اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۴، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص ۴۸۸-۴۷۷

تعیین نواحی احتمالی تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی به سواحل خلیج فارس در استان بوشهر با استفاده از نقشهٔ ناهنجاری دمایی استاندارد

محسن فرزین[۱]، علی‌اکبر نظری سامانی[۲*]، سادات فیض‌نیا[۳]، غلامعباس کاظمی[۴]

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲. دانشیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. استاد، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۴. دکتری هیدروژئولوژی، مشاور خصوصی، امیرآباد، آبادان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۲۵؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۲۵)

چکیده

تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی هرگونه جریان زیرسطحی آب است که از خشکی به طرف دریا وجود دارد. شناسایی نواحی دارای این جریان اهمیت بسیار زیادی در مطالعات هیدرولوژیک و اکولوژیک دارد. به‌منظور تعیین نواحی احتمالی تخلیهٔ آب زیرزمینی به خلیج فارس در سواحل استان بوشهر، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ENVI® 5.3 و GIS10.3.1 و اعمال تصحیحات لازم (اتمسفریک، رادیومتریک، هندسی) بر داده‌های حرارتی باند ۱۰ لندست ۸، نقشهٔ دمای سطح دریا (SST) تهیه شده و نقشهٔ ناهنجاری دمایی استاندارد (STA) از آن استخراج شد. سپس با تعیین کمترین سطح مشترک ناهنجاری دمایی طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در سواحل استان بوشهر، نواحی احتمالی تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی به خلیج فارس مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد در محدودهٔ ساحلی بندر مقام تا کنگان، کنگان تا رودخانهٔ مند، رودخانهٔ مند تا جزیرهٔ شیف، بندرگاه تا گناوه و بندر ریگ تا هندیجان، به‌ترتیب ۲۸۲۳، ۴۱۶۵، ۶۱۵۹، ۴۷۲۵ و ۴۴۴۵ هکتار سطح احتمالی تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی وجود دارد. این سطح در کل سواحل استان بوشهر ۲۲۳۱۷ هکتار است که به خلیج فارس تخلیه می‌شود؛ به‌طوری که مهم‌ترین و بیشترین سطح تخلیهٔ احتمالی در خلیج نایبند، محدودهٔ دوپلنگو و خور خان، شرق و غرب شهر بوشهر (بندرگاه و شیف) و سواحل هندیجان مشاهده شد. سطح تعیین‌شده می‌تواند نشان‌دهندهٔ وجود جریان شایان توجهی از تخلیهٔ احتمالی آب زیرزمینی به خلیج فارس در سواحل استان بوشهر باشد. بنابراین، ضروری است با بررسی‌های تفضیلی‌تر و استفاده از روش‌های کمّی‌سازی، مقدار آن را به‌طور دقیق برآورد کرد.

کلیدواژگان: تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی، خلیج فارس، ناهنجاری دمایی استاندارد.

* نویسندهٔ مسئول

Email: Aknazari@ut.ac.ir

مقدمه

جریان‌های زیرسطحی آب که از طرف خشکی به طرف دریا وجود دارند و در بستر دریا رخنمون می‌یابند را تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی (SGD[1]) می‌گویند. این جریان به‌صورت تراوش آرام و مداوم آب زیرزمینی در هر جا که سفرهٔ آب زیرزمینی گرادیان هیدرولیکی نسبی مثبت با سطح دریا دارد و به‌صورت هیدرولیکی به پیکرهٔ آب‌های سطحی متصل است، رخ می‌دهد. بنابراین، تقریباً همهٔ مناطق ساحلی در معرض چنین جریانی قرار دارند [۱]. ورود آب زیرزمینی به منطقهٔ ساحلی حداقل به سه دلیل می‌تواند اهمیت داشته باشد [۲]: ۱. آب زیرزمینی ممکن است املاح محلولی را حمل کند که آثار شیمیایی و اکولوژیک را در اطراف آب‌های ورودی به همراه داشته باشد؛ ۲. نفوذ آب شور و جنبه‌های هیدرولوژیک مربوط به منابع آب از جمله هدررفت آب شیرین؛ ۳. جنبه‌های ژئوتکنیکی ساحل (مانند پایداری رسوبات).

تا کنون برآورد دقیقی از میزان تخلیهٔ آب زیرزمینی به‌صورت زیردریایی نشده است. با وجود این، تا چندی پیش بیشتر برآوردهای SGD، مقدار ۶ تا ۱۰ درصد آب‌های سطحی که به دریا وارد می‌شود را نشان می‌دادند [۱] این در حالی است که امروزه گفته می‌شود SGD، ۳ـ ۴ برابر بیشتر از تخلیهٔ رودخانه‌ای، وارد اقیانوس‌ها می‌شود [۳] و حتی برای دریای مدیترانه تا ۱۶ برابر بیشتر از جریان رودخانه‌ای بیان شده است [۴]. جالب توجه است که برخلاف رودخانه‌ها که بیش از ۵۰ درصد جریان آنها در اقیانوس اطلس تخلیه می‌شود، حدود ۷۰ درصد SGD جهان به اقیانوس‌های هند و آرام وارد می‌شود [۳]. آنچه مسلم است SGD تأثیر شایان توجهی را در چرخهٔ آب ایفا می‌کند به‌طوری که می‌توان آن را یکی از اجزای مهم بیلان آبی به حساب آورد [۵]. بنابراین، شناسایی نواحی دارای این جریان اهمیت بسیار زیادی در مطالعات هیدرولوژیک و اکولوژیک دارد.

یکی از روش‌های تشخیص و تعیین جریان آب زیرزمینی زیردریایی، استفاده از تصاویر حرارتی ماهواره‌ای و مادون قرمز است [۶ـ ۹] که اساس آن بر تعیین اختلاف دمای نواحی دارای تخلیهٔ زیردریایی با دمای پیکرهٔ آبی اطراف استوار است. از آنجا که چگالی آب شیرین زیرزمینی کمتر از چگالی آب دریا است و به‌صورت پلوم‌های شناور روی آب شور قرار می‌گیرد [۱۰ و ۱۱]، روش‌های حرارت‌سنجی یا دیگر روش‌های سنجش از دور پتانسیل خوبی در شناسایی اولیهٔ نواحی تخلیهٔ آب زیرزمینی دارند [۱۲ و ۱۳]. در واقع، دمای سطح دریا (**SST**[2]) در مقیاس منطقه‌ای را می‌توان با کمک داده‌های مادون قرمز حرارتی (**TIR**[3]) که توسط سنجنده‌های متصل به ماهواره ثبت می‌شود، برآورد کرد و به‌منظور اهداف هیدرولوژیک- هواشناسی [۱۴] و اکولوژیک [۱۵] استفاده کرد. از این‌رو، با کاربرد سنجش از دور حرارتی به‌عنوان یک ابزار اولیهٔ قدرتمند می‌توان نواحی دارای پتانسیل **SGD** را برای بهینه‌سازی پیمایش صحرایی، از سایر نواحی، پیش‌غربالگری کرد [۱۶].

پیشینهٔ تحقیق

بنکس و همکارانش [۶] با استفاده از تصاویر مادون قرمز توانستند مکان‌های تخلیهٔ آب زیرزمینی در ناحیهٔ مریلند ایالات متحده را شناسایی کنند. ایشان معتقدند که تفاوت تن تصاویر مادون قرمز می‌تواند تغییرات دمای سطح آب را نشان دهد و بنابراین می‌توان با الهام از آنها محل خروج چشمه‌های آب زیرزمینی را به پیکرهٔ آب‌های سطحی تعیین کرد.

