



## ارائه روشی نوین در بهبود پایش فصلی دمای سطح آب رودخانه کارون با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸

هادی فرهادی<sup>۱\*</sup>، محمد نجف زاده<sup>۲</sup>

۱- دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.  
۲- دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۵  
بازنگری: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰  
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴  
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶

### کلمات کلیدی:

سنجش از دور  
لندست-۸  
شاخص طیفی  
دمای سطح آب  
رودخانه کارون

**خلاصه:** همواره اندازه‌گیری دقیق دمای جریانهای سطحی در ارزیابی پارامترهای کیفی و به دنبال آن طبقه‌بندی کیفی جریان‌های سطحی نقش کلیدی را ایفا می‌نماید. به منظور اندازه‌گیری دمای سطح آب جریان‌های طبیعی روش‌های میدانی و ابزارهای آزمایشگاهی متنوعی وجود دارد. اما اندازه‌گیری دما در این منابع به صورت پیوسته امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ لذا استفاده از داده‌های سنجش از دوری به عنوان یک راه‌حل کلیدی پیشنهاد می‌شود که در آن امکان اندازه‌گیری پیوسته دما با سرعت بیشتر، مدت زمان کمتر و با هزینه مقرون به صرفه وجود دارد. در تحقیق حاضر از چهار صحنه تصویر مربوط به ماهواره لندست-۸ در چهار زمان مختلف (۵ خرداد ۱۳۹۸، ۲۳ مرداد ۱۳۹۸، ۱۱ آبان ۱۳۹۸ و ۱۶ اسفند ۱۳۹۸) جهت برآورد دمای سطح آب رودخانه کارون استفاده شد. به این ترتیب، بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر، ابتدا با استفاده از یک شاخص آبی تفاضلی نرمال شده (NDWI) اقدام به جداسازی مناطق آبی از سایر مناطق شد، سپس با انتخاب دقیق مرز رودخانه و استخراج آن از باند حرارتی ماهواره لندست-۸، دمای سطح آب با استفاده از برنامه‌نویسی الگوریتم مربوطه در محیط IDL نرم‌افزار ENVI 5.3 محاسبه شد. در نهایت، با ارزیابی نتایج حاصل از داده‌های سنجش از دور و داده‌های میدانی، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) در ماه‌های خرداد، مرداد، آبان و اسفند به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۳۳، ۰/۳۶ و ۰/۳۴ درجه سانتی‌گراد حاصل شد که نشان‌دهنده دقت مطلوبی است. نتایج حاصل نشان داد که داده‌های سنجش از دور یک ابزار دقیق به منظور برآورد دمای سطوح آبی می‌باشد.

### تغییرات الگوهای دمای سطح گستره‌های آبی قرار گیرند [۳].

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع انتقال آب‌های سطحی به بسترهای مختلف موردنیاز از جمله مصارف آشامیدنی و کشاورزی به شمار می‌روند. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، به منظور تعیین کیفیت آب در رودخانه‌ها یکی از پارامترهای مهم، به دست آوردن دمای سطح آب است. با توجه به ساختار هندسی رودخانه‌ها و اغلب طولانی بودن مسیر جریان آن، اندازه‌گیری دمای آب با دماسنج‌های مخصوص و دقیق در رودخانه امری زمان‌بر و پرهزینه است. علاوه بر آن، اندازه‌گیری دمای سطح آب به صورت میدانی در سراسر رودخانه امکان‌پذیر نبوده و در صورت امکان نیاز به افراد و زمان بیشتری خواهد بود که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. به منظور رفع و حل این مشکلات، سنجش از دور به عنوان یک راه‌حل کلیدی پیشنهاد می‌شود.

سنجش از دور، علم و هنر دستیابی به اطلاعات درباره یک شی و عارضه منطقه از طریق تفسیر، آنالیز و پردازش داده‌های اخذ شده توسط یک

### ۱- مقدمه

یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در تعیین شاخص کیفیت آب، دمای سطح آب است [۱]. با توجه به اهمیت بسیار بالای آب در زندگی بشر و موارد استفاده آن در حوزه‌های مختلف از جمله شرب و صنعت، کشاورزی، تعیین کیفیت آن در پهنه‌های آبی موجود به عنوان یک امر حیاتی در نظر گرفته می‌شود [۲]. علاوه بر این، تغییرات فصلی و مکانی دمای آب رودخانه‌ها تأثیر مهمی در زندگی آبزیان داشته و تغییرات غیرعادی در دمای آب می‌تواند تهدیدی برای حیات آن‌ها باشد [۳]. سطوح آبی بسیار پهناور (همانند بدنه‌های آبی اقیانوس‌ها و دریاها) به دلیل داشتن ظرفیت گرمایی بالا منبع عمده انرژی و رطوبت برای اتمسفر محسوب می‌گردد. به همین دلیل تغییرات سطح آب تأثیر غیرقابل اغمازی بر روی نوسانات اقلیمی خشکی‌ها دارد. نه تنها دمای سطوح آبی بر مقدار بارش محدوده بدنه آبی تأثیر می‌گذارد، بلکه مناطق بسیار دور از بدنه آبی نیز می‌تواند تحت تأثیر

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: hadi.farhadiabeshahmadloo@email.kntu.ac.ir



ساحلی آن مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند که در آن از تصاویر ماهواره‌ای لندست با سنجنده TM استفاده کردند [۲۶].

Wloczyk و همکاران (۲۰۰۵) دمای سطح دریا و دریاچه را مورد بررسی قرار دادند؛ در این مطالعه از ۹ تصویر مربوط به داده‌های ماهواره لندست-۷ با سنجنده ETM<sup>+</sup> استفاده شد. منطقه مورد مطالعه در قسمتی از دریای بالتیک در جنوب شرقی آلمان بود. در این تحقیق بعد از محاسبه دمای سطح آب نتایج آن با مقادیر به دست آمده از روش تجربی مقایسه شد که جذر میانگین مربعات (RMS) آن برابر با ۱/۴ کلوین<sup>۵</sup> به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل، به منظور دستیابی به دقت بیشتر، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا توصیه شد [۲۷].

Fazelpour و همکاران (۲۰۱۶) ارزیابی دمای سطح آب و ارتباطسنجی پارامتر دما با عمق آب در خلیج فارس را مورد بررسی قرار دادند که در آن از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده مادیس استفاده کردند. این سنجنده دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تغییرات دمایی به خصوص در عرض‌های شمالی و مرکزی با عمق آب رابطه‌ی معکوسی دارد. در واقع هر چه عمق آب بیشتر باشد دما کمتر خواهد بود و بالعکس [۲۸].

فرزین و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از نقشه ناهنجاری دمایی استاندارد، نواحی احتمالی تخلیه آب زیرزمینی دریایی به سواحل خلیج فارس را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از باند ۱۰ حرارتی ماهواره لندست-۸ استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش، نشان‌دهنده پتانسیل بالای بکارگیری داده‌های سنجنده از دور در مطالعات آبی و به طور ویژه در شناسایی نواحی احتمالی تخلیه آب زیرزمینی است [۲۹].

Medina-Lopez و همکاران (۲۰۱۹) دما و شوری سطح آب دریا در نواحی ساحلی را مورد بحث و بررسی قرار دادند. در این مقاله از داده‌های خام ماهواره سنتینل-۲ استفاده کردند. منظور از داده‌ی خام، یعنی آن داده‌ای که هنوز نیاز به یکسری پیش‌پردازش دارد. با توجه به اینکه اعمال پیش‌پردازش بر روی داده‌های خام نیازمند زمان زیادی است، بنابراین با توجه به نتایج حاصل با استفاده از روش ارائه شده در مقاله نشان داده شده که این روش می‌تواند در کاربردهای دقیق ساحلی و اقیانوس‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد. به این دلیل که زمان پردازش به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند [۳۰].

Jang و Park (۲۰۱۹) به ارزیابی دمای سطح آب دریا پرداختند که

سنجنده نصب شده بر روی ماهواره می‌باشد [۴]. لذا، می‌توان دمای سطح آب رودخانه را در زمان کمتر با سرعت بیشتر و بدون نیاز به مشاهدات میدانی از طریق داده‌های سنجنده از دوری به دست آورد. یکی از مزایای داده‌های سنجنده از دوری، پوشش وسیع طولی و عرضی در منطقه مورد مطالعه است. به عبارت دیگر، عوارضی طولانی مثل رودخانه‌ها به راحتی در معرض دید داده‌های سنجنده از دوری قرار می‌گیرند. این داده‌ها، حاصل ثبت تعامل انرژی الکترومغناطیس و یک عارضه است که بدون تماس مستقیم فیزیکی با آن توسط یک دستگاه (سنجنده) صورت می‌پذیرد [۵].

