طیفی است که بیشترین همبستگی را با پارامترهای کیفیت آب مورد نظر دارند؛ زیرا ممکن است تعدادی از این شاخص‌ها ارتباط معناداری با پارامترهای کیفیت آب TDS و Turbidity نداشته باشند و در صورتی که همگی آن‌ها در فرآیند مدل‌سازی بکار گرفته شوند، حجم داده‌های ورودی در فرآیند مدل‌سازی بالا رفته و در نتیجه ممکن است مدل‌سازی با عدم قطعیت مواجه شود.

گام چهارم؛ مدل‌سازی ارتباط پارامترهای TDS و Turbidity

با تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی دقت و صحت مدل‌سازی

در مرحله چهارم با در نظر گرفتن نتایج حاصل از گام سوم، داده‌های جمع‌آوری شده به دو دسته داده مدل‌سازی و داده ارزیابی دقت تقسیم می‌شوند و به صورت جداگانه برای هر کدام از دو پارامتر TDS و Turbidity، ۷۰ درصد از داده‌ها به مدل‌سازی اختصاص یافته و ۳۰ درصد دیگر از آن‌ها جهت بررسی دقت مدل بکار گرفته می‌شود (البرزی، ۱۳۸۶). سپس با استفاده از ۷۰ درصد داده مرحله مدل‌سازی و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MATLAB R2013، به صورت جداگانه اقدام به ساخت شبکه‌های عصبی برای پارامتر کیفیت آب مذکور نموده و با تعریف شاخص‌های طیفی به عنوان ورودی شبکه‌های عصبی و مقادیر زمینی پارامترهای TDS و Turbidity به عنوان خروجی آن‌ها، فرآیند مدل‌سازی صورت می‌گیرد (Liu et al., 2015). جهت بررسی عملکرد مدل‌سازی‌های صورت گرفته توسط شبکه‌های عصبی تهیه شده در مرحله قبل، از ۳۰ درصد داده واقعی که قبلاً مشخص شده بود استفاده نموده و دقت عملکرد شبکه‌ها بر اساس آن‌ها ارزیابی می‌گردد. در نهایت اختلاف نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه‌ها و مقادیر واقعی محاسبه می‌شود. در صورتی که شبکه‌های ساخته شده دارای دقت کافی باشند، مدل‌سازی به اتمام می‌رسد؛ در غیر این صورت اقدام به ساخت شبکه‌های جدید با ویژگی‌های متفاوت می‌گردد و این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند تا شبکه‌ها بتوانند با کمترین خطا مدل‌سازی را انجام دهند (البرزی، ۱۳۸۶).

گام پنجم؛ تهیه نقشه پراکندگی TDS و Turbidity برای

مناطق مورد مطالعه

در آخرین مرحله اقدام به تهیه نقشه پراکندگی پارامترهای کیفیت آب برای سدهای کرخه، دز و رودخانه کارون بزرگ می‌شود. در این راستا تعدادی تصویر با زمان برداشت مشخص از سطح مناطق ذکر شده گرفته شده و با برطرف نمودن خطای اتمسفری آن‌ها و انجام ماسک آب روی لایه‌ها مطابق رابطه ۴ که جهت جداسازی سطوح آبی از دیگر عوارض موجود در تصویر بر روی آن‌ها اعمال می‌گردد (Du et al., 2016). ماسک آب که یک نوع شاخص

^۱- Artificial Neural Network

با توجه به نتایج به دست آمده در مرحله آنالیز همبستگی ثانویه، در این مطالعه برای مدل سازی پارامتر TDS با تصاویر ماهواره ای Sentinel-2؛ از شاخص های انعکاس تک باند و نسبت باند $\frac{B_{max}}{B_{min}}$ و برای مدل سازی پارامتر Turbidity از نتایج حاصل از شاخص های نسبت باندی $\frac{B_{min}}{B_{max}}$ و ترکیب باند $\frac{B_{max} - B_{min}}{B_{max} + B_{min}}$ به دلیل داشتن همبستگی بیشتر استفاده گردید. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مراحل قبلی و مقادیر TDS که در (جدول ۱) آمده است، در مجموع ۶۰ مقدار برای مدل سازی پارامتر TDS حاصل شد که از این مقدار ۷۰ درصد (۴۲ مقدار) از آن ها جهت مدل سازی رابطه TDS با تصاویر سنتینل ۲ و ۳۰ درصد (۱۸ مقدار) دیگر جهت بررسی دقت مدل سازی اختصاص داده شد و همچنین برای مدل سازی ارتباط پارامتر Turbidity با تصاویر ماهواره مذکور، ۶۰ مقدار در دست بوده که در اینجا نیز مشابه TDS ۷۰ درصد از داده ها برای مدل سازی و ۳۰ درصد دیگر نیز برای بررسی دقت مدل سازی استفاده شد. با به کارگیری ۷۰ درصد از مقدار داده های اختصاص یافته برای مدل سازی هر پارامتر، اقدام به ساخت شبکه های عصبی مختلفی با ویژگی های متفاوتی برای هر دو پارامتر گردید. در نهایت شبکه هایی که بهترین مدل سازی را از نظر دقت انجام دادند، انتخاب شده و نتایج این بررسی در (جدول ۶) ارائه گردید. جهت بررسی دقت مدل سازی هر کدام از شبکه های تولید شده، RMSE میانگین و خطای نسبی محاسبه گردید و مقادیر هر کدام از آن ها برای شبکه ای که مدل سازی TDS با آن صورت گرفت به ترتیب برابر با ۱۰۵/۴۸ (ppm) و ۰/۸۸ و برای Turbidity برابر با ۳/۱ (N.T.U) و ۰/۱۱۰ به دست آمد. همچنین نتایج مقایسه داده های شبیه سازی شده و اندازه زمینی آن در (جدول ۷) ارائه گردیده است.