توماس و همکارانش [۱۷] با استفاده از سری زمانی داده‌های مادون قرمز حرارتی باند ۶ تصاویر ماهوارهٔ لندست TM، تغییرپذیری دمای سطح دریا در سواحل مرکزی ماین در ایالات متحده را بررسی کردند. ایشان مشاهده کردند که الگوهای غالب تغییرات دمای سطح دریا، فصلی است به‌طوری که در زمستان سردترین آب در نزدیکی ساحل و در تابستان عکس آن یعنی نزدیک ساحل گرم‌ترین آب را دارد و این تغییرات فقط در دو فصل تابستان و زمستان رخ می‌دهد و دمای سطح دریا در فصل بهار و پاییز همگن است. ایشان بر این باورند که تفاوت دمای سطح دریا در چهار خلیج مجاور یکدیگر در منطقهٔ مطالعه‌شده به تفاوت ناشی از بازچرخانی آب، اختلاط جزر و مدی، ورودی آب شیرین و فلاشینگ مربوط می‌شود.

مجیاز و همکارانش [۱۸] با مطالعهٔ تخلیهٔ آب زیرزمینی یک سفرهٔ کارستی در ساحل غربی دریای

1. Submarine Groundwater Discharge

2. Sea Surface Temperature
3. Thermal infrared

مدیترانه با استفاده از تصاویر مادون قرمز هوایی (TIR) به‌منظور پایش ناهنجاری‌های فیزیکوشیمیایی به این نتیجه رسیدند که سه ناحیهٔ اصلی در ساحل تحت تأثیر چشمه‌های زیردریایی قرار دارند و یکی از این چشمه‌ها در فاصلهٔ سه‌کیلومتری از ساحل قرار گرفته است.

لوواندوزکی و همکارانش [۱۹] با یک مطالعهٔ موردی در آلمان، برای اولین‌بار با اندازه‌گیری هوایی اشعهٔ مادون قرمز حرارتی (TIR)، الگوی تخلیهٔ آب زیرزمینی دریاچه‌ای (LGD[1]) را برای دریاچه‌های آب شیرین عمیق به‌کار گرفتند و دریافتند که اندازه‌گیری TIR برای شناسایی الگوی تخلیهٔ آب زیرزمینی در دریاچه‌ها، ابزاری قدرتمند است.

ویلسون و روچا [۲۰] الگوهای دمای سطح آب ایجادشده به‌وسیلهٔ تفسیر تصاویر حرارتی لندست ۷ را به‌منظور تعیین محل ورود آب زیرزمینی به دریاچه‌ای در غرب ایرلند استفاده کردند. در این مطالعه، پلوم‌های سرد ناهنجار موجود در حاشیه‌های کم‌عمق دریاچه در طول ماه‌های تابستان به‌عنوان محل تخلیهٔ آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. سپس، از غلظت رادون ۲۲۲ به‌منظور تأیید حضور آب زیرزمینی و تشخیص نقاط تراوش یا هات‌اسپات آب زیرزمینی استفاده کردند. هدایت الکتریکی نیز به‌عنوان ردیاب دوم برای پشتیبانی ردیاب رادون در شناسایی نواحی دارای جریان ورودی آب زیرزمینی فعال، استفاده شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد آب زیرزمینی از سنگ‌های آهکی کربناتهٔ مجاور بخش شمالی و شرقی وارد دریاچه می‌شود. ایشان بر این باورند که یک رابطهٔ غیرمستقیم قوی بین غلظت رادون و مقادیر دمای استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای دیده می‌شود به‌طوری که کاهش دمای سطح آب افزایش فعالیت رادون و در نتیجه، ورودی آب زیرزمینی به دریاچه را به همراه دارد.

به‌رغم وجود پتانسیل بسیار زیاد تخلیهٔ زیردریایی آب زیرزمینی به خلیج فارس تا کنون هیچ‌گونه گزارش یا مقالهٔ علمی مربوط به تخلیهٔ این جریان به‌ویژه در سواحل ایرانی خلیج فارس منتشر نشده است. از این‌رو، پژوهش حاضر سعی بر آن دارد با تعیین ناهنجاری‌های دمایی ناشی از تخلیهٔ احتمالی آب زیرزمینی به سواحل استان بوشهر، دربارهٔ اهمیت این موضوع بحث کند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

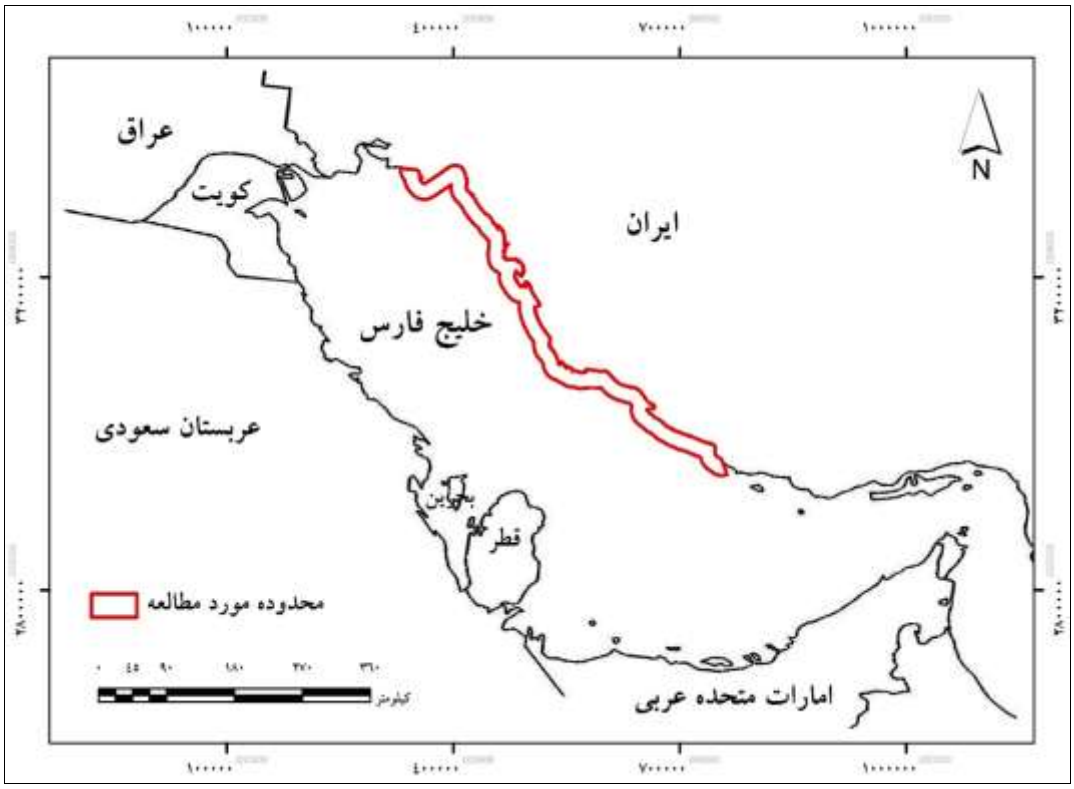
خلیج فارس از استراتژیک‌ترین مناطق جهان به‌حساب می‌آید که در قلب خاورمیانه قرار گرفته است. خلیج فارس محدودهٔ آبی نیمه‌بسته‌ای است که بین °۴۸ تا °۵۶۳۰ طول شرقی و °۲۴ تا °۳۰۳۰ عرض شمالی، بین کشور ایران و شبه‌جزیرهٔ عربستان قرار دارد و از طریق تنگهٔ هرمز با دریای عمان ارتباط دارد (شکل ۱). طول ساحل ایران با خلیج فارس ۱۲۶۰ و طول ساحل استان بوشهر ۶۲۵ کیلومتر است. میانگین عمق خلیج فارس ۳۶ متر است و دمای سطحی آن از ۱۲ در زمستان تا بیش از ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد در تابستان متغیّر است [۲۱]. خلیج فارس از شورترین منابع آبی در میان اقیانوس‌های جهان است به‌طوری که شوری آن در بیشتر مناطق حدود ۴۰ گرم در لیتر است؛ شوری زیاد آن به‌دلیل اقلیم خشک، تبخیر زیاد، ورودی کم آب شیرین نسبت به تبخیر و نیز تبادل محدود آب آن با آب اقیانوسی است. بیشتر آب شیرین ورودی به خلیج فارس از جریان رودخانه‌های کارون، هندیجان، دجله، فرات و سایر رودخانه‌ها و همچنین جریان‌های کوچک سطحی در بخش ایرانی آن تأمین می‌شود و بارندگی مستقیم نیز سهم ناچیزی در شیرینی آب آن دارد [۲۲]. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد به‌رغم اینکه دمای آب خلیج فارس به‌طور چشمگیری در تابستان بیشتر است، بیشترین تبخیر در زمستان رخ می‌دهد که اساساً به‌دلیل وزش بادهایی با سرعت بیشتر در این فصل است. اختلاف دمای سطح آب‌های سواحل بوشهر در فصل زمستان و تابستان تقریباً ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد است؛ این در حالی است که شوری آن تقریباً بدون تغییر است [۲۲].