در دهه‌های اخیر، سنجنده از دور و سیستم‌های مورد استفاده در آن، پیشرفت‌های چشم‌گیری در مطالعات مختلف داشته است [۵]. در حالت کلی سنجنده‌های سنجنده از دوری به دو دسته فعال<sup>۱</sup> (راداری) و غیرفعال<sup>۲</sup> (اُپتیک) تقسیم می‌شود. سنجنده‌های غیرفعال سنجنده‌هایی هستند که از خورشید به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. بنابراین، این سنجنده‌ها وابستگی زیادی به پارامترهای مرتبط با خورشید مانند زاویه ارتفاعی آن، وضعیت اتمسفری و طول موج‌های ارسالی آن دارند. در مقابل، سنجنده‌های فعال وجود دارد که منبع انرژی را با خود حمل می‌کنند و به همین دلیل به خورشید وابسته نبوده و تأثیر بسیار کمی از اتمسفر می‌پذیرند. با توجه به مکانیزم سنجنده‌های راداری، امکان ارزیابی دما در آن وجود نداشته و به منظور محاسبه دما از سنجنده‌های اُپتیک در سنجنده از دور استفاده می‌شود [۵].

سیستم‌های سنجنده از دور اُپتیک با قدرت تفکیک مکانی متوسط تا بالا، اطلاعات خوبی را با قدرت تفکیک زمانی بالا در زمینه‌های متعددی ارائه می‌دهند که از جمله آنها می‌توان به سنجنده مادیس و ماهواره سری لندست اشاره کرد [۶]. بنابراین، سنجنده از دور و سیستم‌های مورد استفاده در آن، می‌توانند اطلاعات بسیار مفیدی را در کاربردهای مختلف از جمله محاسبه و ارزیابی دما ارائه دهند. روش‌های متنوعی به منظور محاسبه دمای سطح آب با استفاده از داده‌های متفاوتی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به محاسبه دمای سطح به روش تک باندی، چندکاناله (MCSST) [۷-۱۰] و روش غیرخطی<sup>۳</sup> (NLSST) [۱۱-۱۴] اشاره کرد که در اکثر پژوهش‌ها و مقالات، بیش‌ترین استفاده را در بین دیگر روش‌ها داشته است. مطالعات متعددی در زمینه محاسبه دمای سطح آب با استفاده از داده‌های سنجنده از دوری صورت گرفته است [۱۵-۲۵] که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سال ۲۰۰۲، Thomas و همکاران دمای سطح آب دریا را در نواحی

- 
- 1 Active
  - 2 Passive
  - 3 Non-Linear Sea Surface Temperature

---

4 Root Mean Square  
5 Kelvin

مرز دقیق رودخانه با استفاده از تصاویر لندست-۸ انجام می‌گردد. سپس روش محاسبه دمای سطح آب رودخانه کارون با در نظر گرفتن اهمیت هندسی پهنه‌های آبی ارائه شده و دمای سطح آب رودخانه کارون در چهار زمان ۵ خرداد، ۱۲ مرداد، ۱۱ آبان و ۱۶ اسفند محاسبه می‌شود. در نهایت عملکرد مدل سنجش از دوری جهت تخمین دما در چهار زمان مذکور با استفاده از شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، بخشی از رودخانه کارون در استان خوزستان می‌باشد که در جنوب غربی ایران و در کرانه خلیج فارس (شکل ۱) واقع شده است. این منطقه به ترتیب در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه ۲۷ دقیقه و ۳۰ درجه ۴۲ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه ۲۱ دقیقه و ۴۸ درجه ۴۲ دقیقه شرقی واقع شده است (مستطیل قرمز). رودخانه کارون با حوضه آبریزی به مساحت ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع و طولی معادل ۹۵۰ کیلومتر، مهم‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه ایران می‌باشد که میزان بارش از مناطق وسیعی را جمع‌آوری کرده و به خلیج فارس انتقال می‌دهد. این رودخانه آب موردنیاز ۱۶ شهر، چندین روستا و هزاران هکتار از زمین‌های کشاورزی را تأمین می‌نماید. این رودخانه علاوه بر تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی مناطق مجاور یک بستر مناسب برای جذب سرمایه‌گذاری، ایجاد مکان‌های ورزشی، تفریحی و حمل و نقل آبی است. در تحقیق حاضر حدود ۱۶۳ کیلومتر از رودخانه کارون مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

ماهواره لندست جزء ماهواره‌های اپتیک است که در فوریه ۲۰۱۳ راه اندازی شده و در بسیاری از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماهواره دارای چندین سنجنده می‌باشد که از ۱ تا ۸ تفکیک شده است. در این تحقیق از ماهواره لندست-۸، سنجنده OLI/TIRS استفاده شد که مشخصات مربوط به آن به صورت جدول ۱ می‌باشد.

این ماهواره شامل ۹ باند در محدوده پانکروماتیک، مرئی و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ تا ۳۰ متر و دو باند در محدوده حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر و دارای قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه می‌باشد. لازم به ذکر است که داده‌های مربوط به باندهای حرارتی با بهره‌گیری از روش‌های نمونه‌برداری مجدد<sup>۳</sup> از قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر به قدرت

در آن از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ با سنجنده OLI استفاده شد. در این مطالعه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ از ۲۵۷ فریم تصویر مربوط به ماهواره لندست-۸ استفاده شد. با توجه به روش مورد استفاده در تحقیق ایشان، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۲</sup> به دست آمده حدود ۰/۵۹ درجه و ۰/۷۲ درجه بود. نتایج حاصل از تحقیق نشان‌دهنده نیازمندی مناطق نوار ساحلی به داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا می‌باشد [۳۱].

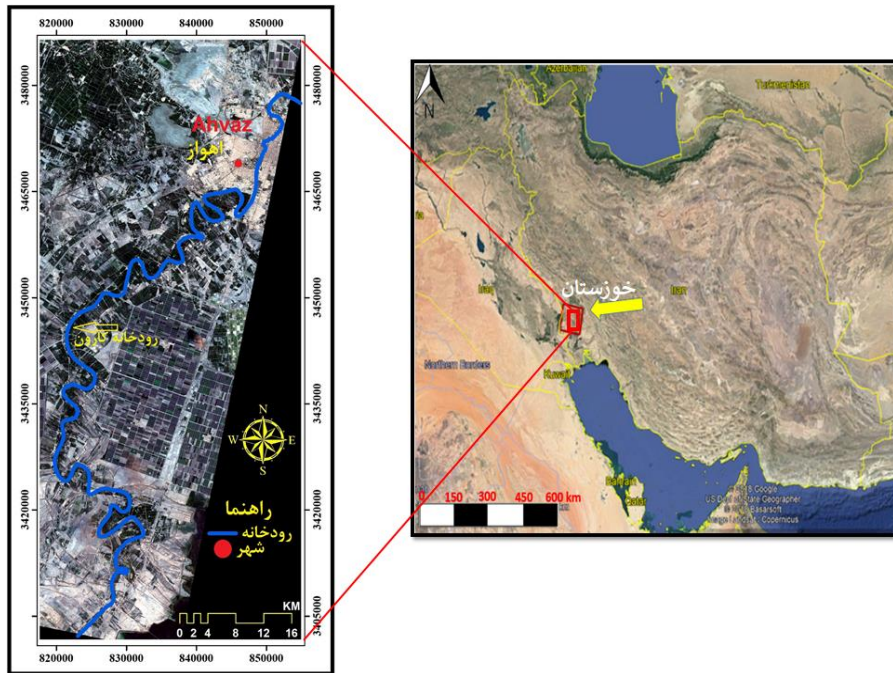
در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در زمینه محاسبه دمای سطح آب از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بسیار پایین استفاده شده که در آن به بررسی دمای سطح آب در دریاها و دریاچه‌ها در سطح وسیع پرداخته شده است. اما بررسی دمای سطح آب در رودخانه‌ها و پهنه‌های آبی با عرض باریک مورد توجه قرار نگرفته و یا بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است. دلیل این امر، عدم توانایی تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی پایین در تفکیک و تمایز مرز دقیق رودخانه است. همچنین، روش‌های مورد استفاده به منظور انتخاب دقیق رودخانه از لحاظ هندسی از استحکام و توجه جدی برخوردار نبوده است. انتخاب مرز دقیق رودخانه و جداسازی دقیق پهنه‌های آبی از نواحی خشکی به دلیل اهمیت مسأله و الگوریتم مورد استفاده برای محاسبه دما، بایستی با دقت بسیار بالایی انجام شود. بر این اساس، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط، مطالعه پهنه آبی با عرض باریک (رودخانه) و استفاده از یک روش جدید برای جداسازی پهنه‌های آبی و استخراج مرز دقیق رودخانه مواردی است که برتری این مقاله را نسبت به مطالعات پیشین نشان می‌دهد. در واقع، تحقیق حاضر تمام محدودیت‌های موجود در مطالعات پیشین را برطرف کرده و در تمامی رودخانه‌ها با عرض بیشتر از ۳۰ متر در هر عمقی قابل استفاده است.

