



## مدلسازی عوامل مؤثر بر ناهنجاری دمای آب‌های ساحلی خلیج فارس در استان هرمزگان و ارتباط آن با شاخص‌های ژئومورفومتری

انیس حیدری<sup>۱</sup>، علی‌اکبر نظری سامانی<sup>۲\*</sup>، محسن فرزین<sup>۳</sup>، سادات فیض نیا<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲- دانشیار، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳- استادیار، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج

۴- استاد، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸

### چکیده

وجود چشمه‌های آب ساحلی به دلیل تأثیر بر روی شوری و دمای آب و به تبع آن تأثیر بر روی چگالی محیط اطراف در مطالعات دریایی از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از پژوهش حاضر، مدلسازی عوامل مؤثر بر ناهنجاری دمای آب‌های ساحلی و تعیین نواحی احتمالی خروج سفره‌های آب زیرزمینی به داخل دریا و همچنین ارتباط آن با شاخص‌های ژئومورفومتری می‌باشد. در این تحقیق به منظور تعیین ناهنجاری دمایی ناشی از نواحی احتمالی تخلیه‌ی آب زیرزمینی به خلیج فارس در سواحل استان هرمزگان، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 و GIS 10.3.1 و اعمال تصحیحات لازم (اتمسفیریک، رادیومتریک، هندسی) بر داده‌های حرارتی باند ۱۰ لندست ۸، نقشه‌ی دمای سطح دریا (SST) تهیه و نقشه‌ی ناهنجاری دمایی استاندارد (STA) از آن استخراج شد. سپس با تعیین سطح مشترک ناهنجاری دمایی طی سال‌های ۹۶ و ۹۷ در سواحل استان هرمزگان، نواحی احتمالی تخلیه آب زیرزمینی زیردریایی به خلیج فارس مشخص شد. سپس شاخص‌های ژئومورفومتری شامل: ارتفاع، شیب، انحنای طولی، انحنای عرضی، انحنای عمومی و موقعیت توپوگرافی (TPI) تعیین شده و تجزیه و تحلیل آماری آنها با استفاده از روش حداکثر آنتروپی شانون صورت گرفت. نتایج نشان داد که ناهنجاری‌های ایجاد شده در سواحل بندرماقم، بندرنخیلو، بندردیوان، بندرشناس، بندرلنگه و بندرکنگ به ترتیب ۵۳/۴۳، ۷/۸۳، ۱۸/۶۵، ۵/۱۶، ۲/۴۶، ۱۲/۹۸ هکتار دارای احتمال بسیار بالای خروج سفره‌های آب زیرزمینی به داخل دریا می‌باشند. این سطح در کل سواحل محدوده‌ی مورد مطالعه ۱۰۰/۵۳ هکتار است که به خلیج فارس تخلیه می‌شود. همچنین بر اساس نتایج آزمون جکنایف حساس‌ترین شاخص ژئومورفومتری، متغیر ارتفاع (در حالت منفی برابر با عمق دریا) است که به تنهایی AUC برابر با ۰/۹۰ ایجاد می‌کند لذا اگر از داده‌های ورودی مدل حذف شود، بیشترین تأثیر کاهش را در نتایج پیش‌بینی مدل خواهد داشت.

**کلمات کلیدی:** ناهنجاری دمایی، تخلیه آب زیرزمینی زیردریایی، ژئومورفومتری، مکسنت، خلیج فارس

### ۱- مقدمه

تخلیه جریان‌های زیرزمینی زیردریایی و ناهنجاری‌های دمایی تأثیر شایان توجهی را در چرخه‌ی آب ایفا می‌کند به طوری که می‌توان آن را یکی اجزای مهم بیلان آبی به حساب آورد. بنابراین، شناسایی محدوده ناهنجاری‌های ناشی از تخلیه احتمالی آب زیرزمینی به دریا اهمیت بسیار زیادی در مطالعات اکولوژیک و هیدرولوژیک دارد. تخلیه آب زیرزمینی به دریا (SGD)<sup>۱</sup>، هر جریان یا همه جریان‌های آب در کناره‌های قاره‌ای بستر دریا به ساحل اقیانوس بدون در نظر گرفتن ترکیب مایع و نیروی محرکه عامل آن، تعریف می‌شود (بارنت<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۳: ۳). خروج این جریان در دریا باعث ناهنجاری دمایی بر روی سطح دریا خواهد شد. روند تغییرات دمایی سطح آب بدین گونه است که معمولاً محل خروج چشمه در تابستان سردتر و در زمستان گرم‌تر از آب دریا است. این اختلاف دمایی بسته به حجم آب خروجی از چشمه، مسافت طی شده توسط آب زیرزمینی و شرایط اقلیم منطقه متفاوت بوده و ۴-۵ درجه هم گزارش شده است (کلوکوسیسی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۸۲۳۹؛ ویلسون و روچا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲: ۲۶). یکی از روش‌های تشخیص و تعیین جریان آب زیرزمینی زیردریایی و ناهنجاری دمایی، استفاده از تصاویر حرارتی ماهواره‌ای و مادون قرمز است که اساس آن بر تعیین اختلاف دمای نواحی دارای تخلیه‌ی زیردریایی با دمای پیکره‌ی آبی اطراف آن استوار است. از آنجایی که چگالی آب شیرین زیرزمینی کمتر از چگالی آب دریا است و به صورت پلوم‌های شناور بر روی آب شور قرار می‌گیرد (مور<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰: ۷۰؛ زینگ<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۵۰)، روش‌های حرارت‌سنجی یا دیگر روش‌های سنجش از دور پتانسیل خوبی در شناسایی اولیه چشمه‌ها دارند. از این‌رو، با کاربرد سنجش از دور حرارتی به عنوان یک ابزار اولیه‌ی قدرتمند می‌توان نواحی دارای پتانسیل SGD و ناهنجاری دمایی را برای بهینه‌سازی پیمایش صحرایی، از سایر نواحی، پیش‌گراگیری کرد. در زمینه‌ی تعیین مناطق احتمالی تخلیه‌ی آب زیرزمینی زیردریایی، پژوهش‌هایی انجام گرفته است. در مطالعه‌ی استفاده از تصاویر سنجنده‌ی ETM+ ماهواره لندست ۷ در مکان‌یابی چشمه‌های آب شیرین خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که ناهنجاری‌های دمایی سطح آب دریا تا ۴ درجه سانتی‌گراد است. از طرفی اندازه‌گیری میدانی هدایت الکتریکی نشان‌دهنده‌ی کاهش شوری تا ۴۰ درصد بود که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی خروج سفره‌ی آب زیرزمینی به‌داخل دریا در این مناطق باشد (دلدار، ۱۳۹۲: ۱-۷۸).

در تحقیقی دیگر با بررسی نواحی احتمالی تخلیه‌ی آب زیرزمینی زیردریایی به سواحل خلیج فارس در استان بوشهر با استفاده از نقشه‌ی ناهنجاری دمایی استاندارد به این نتیجه رسیدند که در محدوده‌ی ساحلی مورد

1- Submarine Groundwater Discharge  
 2- Brunett  
 3-Kolokoussis

4-Rocha and Wilson  
 5- Moore  
 6- Xing

مطالعه ۲۲۳۱۷ هکتار سطح احتمالی تخلیه‌ی آب زیرزمینی زیردریایی وجود دارد (فرزین و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۷۷-۴۸۸). همچنین در مطالعه‌ای دیگر شناسایی محدوده‌ی احتمالی حضور چشمه‌های زیردریایی خلیج فارس در سواحل استان بوشهر با استفاده از داده‌های حرارتی لندست ۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد ناهنجاری‌های دمایی کمتر از ۱۰۰ متر ناشی از جریان‌های ورودی آب زیرزمینی به پیکره‌های آبی، به احتمال زیاد اهمیت به نسبت کمتری نسبت به ناهنجاری‌های بزرگ‌تر از ۱۰۰ متر دارند (فرزین و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۱-۱۰۵). در آلمان، برای اولین بار اندازه‌گیری هوایی اشعه مادون قرمز حرارتی (TIR) الگوی تخلیه آب زیرزمینی دریاچه‌ای (LGD<sup>1</sup>) برای دریاچه‌های آب شیرین عمیق انجام شد و نتایج نشان داد که اندازه‌گیری TIR برای شناسایی الگوی تخلیه‌ی آب زیرزمینی در دریاچه‌ها، ابزاری قدرتمند است (لوواندوزکی و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۱۹-۱۲۵). همچنین سنجش میزان SGD بین خطوط ساحلی شمال و جنوب خلیج فارس با استفاده از سنجش از دور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که ناهنجاری‌های حرارتی در سواحل شمالی خلیج فارس بسیار بیشتر از سواحل جنوبی است (فرزین و همکاران، ۲۰۱۷: ۴۹۷-۵۰۳).