روش تحقیق

تعیین دمای سطح دریا (SST) با استفاده از داده‌های TIR ماهوارهٔ لندست ۸

سیستم‌های سنجش از دور مانند تصاویر هوایی با تفکیک‌پذیری زیاد [۱۹]، تصویربرداری مادون قرمز هوایی دستی [۲۳] یا تصویربرداری حرارتی زمینی [۲۴] در عین حال که کارا و مؤثرند، بسیار پرهزینه هستند و برای ارزیابی در مقیاس منطقه‌ای یا پایش پیوستهٔ تخلیهٔ آب زیرزمینی در پیکره‌های وسیع آبی مناسب نیستند [۲۰].

1. Lake Groundwater Discharge



شکل ۱. موقعیت محدودهٔ مطالعه‌شده

از این‌رو و با توجه به وسعت بسیار زیاد محدودهٔ مطالعه‌شده، از داده‌ها و تصاویر رایگان مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ ماهوارهٔ لندست ۸ برای تعیین نقشه‌های دمای سطح دریا استفاده شد. شایان یادآوری است که منظور از دمای سطح دریا، دمای آب لایهٔ بالایی سطح دریا است که سنجندهٔ ماهواره‌ای ثبت می‌کند و معمولاً حدود یک میلی‌متر ضخامت دارد [۱۱]. بدیهی است که نرخ تخلیه و حجم آب زیرزمینی ورودی به دریا، میزان تغییر دمای اطراف محل تخلیه را تعیین می‌کند به‌طوری که هر چه دبی جریان آب زیرزمینی بیشتر باشد، دمای سطح آب دریا در بالای محل تخلیه به دمای آب خروجی نزدیک‌تر است.

ماهوارهٔ لندست ۸ با دو سنجندهٔ OLI[1] و TIRS[2] (برخلاف لندست ۷ که فقط یک سنجنده برای دریافت هر دو طیف انعکاسی و حرارتی دارد) در ۱۱ فوریه سال ۲۰۱۳ میلادی با پرتاب موفقی در مدار قرار گرفت: OLI با نه باند طیفی در محدودهٔ مرئی (VIS[3])، مادون قرمز نزدیک (NIR[4]) و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR[5])؛ TIRS با دو باند طیفی مادون قرمز موج بلند (LWIR[6]). تفکیک‌پذیری مکانی TIRS ۱۰۰ متر با تکرار ۱۶ روزه است. ابتدا، کیفیت داده‌های برداشت‌شده توسط ماهواره‌ای لندست ۸ از نظر ابرناکی و وجود گرد و غبار در پنج فریم که کل محدودهٔ مد نظر را در بردارد طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به‌دقت بررسی شد و در نهایت از هر فریم حداقل چهار تکرار در طول هر سال از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده دانلود شد. انتخاب هر تکرار به این صورت بود که علاوه بر عدم مشاهدهٔ ابر و گرد و غبار در تصویر، پراکنش فصلی محدوده را نیز شامل شود. جدول ۱ ویژگی‌های داده‌های ماهواره‌ای مد نظر را به نمایش گذاشته است.

1. Operational Land Imager
2. Thermal Infrared Sensor
3. Visible
4. Near Thermal Infrared
5. Shortwave Thermal Infrared
6. Long Wave Thermal Infrared

جدول ۱. مشخصات داده‌های ماهوارهٔ لندست ۸، باند ۱۰ سنجندهٔ TIRS

تاریخ برداشت	ردیف/گذر	تاریخ برداشت	ردیف/گذر	تاریخ برداشت	ردیف/گذر
۷ مارس ۲۰۱۵	۱۶۳/۴۱ کنگان تا رودخانهٔ مند	۲ ژانویهٔ ۲۰۱۵	۱۶۳/۴۰ رودخانهٔ مند تا شیف	۲۸ فوریهٔ ۲۰۱۵	۱۶۲/۴۱ بندر مقام تا کنگان
۲۴ آوریل ۲۰۱۵		۷ مارس ۲۰۱۵		۱۷ آوریل ۲۰۱۵	
۱۷ ژوئن ۲۰۱۵		۲۷ ژوئن ۲۰۱۵		۲۰ ژوئن ۲۰۱۵	
۱۴ آگوست ۲۰۱۵		۱۴ آگوست ۲۰۱۵		۲۳ آگوست ۲۰۱۵	
۶ فوریهٔ ۲۰۱۶		۶ فوریهٔ ۲۰۱۶		۳ آوریل ۲۰۱۶	
۲۵ مارس ۲۰۱۶		۲۶ آوریل ۲۰۱۶		۱۲ اکتبر ۲۰۱۶	
۲۸ می ۲۰۱۶		۱۳ ژوئن ۲۰۱۶		۱۵ فوریهٔ ۲۰۱۶	
۱۹ اکتبر ۲۰۱۶		۱ سپتامبر ۲۰۱۶		۱۸ مارس ۲۰۱۶	
		۲۵ ژانویهٔ ۲۰۱۵	۱۶۴/۴۰ بندرگاه تا گناوه	۲۵ ژانویهٔ ۲۰۱۵	۱۶۴/۳۹ هندیجان تا بندر ریگ
		۱۷ می ۲۰۱۵		۲۶ فوریهٔ ۲۰۱۵	
		۲۱ آگوست ۲۰۱۵		۱۷ می ۲۰۱۵	
		۲۲ سپتامبر ۲۰۱۵		۲۱ آگوست ۲۰۱۵	
		۱۳ فوریهٔ ۲۰۱۶		۱۳ فوریهٔ ۲۰۱۶	
		۱۷ آوریل ۲۰۱۶		۱۷ آوریل ۲۰۱۶	
		۲۰ ژوئن ۲۰۱۶		۲۰ ژوئن ۲۰۱۶	
		۲۴ سپتامبر ۲۰۱۶		۲۴ سپتامبر ۲۰۱۶	

به‌طور کلی، کمّی‌سازی به‌منظور بازیابی دمای سطح زمین از طریق داده‌های باند حرارتی ماهواره به چندین عامل نیاز دارد از جمله کالیبره‌کردن رادیومتریک سنجنده، تصحیح اتمسفری، تصحیح گسیلمندی سطحی، تعیین ویژگی تغییرپذیری مکانی پوشش زمین و تأثیرات ترکیبی هندسی، پس‌زمینه و پوشش گیاهی جزئی [۲۵].