بنابراین، هدف از تحقیق حاضر، محاسبه دمای سطح آب رودخانه کارون با لحاظ اهمیت هندسی و جداسازی دقیق مرز پهنه آبی رودخانه کارون با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی متوسط می‌باشد که تاکنون در هیچ مطالعه‌ای مورد بررسی قرار نگرفته است. دلیل انتخاب رودخانه کارون به عنوان منطقه مورد مطالعه، وجود عرض‌های متفاوت در سراسر آن و متغیر بودن خصوصیات توپوگرافی و هندسی آن می‌باشد. در ادامه ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر اشاره شده و سپس پیش‌پردازش‌های ضروری بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ اعمال می‌گردد. در مرحله بعد نحوه افزایش قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی مورد بررسی قرار گرفته و جداسازی هندسی

1 Operational Land Imager

2 Root Mean Square Error

3 Resampling



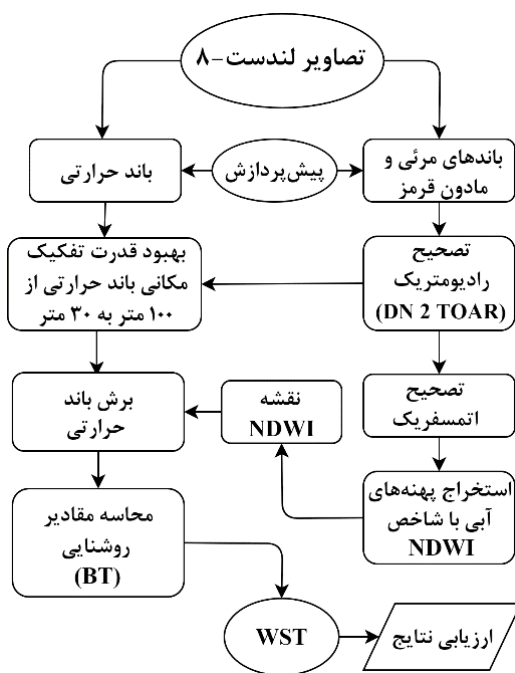
شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و رودخانه کارون در استان خوزستان

Fig. 1. The study area and Karun River in Khuzestan province

جدول ۱. مشخصات ماهواره لندست-۸، سنجنده OLI/ TIRS

Table 1. Characteristic of Landsat-8 satellite, OLI /TIRS Sensor

نام باند	طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)	
باند- ۱	Coastal/ Aerosol	۰/۴۳ - ۰/۴۵	۳۰
باند- ۲	Blue	۰/۴۵ - ۰/۵۱	۳۰
باند- ۳	Green	۰/۵۳ - ۰/۵۹	۳۰
باند- ۴	Red	۰/۶۴ - ۰/۶۷	۳۰
باند- ۵	Near Infrared (NIR)	۰/۸۵ - ۰/۸۸	۳۰
باند- ۶	Shortwave Infrared (SWIR)1	۱/۵۷ - ۱/۶۵	۳۰
باند- ۷	Shortwave Infrared (SWIR) 2	۲/۱۱ - ۲/۲۹	۳۰
باند- ۸	Panchromatic	۰/۵۰ - ۰/۶۸	۱۵
باند- ۹	Cirrus	۱/۳۶ - ۱/۳۸	۳۰
باند- ۱۰	Thermal Infrared (TIRS) 1	۱۰/۶ - ۱۱/۱۹	۱۰۰ * (۳۰)
باند- ۱۱	Thermal Infrared (TIRS) 2	۱۱/۵۰ - ۱۲/۵۱	۱۰۰ * (۳۰)



شکل ۲. فلوجارت فرآیند محاسبه دمای سطح آب رودخانه کارون

Fig. 2. Flowchart for calculating the Water Surface Temperature of Karun River

### ۳- روش شناسی

#### ۳-۱- پیش پردازش تصاویر لندست-۸

تصاویر سنجش از دوری قبل از بکارگیری برای تجزیه و تحلیل‌های اصلی، بایستی یک سری پیش‌پردازش‌هایی بر روی آن‌ها اعمال شود که یک امر مهم و ضروری در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به شمار می‌رود. در بسیاری از داده‌های ماهواره‌ای این پیش‌پردازش‌ها شامل تصحیحات هندسی، رادیومتریکی، اتمسفری و حذف سیگنال‌های ناخواسته (Noise) احتمالی است. در تحقیق حاضر، فرآیند انجام پیش‌پردازش‌های لازم و ضروری بر روی تصاویر لندست-۸ و نحوه محاسبه دمای سطح آب رودخانه کارون به صورت فلوجارت شکل ۲ می‌باشد. با توجه با فلوجارت شکل ۲، در وهله اول پیش‌پردازش‌های مربوط به باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و باندهای حرارتی شامل تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری انجام شد، سپس قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی از ۱۰۰ متر به ۳۰ متر بهبود یافتند. در مرحله بعد شاخص آبی تفاضلی نرمال شده (NDWI)<sup>۳</sup> تولید شد و به منظور جداسازی و برش دقیق مرز رودخانه از سایر عوارض مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با محاسبه مقادیر دمای روشنایی، دمای سطح آب محاسبه

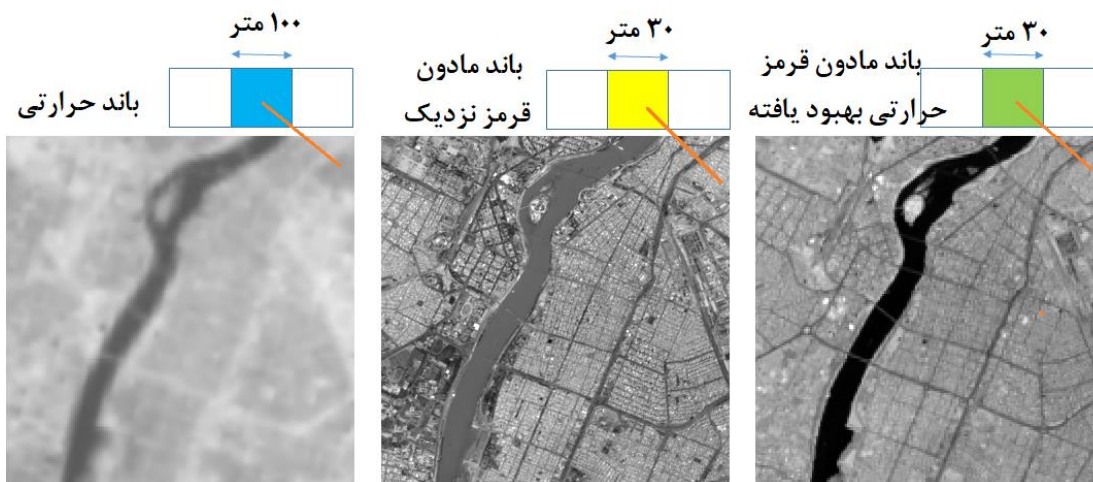
تفکیک مکانی ۳۰ متر قابل تغییر است که این عملیات توسط کاربر صورت می‌گیرد. داده‌های این ماهواره کل کره زمین را پوشش داده و به صورت رایگان از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)<sup>۱</sup> قابل دریافت می‌باشد. علاوه بر تصویر ماهواره‌ای، به منظور ارزیابی دماهای استخراج شده از طریق داده‌های سنجش از دوری، از دمای ۱۰ نقطه مشخص متناسب با زمان تصویربرداری از رودخانه کارون استفاده شد. لازم به ذکر است که مقادیر اندازه‌گیری شده دما در تحقیق حاضر از اطلاعات ثبت شده از سازمان آب و برق خوزستان اخذ شده‌اند. بدین منظور، از اطلاعات دما مربوط به چهار تاریخ (۵ خرداد، ۲۳ مرداد، ۱۱ آبان و ۱۶ اسفند قرائت شده در ایستگاه پل پنجم اهواز) از سال ۱۳۹۸ استفاده شده است. همچنین در هر تاریخ ۱۰ مقدار دما ثبت شده است که در مجموع ۴۰ دمای اندازه‌گیری شده در چهار روز مذکور موجود می‌باشد. در تحقیق حاضر از چهار تصویر<sup>۲</sup> مربوط به چهار تاریخ مذکور استفاده گردیده است.

1 United States Geological Survey

2 scene

3 Normalized differential Water Index





شکل ۳. بهبود قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی لندست-۸

Fig. 3. Improving the spatial resolution of the Landsat-8 thermal band

و با داده‌های حاصل از مشاهدات میدانی مقایسه شد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، تصاویر ماهواره‌ای اغلب دارای خطاهای هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری هستند که برای برآورد دقیق و بهتر از منطقه، لازم است تا این خطاها را حذف و یا تصحیح کنیم. خطاهای هندسی تصویر شامل خطای جابجایی ناشی از دوران و تغییر موقعیت سنجنده در لحظه عکس‌برداری می‌باشد که بایستی حذف شوند. اما با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر توسط سایت ارائه دهنده از لحاظ هندسی تصحیح شده است، بنابراین نیازی به تصحیح هندسی آن نیست.