که این توابع در شبکه هایی که از الگوریتم پس انتشار خطا برای آموزش استفاده می کنند، بهترین عملکرد را دارند. توابع خطای مورد استفاده برای سنجش خطای شبکه نیز RE، RMSE و R^2 می باشند. لازم به ذکر است که ساختار شبکه های ذکر شده با توجه به مطالعات قبلی انجام شده در این زمینه و نتایج حاصل از اجرای شبکه ها (با الگوریتم ها و توابع انتقال متفاوت) به روش سعی و خطا در طول فرایند این تحقیق انتخاب گردید. در این مطالعه نیز از شبکه های عصبی با تعداد یک لایه پنهان استفاده خواهد شد. در نهایت پس از مدل سازی با استفاده از ارتباط بین درجات خاکستری و داده های زمینی مقدار مواد محلول و کدورت در چهار دوره برای سه ناحیه اشاره شده مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این بررسی در بخش یافته های تحقیق ارائه گردید. همچنین پس از تأیید نهایی مدل سازی شبکه چهار تصویر با تاریخ های ۱۳۹۴/۹/۱۶، ۱۳۹۵/۳/۹، ۱۳۹۵/۷/۲۷ و ۱۳۹۵/۱۲/۷ استفاده شدند تا تغییرات کیفیت آب در این ماهها بررسی گردد.

یافته های تحقیق

در این تحقیق از باندهای B1، B9 و B10 به دلیل عدم داشتن قدرت تفکیک مکانی مناسب استفاده نشد و پردازش ها فقط بر روی باندهای با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ و ۲۰ صورت گرفت. در (جدول ۴) نتایج بررسی اولیه همبستگی میان باندهای تصویربرداری ماهواره Sentinel-2 و مقادیر پارامترهای TDS و Turbidity آمده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی همبستگی اولیه، باندهای B3، B6، B7، B8a و B8 با پارامتر TDS و باندهای B2، B3، B5، B8 و B8a نیز با پارامتر Turbidity بیشترین همبستگی را دارا بوده و به همین دلیل شاخص های طیفی بر اساس این باندها محاسبه گردید. نتایج مرحله دوم آنالیز همبستگی در (جدول ۵) آمده است.

جدول ۴- نتایج میزان همبستگی باندهای تصویربرداری ماهواره Sentinel-2 با پارامترهای کیفیت آب زمینی TDS و Turbidity.

پارامتر	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B _{8a}	B ₁₁	B ₁₂
TDS	R ² =0/37	R ² =0/38	R ² =0/35	R ² =0/34	R ² =0/40	R ² =0/40	R ² =0/26	R ² =0/42	R ² =0/24	R ² =0/39
Turbidity	R ² =0/42	R ² =0/30	R ² =0/23	R ² =0/33	R ² =0/20	R ² =0/25	R ² =0/285	R ² =0/306	R ² =0/205	R ² =0/265

جدول ۵- نتایج میزان همبستگی انعکاس تک باند، نسبت باندی و ترکیبات باندی با پارامترهای کیفیت آب زمینی TDS و Turbidity.

پارامتر	انعکاس تک باند	$\frac{B_{max}}{B_{min}}$	$\frac{B_{min}}{B_{max}}$	$\frac{B_{max} - B_{min}}{B_{max} + B_{min}}$
TDS	R ² =0/44	R ² =0/46	R ² =0/43	R ² =0/39
Turbidity	R ² =0/58	R ² =0/66	R ² =0/74	R ² =0/70

جدول ۶- ویژگی های شبکه های عصبی استفاده شده جهت مدل سازی ارتباط میان شاخص های طیفی و پارامترهای کیفیت آب.