از این‌رو، ابتدا در محیط نرم‌افزار ENVI® 5.3 تصحیحات لازم اتمسفریک بر باندهای حرارتی اعمال شد. سپس به‌منظور بررسی وجود داشتن یا نداشتن خطاهای هندسی و رادیومتری، بررسی کیفیت داده‌ها روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. بدین‌ترتیب که با بررسی تصاویر تک‌باند و ترکیبات رنگی مختلف خطای شایان توجهی مشاهده نشد. همچنین همهٔ تجزیه و تحلیل‌ها و استخراج نقشه‌های دمای سطحی با استفاده از نرم‌افزار GIS10.3.1 انجام شد:

برای تبدیل ارزش‌های پیکسل (DN) به تابش طیفی یا رادیانس (TOA) در سنجندهٔ OLI/TIRS ماهوارهٔ لندست ۸ از رابطهٔ ۱ استفاده می‌شود [۲۶]:

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \qquad (۱)$$

در اینجا؛ L_λ رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده (W/(m²*sr*µm))، M_L فاکتور تبدیل ضریبی که در هدر تصاویر لندست ۸ به‌نام RADIANCE_MULT_BAND به‌دست می‌آید، Q_{cal} ارزش پیکسل رقومی‌شده و کالیبره‌شده (DN)، A_L ضریب تبدیل جمعی است که در هدر تصاویر لندست ۸ به نام RADIANCE_ADD_BAND به‌دست می‌آید.

جدول ۲. مقادیر ضریب‌های ضربی و جمعی برای باندهای حرارتی سنجندهٔ OLI/TIRS لندست ۸

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

دمای درخشندگی سنجنده با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود [۲۶]:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \qquad (۲)$$

در اینجا؛ T دمای روشنایی یا درخشندگی (BT) در سطح سنجنده بر حسب کلوین، L_λ رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده ((Watts/(m²*sr*µm))، K_1 و K_2 ضرایب کالیبراسیون حرارتی سنجنده هستند. با تفریق حاصل رابطهٔ ۲ در عدد ۲۷۳/۱۵، دمای برآوردی به درجهٔ سانتی‌گراد تبدیل می‌شود.

جدول ۳. مقادیر ضرایب کالیبراسیون حرارتی سنجندهٔ OLI/TIRS لندست ۸

ضریب	باند ۱۰	باند ۱۱
K_1	۷۷۴/۸۸۵۳	۴۸۰/۸۸۸۳
K_2	۱۳۲۱/۰۷۸۹	۱۲۰۱/۱۴۴۲

برآورد دمای سطح زمین با الگوریتم‌های مختلف نشان داده است که استفاده از داده‌های باند ۱۰، دقت به‌مراتب بیشتری نسبت به باند ۱۱ دارد [۲۶] و باید از کاربرد داده‌های باند ۱۱ به‌ویژه در جایی اجتناب کرد که به تصحیح کامل نیاز دارند [۲۷]. همچنین سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده [۲۸] نیز به‌دلیل وجود نورهای مزاحم در باند ۱۱ و در نتیجه عدم قطعیت شایان توجه در کیفیت داده‌های به‌دست‌آمده از این باند، استفاده از باند ۱۱ را توصیه نمی‌کند. از این‌رو، به‌منظور تعیین دمای سطح دریا در محدودهٔ مطالعه‌شده، فقط از داده‌های باند ۱۰ ماهوارهٔ لندست ۸ استفاده شد.

در نهایت، دمای سطح دریا با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه شد [۲۹]:

$$SST = \frac{BT}{\ln \varepsilon * \left(\frac{BT}{\rho}\right) * w + ۱} \quad (۳)$$

$$\rho = \frac{hc}{s} \quad (۴)$$

BT دمای درخشندگی (درجهٔ سانتی‌گراد)، w طول موج رادیانس گسیل‌شده، h ثابت پلانک ($6.626*10^{-34}$ JS)، c سرعت نور ($2.998*10^{8}$ m/s)، s ثابت بولتزمن ($1.38*10^{-23}$ J/K)، ε گسیلمندی هستند. با توجه به طول موج دریافتی توسط باند ۱۰ ماهوارهٔ لندست ۸ و میانهٔ آن که برابر با ۱۰/۹ میکرومتر است [۲۷]، مقدار عددی گسیلمندی برای آب دریا، ۰/۹۸۹ در نظر گرفته شد [۲۰ و ۲۵].

نقشهٔ ناهنجاری دمایی

به‌منظور شناسایی نواحی احتمالی ورود آب زیرزمینی به سواحل منطقهٔ مطالعه‌شده، نقشهٔ ناهنجاری دمایی تهیه شد. ناهنجاری حرارتی به‌صورت تفاوت بین دمای سطح دریا در هر پیکسل با مقدار دمای میانگین کل تصویر تعریف می‌شود [۲۰]:

$$TA = T_p - \bar{T} \quad (۵)$$

در اینجا؛ TA[1] ناهنجاری حرارتی، T_p دمای هر پیکسل و $\bar{T}$ مقدار دمای میانگین سطح دریا به درجهٔ سانتی‌گراد است.

در صورت نبود داده‌های دمایی ثبت‌شده در تاریخ و مکان دقیقی که در آن تصویر ماهواره‌ای برداشت شده است، داده‌های دمایی ماهواره‌ای را نمی‌توان صحت‌سنجی کرد. این محدودیت را می‌توان با ایجاد نقشهٔ استانداردشده‌ای فراهم کرد که امکان مقایسهٔ مقادیر دمای سطح دریا که از داده‌های ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف به‌دست آمده است را دارد. برای محاسبهٔ مقدار ناهنجاری حرارتی استانداردشده، مقادیر TA بر انحراف از معیار مقادیر دمایی سطح دریا تقسیم می‌شود [۲۰]:

$$STA = \frac{TA}{\sigma} \quad (۶)$$

در اینجا؛ STA[2] ناهنجاریی حرارتی استاندارد (بدون بُعد)، TA ناهنجاری حرارتی و σ انحراف از معیار است.

پس از تهیهٔ نقشهٔ STA، با اعمال کلاس‌بندی‌های مختلف در محیط GIS، کمترین سطح ناهنجار دمایی مشخص شده و با ترسیم مرز هر یک از ناهنجاری‌ها در هر یک از تصاویر، نقشهٔ پراکنش ناهنجاری‌های حرارتی تهیه شد.