خطاهای رادیومتریکی تصویر خطاهایی است که در حالت کلی بر روی تک تک پیکسل‌ها وجود داشته و این خطاها می‌توانند هم ناشی از خود سنجنده و هم ناشی از اتمسفر در لحظه عکس‌برداری باشد. بنابراین، به منظور پیش‌پردازش تصاویر، در وهله‌ی اول ابتدا بایستی تصحیح رادیومتریکی انجام شود که در آن مقادیر درجات خاکستری (DN) تمام باندها به رادیانس تبدیل شده و مقدار آن از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

بعد از انجام تصحیح رادیومتریکی، تصحیح اتمسفری<sup>۳</sup> بر روی تمامی باندهای مرئی و مادون قرمز (به جز باندهای حرارتی) اعمال می‌گردد. به منظور انجام تصحیح اتمسفری از روش FLAASH<sup>۴</sup> در محیط نرم‌افزار ENVI ۵.۳ استفاده شد. نرم‌افزار ENVI نسخه ۵.۳ محیطی برای بصری‌سازی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان انواع روش‌های پردازش تصاویر حاصل از سنجنده‌های هواپرد و فضاپرد را به انجام رساند. همچنین، امکان پردازش انواع داده‌های سنجنش از دور در یک محیط کاربر پسند بصورت جامع فراهم شده است. این نرم‌افزار کاربردهای متعددی در زمینه هیدرولوژی از جمله مدیریت سیلاب، مطالعه سطوح آبی، سدها، مدل‌های هیدرولوژیکی و بررسی کیفیت آب دارد.

۳-۲- افزایش قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی

با توجه به اینکه قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی در تصاویر لندست-۸ برابر با ۱۰۰ متر است، لذا استخراج دقیق مرز رودخانه عملاً

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

مقدار رادیانس در بالای اتمسفر<sup>۲</sup> (TOAR) که به عنوان پارامتر مجهول،  $M_L$  ضریبی است که در تمام باندها ضرب شده و واحد آن

3 Atmospheric Correction

4 Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

1 Digital Number

2 Top of Atmospheric Radiance

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR} \quad (2)$$

در این رابطه، G باند انعکاسی سبز، NIR باند انعکاسی مادون قرمز و NDWI که یک شاخص آبی تفاضلی نرمال شده است، مقدار آن بین ۱ و ۱- متغیر می‌باشد. به عبارت دیگر، مقادیر بین صفر تا یک به عنوان مناطق آبی در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از این روش، مناطق آبی از سایر مناطق موجود در تصویر جدا شده و به عنوان ROI<sup>۷</sup> برای برش باند حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از استخراج دقیق مرز رودخانه در باند حرارتی، دمای سطح آب با استفاده از روابط مربوطه برآورد می‌شود. لازم به ذکر است که تمامی این فرآیندها در محیط نرم‌افزار ENVI ۵.۳ انجام شد.

### ۳-۴- بازیابی دمای سطح آب رودخانه کارون

مقادیر درجات خاکستری در باند حرارتی بعد از واسنجی رادیومتریک<sup>۸</sup> و استخراج مناطق آبی، بایستی به دمای روشنایی<sup>۹</sup> تبدیل شوند که به صورت رابطه‌ی زیر می‌باشد:

$$T = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، T دمای روشنایی برحسب کلوین؛ K<sub>۱</sub> و K<sub>۲</sub> ضرایب تبدیل باند ۱۱ حرارتی ماهواره لندست-۸ است که مقدار آن به ترتیب برابر با ۴۸۰/۸۸۳۳ و ۱۲۰۱/۱۴۴۲ است. با توجه به اینکه دمای محاسبه شده در واحد کلوین می‌باشد، لذا با کم کردن مقدار ۲۷۳/۱۵ از مقدار T، دما برحسب درجه سانتی‌گراد حاصل می‌شود. بر این اساس دماهای مربوط به هر فصل محاسبه شده و با داده‌های حاصل از مشاهدات میدانی مقایسه می‌شود. لازم به ذکر است که تمامی مراحل پردازش در نرم‌افزار ENVI ۵.۳ انجام شده است.

### ۳-۵- معیارهای ارزیابی

به منظور مقایسه عملکرد نتایج دمای سطح آب (WST)، سه پارامتر

- 7 Region of Interest
- 8 Radiometric Calibration
- 9 Brightness Temperature

غیردقیق خواهد بود. به منظور حل این مشکل، با استفاده از باندهای ۳۰ متری تصاویر لندست-۸ و با بهره‌گیری از روش نمونه‌برداری مجدد<sup>۱</sup> و درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی<sup>۲</sup>، باندهای حرارتی ۱۰۰ متری به باندهای ۳۰ متری بهبود یافتند که در شکل ۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تمامی این فرآیندها در محیط نرم‌افزار ENVI ۵.۳ انجام شد.

### ۳-۳- استخراج پهنه‌های آبی با شاخص طیفی NDWI<sup>۳</sup>

به منظور محاسبه دقیق دمای سطح آب لازم است تا مناطق آبی از سایر مناطق موجود در تصویر متمایز شود که در تمامی مطالعات پیشین از روش طبقه‌بندی بدون نظارت و با بهره‌گیری از باند مادون قرمز به منظور جداسازی پهنه‌های آبی موجود در دریا و دریاچه استفاده شده است [۳۳]. اما با توجه به حساسیت عوارض مختلف در تصاویر ماهواره‌ای و ارتباط آن با قدرت تفکیک مکانی، شناسایی پهنه‌های آبی به خصوص پهنه‌های آبی موجود در رودخانه، غیرممکن و یا اشتباه خواهد بود که به منظور جلوگیری از این اشتباه، از شاخص‌های طیفی استفاده می‌شود. در حالت کلی، شاخص‌های طیفی حاصل اعمال یک سری محاسبات ریاضی بر روی دو یا چند باند طیفی از تصاویر ماهواره‌ای است که از طریق آن پدیده یا هدف مورد نظر بارز شده و به صورت بهینه نمایش داده می‌شود. نتایج حاصل از شاخص طیفی تصویری است که در آن اطلاعات جدیدی نسبت به تصویر اصلی وجود دارد. به عبارت دیگر این روش به عنوان یک روش استخراج ویژگی<sup>۴</sup> محسوب می‌شود که در آن اطلاعات از یک فضا به فضای دیگر تبدیل می‌شود. در تحقیق حاضر جهت جداسازی مناطق آبی از سایر مناطق نظیر خاک، پوشش گیاهی و غیره از شاخص طیفی NDWI استفاده شده است. این شاخص توسط McFeeters در سال ۱۹۹۶، برای تعیین خصوصیات آب با استفاده از باند سبز و باند مادون قرمز نزدیک (NIR<sup>۵</sup>) لندست-۶، TM<sup>۶</sup> (باند ۲ و باند ۴) معرفی شده است که در آن با استفاده از یک حد آستانه صفر بر روی تصویر به دست آمده از شاخص، مقادیر مثبت به عنوان سطوح آبی و مقادیر منفی به عنوان مناطق غیر آبی طبقه‌بندی شدند [۳۴]. این شاخص از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

- 1 Resampling
- 2 Nearest Neighbor
- 3 Normalized differential Water Index
- 4 Feature Extraction
- 5 Near Infrared
- 6 Thematic Mapper

$$k = \sum_{i=1}^n (WST_{Obs}^i \times WST_{Pre}^i) / (WST_{Pre}^i)^2 \quad (7)$$

$$k' = \sum_{i=1}^n (WST_{Obs}^i \times WST_{Pre}^i) / (WST_{Obs}^i)^2 \quad (8)$$

تحقیقات متعدد در حوزه مهندسی آب نشان داده است که جهت دست‌یابی به سطح مطلوب عملکرد روش‌های تجربی و محاسباتی مقادیر عددی  $k$  و  $k'$  باید به مقدار یک نزدیک باشند. سپس، نسبت‌های  $m$  و  $n$  کمتر از ۰/۱ بیانگر بالاترین سطح دقت روش‌ها می‌باشد:

$$m = (R^2 - R_O^2) / R^2, \quad n = (R^2 - R_O'^2) / R^2 \quad (9)$$

همچنین، پارامتر  $R_m$  که به صورت رابطه (۱۰) می‌باشد، که مقادیر بزرگتر از ۰/۵ نشان‌دهنده عملکرد مطلوب مدل محاسباتی می‌باشد.

$$R_m = R^2 \times \left(1 - \sqrt{|R^2 - R_O^2|}\right) > 0.5 \quad (10)$$

که در آن پارامترهای  $R_O^2$  و  $R_O'^2$  به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$R_O^2 = 1 - \sum_{i=1}^n (WST_{Pre}^i)^2 \times (1-k)^2 / \sum_{i=1}^n (WST_{Pre}^i - \overline{WST}_{Pre}) \quad (11)$$

$$R_O'^2 = 1 - \sum_{i=1}^n (WST_{Obs}^i)^2 \times (1-k')^2 / \sum_{i=1}^n (WST_{Obs}^i - \overline{WST}_{Obs}) \quad (12)$$

#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱- نتایج پیش‌پردازش داده‌ها

همان‌طور که ذکر شد، فرآیند پیش‌پردازش داده‌ها امری ضروری و مهم برای تجزیه و تحلیل‌های اصلی است. یک نمونه از داده‌های مورد استفاده بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های لازم در شکل ۴ نشان داده شده است.