یکی از بررسی‌های مهم در مطالعه آب زیرزمینی بررسی وضعیت ژئومرفولوژیکی منطقه است همچنین وجود ناهمواری‌های بیشتر نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان تغذیه‌ی آب زیرزمینی است. اغلب تکنیک‌های مورد استفاده در مطالعات مرفومتري، برپایه داده‌های رستری و برمبنای مدل رقومی ارتفاعی، استوار است. مدل‌های رقومی ارتفاع مبتنی بر سنجش از دور طی دهه‌های اخیر کاربرد وسیعی در علوم داشته و با توان تفکیک بالا، این امکان را فراهم آورده است که بتوان پارامترهای مرتبط با حوضه را با دقت و سرعتی مناسب محاسبه نمود (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۶). در این زمینه تحقیقی با عنوان مطالعه‌ای بررسی تأثیر عوامل ساختاری و توپوگرافی در فراوانی و ظهور چشمه‌های محدوده‌ی دشت‌های قلعه رزه و بیدروبه انجام شد نتایج نشان داد ۵۹۰۰ هکتار دشت دارای پتانسیل بالا برای ظهور، ۱۶۰۰ هکتار پتانسیل متوسط و ۴۸۰۲ هکتار پتانسیل کم است (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۴۲-۱). همچنین در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از روش رگرسیون لاجستیک در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به پهنه‌بندی نواحی با پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی در حوضه‌ی آبخیز سلطان ترکیه پرداخته شد. ۱۷ فاکتور مؤثر در وقوع چشمه در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت و صحت نقشه پهنه‌بندی نهایی با استفاده از سطح زیر منحنی (ROC)، ۰/۸۲ بدست آمد (ازدمیر، ۲۰۱۱: ۱۳۶-۱۲۳). در مطالعه‌ای دیگر روابط بین تخلیه آب‌های زیرزمینی زیردریایی و مناطق بالادست با استفاده از سنجش از دور حرارتی در شمال

خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که درصد تشکیلات کارستی و شاخص رطوبت توپوگرافی متغیرهای کلیدی مؤثر بر پدیده SGD و توزیع فضایی در مناطق ساحلی شمالی خلیج فارس می‌باشد (نظری سامانی و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۰-۱).

تاکنون مطالعات متعددی انجام شده است که نشان می‌دهد بین دمای سطح دریا و تغییرات اقلیمی به ویژه میزان بارش و دمای نواحی اطراف و گاهی دور از پیکره‌های آبی ارتباط نزدیکی وجود دارد که میتوان با تعیین SST، وضعیت اقلیمی و هیدرولوژیک خشکی‌ها را پیش‌بینی کرد؛ در مطالعه‌ای مشخص شد که تغییرات دمای سطح آب‌های خلیج فارس تأثیر معنی‌داری بر نوسان‌های بارش در سطح وسیعی از مناطق جنوب غربی و جنوبی ایران دارد به طوری که افزایش یا کاهش بارش زمستانه در این مناطق به ترتیب با دمای کمتر و بیشتر از معمول سطح آب خلیج فارس مطابقت دارد (ناظم السادات و قاسمی، ۱۳۸۳: ۱۴-۱) همچنین برای نمونه، رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۲-۴۷؛ پوراصغر و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۰؛ کیتزبرگر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۸-۵۴۳؛ هوانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۳۴-۲۱۳؛ بائو و رن<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴: ۱۰۶-۹۶؛ پاتسوسکی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵: ۷۷۵-۷۶۱). اخیراً که اهمیت SGD به طور روز افزون مشخص می‌شود نیز تعیین دمای سطح دریا و نواحی ساحلی به منظور تشخیص ناهنجاری‌های دمایی ناشی از ورود جریان‌های زیردریایی ساحل به دریا و همچنین شناسایی محل تخلیه چشمه‌ها در بستر دریا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و رادون قرمز و گاهی در ترکیب با روش‌های ژئوشیمیایی، بیش از پیش به کار گرفته می‌شود (برای نمونه، ویلسون و روچا<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶: ۱۹۵-۲۰۴).

مرور تمامی مکان‌هایی که در آنها SGD مطالعه شده است نشان می‌دهد که بسیاری از مطالعات مستقل، در ساحل شرقی ایالات متحده، اروپا، ژاپن و اقیانوسیه صورت گرفته است. مطالعات کمتری نیز در ساحل غربی ایالات متحده و هاوایی انجام شده است. در بسیاری از مطالعات مشاهده شده است که SGD با فاصله گرفتن از ساحل و افزایش عمق آب، کاهش می‌یابد؛ در واقع، به عنوان یک قانون کلی، بالاترین نرخ SGD آب شیرین در نزدیکی ساحل رخ می‌دهد و بنابراین بدیهی است که بیشترین تأثیر SGD در ورود ریزمغذی‌ها، نزدیک ساحل و در کمتر از پنج کیلومتری آن باشد (لچر<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۷).

1- Kitzberger  
 2- Huang  
 3- Bao and Ren

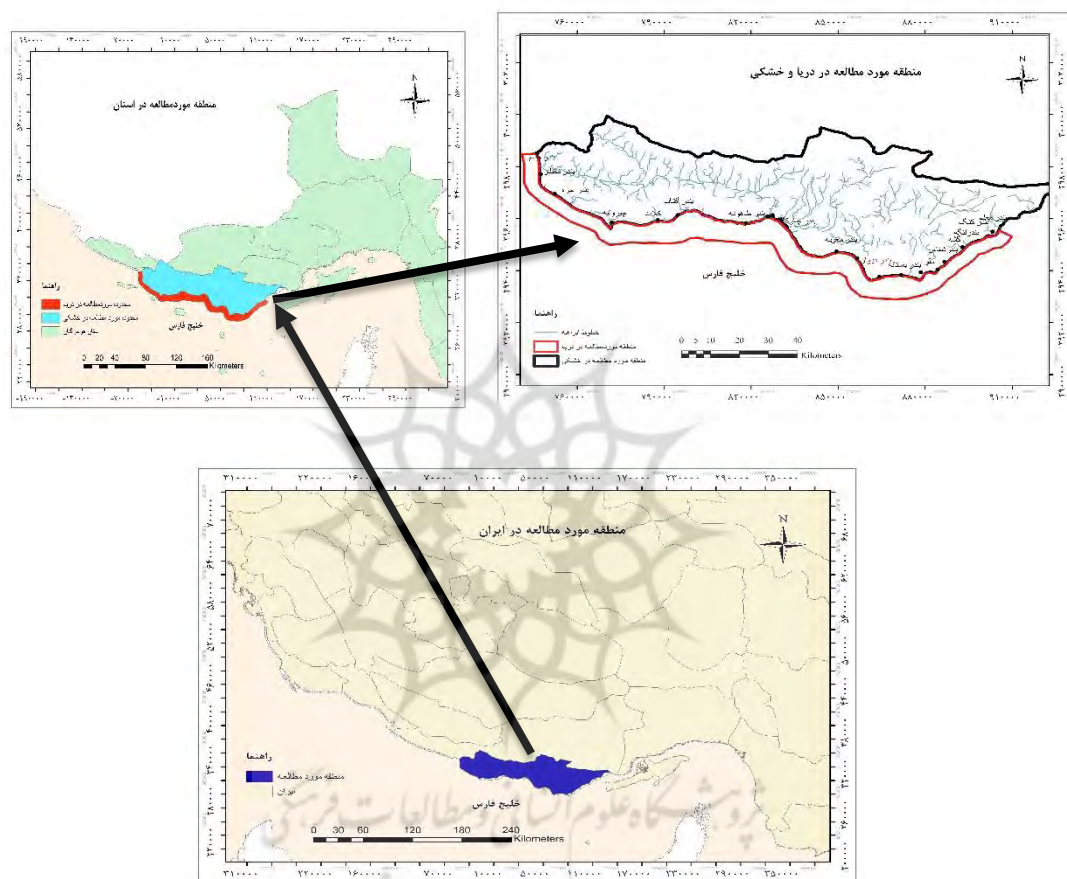
4- Patskoski  
 5- Wilson & Rocha  
 6- Lecher

با توجه به کمبود شدید آب شیرین در پهنه‌های ساحلی و روند رو به رشد توسعه صنعتی ( نفت و گاز) و در نتیجه افزایش روزافزون تقاضای آب در این مناطق، تمایل سیاست‌گذاران به سوی فنآوری‌های هزینه‌بر آب شیرین‌کن و پروژه‌های انتقال آب برای تأمین آب آشامیدنی، اهمیت پرداختن به موضوع شناسایی و بهره‌برداری از مناطق دارای چشمه‌های آب زیر زمینی به ویژه در مناطق ساحلی را بیش از پیش نمایان می‌کند. لذا هدف پژوهش حاضر، تعیین عوامل مؤثر بر ناهنجاری دمای آب‌های ساحلی و نواحی احتمالی خروج سفره‌های آب زیرزمینی زیردریایی در سواحل خلیج فارس (بندر مقام تا بندر معلم) می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