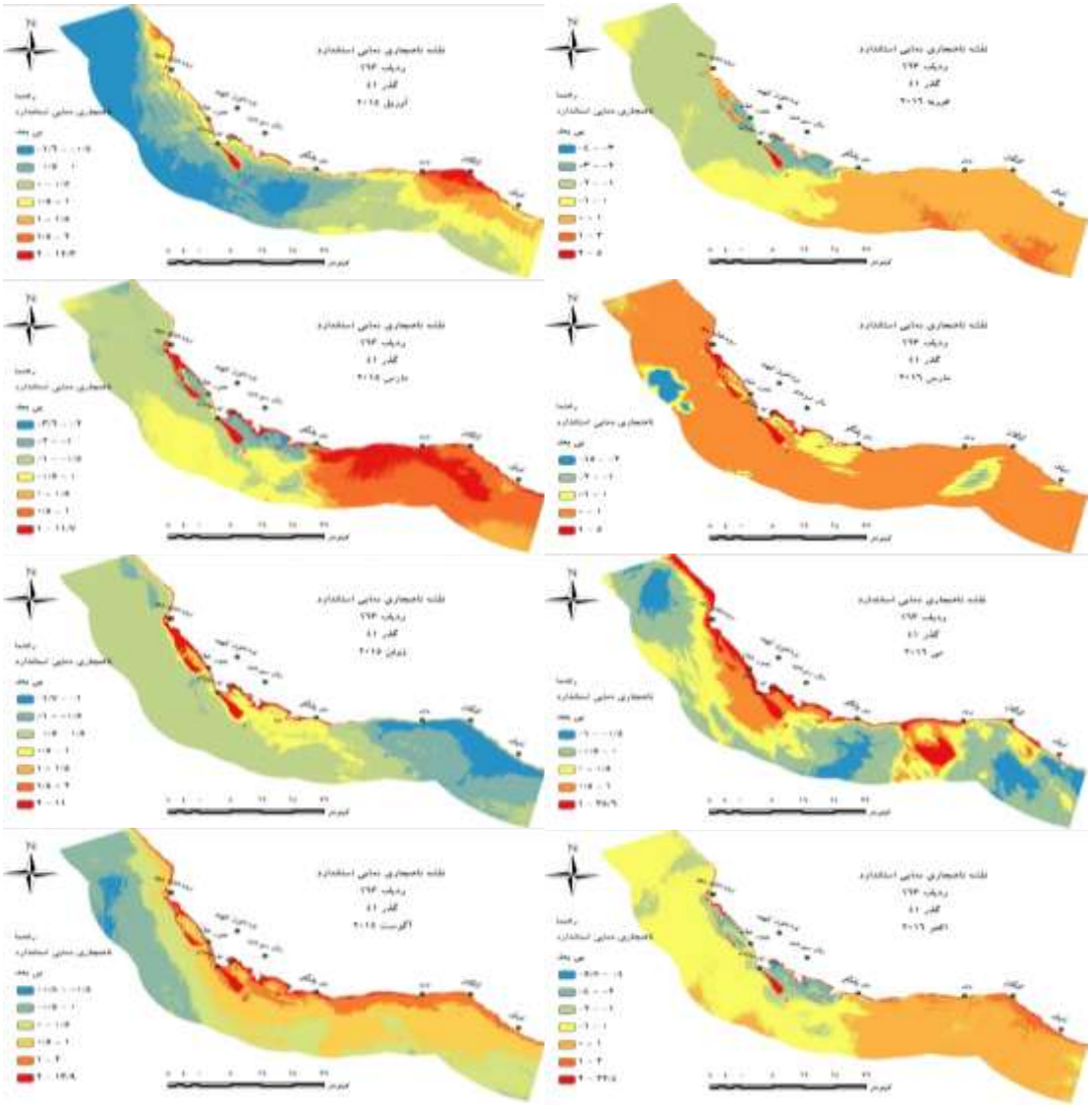
نتایج

شکل ۲ به‌طور نمونه، نقشهٔ ناهنجاری دمایی استاندارد (**STA**) طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ را در محدودهٔ کنگان تا حوالی رودخانهٔ مند سواحل استان بوشهر نشان می‌دهد.

شکل ۳ محدودهٔ ناهنجاری‌های ترسیم‌شدهٔ مستخرج از نقشه‌های ناهنجاری دمایی استاندارد (STA) را طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ نشان می‌دهد که بر اساس نقشه‌های دمایی استاندارد و با توجه به تأثیری ترسیم شده است که تخلیهٔ 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 مشاهده‌شده در هر فریم، در تصویر جانبی نیز تکرار می‌شود. از طرف دیگر، مشاهدهٔ ناهنجاری دمایی در زمان‌های مختلف نیز اهمیت بسیار زیادی دارد زیرا بیان‌کنندهٔ وجود جریان احتمالی تخلیه‌ای به دریاست. از

1. Thermal Anomaly
2. Standard Thermal Anomaly

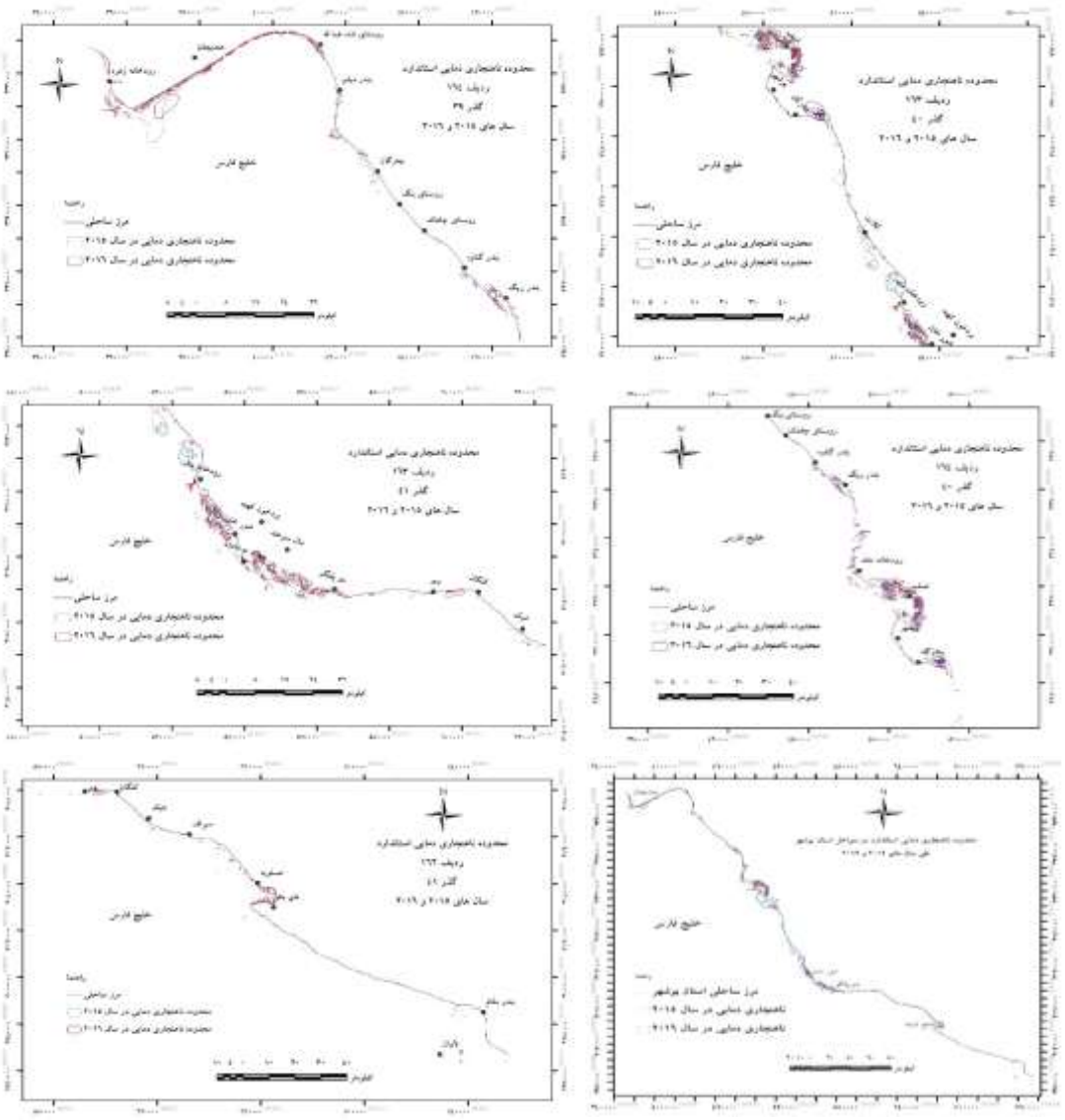
این‌رو، کمترین سطح مشترک تعریف و تعیین شد. کمترین سطح مشترک ناهنجاری به سطحی گفته می‌شود که دفعات تکرار ناهنجاری، حداقل در دو تاریخ متفاوت مشاهده شود به‌طوری که بخشی از ناهنجاری‌ها کمترین سطحی برای همپوشانی مشترک داشته باشد. این سطح مشترک، علاوه بر کاهش خطاهای احتمالی در تعیین سطح ناهنجاری طی فرایندهای استخراج و تفسیر نقشه‌ها، نشان‌دهندهٔ تداوم محدودهٔ ناهنجار دمایی است که می‌تواند به‌عنوان محل تخلیهٔ دائمی جریان آب زیرزمینی به دریا تلقی شود. این سطح در نواحی بندر مقام تا کنگان، کنگان تا رودخانهٔ مند، رودخانهٔ مند تا جزیرهٔ شیف، بندرگاه تا گناوه و بندر ریگ تا هندیجان، به‌ترتیب، ۲۸۲۳، ۴۱۶۵، ۶۱۵۹، ۴۷۲۵ و ۴۴۴۵ هکتار برآورد شد (جدول ۴). بنابراین، در کل سواحل استان بوشهر ۲۲۳۱۷ هکتار محدودهٔ احتمالی تخلیهٔ آب زیرزمینی به خلیج فارس وجود دارد به‌طوری که مهم‌ترین و بیشترین سطح آن در خلیج نایبند، محدودهٔ دوپلنگو و خور خان، شرق و غرب شهر بوشهر (بندرگاه و شیف) و سواحل هندیجان مشاهده شد (شکل ۴). در نواحی محدودتر نیز مشاهده می‌شود که به‌رغم ناچیزبودن سطح آنها، ضروری است مورد توجه قرار گیرند از جمله حد فاصل کنگان تا بندر دیر، حوالی روستای کلات، بندر ریگ و حوالی روستای شاه عبدالله.