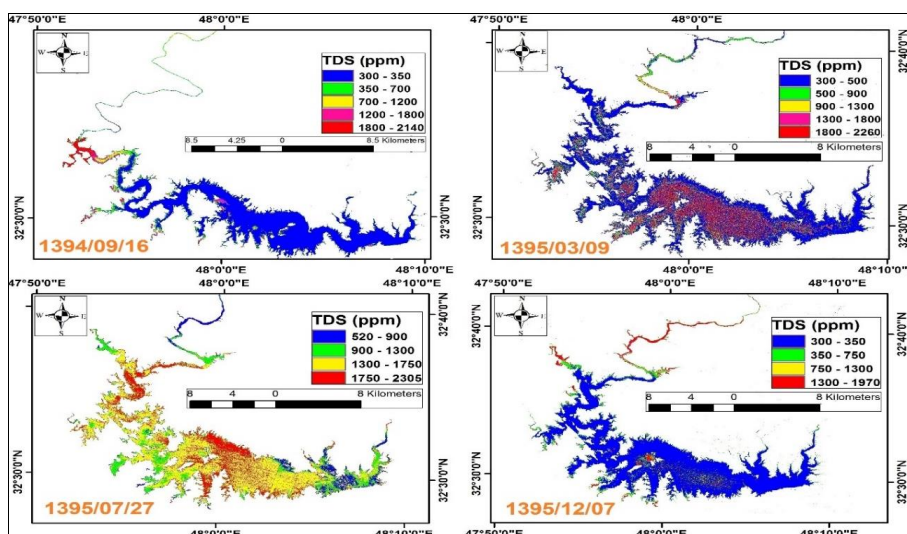
پارامتر	ورودی	خروجی	لایه پنهان	نرون	نوع شبکه	تابع انتقال	تابع آموزش	تابع عملکرد	تابع آموزش انطباق
TDS	۲۰	۱	۲	۱۵	F-F backprop	LOGSIG	TRAINML	MSE	LEARNGD
Turbidity	۱۵	۱	۲	۲۰	F-F backprop	TANSIG	TRAINML	MSE	LEARNGD

جدول ۷- مقایسه داده حاصل از مدل سازی و برداشت زمینی برای TDS و Turbidity.

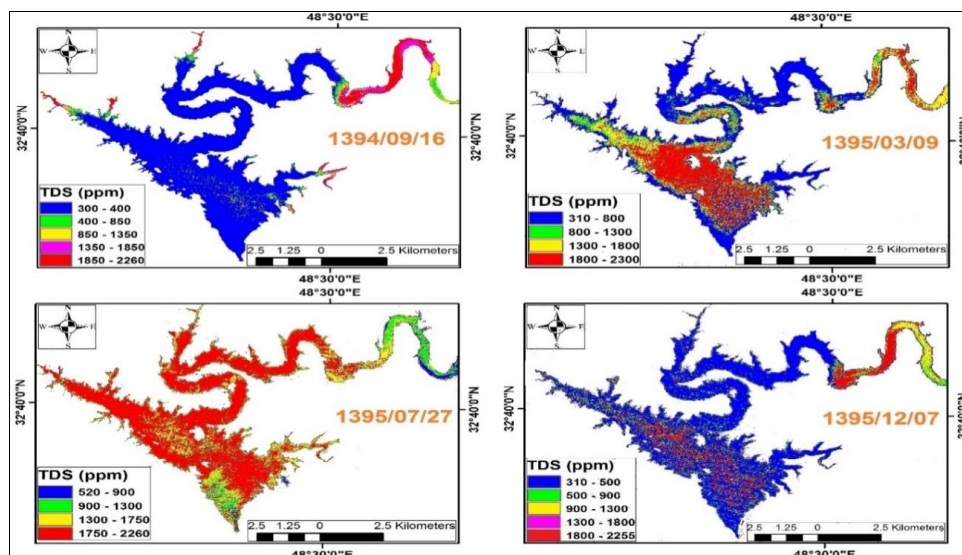
اندازه زمینی	Turbidity													
	۶۹	۲۸	۱۷	۳۸	۶	۴۳	۲	۵۶	۷۱	۶	۵	۳	۱	۶۱
ANN	۶۷/۵۵	۳۷/۵	۱۹/۴۹	۳۷/۲۵	۳۰۴۲۷	۴۱/۲۸	۴۷۱۵۰	۵۲/۷	۶۹/۹۶	۲۳۴۶۸	۴۵۰۷۸	۴۳۲۵۴	۱	۵۶/۸۷
اندازه زمینی	TDS													
	۱۳۴۴	۱۱۷۴	۱۳۳۴۴	۱۴۱۴	۱۱۶۸	۱۱۳۴	۱۰۳۳	۲۲۵۵	۱۵۸۰	۱۴۳۶	۶۴۲	۱۰۶۷	۵۸۶	۱۱۵۵
ANN	۱۴۵۶	۱۰۳۵	۱۲۰۴	۱۵۰۲	۱۰۰۸	۱۱۵۱	۹۵۵	۲۲۳۰	۱۶۴۴	۱۳۷۶	۷۸۲	۱۱۶۷	۴۹۵	۱۳۲۰