خلیج فارس محدوده‌ی آبی نیمه بسته‌ای است که در موقعیت جغرافیایی  $0^{\circ} 48''$  تا  $30^{\circ} 56''$  طول شرقی و  $0^{\circ} 24''$  تا  $30^{\circ} 30''$  عرض شمالی، بین کشور ایران و شبه‌جزیره عربستان قرار گرفته و از طریق تنگه هرمز با دریای عمان ارتباط دارد (شکل ۱). دمای سطحی آب خلیج فارس از  $12^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد در زمستان تا بیش از  $35^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد در تابستان متغیر است (ROPME<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰: ۲۰). اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که علی‌رغم اینکه دمای آب خلیج فارس به طور چشمگیری در تابستان بیشتر است، حداکثر تبخیر در زمستان رخ می‌دهد که اساساً به دلیل وزش بادهایی با سرعت بیشتر در این فصل است. عمق متوسط خلیج فارس  $36$  متر (رینولدز<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳: ۳) و عمق حداکثری آن حدود  $160$  متر در جنوب جزیره تنب بزرگ می‌باشد. حداکثر درجه حرارت در فصل تابستان در سواحل خلیج فارس به طور متوسط  $40$  تا  $46$  درجه سانتی‌گراد است که در بیشتر قسمت‌های خلیج فارس به  $33/5$  درجه سانتی‌گراد می‌رسد. با توجه به اهمیت نواحی نزدیک به ساحل در حضور چشمه زیردریایی، محدوده  $5$  تا  $10$  کیلومتری از ساحل به طرف دریا و خشکی در منطقه بندر مقام تا بندر معلم در استان هرمزگان مورد بررسی‌های سنجش از دور قرار گرفت (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه  
 Figure (1): Location of the study area

## ۲-۲- روش تحقیق

۲-۲-۱ تعیین دمای سطح دریا (SST) با استفاده از داده‌های TIRS ماهواره لندست ۸ و واسنجی آن

در این پژوهش، از داده‌ها و تصاویر رایگان مربوط به سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ ماهواره لندست ۸ جهت تعیین نقشه‌های دمای سطح دریا استفاده گردید. شایان یادآوری است که منظور از دمای سطح دریا، دمای آب لایه‌ی بالایی سطح دریا است که سنجنده‌ی ماهواره‌ی ثبت می‌کند و معمولاً حدود یک میلی‌متر ضخامت دارد.

در ابتدا، کیفیت داده‌های برداشت شده توسط ماهواره‌ی لندست ۸ از نظر ابرناکی و وجود گرد و غبار در یک فریم که کل محدوده‌ی مورد نظر را در بردارد طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به دقت مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت از فریم مورد نظر پنج تکرار در طول سال‌های ذکر شده از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده

داندلود گردید؛ انتخاب هر تکرار به این صورت بود که علاوه بر وجود حداقل درجه ابرناکی و گرد و غبار، پراکنش فصلی محدوده را نیز شامل شود. جدول (۱) ویژگی‌های داده‌های ماهواره‌ای مورد نظر را ارائه می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات داده‌های ماهواره لندست ۸، باند ۱۰ سنجنده‌ی TIR  
**Table (1): Landsat 8 satellite data specifications, TIR band 10 sensor band**

ردیف / گذر	تاریخ برداشت
	۳۱ شهریور ۱۳۹۶
	۱۶ مهر ۱۳۹۶
۱۶۱/۴۲	۲۰ دی ۱۳۹۶
	۲۲ دی ۱۳۹۷
	۲۹ فروردین ۱۳۹۷

سپس در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 تصحیحات لازم اتمسفریک بر باندهای حرارتی اعمال شد. در ادامه به منظور بررسی وجود داشتن یا نداشتن خطاهای هندسی و رادیومتری، بررسی کیفیت داده‌ها روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. بدین ترتیب که با بررسی تصاویر تک باند و ترکیبات رنگی مختلف خطای شایان توجهی مشاهده نشد. همچنین همه‌ی تجزیه تحلیل‌ها و استخراج نقشه‌های دمای سطحی با استفاده از نرم‌افزار GIS 10.3.1 انجام شد.

برای تبدیل ارزش‌های پیکسل (DN) به تابش طیفی یا رادیانس (TOA) (انرژی تابشی در بالای جو که توسط سنجنده مشاهده شده است (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۵)) در سنجنده OLI/TIRS ماهواره لندست ۸ از رابطه‌ی (۱) استفاده می‌شود:

$$L_0 = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

در این رابطه؛  $L_L$  رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده  $(W/(m^2 \times sr \times \mu m))$ ،  $M_L$  فاکتور تبدیل ضربی که در هدر تصاویر لندست ۸ به نام RADIANCE\_MULT\_BAND بدست می‌آید.  $Q_{cal}$  ارزش پیکسل رقومی شده و واسنجی شده (DN)،  $A_L$  ضریب تبدیل جمعی که در هدر تصاویر لندست ۸ به نام RADIANCE\_ADD\_BAND به دست می‌آید، می‌باشند.

جدول (۲): مقادیر ضریب‌های ضربی و جمعی برای باندهای حرارتی سنجنده OLI/TIRS لندست ۸

**Table (2): Values of multiplicative and cumulative coefficients for OLI / TIRS Landsat 8 thermal bands**

باند ۱۱	باند ۱۰	ضریب
۰/۰۳۳۴	۰/۰۳۳۴	$M_L$
۰/۱	۰/۱	$A_L$

دمای درخشندگی سنجنده با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1+1}{L_0}\right)} \quad (2)$$

$T$  در این رابطه؛  $T$  دمای روشنایی یا درخشندگی (BT) در سطح سنجنده بر حسب کلونین،  $L_0$  رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده  $(W/(m^2 \times sr \times \mu m))$ ،  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب واسنجی حرارتی سنجنده می‌باشند. با تفریق حاصل رابطه‌ی ۲ در عدد  $273/15$ ، دمای برآوردی به درجه‌ی سانتی‌گراد تبدیل می‌شود.

جدول (۳): مقادیر ضرایب واسنجی حرارتی سنجنده OLI/TIRS لندست ۸

Table (3): Values of thermal calibration coefficients of Landsat OLI / TIRS sensor 8

باند ۱۱	باند ۱۰	ضریب
۴۸۰/۸۸۸۳	۷۷۴/۸۸۵۳	$K_1$
۱۲۰/۱۴۴۲	۱۳۲۱/۰۷۸۹	$K_2$

در این تحقیق به منظور تعیین دمای سطح دریا در محدوده‌ی مورد مطالعه، تنها از داده‌های باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ استفاده گردید.

در نهایت، دمای سطح دریا با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد (آرتیس و کارناهان، ۱۹۸۲: ۳۱۵):

$$SST = \frac{BT}{\ln \varepsilon \times \left(\frac{BT}{\rho}\right) \times W + 1} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{hc}{s} \quad (4)$$

SST دمای سطح دریا (بر حسب درجه سانتی‌گراد)، BT دمای درخشندگی (بر حسب درجه سانتی‌گراد)،  $w$  طول موج رادیانس گسیل شده،  $\rho$  ضریب ثابت،  $h$  ثابت پلانک ( $6.626 \times 10^{-34}$  JS)،  $C$  سرعت نور ( $2.998 \times 10^8$  m/s)،  $S$  ثابت بولتزمن ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K) و  $\varepsilon$  گسیلمندی می‌باشند. با توجه به طول موج دریافتی توسط باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ و میانه آن که برابر با  $10/9$  است (آرتیس و کارناهان، ۱۹۸۲: ۳۱۶) مقدار عددی گسیلمندی برای آب دریا،  $0/989$  در نظر گرفته شد (سریواستاوا و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵۶۷ و ویلسون<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۵). در نهایت با استفاده از رابطه‌ی SST واقعی و SST تصویر صحت‌سنجی نتایج با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها (RRMSE، RMSE، MAE، ME) و شاخص  $R^2$  انجام شد و تصویر SST برآوردی به SST واقعی تبدیل شد.



## ۲-۲-۲- نقشه‌ی ناهنجاری حرارتی (Thermal Anomaly)

به منظور شناسایی نواحی احتمالی ورود آب زیرزمینی به سواحل منطقه‌ی مورد مطالعه، نقشه‌ی ناهنجاری دمایی تهیه گردید. ناهنجاری حرارتی به صورت تفاوت بین دمای سطح دریا (سطوح گرمتر در تصاویر حرارتی، رنگی روشن‌تر از سطوح خنک‌تر دارند (کمپبل<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۶۴) در هر پیکسل با مقدار دمای میانگین کل تصویر تعریف می‌شود (ویلسون و روچا، ۲۰۱۶: ۱۹۸):

$$TA = T_p - \bar{T} \quad (5)$$

TA ناهنجاری حرارتی به درجه سانتی‌گراد،  $T_p$  دمای هر پیکسل به درجه سانتی‌گراد و  $\bar{T}$  مقدار دمای میانگین سطح دریا به درجه سانتی‌گراد است.