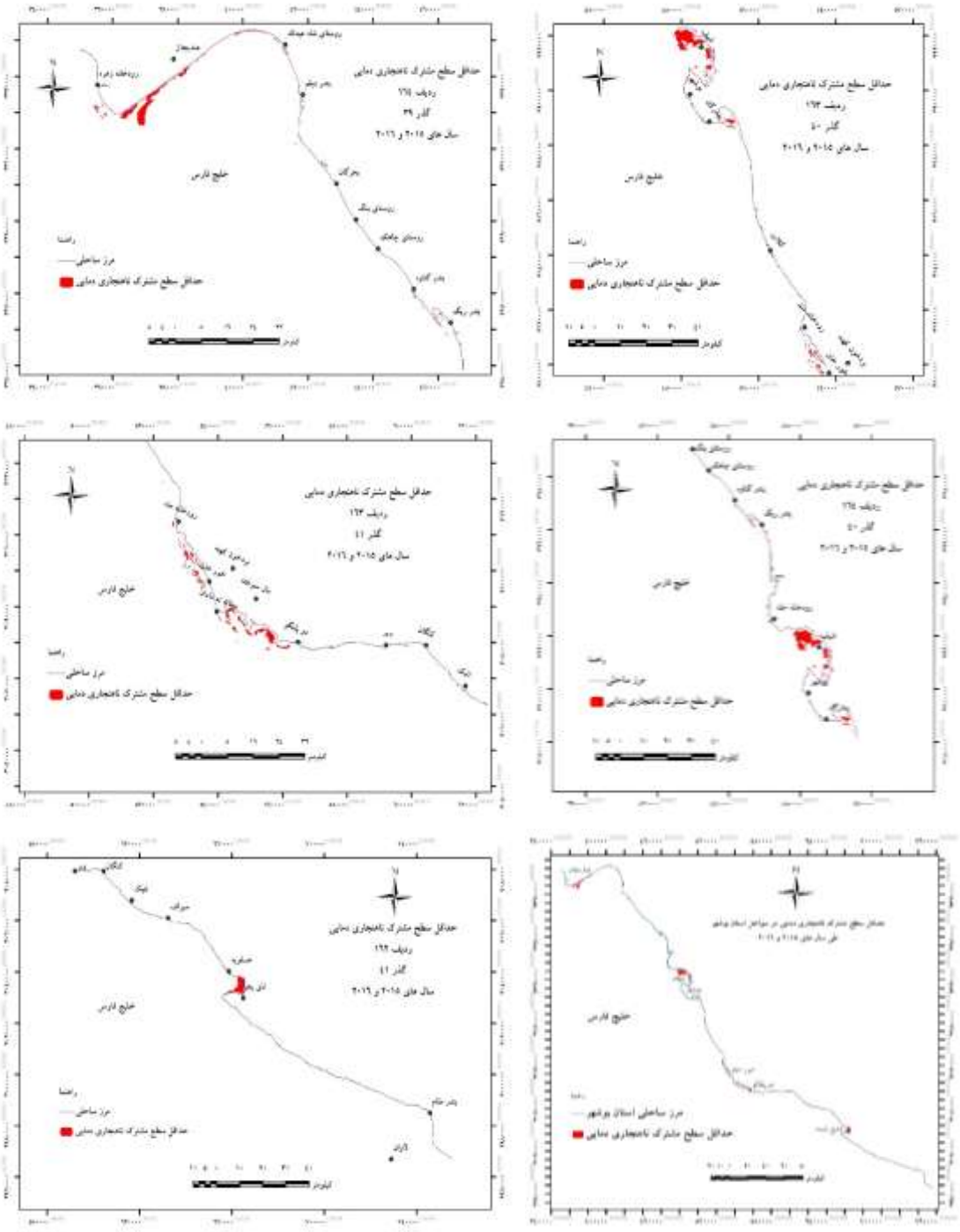
شکل ۲. نقشهٔ ناهنجاری دمایی استاندارد (STA) از کنگان تا رودخانهٔ مند طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ (برای نمونه)

جدول ۴. سطح ناهنجاری‌های دمایی مشاهده‌شده در سواحل استان بوشهر طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶

ردیف/گذر تصویر نام محدوده	سطح ناهنجاری دمایی در سال ۲۰۱۵ (هکتار)	سطح ناهنجاری دمایی در سال ۲۰۱۶ (هکتار)	کمترین سطح مشترک ناهنجاری طی دو سال (هکتار)
۱۶۲/۴۱ بندر مقام تا کنگان	۲۹۹۳	۴۵۶۶	**۲۸۲۳**
۱۶۳/۴۰ رودخانهٔ مند تا شیف	۱۹۰۶۲	۶۹۵۶	**۶۱۵۹**
۱۶۳/۴۱ کنگان تا رودخانهٔ مند	۱۷۵۰۸	۶۹۱۶	**۴۱۶۵**
۱۶۴/۳۹ هندیجان تا بندر ریگ	۱۳۰۲۶	۸۵۱۸	**۴۴۴۵**
۱۶۴/۴۰ بندرگاه تا گناوه	۷۷۵۲	۵۴۲۹	**۴۷۲۵**
کل سواحل استان	۶۰۳۴۱	۳۲۳۸۵	**۲۲۳۱۷**



شکل ۳. محدودهٔ ناهنجاری‌های ترسیم‌شده طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶



شکل ۴. نواحی احتمالی تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی به سواحل استان بوشهر

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه جریان آب زیرزمینی زیردریایی (SGD) به یک موضوع تحقیقاتی شایان توجه تبدیل شده است [۱۰]. تخلیهٔ آب زیرزمینی به دریا، هر جریان یا همهٔ جریان‌های آب زیرسطحی در کناره‌های قاره‌ای بستر دریا به ساحل اقیانوس بدون درنظرگرفتن ترکیب مایع و نیروی محرکهٔ عامل آن، تعریف می‌شود. این جریان می‌تواند شامل بخش‌های چندگانه باشد [۱]: نخست آب شیرین ناشی از بارش اتمسفری که به درون خاک یا سنگ نفوذ می‌کند و به آب زیرزمینی می‌پیوندد. بخش مهم دیگر، آب چرخشی دریا است که ممکن است در بخشی توسط گرادیان‌های هیدرولیکی و نیز نیروهای مختلف اقیانوسی ایجاد شده باشد. در برخی موارد

