



شناسایی محدوده احتمالی حضور چشمه‌های زیردریایی خلیج فارس در سواحل استان بوشهر با استفاده از داده‌های حرارتی لندست ۸

محسن فرزین^{۱*}، علی اکبر نظری سامانی^۲، سعیده منبری^۳، سادات فیض‌نیا^۴، غلامعباس کاظمی^۵

۱. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران

۴. استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۵. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۰ دی ۱۳۹۵

پذیرش: ۱۷ مهر ۱۳۹۶

دسترسی اینترنتی: ۱ اسفند ۱۳۹۶

واژه‌های کلیدی:

چشمه‌های آب شیرین زیردریایی

نقشه دمای سطح دریا

داده‌های حرارتی ماهواره‌ای

بوشهر

خلیج فارس

به منظور تعیین نواحی پتانسیل حضور چشمه‌های زیردریایی در سواحل استان بوشهر، نقشه دمای سطح دریا در اطراف بحرین و سواحل استان بوشهر با توجه به ضرایب تصحیحات اتمسفری و با اعمال روابط حاکم بر DN باند ۱۰ حرارتی ماهواره لندست ۸ طی چهار ماه از سال ۱۳۹۵ با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS تهیه گردید. پس از استخراج دمای برآوردی چشمه‌های زیردریایی بحرین، شش چشمه به عنوان شاخص تعیین شد. دمای این چشمه‌ها در تصویر مربوط به بهمن‌ماه، ۱۶/۵۴، ۱۸/۵۲، ۱۷/۲۹، ۱۵/۹۷، ۱۷/۷۳ و ۱۵/۸۳ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. با مطابقت دمای میانگین شاخص (۱۶/۹۸ درجه سانتی‌گراد) با دمای نواحی ساحلی استان بوشهر، بخشی از سواحل عسلویه و خلیج نای‌بند، بخش وسیعی از حدفاصل بندر دیر تا رودخانه مند، حوالی روستای کلات، شرق و غرب بندر بوشهر، حدفاصل رودخانه حله و جزیره شیف، بندر ریگ، حوالی بندر گناوه و حدفاصل هنديجان و بندر دیلم به عنوان نواحی دارای پتانسیل حضور چشمه زیردریایی مشخص شدند. 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. بنابراین می‌توان تصاویر با کیفیت تفکیک‌پذیری متوسط مانند لندست ۸ را به منظور تشخیص ناهنجاری‌های وسیع و با اهمیت، به عنوان آزمون ابتدایی غربالگری برای شناسایی اولیه نواحی پتانسیل حضور چشمه‌های زیردریایی مورد استفاده قرار داد.

* m.farzin@ut.ac.ir: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

چشمه‌های آب شیرین زیردریایی از دیرباز مورد توجه مردم محلی بوده‌اند به طوری که در بسیاری از نقاط جهان، این چشمه‌ها گاه تنها منبع تأمین آب آشامیدنی بوده است. نخستین گزارش تراوش در خلیج فارس مربوط به چشمه‌های آرتزین آب زیرزمینی است (۱۷)، به طوری که ویلیامز (۳۴) و فرومانت (۱۵) تخلیه آب شیرین را از شکاف‌های باریک خلیج فارس در آب‌های کم‌عمق جزایر بحرین گزارش داده‌اند. از زمان‌های دور تاکنون، در اطراف بحرین چشمه‌های زیردریایی شناخته شده‌اند به طوری که غواصان مروارید وجود این چشمه‌ها را توصیف کرده و از آب شیرین آن‌ها استفاده نموده‌اند همچنین گفته شده است که صیادان مروارید بحرینی می‌توانستند با جمع‌آوری آب شیرین از چشمه‌های زیردریایی، زمان‌های بسیار طولانی را دریا سپری نمایند (۱۱). در سال ۱۹۷۶ وزارت آب و کشاورزی برای مطالعه منابع آب بحرین، مطالعه اولیه‌ای انجام داد و با کمک دانشمندان و غواصان، محل دقیق این چشمه‌ها را تعیین کردند (۵).