در صورت عدم وجود داده‌های دمای ثبت شده در تاریخ و مکان دقیقی که در آن تصویر ماهواره‌ای برداشت شده است، آنگاه داده‌های دمایی ماهواره‌ای را نمی‌توان صحت‌سنجی کرد. این محدودیت را می‌توان با ایجاد نقشه‌ی استاندارد شده‌ای که امکان مقایسه مقادیر دمای سطح دریا که از داده‌های ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف بدست آمده است برطرف نمود. برای محاسبه مقدار ناهنجاری حرارتی استاندارد شده، مقادیر TA بر انحراف از معیار مقادیر دمایی سطح دریا تقسیم می‌شود (ویلسون و روچا، ۲۰۱۶: ۱۹۸):

$$STA = \frac{TA}{\sigma} \quad (6)$$

STA ناهنجاری حرارتی استاندارد (بدون بُعد)، TA ناهنجاری حرارتی و  $\sigma$  انحراف از معیار است.

پس از تهیه‌ی STA، با اعمال کلاس‌بندی‌های مختلف در محیط GIS، حداقل سطح ناهنجاری دمایی مشخص شده و با ترسیم مرز هر کدام از ناهنجاری‌ها، در نهایت نقشه‌ی پراکنش ناهنجاری‌های حرارتی تهیه گردید.

## ۲-۲-۳- ژئومورفومتری

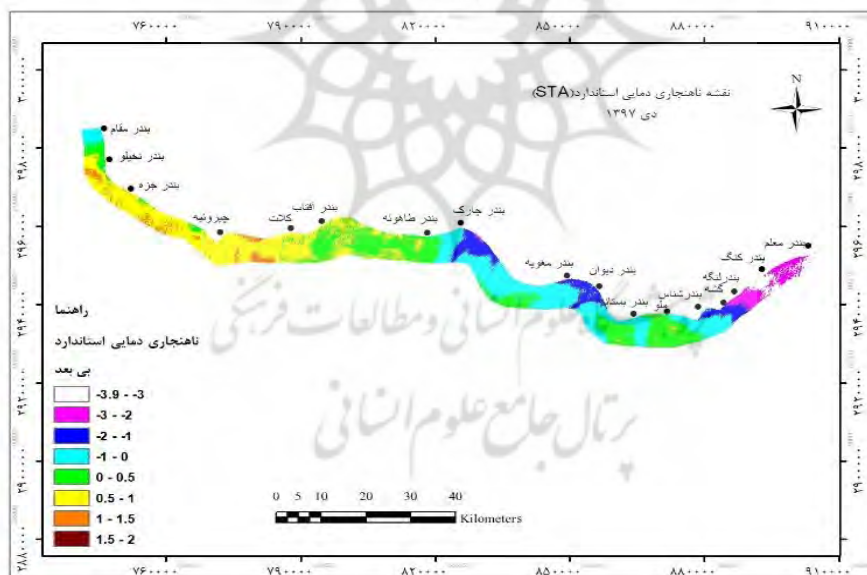
در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاع (DEM) در محیط نرم افزار GIS برای تهیه‌ی شاخص‌های ژئومورفومتری و مدلسازی آماری تهیه و استفاده گردید. در نهایت، پس از تهیه‌ی نقشه‌های مربوط به متغیرهای محیطی شامل (شیب، موقعیت توپوگرافی، انحنای طولی، انحنای عمومی، انحنای عرضی، ارتفاع) لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی با حالت ASCII و لایه‌ی مربوط به نقاط حضور آنومالی با حالت CSV آماده شد. پس از آماده‌سازی لایه‌ها و انجام تنظیمات موردنظر در قسمت تنظیمات نرم‌افزار، از نرم‌افزار maxent Version 3.3.3k برای انجام مدلسازی آماری استفاده شد. به‌دلیل اینکه خروجی مدل آنتروپی حداکثر نقشه پیوسته است ضروری است که

برای تعیین حضور یا عدم حضور هدف مورد نظر، حد آستانه بهینه مشخص شود (نگا، ۲۰۰۷: ۱۶؛ فیلیپس و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۴۳). در این پژوهش بعد از تعیین آستانه‌ی بهینه برای حضور مطلوب چشمه‌های زیرزمینی زیردریایی با استفاده از روش آستانه لاجستیک که توسط مدل حداکثر آنتروپی تعریف می‌شود و مقدار آن ۰/۱۹ تعیین شد، نقشه پیوسته پیش‌بینی به نقشه‌ی عدم حضور و حضور تبدیل شد.

### ۳- نتایج

شکل ۲، نقشه‌ی ناهنجاری دمایی استاندارد (STA) دی ماه ۹۷ را در محدوده‌ی بندر مقام تا بندر معلم سواحل استان هرمزگان نشان می‌دهد. شکل ۳، محدوده‌ی ناهنجاری‌های ترسیم شده‌ی مستخرج از نقشه‌های ناهنجاری دمایی استاندارد (STA) را طی سال‌های ۹۶ و ۹۷ نشان می‌دهد که بر اساس نقشه‌های دمایی استاندارد و با توجه به تأثیری ترسیم شده است که تخلیه‌ی آب زیرزمینی زیردریایی بر تغییر دمای سطح آب‌های ساحلی دارد و موجب ایجاد لکه‌های دمایی متفاوت از دمای اطراف می‌شود. با توجه به همپوشانی تصاویر ماهواره‌ای، بخشی از ناهنجاری‌های دمایی مشاهده شده در هر فریم، در تصویر جانبی نیز تکرار می‌شود. از طرف دیگر، مشاهده ناهنجاری دمایی در زمان‌های مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا نشانگر وجود جریان احتمالی تخلیه‌ای به دریا می‌باشد. از این رو، سطح مشترک تعریف و تعیین گردید. سطح مشترک ناهنجاری به سطحی اطلاق می‌شود که دفعات تکرار ناهنجاری، حداقل در دو تاریخ متفاوت مشاهده شود. به طوری که بخشی از ناهنجاری‌ها دارای سطحی حداقل، برای همپوشانی مشترک باشد. این سطح مشترک، علاوه بر کاهش خطاهای احتمالی در تعیین سطح ناهنجاری طی فرآیندهای استخراج و تفسیر نقشه‌ها، نشان‌دهنده‌ی تداوم محدوده‌ی ناهنجاری دمایی است که می‌تواند به عنوان محل تخلیه‌ی دائمی جریان آب زیرزمینی به دریا تلقی گردد. این سطح در نواحی بندر مقام تا بندر معلم، در حدود ۷۴۶ هکتار برآورد گردید (جدول ۴). بنابراین در سواحل مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه ۷۴۶ هکتار محدوده احتمالی تخلیه آب زیرزمینی به خلیج فارس وجود دارد به طوری که مهم‌ترین و بیشترین سطح آن در بندر مقام، چیروئیه و حوالی بندر دیوان مشاهده گردید (شکل ۴). نواحی محدودتر نیز در حوالی بندر نخیلو، بین بندر حسینیه و بندر مغویه، بندر شناس، بندر لنگه و بندر کنگ مشاهده می‌شود که ضروری است مورد توجه قرار گیرند. شکل ۵، به ترتیب نقشه‌های شیب، طبقات ارتفاعی، انحنای طولی و انحنای عرضی و شکل ۶ انحنای عمومی و شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) را نشان می‌دهند. مطابق شکل (۵ و ۶) شیب منطقه عموماً ملایم است و گرادیان زیادی را نشان نمی‌دهد. بالاترین نقطه‌ی ارتفاعی، ۶۹۶ متر ارتفاع دارد که به دلیل وجود سازندهای مقاوم به فرسایش در تاقدیس‌ها مانند آسماری می‌باشد.

همچنین کمترین نقطه‌ی ارتفاعی ۵۹- متر ارتفاع دارد و این نقاط منفی عمق دریا در محدوده‌ی مورد مطالعه در نقاط مختلف را نشان می‌دهد که کمترین آن ۵۹- متر می‌باشد. با توجه به اینکه علاوه بر مناطق ساحلی محدوده‌ی دریایی نیز در تهیه‌ی نقشه‌های انحنا مدنظر قرار داده شد انواع انحنای طولی و عرضی در آن نواحی نزدیک صفر یا منفی را نشان می‌دهد. در واقع، بیشترین انحنا در مناطق کوهستانی و تاقدیس‌های مختلف زاگرس چین‌خورده به وجود آمده است که بسته به درجه انحنا، مقادیر مثبت یا منفی دارند. نقشه‌ی انحنای عمومی در منطقه‌ی مطالعاتی، بین ۰/۰۵۸ تا ۰/۰۵۳- تغییر می‌کند. مقادیر مثبت در انحنای عمومی بیانگر نقاط مرتفع کوهستانی محدب و مقادیر منفی بیانگر دریا و فرورفتگی‌های مقعر در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. مطابق شکل شاخص موقعیت توپوگرافی در منطقه‌ی مطالعاتی، از بازه‌ی ۲۴/۷۳۷۶- در مناطق دره تا ۲۵/۴۵۸۶ در بخش‌های کوهستانی را در بر می‌گیرد.