##### ۴-۲- نتایج استخراج پهنه‌های آبی با شاخص NDWI

نتایج حاصل از شاخص NDWI در شکل ۵ نشان داده شده است. با

آماری رایج شامل ضریب همبستگی<sup>۱</sup> (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> (MAE) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۷-۳۵] که به ترتیب در روابط (۴) تا (۶) ارائه شده است:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (WST_{Obs}^i - \overline{WST}_{Obs}) (WST_{Pre}^i - \overline{WST}_{Pre})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (WST_{Obs}^i - \overline{WST}_{Obs})^2 \sum_{i=1}^N (WST_{Pre}^i - \overline{WST}_{Pre})^2}} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (WST_{Pre}^i - WST_{Obs}^i)^2}{N}} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |WST_{Obs}^i - WST_{Pre}^i| \quad (6)$$

در روابط (۴) تا (۶)،  $WST_{Obs}$  مقادیر دمای سطح آب مشاهداتی،  $WST_{Pre}$  مقدار دمای سطح آب برآورد شده،  $\overline{WST}_{Obs}$  میانگین دمای سطح آب مشاهداتی،  $\overline{WST}_{Pre}$  میانگین دمای سطح آب برآورد شده و  $N$  تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. این پارامترها جزء پرکاربردترین معیارهای ارزیابی بوده و در تحقیقات گسترده در حوزه مهندسی آب از آن‌ها استفاده شده است. مقادیر ایده‌آل برای پارامترهای خطای RMSE و MAE برابر با صفر بوده و بیانگر بهترین عملکرد مدل است. همچنین، ضریب همبستگی برابر با یک، بیانگر بالاترین سطح عملکرد در روش پیشنهادی است.

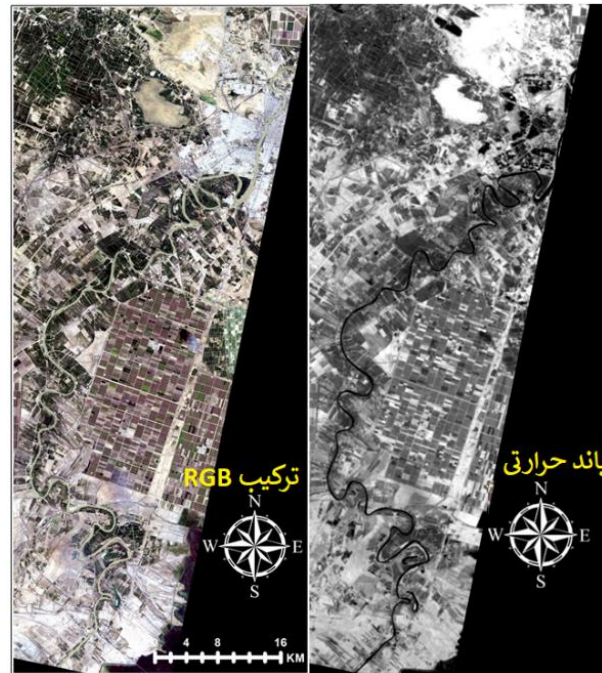
علاوه بر این، به منظور ارزیابی کارایی WST جهت برآورد میزان دما، از شاخص اعتبارسنجی کلی<sup>۳</sup> نیز استفاده می‌شود. بدین منظور از یافته‌های Tropisa و همکاران (۲۰۰۳) استفاده شد [۳۸]. معیار اعتبارسنجی کلی، در حوزه‌های مختلف مهندسی آب به صورت متعدد مورد استفاده قرار گرفته است [۳۹-۴۱]. به منظور محاسبه این معیار در ابتدا مقادیر پارامترهای  $k$  و  $k'$  از طریق روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود:

1<sup>5</sup> Coefficient of Correlation

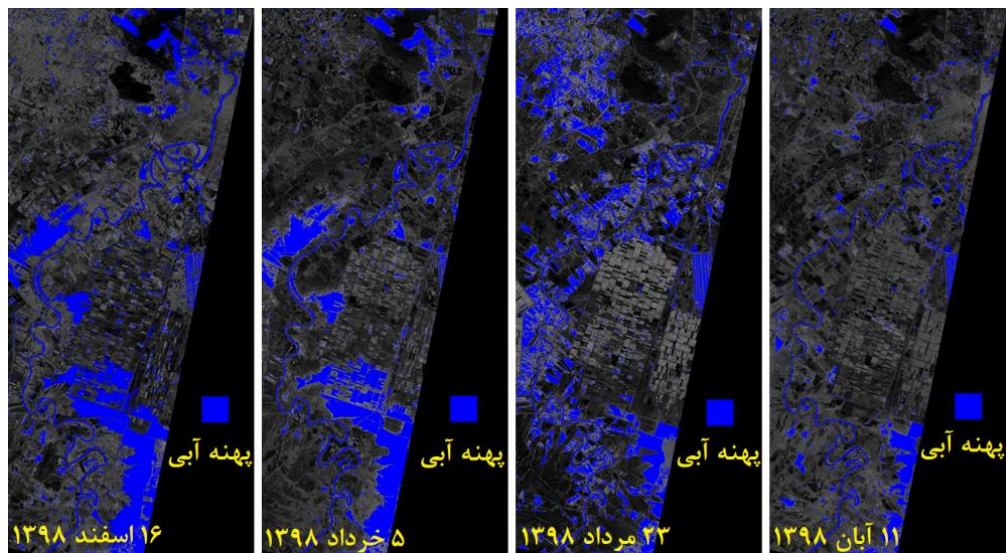
2<sup>7</sup> Mean Absolute Error

3<sup>8</sup> External Validation

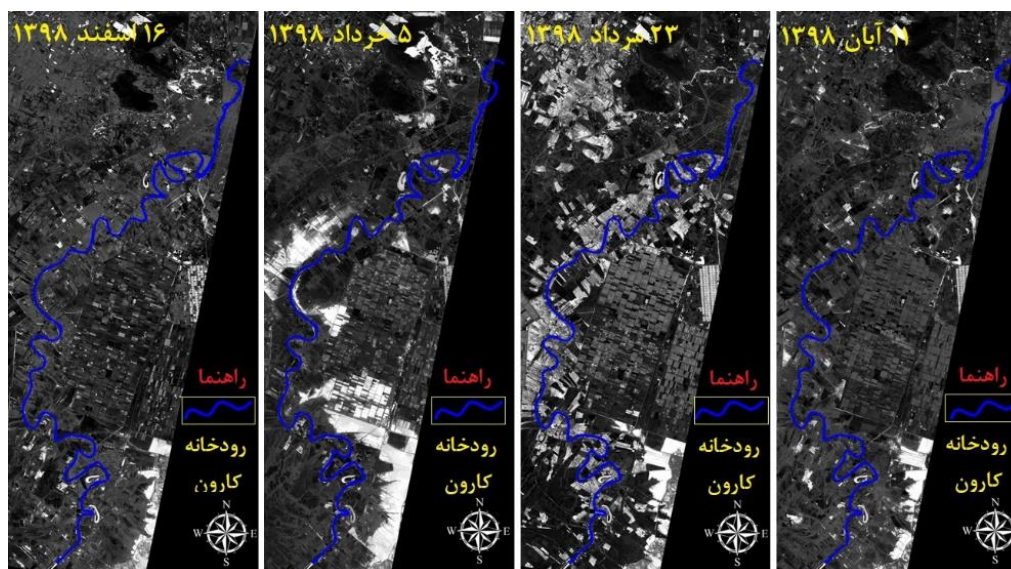




شکل ۴. باندهای مادون قرمز حرارتی و مرئی لندست-۸ بعد از اعمال پیش پردازش  
Fig. 4. Landsat- 8 Thermal and visible bands after pre-processing



شکل ۵. شاخص NDWI در چهار زمان مختلف  
Fig. 5. NDWI index at the four different times



شکل ۶. نتیجه استخراج دقیق رودخانه کارون از نقشه NDWI

Fig. 6. The result of accurate extraction of Karun River from NDWI map

محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، دماهای حاصل از این روش برای فصل‌های مختلف سال بسیار منطقی است. براساس نتایج حاصل از دمای محاسبه شده با استفاده از داده‌های سنجش از دوری، میزان دما برای منطقه مورد مطالعه در بازه‌ای بین ۱۴ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد متغیر است که در طول فصل تابستان گرم و در فصل زمستان سرد است. در شکل ۸، نمودار تغییرات سری زمانی دمای رودخانه کارون نشان داده شده است.