از (شکل‌های ۵، ۶ و ۷) مشخص است، روند تغییرات غلظت Turbidity سطح منابع آب در نظر گرفته شده نیز مانند پارامتر TDS بوده و در دوره سرد سال غلظت آن دارای کمترین مقدار می‌باشد؛ در حالی که در دوره گرم سال غلظت آن روند افزایش دارد. همچنین این غلظت در حاشیه رودخانه و سدها دارای مقدار کمتری بوده و هر چقدر از حاشیه فاصله می‌گیرد مقدار آن بیشتر می‌شود. همان‌طور که در (شکل ۲ و ۳) دیده می‌شود غلظت این املاح در محل اتصال رودخانه به سد نیز زیاد می‌باشد. همان‌طور که در (شکل‌های ۵ و ۶) دیده می‌شود این دو پارامتر کدورت و مواد محلول در آب رفتار تقریباً مشابهی را از خود نشان می‌دهند و در فصول گرم سال مقدار به بیشترین مقدار خود می‌رسند.

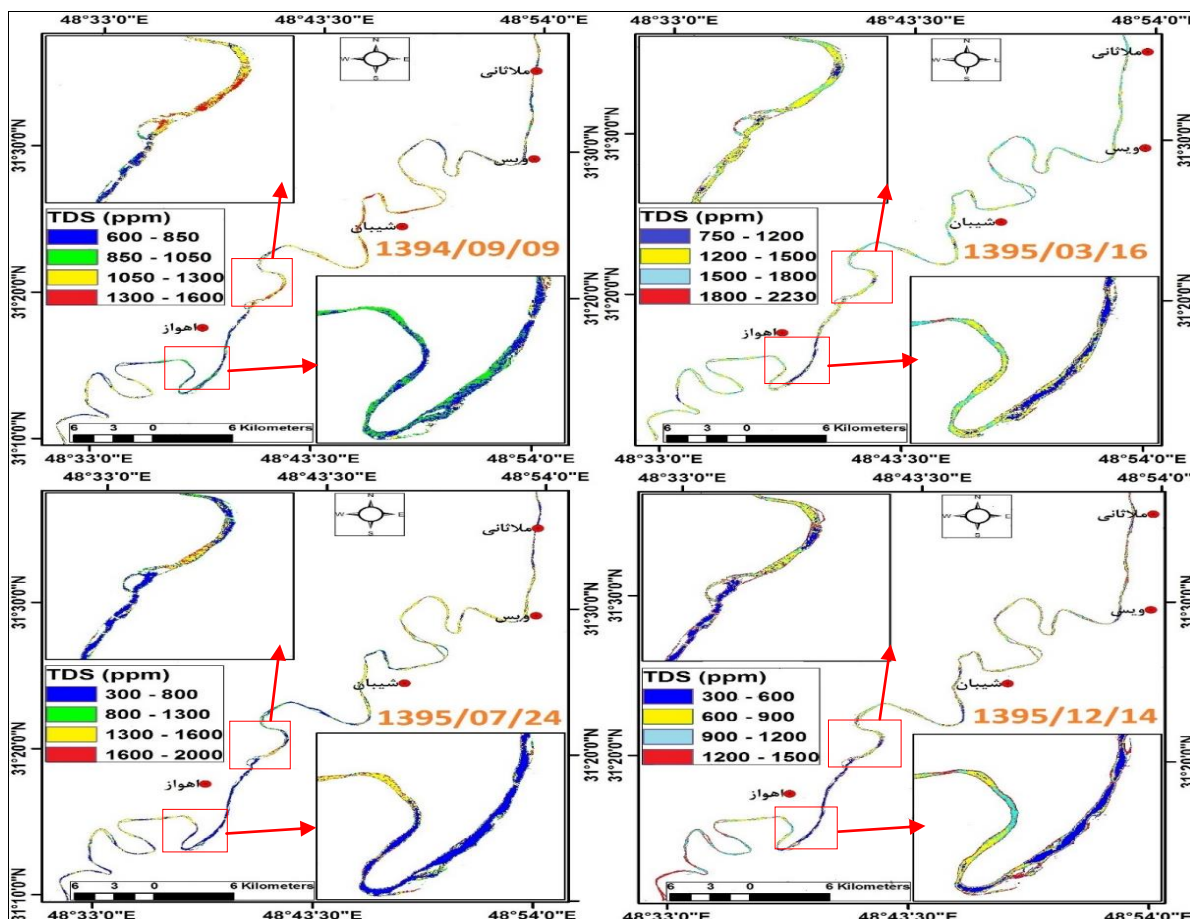
با توجه به اینکه شبکه‌های عصبی ایجاد شده با دقت بالایی ارتباط میان تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی را پیش‌بینی کردند، از آن‌ها جهت برآورد غلظت دو پارامتر TDS و Turbidity در مناطق در نظر گرفته شده استفاده نموده و با اعمال تصحیح اتمسفری و ماسک آب بر روی تصاویر ماهواره سنتینل ۲ در تاریخ سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵، نقشه پراکندگی دو پارامتر مذکور برای سدهای کرخه، دز و رودخانه کارون بزرگ در مقطع کارون تا ملاتانی تا ایستگاه هیدرومتری فارسیات در جنوب اهواز تهیه گردید و نتایج این بررسی در (شکل‌های ۲ تا ۷) آورده شد. با توجه به نقشه‌های تهیه شده از میزان و پراکندگی پارامتر TDS در سطح سدهای کرخه، دز و رودخانه کارون بزرگ، غلظت املاح محلول در آب در دوره سرد سال دارای کمترین مقدار بوده و در دوره گرم سال این غلظت به بیشترین میزان خود می‌رسد. همان‌طور که