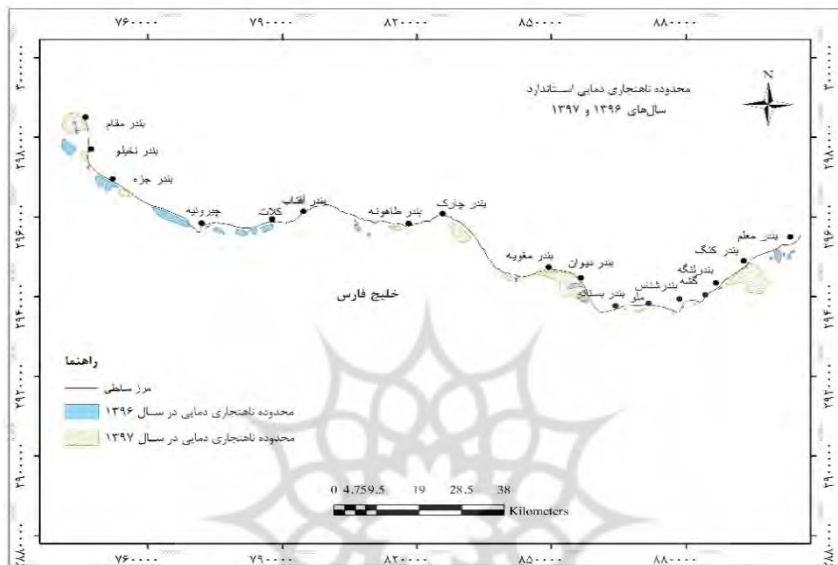
شکل (۲): نقشه‌ی ناهنجاری دمایی استاندارد (STA)، دی ۱۳۹۷ (برای نمونه)

Figure (2): Standard Temperature Anomaly (STA) Map, December 2016 (for example)

جدول (۴): سطح ناهنجاری‌های دمایی مشاهده شده در سواحل غربی هرمزگان طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۶

Table (4): Level of temperature anomalies observed in the west coast of Hormuzgan during 2016 and 2017

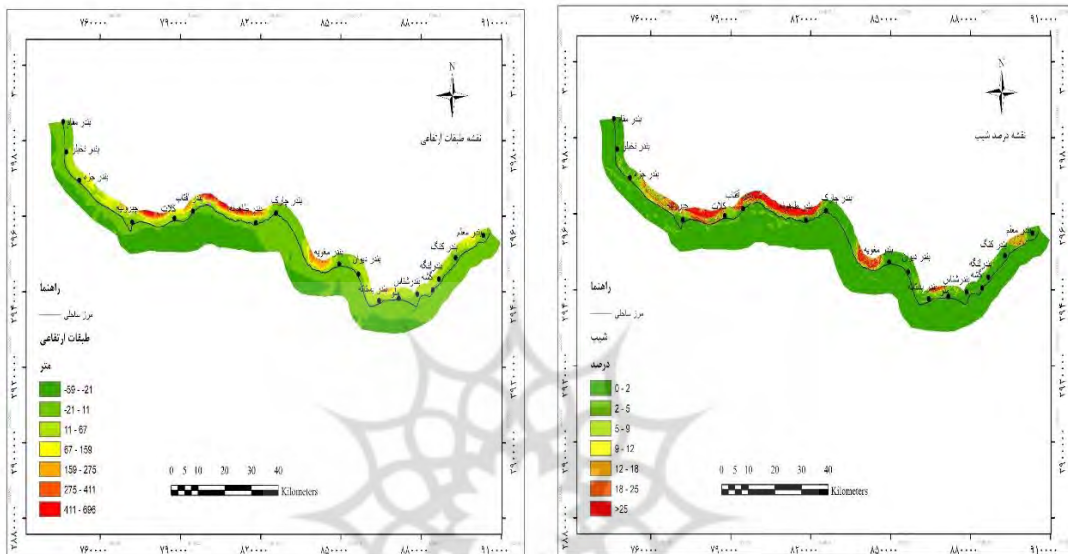
ردیف / گذر تصویر	سطح ناهنجاری دمایی در سال ۱۳۹۶ (هکتار)	سطح ناهنجاری دمایی در سال ۱۳۹۷ (هکتار)	سطح مشترک ناهنجاری دمایی طی سال
	۴۹۶۶	۱۲۶۴	۷۴۶



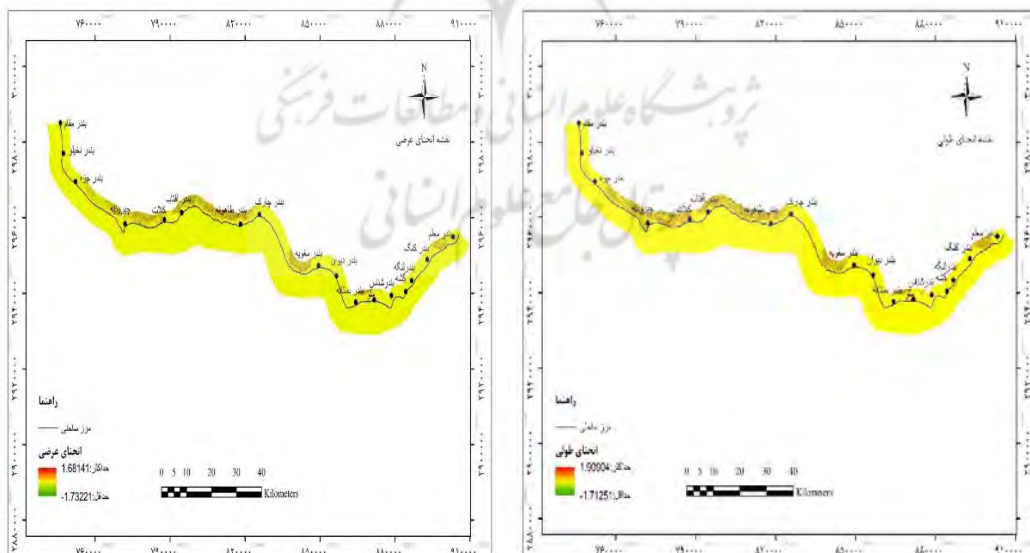
شکل (۳): محدوده‌ی ناهنجاری دمایی طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷  
Figure (3): Temperature anomaly range during 2016 and 2017



شکل (۴): نواحی احتمالی تخلیه‌ی آب زیرزمینی زبرداری  
Figure (4): Possible areas of groundwater discharge



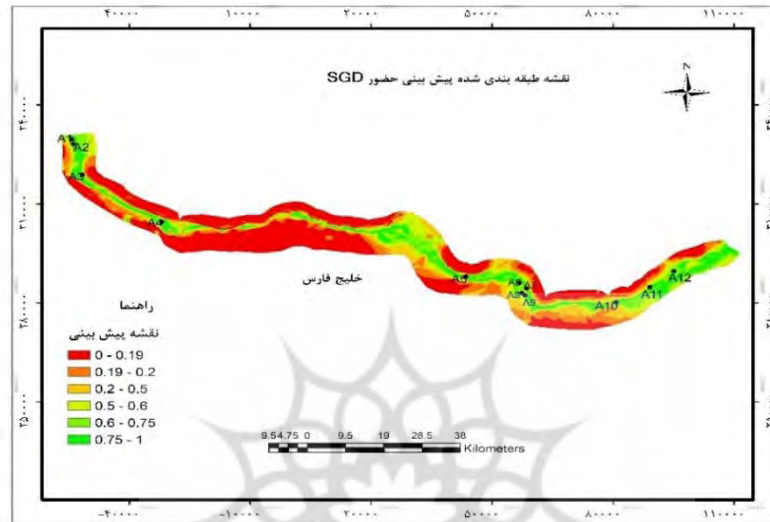
شکل (۵): نقشه‌ی شاخص‌های ژئومورفومتری منطقه‌ی مورد مطالعه  
Figure (5): Map of geomorphometric indices of the study area



شکل (۶): نقشه‌ی شاخص‌های ژئومورفومتری منطقه‌ی مورد مطالعه  
Figure (6): Map of geomorphometric indices of the study area