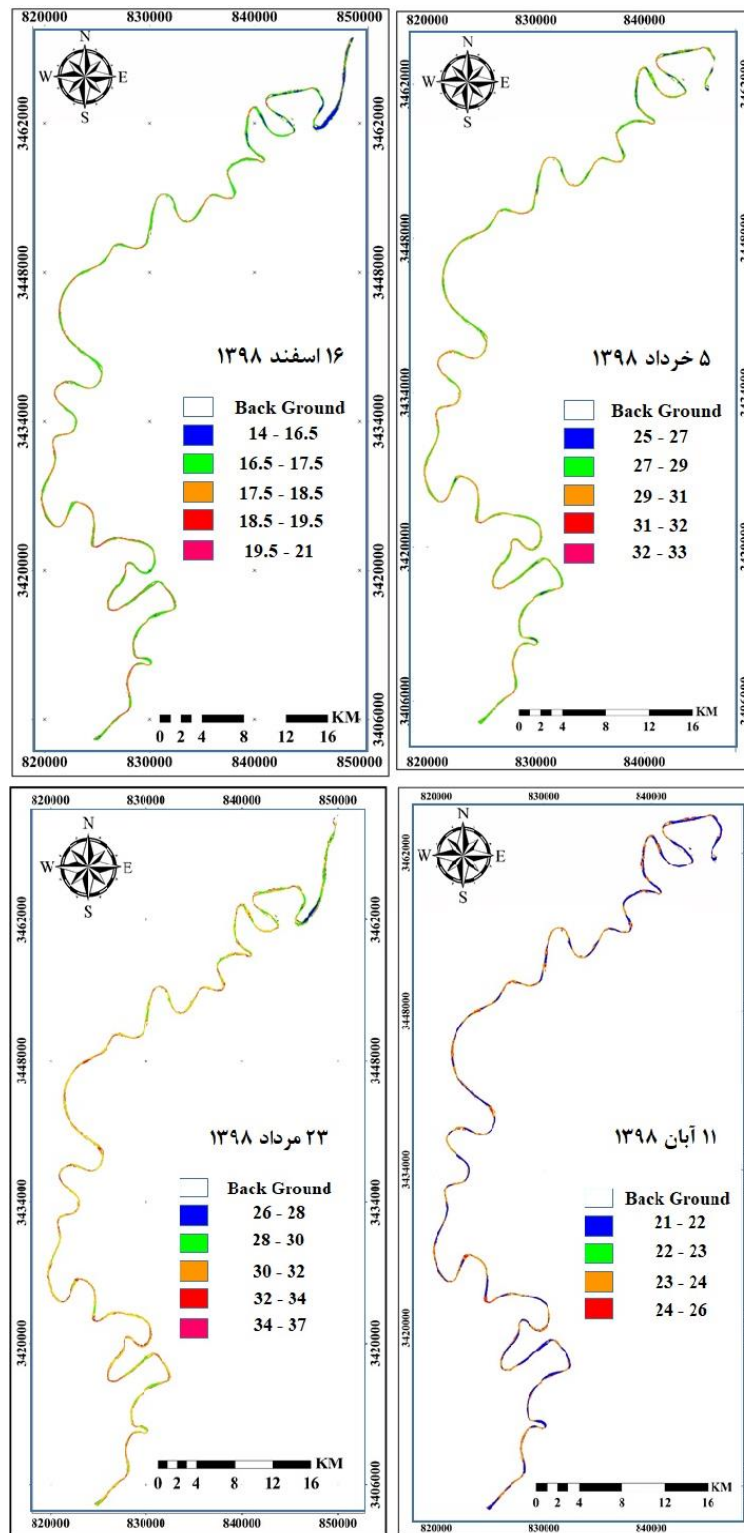
با توجه به شکل ۸، دمای رودخانه کارون در اسفند ماه که آخرین ماه از فصل زمستان است در بازه ۲۱-۱۴ درجه سانتی‌گراد متغیر است. در خرداد ماه که سومین ماه از فصل بهار است، تغییرات دما بین ۳۳-۲۵ درجه سانتی‌گراد است. این در حالی است که تغییرات دما در رودخانه کارون در اواسط تابستان ۳۷-۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در آبان ماه که دومین ماه از فصل پاییز است، دمای رودخانه کارون نسبت به فصل تابستان کاهش یافته و بین ۲۶-۲۱ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به اقلیم آب و هوایی منطقه مورد مطالعه و شرایط آب و هوایی ایران، بازه‌ی دمایی حاصل از سنجش از دور بسیار منطقی است. بنابراین دمای رودخانه کارون در ۶ ماهه

توجه به این شکل، مناطق آبی رنگ نشان‌دهنده پهنه‌های آبی موجود در منطقه و رودخانه کارون در چهار فصل مختلف که با استفاده از حدستانه مثبت (صفر تا یک) استخراج شده است. بر این اساس، مقادیر پهنه‌های آبی در منطقه مورد مطالعه به ازای ماه‌های خرداد، مرداد، آبان و اسفند به ترتیب برابر با ۷۳۴۶، ۵۶۸۰، ۴۰۸۳ و ۶۷۹۳ هکتار می‌باشد. همچنین، پهنه‌های آبی مربوط به رودخانه در ماه‌های مذکور به ترتیب برابر با ۱۹۸۰، ۱۸۸۶، ۱۸۲۱ و ۱۹۶۶ هکتار می‌باشد.

بعد از تولید نقشه NDWI و استخراج پهنه‌های آبی، مرز رودخانه بایستی به طور دقیق انتخاب شود. در صورتی که پیکسلی از پهنه‌های آبی غیر از پهنه‌های آبی مربوط به رودخانه نیز انتخاب شود، مشکلی در محاسبه دمای آب ایجاد نخواهد شد؛ به این دلیل که آن پیکسل جزء مناطق آبی به شمار می‌رود که به صورت دقیق از شاخص NDWI استخراج شده است. در شکل ۶، مرز دقیق استخراج شده با استفاده از شاخص NDWI نشان داده شده است.

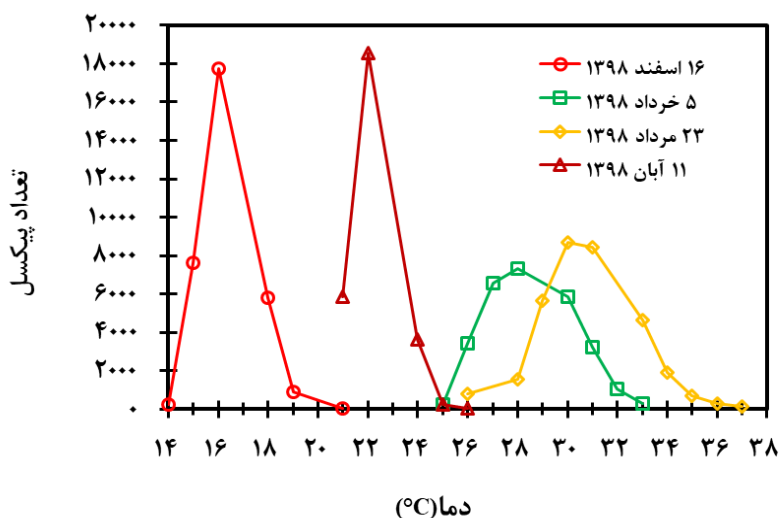
#### ۴-۳- نتایج بازبایی دمای آب رودخانه کارون

بعد از استخراج دقیق مرز رودخانه، دمای سطح آب برای تمام زمان‌ها



شکل ۷. دمای سطح آب رودخانه کارون در زمان‌های مختلف

Fig. 7. WST of Karun River at the different times



شکل ۸. تغییرات سری زمانی دمای آب رودخانه کارون

Fig. 8. Time series changes of Karun river water temperature

محاسبه شده برای پارامترهای  $m$  و  $n$  در تمامی زمان‌ها کمتر از  $0/1$  بوده که نشان‌دهنده بالاترین سطح دقت روش پیشنهادی در برآورد دمای سطح آب می‌باشد. همچنین پارامتر  $R_m$  در تمامی زمان‌ها مقادیری بالاتر از  $0/5$  را دارند که نشان‌دهنده عملکرد مطلوب مدل محاسباتی می‌باشد. میزان همبستگی و عملکرد داده‌های سنجش از دوری در استخراج دمای سطح آب به صورت شکل ۹ می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، دماهای حاصل از سنجش از دور با روش ارائه شده در مقاله حاضر با دماهای واقعی اندازه‌گیری شده توسط مشاهدات میدانی که شامل ۱۰ نقطه به ازای هر ماه بود، همبستگی بسیار خوبی دارد. بر این اساس بیشترین ضریب همبستگی ( $0/9962$ ) مربوط به داده‌های دمای اندازه‌گیری شده در ۱۱ آبان و نتایج شبیه‌سازی دما در روز ۱۶ اسفندماه با مقدار  $R$  برابر با  $0/9909$  دارای کمترین دقت محاسباتی می‌باشد. بر اساس این داده‌ها میزان انطباق و همبستگی در تمام داده‌ها بسیار بالا بوده که نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب سنجش از دور و ابزارهای مورد استفاده در این زمینه است. همچنین با در نظر گرفتن مقادیر پارامترهای آماری  $R$  و  $MAE$ ، سنجش از دور در تخمین مقادیر دما در دو روز ۵ خردادماه ( $R=0.9956$  و  $MAE=0.300C$ ) و ۲۳ مردادماه ( $RMSE=0.9952$   $MAE=0.2870C$ ) تقریباً دارای عملکرد یکسانی می‌باشد. با انجام تحلیل‌های فوق و سنجش عملکرد و

اول سال سیر صعودی و در ۶ ماه دوم سال سیر نزولی دارد.