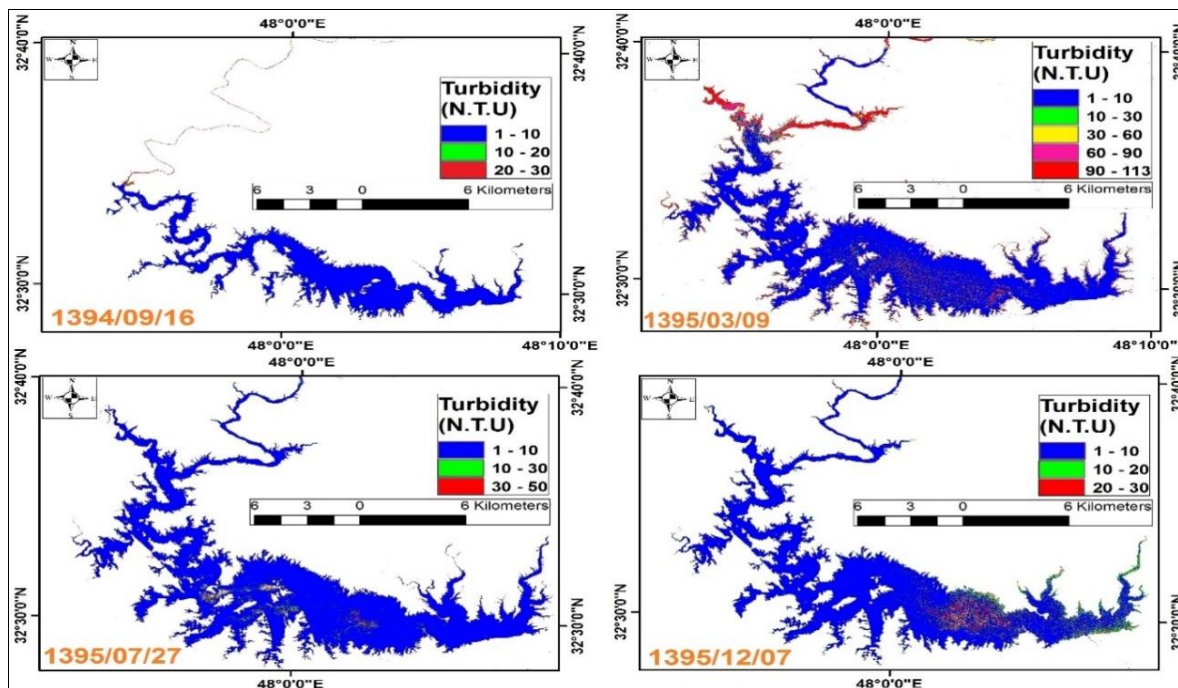
شکل ۲- نقشه پراکندگی پارامتر TDS سد کرخه بر اساس مدل‌سازی انجام شده در تحقیق.



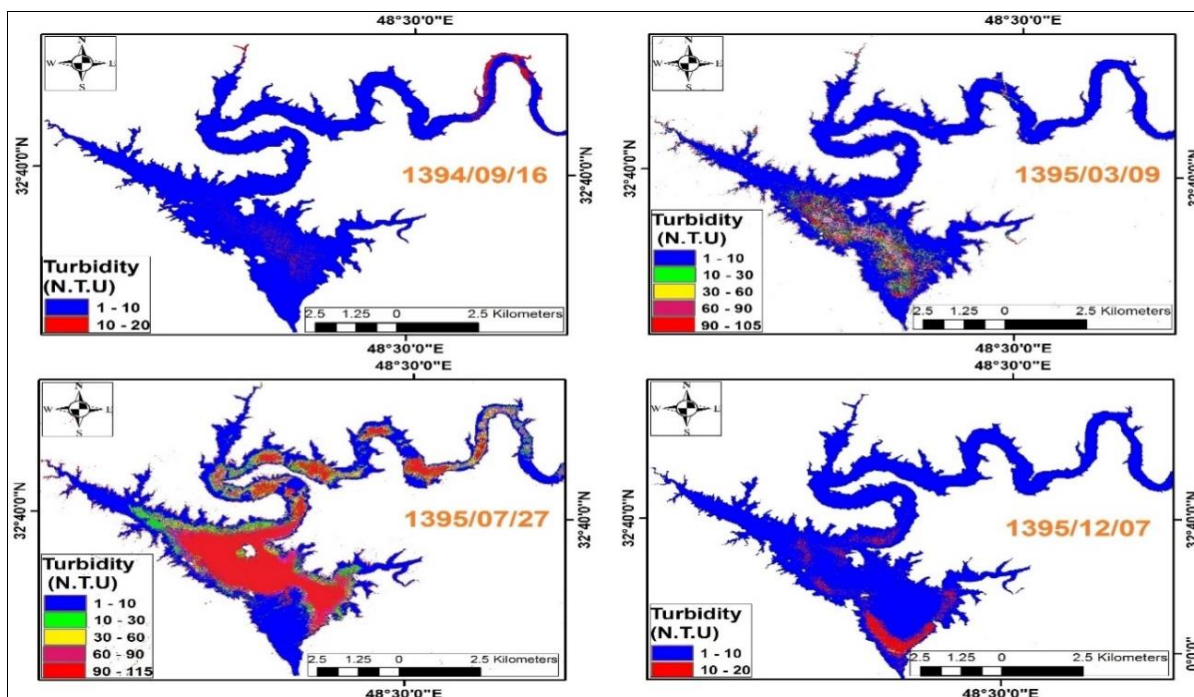
شکل ۳- نقشه پراکندگی پارامتر TDS سد دز بر اساس مدل‌سازی‌ها انجام شده در تحقیق.