شکل ۷، خروجی لاجستیک و نقشه‌ی طبقه‌بندی شده ((۰ تا ۰/۱۹۴، عدم حضور)، (۰/۱۹۴ تا ۰/۵، حضور متوسط) و (۰/۵ تا ۰/۷۵، حضور قوی) و (۰/۷۵ تا ۱، حضور بسیار قوی)) میانگین پیش‌بینی حضور چشمه‌های زیرزمینی زیردریایی بر اساس ناهنجاری‌ها و متغیرهای محیطی را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه، با استفاده از ۱۲ نقطه ناهنجاری، مشاهدات جدول (۵) به دست آمد (حروف A در نقشه‌ی ابتدای کلمه Anomaly یا همان ناهنجاری‌های دمای سطح آب می‌باشد). بر اساس این جدول، بیشتر نقاط ناهنجاری‌ها در محدوده حضور قوی تا بسیار قوی و فقط ناهنجاری ۲ در محدوده‌ی حضور متوسط در نقشه‌ی پیش‌بینی حضور SGD قرار دارند. بنابراین از ناهنجاری‌های به دست آمده ناهنجاری ۲ در بندر مقام، ناهنجاری ۳ در حوالی بندر نخیلو، ناهنجاری ۷ در سواحل بندر دیوان، ناهنجاری ۱۰ در بندر شناس، ناهنجاری ۱۱ در بندر لنگه و ناهنجاری ۱۲ در بندر کنگ دارای احتمال حضور بسیار قوی SGD و ناهنجاری ۱، ۴، ۶ و ۸ به ترتیب در حوالی شهرهای بندر مقام، چیروئیه، بندر مغویه و بندر دیوان دارای احتمال حضور قوی SGD و ناهنجاری‌های ۵ و ۹ در حوالی شهرهای بندر مغویه و بندر دیوان دارای احتمال حضور متوسط SGD می‌باشند. همچنین برای تعیین متغیرهای مهم در حضور SGD از آزمون جک نایف استفاده گردید (شکل ۸). این آزمون نشان داد که متغیرهای محیطی ارتفاع (در حالت منفی برابر با عمق آب)، شیب، انحنای عمومی و انحنای طولی بیشترین تأثیر را در حضور SGD و متغیر موقعیت توپوگرافی تأثیر متوسط و انحنای عرضی کمترین تأثیر را در حضور SGD و در نتایج پیش‌بینی مدل دارند. در صورتی که متغیر ارتفاع از داده‌های ورودی مدل حذف شود، بیشترین تأثیر کاهش را در نتایج پیش‌بینی مدل خواهد داشت. همچنین این متغیر به تنهایی می‌تواند AUC برابر با ۰/۹۰ ایجاد کند که همین امر نشان‌دهنده‌ی اهمیت مضاعف متغیر ذکر شده می‌باشد.

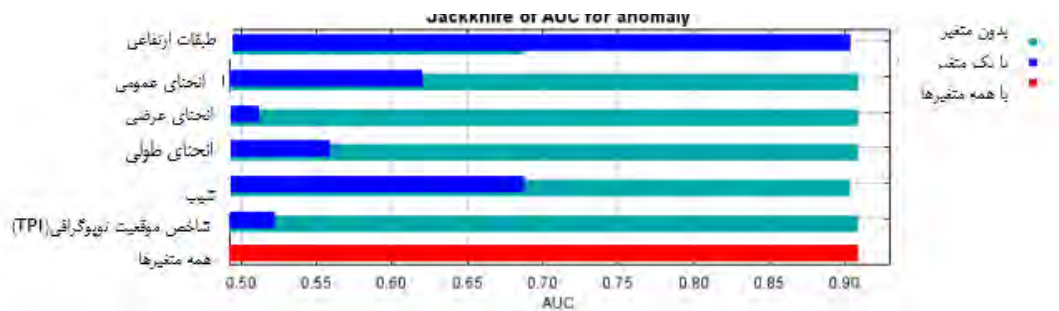
به منظور ارزیابی مدل، از سطح زیر منحنی ROC (AUC) که توسط خود نرم‌افزار مکسنت محاسبه می‌گردد، استفاده شد. با توجه به مقدار سطح زیر منحنی به دست آمده مطابق شکل (۹) دقت مدل پیش‌بینی حضور چشمه‌های زیرزمینی زیردریایی بر اساس ناهنجاری‌ها و متغیرهای محیطی در سطح ایده‌آل قرار گرفت.



شکل (۷): نقشه‌ی طبقه‌بندی شده پیش‌بینی حضور SGD بر اساس ناهنجاری‌های دمای سطح آب و متغیرهای محیطی  
Figure (7): Classified map predicting the presence of SGD based on water surface temperature anomalies and environmental variables

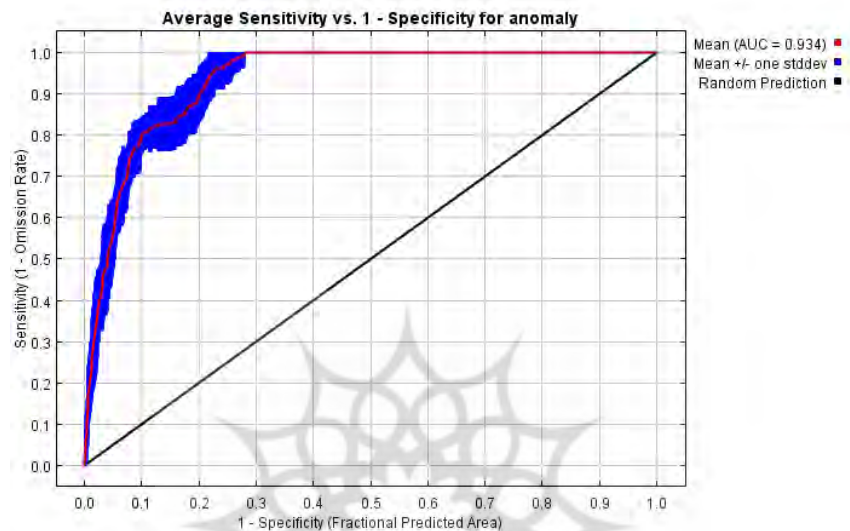
جدول (۵): حضور ناهنجاری‌ها در طبقات مختلف نقشه‌ی پیش‌بینی حضور چشمه‌های زیرزمینی زیردریایی  
Table (5): Presence of anomalies in different classes of the map Predicting the presence of underground submarine springs

ناهنجاری (Anomaly)	طبقات پیش‌بینی حضور ناهنجاری‌ها در محدوده تخلیه SGD
-	۰ تا ۰/۱۹، عدم حضور
A <sub>5</sub> , A <sub>9</sub>	۰/۱۹ تا ۰/۵، حضور متوسط
A <sub>1</sub> , A <sub>4</sub> , A <sub>6</sub> , A <sub>8</sub>	۰/۵ تا ۰/۷۵، حضور قوی
A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> , A <sub>7</sub> , A <sub>10</sub> , A <sub>11</sub> , A <sub>12</sub>	۰/۷۵ تا ۱، حضور بسیار قوی



شکل (۸): آزمون جک نایف جهت تحلیل حساسیت مدل  
Figure (8): Jackknife test to analyze the sensitivity of the model





شکل (۹): منحنی ROC و مقدار مساحت زیر منحنی (AUC)  
Figure (9): ROC curve and area under curve (AUC)

#### ۴- بحث

یکی از روش‌های تشخیص جریان آب زیرزمینی زیردریایی (SGD)، برآورد دمای سطح دریا و تعیین اختلاف دمای نواحی دارای تخلیه زیردریایی با محیط اطراف با استفاده از سنجش از دور است که اساس آن بر تعیین اختلاف دمای نواحی دارای تخلیه زیردریایی با دمای پیکره آبی اطراف استوار است. از آنجایی که چگالی آب شیرین زیرزمینی کمتر از چگالی آب شور دریا است و به صورت پلوم‌های شناور بر روی آب شور قرار می‌گیرد و همچنین دمای جریان خروجی از زمین کمتر از دمای آب دریای محیط اطراف است، روش‌های حرارت سنجی با استفاده از سنجش از دور پتانسیل خوبی در شناسایی اولیه نواحی تخلیه آب زیرزمینی زیردریایی دارند. برآورد دمای سطح زمین با الگوریتم‌های مختلف نشان داده است که استفاده از داده‌های باند ۱۰، دقت به مراتب بیشتری نسبت به باند ۱۱ دارد (یو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۹۸۴۷)؛ بنابراین باید از کاربرد داده‌های باند ۱۱ به ویژه در جایی که به تصحیح کامل نیاز دارند، اجتناب کرد (بارسی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۱۶۰۸)؛ همچنین سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده (۲۰۱۴ و ۲۰۱۶) نیز به دلیل وجود نورهای مزاحم در باند ۱۱ و در نتیجه عدم قطعیت قابل توجه در کیفیت داده‌های حاصل از این باند، استفاده از باند ۱۱ را توصیه نمی‌کند. از این رو به منظور تعیین دمای سطح دریا، تنها از داده‌های باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ استفاده گردید. بررسی تغییرات زمانی

1- Yu

2- Barsi



دمای سطح آب دریا در فصول مختلف سال‌های ۹۶ و ۹۷ نشان‌دهنده این است که در تمامی فصول، دمای سطح آب سردتر از محیط اطراف می‌باشد که این تغییرات با گزارش سایر مطالعات صورت گرفته متفاوت است. با توجه به گزارش سایر محققین در این زمینه، انتظار بر این است که تخلیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی به داخل دریا در فصل سرد سال باعث گرم تر شدن آب مناطق تحت تأثیر در مقایسه با دمای آب معمول دریا شود. در فصل گرم سال شرایط برعکس بوده و باعث سردتر شدن دمای سطح آب در این مناطق می‌شود.