#### ۴-۴ نتایج ارزیابی روش

مقادیر دماهای اخذ شده توسط سازمان آب و برق استان خوزستان و دماهای متناسب محاسبه شده از سنجش از دور همراه با پارامترهای آماری محاسبه شده در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، به ازای هر ماه تعداد ۱۰ نقطه در رودخانه کارون اندازه‌گیری شده است که هر کدام از آن‌ها با مقادیر برآورد شده از مدل سنجش از دوری (۱۰ نقطه متناسب با نقاط اندازه‌گیری شده) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر دماهای حاصل از سنجش از دور در تمام زمان‌ها بسیار نزدیک به مقدار واقعی آن‌ها می‌باشد. مقدار  $R$ ،  $RMSE$  و  $MAE$  به ازای ماه‌های خرداد، مرداد، آبان و اسفند به ترتیب برابر با  $0/995$ ،  $0/996$ ،  $0/996$ ،  $0/991$ ، برای  $R$ ،  $0/4$ ،  $0/33$ ،  $0/36$ ،  $0/34$  درجه سانتی‌گراد برای  $RMSE$  و  $0/287$ ،  $0/3$ ،  $0/33$  و  $0/29$  درجه سانتی‌گراد برای  $MAE$  می‌باشد که بیانگر دقت بالای مدل سنجش از دوری است. همچنین، همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، مقادیر عددی  $k$  و  $k'$  که باید به مقدار یک نزدیک باشند، دارای مقادیر نزدیک به عدد یک هستند. این امر نشان‌دهنده دست‌یابی به سطح عملکرد مطلوب داده‌های سنجش از دوری در برآورد دمای سطح آب است. مقادیر عددی

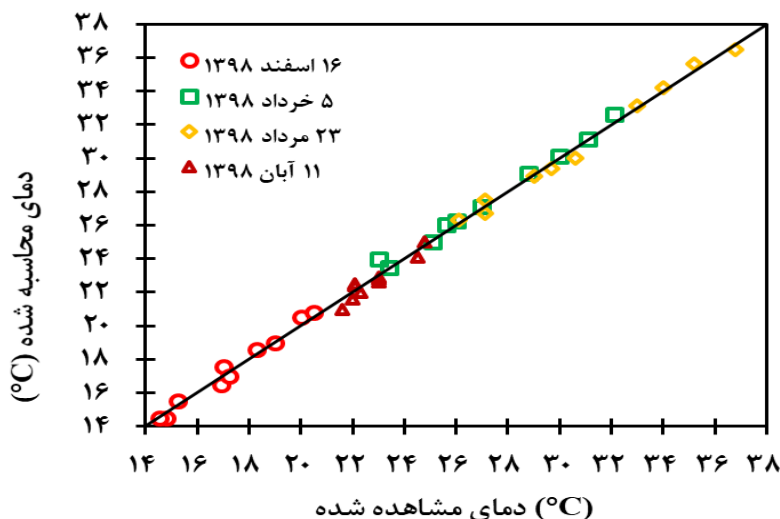


جدول ۲. مقادیر دمای مشاهداتی و برآورد شده توسط سنجش از دور

Table 2. The observed values and estimated Water Surface temperature values by Remote Sensing

نقاط	۱۶ اسفند		۵ خرداد		۲۳ مرداد		۱۱ آبان	
	دما		دما		دما		دما	
	اندازه‌گیری شده (°C)	محاسبه شده (°C)	اندازه‌گیری شده (°C)	محاسبه شده (°C)	اندازه‌گیری شده (°C)	محاسبه شده (°C)	اندازه‌گیری شده (°C)	محاسبه شده (°C)
۱	۱۴/۸	۱۴/۵	۳۲/۱	۳۲/۵۹	۲۶/۱	۲۶/۳	۲۲/۱	۲۲/۵
۲	۱۵/۲۵	۱۵/۵	۲۳/۴	۲۳/۴۸	۲۷/۱	۲۷/۵	۲۴/۵	۲۴/۱
۳	۱۶/۹	۱۶/۵	۲۶	۲۶/۲۵	۲۹/۷	۲۹/۴	۲۲/۳	۲۲
۴	۲۰	۲۰/۵	۲۳	۲۴	۳۶/۸	۳۶/۵	۲۳	۲۲/۶
۵	۱۹	۱۹	۲۸/۸	۲۹/۱	۳۴	۳۴/۲	۲۴/۸	۲۵
۶	۱۸/۳	۱۸/۶	۳۱/۱	۳۱/۱۲	۲۹	۲۸/۹	۲۳	۲۲/۸
۷	۱۷	۱۷/۵۹	۲۵/۶	۲۶	۲۷/۱	۲۶/۷	۲۲/۱	۲۲/۴
۸	۱۴/۵۵	۱۴/۵۲	۳۰	۳۰/۱۲	۳۵/۲	۳۵/۶	۲۲	۲۱/۶
۹	۱۷/۲۳	۱۷	۲۵/۱	۲۵	۳۳	۳۳/۱	۲۱/۶	۲۱
۱۰	۲۰/۵	۲۰/۸	۲۷	۲۷/۱۱	۳۰/۶	۳۰	۲۳	۲۲/۹
<i>R</i>	۰/۹۹۰۹		۰/۹۹۵۲		۰/۹۹۵۶		۰/۹۹۶۱	
<i>RMSE</i> (°C)	۰/۳۴		۰/۴		۰/۳۳		۰/۳۶	
<i>MAC</i> (°C)	۰/۲۹		۰/۲۸۷		۰/۳		۰/۳۳	
<i>K</i>	۰/۹۹۳۲		۰/۹۹۰۵		۱/۰۰۱۱		۱/۰۰۶۳	
<i>K'</i>	۱/۰۰۶۵		۱/۰۰۹۴		۰/۹۹۸۸		۰/۹۹۳۵	
<i>m</i>	-۰/۰۱۵۳		-۰/۰۰۱۸		-۰/۰۰۸۷		-۰/۰۷۵۲	
<i>n</i>	-۰/۰۱۴۸		-۰/۰۰۲۲		-۰/۰۰۸۷		-۰/۰۷۱۸	
<i>R<sub>m</sub></i>	۰/۸۶۱۷		۰/۹۴۸۵		۰/۸۹۹۳		۰/۶۷۴۴	





شکل ۹. همبستگی بین دمای حاصل از سنجش از دور و داده‌های واقعی

Fig. 9. The Correlation of between temperature from Remote Sensing and actual data

اسفند ماه ۲۱-۱۴ درجه سانتی‌گراد، و در خرداد ماه تغییرات دما بین ۳۳-۲۵ درجه سانتی‌گراد است. این در حالی است که تغییرات دما در رودخانه کارون در اواسط تابستان ۳۷-۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در آبان ماه که دومین ماه از فصل پاییز می‌باشد، دمای رودخانه کارون نسبت به فصل تابستان کاهش یافته و بین ۲۶-۲۱ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به اقلیم آب و هوایی منطقه مورد مطالعه و شرایط آب و هوایی ایران، بازه‌ی دمایی حاصل از سنجش از دور در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده بسیار منطقی است. براساس این نتایج، روش پیشنهادی در تمامی رودخانه‌ها با عرض بالای ۳۰ متر و در هر عمقی با دقت بالا قابل استفاده می‌باشد. مقادیر شاخص‌های آماری به ازای ماه‌های مورد مطالعه نشان دادند که مدل‌های سنجش از دوری دارای عملکرد قابل قبولی است. همچنین، آزمون آماری اعتبارسنجی کلی نشان‌دهنده بالاترین سطح دقت روش پیشنهادی در برآورد دمای سطح آب می‌باشد. کاربرد این روش علاوه بر برآورد دمای سطح آب، در حوزه‌های مرتبط با علوم آب از قبیل محاسبه دقیق مساحت پهنه‌های آبی، پهنه‌های سیلابی، استخراج دقیق مرز ساحلی دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌باشد. براساس یافته‌های حاصل از این تحقیق، و به واسطه منطقه مورد مطالعه نشان داده شد که داده‌ها و سیستم‌های سنجش از دوری به عنوان یک ابزار مناسب در جهت برآورد مقدار دمای سطح آب به صورت پیوسته در مدت زمان کمتر و با سرعت بیشتر می‌باشد.