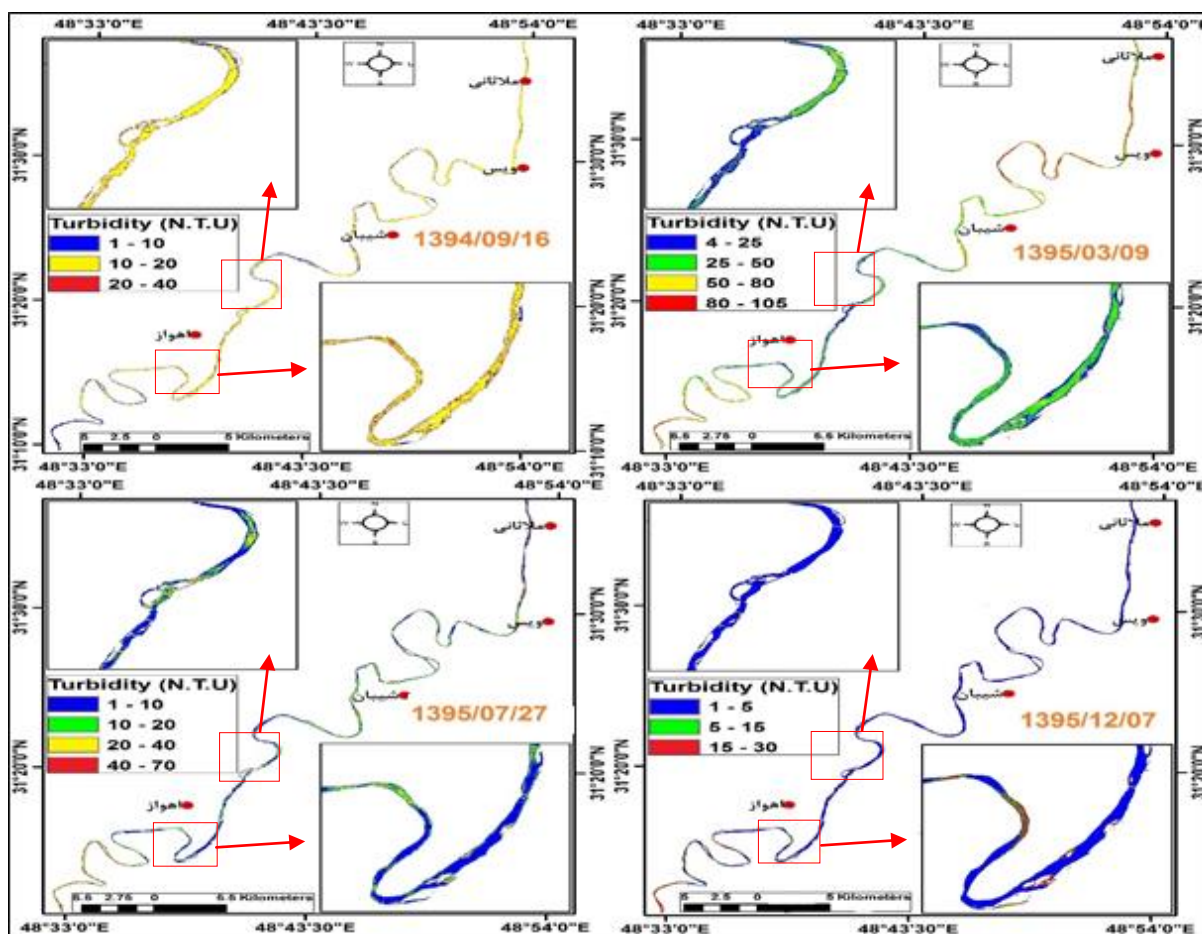
شکل ۴- نقشه پراکنندگی پارامتر TDS رودخانه کارون بزرگ بر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده در تحقیق.