نیز SGD آب زیرزمینی شور دارد. در این حالت آب زیرزمینی می‌تواند قبل از رسیدن به آبخوان شور شده باشد (به‌طور مثال، تماس با گنبدهای نمکی احتمالی در مسیر حرکت جریان) یا با انحلال نمک موجود در محیط آبخوان شور شود. اساساً تخلیهٔ آب زیرزمینی از دو جنبه اهمیت دارد: جنبهٔ اکولوژیک که با ورود ریزمغذی‌ها و آلاینده‌ها به پیکره‌های آبی به‌ویژه خلیج‌ها و دریاچه‌ها می‌تواند تأثیر شایان توجهی بر اکوسیستم و محیط اطراف محل تخلیه داشته باشد. از این‌رو، در حال حاضر بررسی انتقال مواد (ریزمغذی‌های و آلاینده‌ها) از طریق این جریان به سواحل و تأثیر احتمالی آن بر اکوسیستم آبی در دستور کار پژوهشگران کشورهای توسعه یافته قرار دارد [۳۱ـ ۳۳] و جنبهٔ هیدرولوژیک که با تخلیهٔ آب شیرین و هدررفت آن برای مناطق خشک به‌ویژه نواحی ساحلی خلیج فارس اهمیت بسیار زیادی دارد. بر اساس برخی گزارش‌ها، میزان آب تخلیه‌شده در حاشیهٔ جنوبی خلیج فارس و کشور بسیار کم‌بارش بحرین به مقدار شایان توجهی تخمین زده می‌شود [۳۴] و بر همین اساس، بحرین و قطر در حال استفاده از قسمتی از این ذخیره هستند به‌طوری که تا سال ۱۹۲۵ تنها منبع تأمین آب شرب بحرین، ۱۵ چشمهٔ زمینی و ۲۴ چشمهٔ زیردریایی بوده است [۳۵]. از طرف دیگر، البسم و تیرو [۳۶] بر این باورند که صحرای عربستان و ارتفاعات بحرین و قطر با میزان بارش ناچیز سالانه، منبع تغذیهٔ چشمه‌های زیردریایی بحرین هستند. ارتفاعات سواحل جنوبی ایران نیز با گسترش سازندهای کارستی و رخنمون احتمالی آنها در سواحل شمالی خلیج فارس و نیز میانگین بارش به‌مراتب بیش از عربستان، بحرین و قطر، می‌تواند منبع تأمین‌کنندهٔ آب چشمه‌هایی مشابه و حتی افزون‌تر از چشمه‌های بحرین باشد. به‌طور کلی، در سواحل خلیج فارس آن بخش از SGD که اهمیت دارد، آب شیرین و حاصل از بارش سفرهٔ آب زیرزمینی است که با وجود گرادیان‌های زیاد هیدرولیکی به طرف خلیج فارس به‌حرکت درمی‌آید. وجود گرادیان مثبت هیدرولیکی در خشکی، به تراوش آب زیرزمینی در نزدیکی ساحل منجر می‌شود. این در حالی است که سفره‌های تحت فشار یا آرتزین می‌توانند از ساحل فاصله بگیرند [۳۷]. همچنین در بسیاری از مطالعات مشاهده شده است که SGD با فاصله‌گرفتن از ساحل و افزایش عمق آب، کاهش می‌یابد. در واقع، به‌عنوان یک قانون کلی، بیشترین نرخ SGD آب شیرین در نزدیکی ساحل رخ می‌دهد [۳۸]. بنابراین، بدیهی است که بیشترین تأثیر SGD در ورود ریزمغذی‌ها، نزدیک ساحل و در کمتر از پنج‌کیلومتری آن باشد [۳۱]. در این پژوهش نیز بیشترین ناهنجاری‌های دمایی که تداوم نیز دارد در نزدیکی ساحل مشاهده شد که با نتایج بنکس و همکارانش [۶]، لووانـدوزکی و همکارانش [۷]، شبان و همکارانش [۸]، استفولی و همکارانش [۹]، توماس و همکارانش [۱۷] و ویلسون و روچا [۲۰] مطابقت دارد.

عوامل مختلفی بر ثبت دمای سطح آب دریا توسط سنجندهٔ تأثیرگذار هستند و می‌توانند موجب بروز ناهنجاری دمایی در داده‌های حرارتی ماهواره‌ای شوند مانند تغییر عمق آب دریا در امتداد ساحل، ورود جریان‌های سطحی به دریا، وجود لکه‌های آلوده و نفتی، وجود توده‌های جلبک شناور، تخلیهٔ آب گردشی نیروگاه‌های ساحلی و حتی شناورهای غول‌پیکر. بنابراین، به‌منظور به‌حداقل‌رساندن خطای ناشی از عوامل یادشده، از داده‌های ماهواره‌ای طی دو سال استفاده شد به‌طوری که بتوان کمترین سطح مشترک بین محدوده‌های ناهنجاری ترسیم‌شده را تبیین و تعیین کرد. بنابراین، چنانچه ناهنجاری دمایی در سواحل دریا مشاهده شد به‌طوری که علاوه بر تداوم حضور در یک نقطهٔ خاص، سطح آن نیز در طول ماه‌های مختلف سال تغییر کند (به‌دلیل نرخ متفاوت تخلیهٔ آبخوان در طول سال) به احتمال بسیار زیاد و با دقت قابل قبولی می‌توان چنین ناهنجاری را ناشی از تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی دانست. البته، این بدان معنا نیست که نیازی به کنترل زمینی و پیمایش دریایی نیست، بلکه با تعیین سطح مشترک ناهنجاری با استفاده از سنجش‌ازدور، می‌توان مقیاس منطقه‌ای پژوهش را به کمترین سطح ممکن مورد نیاز برای بررسی صحرایی و پیمایش دریایی رسانید. آنچه در این پژوهش اهمیت ویژه‌ای داشته است، تعیین کمترین سطوح احتمالی است که می‌تواند ناشی از تخلیهٔ زیردریایی آب زیرزمینی باشد؛ این سطح ناهنجاری طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ اختلاف شایان توجهی را نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از نرخ متفاوت تخلیهٔ آب زیرزمینی زیردریایی باشد. با توجه به کمترین سطح متأثر از تخلیهٔ احتمالی آب زیرزمینی (حداقل ۲۲ هزار هکتار) در خلیج فارس، مقدار جریان شایان توجهی می‌تواند به سواحل استان بوشهر تخلیه شود. بنابراین، ضروری است با بررسی‌های تفضیلی‌تر، کیفیت جریان تخلیه‌شده را تعیین

کرد و با استفاده از روش‌های کمی‌سازی مقدار آن را نیز به‌طور دقیق برآورد کرد؛ چراکه علاوه بر تأثیر اکولوژیک این جریان بر سواحل خلیج فارس (انتقال آلاینده‌ها و ریزمغذی‌ها)، با توجه به کمبود شدید آب شیرین در پهنه‌های ساحلی و روند رو به رشد توسعهٔ صنعتی و صنایع نفت و گاز و جلب سرمایه‌گذاری خارجی و در نتیجه افزایش روزافزون تقاضا برای آب در این مناطق و تمایل سیاست‌گذاران به سوی فناوری‌های هزینه‌بر آب‌شیرین‌کن و پروژه‌های انتقال آب برای تأمین آب آشامیدنی مردم این منطقه، بهره‌برداری مناسب از این منابع احتمالی می‌تواند گام مؤثری برای برطرف‌کردن نیازهای پایه‌ای ساکنان منطقه باشد.