دقت مدل‌های محاسباتی می‌توان نتیجه گرفت که سنجش از دور با استفاده از سیستم‌های مورد استفاده در آن، یک ابزار مفید در تعیین پارامترهای تأثیرگذار در شاخص کیفیت آب است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به منظور محاسبه دمای سطح آب رودخانه کارون از داده‌های ماهواره‌ای تصاویر لندست-۸ با سنجنده OLI و سنجنده حرارتی در چهار زمان مختلف به صورت سری زمانی استفاده شد که تصاویر اخذ شده مربوط به ماه‌های خرداد، مرداد، آبان و اسفند ۱۳۹۸ می‌باشد. به این ترتیب که در ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم و ضروری بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد و در مرحله‌ی بعد به منظور جداسازی مناطق آبی از سایر مناطق از یک شاخص آبی تفاضلی نرمال شده (NDWI) استفاده شد. بعد از جداسازی پهنه‌های آبی، مرز دقیق رودخانه از روی تصاویر با باند حرارتی انتخاب شد. در نهایت با اعمال الگوریتم در محیط نرم‌افزار ENVI ۵.۳ دمای سطح آب رودخانه کارون محاسبه شد. به منظور ارزیابی دقت و عملکرد داده‌های سنجش از دوری با مشاهدات میدانی از سه پارامتر آماری رایج شامل ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد. علاوه بر این، به منظور ارزیابی کارایی WST جهت برآورد میزان دما، از شاخص اعتبارسنجی کلی نیز استفاده شد. به این ترتیب براساس نتایج حاصل، دمای سطح آب رودخانه کارون در

3655-3661

## منابع

- [11] L.M. McMillin, Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption, *Journal of geophysical research*, 80(36) (1975) 5113-5117.
- [12] K. Kilpatrick, G.P. Podesta, R. Evans, Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C5) (2001) 9179-9197.
- [13] X. Li, W. Pichel, E. Maturi, P. Clemente-Colon, J. Sapper, Deriving the operational nonlinear multichannel sea surface temperature algorithm coefficients for NOAA-15 AVHRR/3, *International Journal of Remote Sensing*, 22(4) (2001) 699-704.
- [14] C. Walton, W. Pichel, J. Sapper, D. May, The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C12) (1998) 27999-28012.
- [15] C.C. Walton, Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data, *Journal of Applied Meteorology*, 27(2) (1988) 115-124.
- [16] E.H. Alcântara, et al., Remote sensing of water surface temperature and heat flux over a tropical hydroelectric reservoir, *Remote Sensing of Environment*, 114(11) (2010) 2651-2665.
- [17] C. Donlon, S. Castro, A. Kaye, Aircraft validation of ERS-1 ATSR and NOAA-14 AVHRR sea surface temperature measurements, *International Journal of Remote Sensing*, 20(18) (1999) 3503-3513.
- [18] Y. Hao, T. Cui, V.P. Singh, J. Zhang, R. Yu, Z. Zhang, Validation of MODIS Sea Surface Temperature Product in the Coastal Waters of the Yellow Sea, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(5) (2017) 1667-1680
- [19] A. Kumar, P. Minnett, G. Podesta, R. Evans, K. Kilpatrick, Analysis of Pathfinder SST algorithm for
- [1] X. Yu, X. Guo, Z. Wu, Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method, *Remote sensing*, 6(10) (2014) 9829-9852.
- [2] M. Syariz, L. Jaelani, L. Subehi, A. Pamungkas, E. Koenhardono, A. Sulistyono, Retrieval of sea surface temperature over poteran island water of indonesia with Landsat 8 tirs image: A preliminary algorithm, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (2015) 87.
- [3] M. Amini, Gh.R. Barati, A.R. SHakiba, M. Moradi, M. Karampour, the impact of monthly fluctuations Mediterranean sea surface temperature in the fluctuations of monthly precipitation northwest Iran, in: *Journal of Researches in Earth Sciences*, 31(8), 2017, pp. 28-41./ In Persian
- [4] C. Oppenheimer, SABINS, FF 1997. *Remote Sensing. Principles and Interpretation*, xiii+ 494 pp. New York: WH Freeman & Co. Price£ 32.95 (hard covers). ISBN 0 7167 2442 1, *Geological Magazine*, 135(1) (1998) 143-158
- [5] S.B. Fatemi, Y. Resaei, *Basics of Remote Sensing*, Azadeh, 2017. /In Persian
- [6] M. Rahman, L. Di, E. Yu, L. Lin, C. Zhang, J. Tang, Rapid flood progress monitoring in cropland with NASA SMAP, *Remote Sensing*, 11(2) (2019) 191.
- [7] R. Bernstein, Sea surface temperature estimation using the NOAA 6 satellite advanced very high resolution radiometer, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C12) (1982) 9455-9465.
- [8] E.P. McClain, W.G. Pichel, C.C. Walton, Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 90(C6) (1985) 11587-11601.
- [10] L. McMillin, D. Crosby, Theory and validation of the multiple window sea surface temperature technique, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 89(C3) (1984)

- Mohammad Asgari, S.H. Khazaei, The evaluation of sea surface temperature and the relationship between SST and depth in the Persian Gulf by MODIS, *Journal of Marine Science and Technology*, 15(2) (2016) 130-142.
- [30] M. Farzin, A. Nazari Samani, S. Feiznia, G.A. Kazemi, Determination of submarine groundwater discharge probable areas into the Persian Gulf on coastlines of Bushehr Province using standard thermal anomaly map, *Iranian Journal of ECO Hydrology*, 4(2) (2017) 477-488./In Persian
- [31] E. Medina-Lopez, L. Ureña-Fuentes, High-Resolution Sea Surface Temperature and Salinity in Coastal Areas Worldwide from Raw Satellite Data, *Remote Sensing*, 11(19) (2019) 2191.
- [32] J.-C. Jang, K. Park, High-Resolution Sea Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 OLI/TIRS Data at Coastal Regions, *Remote Sensing*, 11(22) (2019) 2687.
- [33] M. Isaya Ndossi, U. Avdan, Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin, *Remote sensing*, 8(5) (2016) 413.
- [34] A.A. Lamaro, A. Marinelarena, S.E. Torrusio, S.E. Sala, Water surface temperature estimation from Landsat 7 ETM+ thermal infrared data using the generalized single-channel method: Case study of Embalse del Río Tercero (Córdoba, Argentina), *Advances in Space Research*, 51(3) (2013) 492-500
- [35] S.K. McFeeters, The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International journal of remote sensing*, 17(7) (1996) 1425-1432.
- [36] S. Emamgholizadeh, H. Kashi, I. Marofpoor, E. Zalaghi, Prediction of water quality parameters of Karoon River (Iran) by artificial intelligence-based models, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(3) (2014) 645-656.
- [37] A. Aryafar, V. Khosravi, H. Zarepourfard, R. Rooki, Evolving genetic programming and other AI-based models for estimating groundwater quality parameters of the Khezri plain, Eastern Iran, *Environmental earth global and regional conditions*, *Journal of Earth System Science*, 109(4) (2000) 395-405.
- [20] B. Marti-Cardona, T. Steissberg, S. Schladow, S. Hook, Relating fish kills to upwellings and wind patterns in the Salton Sea, in: *The Salton Sea Centennial Symposium*, Springer, 2008, pp. 85-95.
- [21] D.A. May, W.O. Osterman, Satellite-derived sea surface temperatures: Evaluation of GOES-8 and GOES-9 multispectral imager retrieval accuracy, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3) (1998) 788-797.
- [22] P.J. Minnett, R.H. Evans, E.J. Kearns, O.B. Brown, Sea-surface temperature measured by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), in: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Ieee, 2002, pp. 1177-1179.
- [23] K.-A. Park, E.-Y. Lee, X. Li, S.-R. Chung, E.-H. Sohn, S. Hong, NOAA/AVHRR sea surface temperature accuracy in the East/Japan Sea, *International Journal of Digital Earth*, 8(10) (2015) 784-804.
- [24] J. Prats, N. Reynaud, D. Rebière, T. Peroux, T. Tormos, P.-A. Danis, LakeSST: Lake skin surface temperature in French inland water bodies for 1999-2016 from Landsat archives, (2018).
- [25] P. Schneider, S.J. Hook, Space observations of inland water bodies show rapid surface warming since 1985, *Geophysical Research Letters*, 37(22) (2010).
- [26] T.E. Steissberg, S.J. Hook, S.G. Schladow, Measuring surface currents in lakes with high spatial resolution thermal infrared imagery, *Geophysical research letters*, 32(11) (2005).
- [27] A. Thomas, D. Byrne, R. Weatherbee, Coastal sea surface temperature variability from Landsat infrared data, *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3) (2002) 262-272.
- [28] C. Wloczyk, R. Richter, E. Borg, W. Neubert, Sea and lake surface temperature retrieval from Landsat thermal data in Northern Germany, *International Journal of Remote Sensing*, 27(12) (2006) 2489-2502.
- [29] k. Fazelpoor, A. Dadollahi Sohrab, H. Elmizadeh, H.

- of longitudinal dispersion coefficients in transitional and turbulent pipe flow, *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 5(1) (2014) 04013011.
- [41] M. Najafzadeh, S. Sarkamaryan, Extraction of optimal equations for evaluation of pipeline scour depth due to currents, in: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Maritime Engineering*, Thomas Telford Ltd, 2018, pp. 1-10.
- [42] M. Najafzadeh, M. Rezaie Balf, E. Rashedi, Prediction of maximum scour depth around piers with debris accumulation using EPR, MT, and GEP models, *Journal of Hydroinformatics*, 18(5) (2016) 867-884.
- sciences, 78(3) (2019) 69.
- [38] Aryafar, V. Khosravi, F. Hooshfar, GIS-based comparative characterization of groundwater quality of Tabas basin using multivariate statistical techniques and computational intelligence, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(10) (2019) 6277-6290.
- [39] Tropsha, P. Gramatica, V.K. Gombar, The importance of being earnest: validation is the absolute essential for successful application and interpretation of QSPR models, *QSAR & Combinatorial Science*, 22(1) (2003) 69-77.
- [40] A.M. Sattar, Gene expression models for the prediction

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

H. Farhadi, M. Najafzadeh, *Presenting a New Method to Improve Seasonal Monitoring of Karun River Water Surface Temperature using Landsat-8 Satellite Images*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(11) (2022) 4639-4656.

DOI: 10.22060/ceej.2020.18421.6871