شکل ۵- نقشه پراکنندگی پارامتر Turbidity سد کرخه بر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده در تحقیق.



شکل ۶- نقشه پراکندگی پارامتر Turbidity سد دزبر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده در تحقیق.



شکل ۷- نقشه پراکندگی پارامتر Turbidity رودخانه کارون بزرگ بر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده در تحقیق.

بحث و نتیجه گیری

پایش و ارزیابی کیفیت آب در رودخانه‌ها، مخازن سدها و دریاچه‌ها امری حیاتی و ضروری است، گرچه تکنیک‌های فعلی برای اندازه‌گیری کیفیت آب، شامل اندازه‌گیری‌های میدانی و یا جمع‌آوری نمونه‌های میدانی و یا جمع‌آوری نمونه‌های آب برای آنالیزهای آزمایشگاهی می‌باشد. این تکنیک‌ها اندازه‌گیری‌های دقیقی برای یک نقطه در زمان و مکان فراهم می‌کنند، ولی پرهزینه و بسیار وقت‌گیر هستند. همچنین دید زمانی و مکانی از کیفیت آب جهت پایش، ارزیابی یا مدیریت کیفیت آب برای یک پیکره وسیع آب و یا برهم‌کنش چندین پیکره آب در محل تلاقی هم وجود ندارد. سنجش از دور توانایی اندازه‌گیری نسبتاً ارزان، پیوسته، مکرر و کوتاه‌مدت را با استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای از شاخص‌های کیفیت آب، دارد، بنابراین در این تحقیق به منظور بررسی غلظت پارامترهای TDS و Turbidity سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ که یکی از منابع جدید و مهم تولید داده‌های سنجش از دوری است، استفاده گردید. در این مطالعه با جمع‌آوری تعدادی نمونه زمینی از پارامترهای TDS و Turbidity از سطح رودخانه‌های کرخه، دز، کارون و کارون بزرگ و همچنین پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای به کارگرفته شده، شاخص‌های طیفی مناسبی از تصاویر ماهواره ایسنتینل-۲ استخراج گردید و سپس با به کارگیری مدل شبکه عصبی، ارتباط میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامترهای زمینی کیفیت آب ذکر شده به صورت بهینه مدل‌سازی گردید. به منظور ارزیابی تحقیق در این مطالعه از شاخص‌های ارزیابی خطای RMSE استفاده شد و مشخص گردید که مدل‌سازی‌ها برای هر دو پارامتر، با دقت مناسب انجام شده است و نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند برای ارزیابی پایش کیفیت آب مفید واقع شوند. این بخش از تحقیق حاضر با مطالعات انجام گرفته توسط سایر محققین که بیان کردند تصاویر ماهواره‌ای کاربرد مناسبی در پایش کیفیت آب رودخانه دارند مطابقت دارد (عقیقی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Gursory و همکاران، ۲۰۱۵؛ Zolfaghari و Duguay، ۲۰۱۶). پس از مدل‌سازی پارامترهای کیفی در نهایت با اعمال مدل‌های تهیه‌شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در یک بازه زمانی

منابع

- اسماعیلی، م.، پسندی، م.، هاشمی اصفهانیان، م.، ۱۳۹۵، تخمین مدول الاستیسیته سنگ بکر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون غیر خطی، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، پاییز ۹۵، شماره ۲۱.
- البرزی، م.، ۱۳۸۶، آشنایی با شبکه‌های عصبی، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
- چالکش امیری، م.، ۱۳۹۲، اصول تصفیه آب، چاپ دهم، اصفهان، انتشارات ارکان دانش.
- حقیقی، ح.، علی محمدی، ع.، سراجیان، م.، عاشورلو، د.، ۱۳۸۸، برآورد مقدار کدورت خلیج گرگان با استفاده از تصاویر LIII-III ماهواره IRS، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸.
- رضوی‌راد، ف.، کوهساری، ا.ح.، ۱۳۹۲، شبیه‌سازی عناصر نادر خاکی سربوم و لانتانیم موجود در رسوبات آبراه‌های منطقه اشتهارد با استفاده از روش شبکه عصبی، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، پاییز ۹۲، شماره ۹.
- عزت‌آبادی پور، ح.، ۱۳۹۵، معرفی تصاویر ماهواره سنتینل ۲، سومین کنفرانس بین‌المللی نوآوری‌های اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران، ۱۸ شهریور.
- علیزاده، ب.، معروفی، خ.، حیدری فرد، م.ح.، ۱۳۹۲، ارزیابی میزان ماده حاصل از شبکه عصبی مصنوعی در چهارچوب چینه‌نگاری سکاسی: مطالعه موردی از سازند پابده در میدان نفتی مارون، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، بهار ۹۲، شماره ۷.
- فتاحی مقدم، م.، ۱۳۹۰، ارزیابی قابلیت سنجنده هایپریون، فیلداسپک ۳ و داده‌های زمینی برای برآورد پارامترهای کیفیت آب در رودخانه کارون مقطع شهر اهواز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم زمین، گرایش سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.
- معصومی، ب.، محمدی، ر.، ۱۳۹۱، اصول تصفیه آب، تبریز، انتشارات فروزش.
- Bagherian.Marzouani.M., Akhoundali.A.M., Moazed.H., Jaafarzadeh.N., Ahadian.J., Hasoonizadeh.H., 2014, Evaluation of Karun River Water Quality Scenarios Using Simulation Model Results, International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, Volume 2, Issue 2, 339-358.