با بررسی بارندگی ایستگاه‌های بارانسنجی موجود (۱۴ ایستگاه) در منطقه مورد مطالعه و بررسی مقدار بارندگی (همان ماه، ماه قبل، شش ماه قبل، همان سال و سال قبل) ناهنجاری‌های مشاهده شده و همچنین برقراری رابطه رگرسیونی بین سطوح ناهنجاری با مقادیر بارندگی در زمان‌های مختلف مشخص شد که بین سطوح ناهنجاری و مقدار بارندگی در ماه قبل رابطه بالایی وجود دارد. اندازه‌گیری STA مشاهده شده نشان می‌دهد که مقدار این ناهنجاری‌ها از نظر سطح پوشش در فصل زمستان بیشتر از فصول دیگر است که با توجه به نتایج حاصل از بررسی بارش منطقه مورد مطالعه این مساله می‌تواند ناشی از بارندگی بیشتر در فصل زمستان و افزایش دبی چشمه‌ها باشد. عدم تطابق دمایی در فصول مختلف با نتایج تحقیق دیگر محققان می‌تواند ناشی از شرایط خاص خلیج فارس و سواحل غربی استان هرمزگان باشد. در واقع زمستان به مفهوم واقعی در منطقه وجود ندارد لذا می‌توان نتیجه گرفت که الگوی تغییرات ناهنجاری‌های ایجاد شده در دمای سطح آب ناشی از خروج سفره‌های زیرزمینی به داخل دریا در این منطقه متفاوت با سایر نقاط باشد.

همچنین تغییرات دمایی ایجاد شده بر روی سطح آب در فصل زمستان نشان‌دهنده‌ی این است که بهترین زمان برای شناسایی ناهنجاری‌های دمای سطح آب در فصل زمستان می‌باشد، زیرا اعتدال دمای آب و هوا در این فصل در منطقه مطالعاتی بیشتر است. در واقع این ناهنجاری‌های دمایی نمی‌تواند ناشی از عواملی غیر از تخلیه زیردریایی مانند تغییر عمق دریا، وزش بادهای، نیروی جذر و مدی، جریان‌های ساحلی، وجود توده‌های جلبکی و ... باشد (ماللاست<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ شوبرت<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). به طور کلی این نواحی دارای ناهنجاری دمایی می‌تواند ناشی از تغییرات خصوصیات هیدرولوژیکی ساحل و طبیعت دوره‌ای سطح دریا یا در اثر وجود نواحی تخلیه آب زیرزمینی زیردریایی پدیدار شده باشد. در نهایت از بین فصول مورد بررسی در سال ۹۶ و ۹۷ و با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی SSTA، STA، سطح مشترک به دست آمده و همچنین بررسی‌های بارندگی مشخص شد که در دی ماه ۹۶ و ۹۷ بیشترین ناهنجاری دمایی با تکرار در دو تاریخ متفاوت وجود دارد که از نتایج به دست آمده مربوط به این ماه‌ها برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی استفاده گردید.

بررسی‌های عمق در محدوده‌ی ناهنجاری‌های موجود در دی ماه ۹۶ و ۹۷ و همچنین سطح مشترک ناهنجاری دمایی حاصل از این دو تاریخ نشان داد که ناهنجاری‌های به دست آمده در نواحی عمیق دریا قرار ندارد و عمق این لکه‌های دمایی کم و در محدوده‌ای است که احتمال حضور چشمه‌های زیرزمینی زیردریایی را افزایش می‌دهد. بنابراین با توجه به مطالعه‌های صورت گرفته توسط مالاست و همکاران (۲۰۱۳) و آیونسکی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) می‌توان بیان نمود که نتایج به دست آمده مربوط به عمق ناهنجاری‌های دمایی به دلیل اینکه در محدوده کم عمق دریا و کمتر از ۳۰ متر قرار دارند، دلیلی بر افزایش احتمال حضور چشمه‌های زیردریایی در این نواحی می‌باشد. طبق مطالعه‌ی لوواندوزکی و همکاران (۲۰۱۳)، ویلسون و روچا (۲۰۱۶) و فرزین و همکاران (۱۳۹۶) که ابراز داشتند با فاصله از ساحل نرخ حضور SGD کاهش می‌یابد و در ناهنجاری‌های ایجاد شده در سطح آب نزدیک به ساحل افزایش احتمال حضور چشمه‌های زیردریایی را انتظار خواهیم داشت، یافته‌های مطالعه حاضر با آن مطابقت دارد و تمامی ناهنجاری‌های دمایی و به‌ویژه ناهنجاری‌های تکرار شده در دو تاریخ دی ماه ۹۶ و ۹۷ در فاصله‌ی ۳ کیلومتری از ساحل واقع شده‌اند که احتمال حضور SGD را افزایش می‌دهد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از آزمون جکنیاف مهمترین شاخص‌های مؤثر در حضور ناهنجاری‌های دمایی و حضور SGD ارتفاع (عمق) و شیب است که بررسی‌های عمق نشان می‌دهد حضور چشمه‌های زیرزمینی زیردریایی تا عمق حداکثر ۴- متر می‌باشد و شیب مناسب برای حضور نواحی تخلیه آب زیرزمینی زیردریایی به ترتیب شیب ۰ تا ۵ درصد می‌باشد که با یافته‌های آیونسکی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. همچنین بررسی ناهمواری‌ها بیانگر این است که چشمه‌های زیرزمینی زیردریایی در ناهمواری دشت یا سطوح صاف قرار دارند. همچنین شاخص انحنا طولی بیانگر سرعت جریان است و نشان‌دهنده‌ی تأثیر تغییرات سرعت جریان در تخلیه‌ی آب زیرزمینی به دریا است. شاخص انحنا عرضی بیانگر همگرایی و واگرایی جریان است و نشان‌دهنده‌ی تأثیر تغییرات واگرایی و همگرایی جریان در تخلیه است. شاخص انحنا عمومی بیانگر فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌ها است و در این پژوهش نشان داد که مناطق دارای فرورفتگی تأثیر بسزایی بر تخلیه‌ی آب زیرزمینی به دریا دارد. شاخص TPI نماینده‌ی درجه پستی بلندی است و معنی دار شدن آن نشان‌دهنده‌ی تأثیر تغییرات ارتفاعی و پستی بلندی بر نفوذ جریان و تخلیه است. در واقع نتایج حاصل از آزمون جکنیاف نشان داد که از بین شاخص انحناها، شاخص انحنا طولی و عرضی تأثیر قابل توجهی در تخلیه SGD ندارد اما شاخص انحنا عمومی مهم‌ترین شاخص در تخلیه SGD می‌باشد.

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث صورت گرفته در رابطه با تغییرات زمانی و مکانی SST و STA و نقش عوامل محیطی در ایجاد آنها و با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی‌های ژئومورفومتری و ناهمواری‌ها و همچنین نتایج حاصل از مدلسازی مکسنت بر پایه سطح مشترک ناهنجاری‌های دمایی در دی ماه ۹۶ و ۹۷ می‌توان گفت که ناهنجاری‌های ایجاد شده در مناطق بندر مقام، بندر نخیلو، سواحل بندر دیوان، بندر شناس، بندر لنگه و بندر کنگ دارای احتمال بسیار بالای خروج سفره‌های آب زیرزمینی به داخل دریا می‌باشند.

به طور کلی، این جریان‌های زیر دریایی مقدار تخلیه قابل توجهی را خواهند داشت که می‌تواند بر اکوسیستم ساحلی و نیز بیلان آبی منطقه اثرات چشمگیری داشته باشد. چنانچه کیفیت آب تخلیه شده، ذاتاً شور نباشد و مطلوب استفاده باشد، می‌تواند به عنوان منبع تامین آب مصرفی اهالی منطقه، بهره‌برداری و مورد استفاده قرار گیرد.