منابع

[1]. Burnett WC, Bokuniewicz H, Huettel M, Moore WS, Tanighchi M. Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. Biogeochemistry. 2003;66: 3–33.

[2]. Burnett WC, Aggarwal PK, Aureli A, Bokuniewicz H, Cable JE, Charette MA, et al. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. Science of the Total Environment. 2006;367: 498–543.

[3]. Kwon E, Kim G, Primeau F, Moore W, Cho HM, DeVries T, et al. Global estimate of submarine groundwater discharge based on an observationally constrained radium isotope model. Geophys. Res. Lett. 2014;41, 8438–8444.

[4]. Rodellas V, Garcia-Orellana J, Masqué P, Feldman M, Weinstein Y. Submarine groundwater discharge as a major source of nutrients to the Mediterranean Sea. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2015;112: 3926–3930.

[5]. Kottmeier C, Agnon A, Al-Halbouni D, Alpert P, Corsmeier C, Dahm T, et al. New perspectives on interdisciplinary earth science at the Dead Sea: The DESERVE project. Science of the Total Environment. 2016;544: 1045–1058.

[6]. Banks W, Paylor R, Hughes W. Using thermal infrared imagery to delineate groundwater discharge. Groundwater. 1996;34: 434–444.

[7]. Lewandowski J, Meinikmann K, Ruhtz T, Pöschke F, Kirillin G. Localization of lacustrine groundwater discharge (LGD) by airborne measurement of thermal infrared radiation. Remote Sensing of Environment, 2013;138: 119–125.

[8]. Shaban A, Khawlie M, Abdallah C, Faour G. Geologic controls of submarine groundwater discharge: application of remote sensing to north Lebanon. Environmental Geology. 2005;47(4): 512-522.

[9]. Stefouli M, Tsombos T. Identification and monitoring of fresh water outflows in coastal areas: pilot study on Psahna area/Evia island - Greece, 10th International Congress, Thessaloniki, Bulletin of the Geological Society of Greece. 2004.

[10]. Moore WS. The Effect of Submarine Groundwater Discharge on the Ocean. Annual Review of Marine Science. 2010;2(1): 59-88.

[11]. Xing QG, Braga F, Tosi L, Lou M, Zaggia L, Teatini P, et al. Detection of low salinity groundwater seeping into the Eastern Laizhou Bay (China) with the aid of Landsat Thermal Data. In: Harff J, Zhang H, editors. Environmental Processes and the Natural and Anthropogenic Forcing in the Bohai Sea, Eastern Asia. Journal of Coastal Research (Special Issue). 2016;74: 149-156.

[12]. Ford D, Williams P. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons; 2007.

[13]. Taniguchi M, Burnett WC, Smith CF, Paulsen RJ, O'Rourke D, Krupa S. Spatial and temporal distributions of submarine groundwater discharge rates obtained from various types of seepage meters at a site in the northeastern Gulf of Mexico. Biogeochemistry. 2003;66: 35–53.

[14]. Tardy B, Rivalland V, Huc M, Hagolle O, Marcq S, Boulet G. A Software Tool for Atmospheric Correction and Surface Temperature Estimation of Landsat Infrared Thermal Data. Remote Sensing. 2016;8(696): 1-24.

[15]. Moradi M, Kabiri K. Spatio-temporal variability of SST and Chlorophyll-a from MODIS data in the Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin. 2015;98 (1-2): 14–25.

[16]. Hennig H, Mallast U, Merz R.. Multi-temporal thermal analyses for submarine groundwater discharge (SGD) detection over large spatial scales in the Mediterranean. Geophysical Research Abstracts. 2015;17: 4929.

[17]. Thomas A, Byrne D, Weatherbee R. Coastal sea surface temperature variability from Landsat infrared data. Remote Sensing of Environment. 2002;81: 262–272.

[18]. Mejías M, Ballesteros BJ, Antón-Pacheco C, Domínguez JA, Garcia-Orellana J, Garcia-Solsona E, Masqué P. Methodological study of submarine groundwater discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea. Journal of Hydrology. 2012;464–465: 27–40.

[19]. Lewandowski J, Meinikmann K, Ruhtz T, Pöschke F, Kirillin G. Localization of lacustrine groundwater discharge (LGD) by airborne measurement of thermal infrared radiation. Remote Sensing of Environment, 2013;138: 119–125.

[20]. Wilson J, Rocha C. A combined remote sensing and multi-tracer approach for localizing and assessing groundwater-lake interactions. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2016;44: 195–204.

[21]. ROPME (the Regional Organization for the Protection of the Marine Environment). Regional Report of the State of the Marin Environment, Kuwait; 2000.

[22]. Reynolds RM. Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman--Results from the Mt Mitchell Expedition. Marine Pollution Bulletin. 1993;27: 35-59.

[23]. Duarte TK, Hemond HF, Frankel D, Frankel S. Assessment of submarine groundwater discharge by handheld aerial infrared imagery: case study of Kaloko fishpond and bay, Hawai'i. Limnology and Oceanography: Methods. 2006;4: 227–236.

[24]. Schuetz T, Weiler M. Quantification of localised groundwater inflow into streams using ground-based infrared thermography. Hydrology and Land Surface Studies. 2011;38 (3): 1-5.

[25]. Srivastava PK, Majumdar TJ, Bhattacharya AK. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data. Advances in Space Research. 2009;43: 1563–1574.

[26]. USGS. LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK, 2nd ed. LSDS-1574; 2016.

[27]. Montanaro M, Gerace A, Lunsford A, Reuter D. Stray Light Artifacts in Imagery from the Landsat 8 Thermal Infrared Sensor. Remote Sensing. 2014;11: 10435-10456.

[28]. Barsi JA, Schott JR, Hook SJ, Raqueno NG, Markham BL, Radocinski RG. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration. Remote Sensing, 2014;6: 11607-11626.

[29]. 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 (accessed on 31 October 2016).

[30]. Artis DA, Carnahan WH. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. Remote Sensing of Environment. 1982;12(4): 313–329.

[31]. Hwang DW, Lee IS, Choi M, Kim TH. Estimating the input of submarine groundwater discharge (SGD) and SGD-derived nutrients in Geoje Bay, Korea using ^{222}Rn-Si mass balance model. Marine Pollution Bulletin. 2016;110: 119–126.

[32]. Lecher AL, Fisher AT, Paytan A. Submarine groundwater discharge in Northern Monterey Bay, California: Evaluation by mixing and mass balance models. Marine Chemistry. 2016;179: 44–55.

[33]. Russoniello CJ, Konikow LF, Kroeger KD, Fernandez C, Andres AS, Michael HA. Hydrogeologic controls on groundwater discharge and nitrogen loads in a coastal watershed. Journal of Hydrology. 2016;538: 783–793.

[34]. Nugent J, Thomas T. Bahrain and the Gulf, Past Perspectives and Alternative Futures. Palgrave Macmillan press; 1985.

[35]. Zubari WK, Madany IM, Al-Junaid. Trends in the quality of groundwater in Bahrain with respect to salinity, 1941–1992. Environment International. 1994;20 (6): 739-746.

[36]. Al Bassam AA, Tiro EHM. Using remote sensing and GIS for submarine freshwater springs exploration as a plausible water source in Saudi Arabia. Sixth National GIS Symposium in Saudi Arabia April 24 – 26, 2011 Le Meridian, Al-Khobar – Eastern Province.

[37]. Stefouli M, Vasileiou E, Charou E, Stathopoulos N, Perrakis A, Giampouras P. Remote sensing techniques as a tool for detecting water outflows. The case study of Cephalonia Island. Bulletin of the Geological Society of Greece. 2013;47 (3): 1519-1528.

[38]. UNESCO. Submarine groundwater discharge, management implications, measurements and effects. IHP-VI Series on Groundwater. 2004;5: 1-35.