- Baillarin.S.J., Meygret.A., Dechoz.C., Petrucci.B., Lacherade.S., Tremas.T., et al., 2012, SENTINEL-2 LEVEL 1 PRODUCTS AND IMAGE PROCESSING PERFORMANCES. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1, 197-202.
- Bonanse.M., Claudia Rodriguez.M., Pinotti.L., Ferrero.S., 2015, Using multi-temporal Landsat imagery and linear Models for assessing water quality parameters in Rio Tercero reservoir (Argentina), Journal of Remote Sensing of Environment, 158, 28-41.
- Chawira.M., Dube.T., Gumindoga.W., 2013, Remote Sensing Based Water Quality Monitoring in Chivero and Manyame Lakes of Zimbabwe, Journal of Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 66, 38-44.
- Du.Y., Zhang.Y., Ling.F., Wang.Q., Li.W., Li.X., 2016, Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. Journal of Remote Sensing, 354; 3390-3403.
- Du.Y., Zhang.Y., Ling.F., Wang.Q., Li.W., Li.X., 2016, Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. Journal of Remote Sensing, 354; 3390-3403.
- Du.Y., Zhang.Y., Ling.F., Wang.Q., Li.W., Li.X., 2016, Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. Journal of Remote Sensing, 354; 3390-3403.
- Egbers.R., 2016, Sentinel-2 data processing and identifying glacial features in Sentinel-2 imagery. Bachelor Thesis. TU Delft University of Technology in Netherlands.
- Feyisa.G.L., Meilby.H., Fensholt.R., 2014, Proud SR. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Journal of Remote Sensing of Environment, 23-35.
- Gursory.O., Birdal.A.C., Ozyonar.F., Kasaka.E., 2015, Determining and Monitoring The Water Quality of Kizilirmark River of Turkey: First Results, The International Archive of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W3, 1469-1474.
- Hosseini.Zare.N., Gholami.A., Panahpour.E., Jafarnejadi.A., 2014, Pollution Load Assessment in the Soil and Water Resources: A Case Study in Karun River Drainage Basin, Southwest of Iran, European Online Journal of Natural and Social Sciences, Vol.3, No.3 Special Issue on Environmental, Agricultural, and Energy Science, 428-434.
- <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-1c>.
kwp.a.ir
- Liu.J., Zhang.Y., Yuan.D., Song.X., 2015, Empirical Estimation of Total Nitrogen and Total Phosphorus Concentration of Urban Water Bodies in China Using High Resolution IKONOS Multispectral Imagery, Journal of Water, 7, 6551-6573.
- Main-Knorn.M., Pflug.B., Debaecker.V., Louis.J., 2015, CALIBRATION AND VALIDATION PLAN FOR THE L2A PROCESSOR AND PRODUCTS OF THE SENTINEL-2 MISSION, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W3, 1249-1255.
- Navarro.G., Caballero.I., Silva.G., Cecilio.Parrac.P., Vazquezd.A., Caldeirab.R., 2017, Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 97-106.
- Sherfey, J. S., Soplata, A. E., Ardid, S., Roberts, E. A., Stanley, D. A., Pittman-Polletta, B. R., & Kopell, N. J. (2018). DynaSim: A MATLAB Toolbox for Neural Modeling and Simulation. *Frontiers in neuroinformatics*, 12, 10.
- Su.T.C., Chou.H.T., 2015, Application of Multispectral Sensors Carried on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to Trophic State Mapping of Small Reservoirs: A Case Study of Tain-Pu Reservoir in Kinmen, Taiwan. Journal of Remote Sensing, 7, 10078-10097.
- Trivero.P., Borasi.M., Biamino.W., Cavagnero.M., Rinaudo.C., Bonanse.M., et al, 2013, River pollution Remediation Monitored by Optical and Infrared High-Resolution Satellite Images, Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 185(9), 7647-7658.
- Xie.T., Yu.H., Wilamowski.B., 2011, Comparison between Traditional Neural Networks and Radial Basis Function Networks, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, p: 1194-1199
- Zolfaghari.K., Duguay.C.R., 2016. Estimation of Water Quality Parameters in Lake Erie from MERIS Using Linear Mixed Effect Models, Journal of Remote Sensing, 8, 473-498.