۶- منابع

- Artis, D.A., & Carnahan, W.H. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12 (4): 313–329.
- Bahrami, M., Fathzadeh, A., Taghizadeh, R., & Zare Chahooki, M. (2016). Investigation of the scale of geomorphometric parameters on the prediction of spatial distribution of snow depth, *Journal of Hydrogeomorphology*, No. 6, Spring 2016, pp. 95-113. (In Persian)
- Burnett, W.C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W.S., & Tanighchi, M. (2003). Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry*, 66: 3–33.
- Barsi, J.A., Schott, J.R., Hook, S.J., Raqueno, N.G., Markham, B.L., & Radocinski, R.G. (2014). Landsat- 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration. *Remote Sensing*, 6: 11607-11626.
- Bao, B., & Ren, G. (2014). Climatological characteristics and long-term change of SST over the marginal seas of China. *Continental Shelf Research*, 77: 96–106.
- Campbell, C.W., Abd El Litif, M., & Foster, J.W. (1996). Application of Thermography to Karst Hydrology. *Cave and Karst Studies*, 58(3): 163-167.
- Deldar, H. (2013). Location of Persian Gulf freshwater springs using satellite images. *Master Thesis, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University*, 2 p. (In Persian)
- Entezari, A., Amirahmadi, A., Aliabadi, K., Khosroyan, M., & Ebrahimi, M. (2016). Surface temperature monitoring and evaluation of land use change trends (Case study: Parishan Lake watershed), *Journal of Hydrogeomorphology*, No. 8, pp. 113-139. (In Persian)
- Farzin, M., Samani, A.N., Manbari, S., Feyznia, S., & Kazemi, G. (2017). Identification of the possible range of presence of Persian Gulf submarine springs on the coasts of Bushehr province using Landsat 8 thermal data, *Journal of Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, Year 8, No. 4. (In Persian)
- Farzin, M., Samani, A.N., Feyznia, S., & Kazemi, G. (2016). Determining the possible areas of groundwater discharge to the shores of the Persian Gulf in Bushehr province using a standard temperature anomaly map, *Journal of Echo Hydrology*, the period 4, No. 2, 488-477. (In Persian)
- Farzin, M., Samani, A.N., Feiznia, S., Kazemi, G.A., & Golzar, I. (2017). Comparison of SGD rate between northern-southern coastlines of the Persian Gulf using RS. *European Water*, 57: 497-503.
- Huang, D.J., Ni, X.B., Tang, Q.S., Zhu, X.H., & Xu, D.F. (2012). Spatial and temporal variability of sea surface temperature in the Yellow Sea and East China Sea over the past 141 years. *Modern Climatology. Book*, 7: 213–234.

- Ionescu, D., Siebert, C., Polerecky, L., Munwes, Y.Y., Lott, C., Hausler, S., Bizic-Ionescu, M., Quast, C., Peplies, J., & Glockner, F.O. (2012). Microbial and chemical characterization of underwater fresh water springs in the Dead Sea. *PLoS One*, 7, doi: 10.1371/journal.pone.0038319.
- Kolokoussis, P., Karathanassi, V., Rokos, D., Argialas, D., Karageorgis, A.P., & Georgopoulos, D. (2011). Integrating thermal and hyper spectral remote sensing for the detection of coastal springs and submarine groundwater discharges. *International Journal of Remote Sensing*, 32(23): 8231-8251.
- Kitzberger, T., Brown, P.M., Heyerdahl, E.K., Swetnam, T.W., & Veblen, T.T. (2007). Contingent Pacific–Atlantic Ocean influence on multicentury wildfire synchrony over western North America. *Proceeding of National Academy of Sciences of USA*, 104 (2): 543–548.
- Lewandowski, J., Meinikmann, K., Ruhtz, T., Pöschke, F., & Kirillin, G. (2013). Localization of lacustrine groundwater discharge (LGD) by airborne measurement of thermal infrared radiation. *Remote Sensing of Environment*, 138: 119–125.
- Lecher, A.L., Fisher, A.T., & Paytan, A. (2016). Submarine groundwater discharge in Northern Monterey Bay, California: Evaluation by mixing and mass balance models. *Marine Chemistry*, 179: 44–55.
- Mallast, U., Schwonke, F., Gloaguen, R., Geyer, S., Sauter, M., & Siebert, C. (2013). Airborne thermal data identifies groundwater discharge at the north-western coast of the Dead Sea. *Remote Sensing*, 5(12), 6361-6381.
- Moore, W.S. (2010). The Effect of Submarine Groundwater Discharge on the Ocean. *Annual Review of Marine Science*, 2(1): 59-88.
- Mejías, M., Ballesteros, B. J., Anton-Pacheco, C., Domínguez, J. A., Garcia-Orellana, J., GarciaSolsona, E., & Masque, P. (2012). Methodological study of submarine groundwater discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Hydrology*, 464–465: 27–40.
- Nazem Alsadat, S., & Ghasemi, A. (2005). Effect of Caspian Sea water temperature fluctuations on winter and spring rainfall in the northern and southwestern regions of Iran, *Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 8 (4): 1-14. (In Persian)
- Negga, H. E. (2007). Predictive Modelling of Amphibian Distribution Using Ecological Survey Data: a case study of Central Portugal, *Master thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands*.
- Ozdemir, A. (2011). Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal of Hydrology*, 405: 123–136.
- Poorasghar, F., Ghaemi, H., Jahanbakhsh, S., & Sari, B. (2011). The effect of water temperature in the Persian Gulf and the Sea of Oman on autumn and winter rainfall in the southern half of

- Iran, Proceedings of the First International Persian Gulf Oceanography Conference and the 9th Iranian *Marine Science and Technology Conference, Tehran*, p 50. (In Persian)
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of speciesgeographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Patskoski, J., Sankarasubramanian, A., & Wang, H. (2015). Reconstructed streamflow using SST and tree-ring chronologies over the southeastern United States. *Journal of Hydrology* 527: 761–775.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of speciesgeographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Rezaei, M., Jahanbakhsh, S., Bayati, M., & Zeynali, A. (2010). Forecast of autumn and winter precipitation in the western half of Iran, using the Mediterranean SST in summer and autumn. *Natural Geography Research*, 74: 47-62. (In Persian)
- Rangzan, K., & Abshirini, E. (2005). The use of remote sensing and GIS in the study of the relationship between structural, lithological and topographic factors in the bronze-bearing springs of Pabdeh Dasht-e Lali, *23rd Earth Sciences Conference*, February 11, 442 p. (In Persian)
- ROPME (the Regional Organization for the Protection of the Marine Environment). (2000). *Regional Report of the State of the Marin Environment*, Kuwait, 202 pp.
- Reynolds, R.M. (1993). Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt Mitchell Expedition. *Marine Pollution Bulletin*, 27: 35-59.
- Sreedevi, P.D., Owais, S., Khan, H.H., & Ahmed, S. (2009). Morphometric Analysis of a Watershed of South India Using SRTM Data and GIS. *Journal of the Geological Society of India*, 73 (4): 543-552.
- Schubert M, Knöller K, Stollberg R, Mallast U, Ruzsa G., & Melikadze G. (2017). Evidence for Submarine Groundwater Discharge into the Black Sea—Investigation of Two Dissimilar Geographical Settings. *Water*, 9(7):468.
- Samani, A.N., Farzin, M., Rahmati, O., Feiznia, S., Kazemi, G.A., Foody, G., & Melesse, A.M. (2021) Scrutinizing Relationships between Submarine Groundwater Discharge and Upstream Areas Using Thermal Remote Sensing: A Case Study in the Northern Persian Gulf. *Remote Sens*, 13, 358. <https://doi.org/10.3390/rs13030358>.
- USGS. Pages dedicated to Landsat missions. Calibration Notices of January 29, (2014). Landsat 8 Reprocessing to Begin February 3, 2014. *Available online: [http://landsat.usgs.gov/calibration\\_notices.php](http://landsat.usgs.gov/calibration_notices.php)* (accessed on 31 October 2016).
- Wilson, J., & Rocha, C. (2012). Regional scale assessment of submarine groundwater discharge in Ireland combining medium resolution satellite imagery and geochemical tracing techniques, *Remote Sensing of Environment*, 119: 21-34.

- Wilson, J., & Rocha, c. (2016). A combined remote sensing and multi-tracer approach for localizing and assessing groundwater-lake interactions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44: 195– 204.
- Xing, Q.G., Braga, F., Tosi, L., Lou, M.J., Zaggia, L., Teatini, P., Gao, X.L., Yu, L.J., Wen, X.H., & Shi, P. (2016). Detection of low salinity groundwater seeping into the Eastern Laizhou Bay (China) with the aid of Landsat Thermal Data. In: Harff, J. and Zhang, H. (eds.), *Environmental Processes and the Natural and Anthropogenic Forcing in the Bohai Sea, Eastern Asia. Journal of Coastal Research (Special Issue)*, 74: 149-156.
- Yu, X., Guo, X., & Wu, Z. (2014). 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: 9829-9852.