عمیق‌ترین این چشمه‌ها، ام‌جراجیر است که ۱۰ متر پایین‌تر از سطح دریا است. تاکنون دبی کل این چشمه‌ها به صورت علمی و دقیق گزارش نشده است با این وجود به نظر می‌رسد که حجم آب قابل توجهی از این چشمه‌ها تخلیه می‌شود. این در حالی است که در سواحل شمالی خلیج فارس علی‌رغم وجود پتانسیل بسیار بالا در ظهور چشمه‌های زیردریایی نسبت به سواحل جنوبی آن، تاکنون هیچ‌گونه پژوهش و بررسی دقیق علمی صورت نگرفته است.

امروزه کاربرد سنجش از دور در مطالعات منابع آب اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است. در این نوع مطالعات، علاوه بر کارایی طول موج‌های مرئی و مادون قرمز، تصاویر تهیه شده در ناحیه حرارتی طیف الکترومغناطیس نیز کاربرد زیادی دارند؛ از جمله موارد استفاده آن، تعیین دمای سطح دریا است. به طور کلی، خروج آب از چشمه‌های بستر دریا، آب‌های پیرامون خود را متأثر کرده و تغییراتی در دمای آن به وجود می‌آورد به طوری که می‌توان با برآورد دمای سطحی

پیکره‌های آبی و تشخیص تفاوت دمایی جریان آب زیرزمینی ورودی با دمای محیط اطراف آن، مکان تخلیه این جریان را تعیین نمود. تاکنون مطالعات فراوانی در سطح جهان از داده‌های حرارتی ماهواره‌ای به منظور تعیین نواحی پتانسیل حضور چشمه‌های زیردریایی استفاده کرده‌اند (۹).

کودمانی (۲۰) در سوریه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و اسپات و بررسی ۵۸ ایستگاه، ۴ چشمه آب شیرین را شناسایی کردند. ال‌بسم و تیرو (۵) بر اساس شناسایی ویژگی‌های حرارتی نواحی شناخته شده شامل ۲۷ چشمه آب شیرین زیردریایی خلیج فارس در اطراف کشور بحرین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و تعمیم آن به سایر نواحی، چشمه‌های احتمالی زیردریایی در سواحل دریای سرخ را شناسایی کردند.

روکاس و همکاران (۲۶) با استفاده از تصاویر سنجنده ETM⁺ و ASTER و نیز با در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژی منطقه، توانستند محل خروجی چشمه‌های آب شیرین یونان را شناسایی کنند. ایشان معتقدند که شناسایی چشمه‌های آب شیرین از طریق روش سنجش از دور حرارتی، بستگی به عمق و دمای آب خروجی چشمه‌ها دارد.

کلوکوسیسی و همکاران (۱۸) برای شناسایی چشمه‌های آب شیرین یونان، از تصاویر مادون قرمز و نیز اندازه‌گیری میدانی عواملی همچون شوری، کدورت و دما استفاده کردند، اختلاف دمای این چشمه‌ها با محیط آبی اطراف خود ۲ الی ۳ درجه سانتی‌گراد ذکر گردیده است.

مجیاز و همکاران (۲۲) با مطالعه تخلیه آب زیرزمینی یک سفره کارستی در ساحل غربی دریای مدیترانه با استفاده از تصاویر مادون قرمز هوایی (TIR) به منظور پایش ناهنجاری‌های فیزیکوشیمیایی، به این نتیجه رسیدند که سه ناحیه اصلی در ساحل تحت تأثیر چشمه‌های زیردریایی قرار دارند و یکی از این چشمه‌ها در فاصله ۳ کیلومتری از ساحل قرار گرفته است.

لواندووسکی و همکاران (۲۱) با یک مطالعه موردی در آلمان، با اندازه‌گیری هوایی اشعه مادون قرمز حرارتی (TIR)

حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف دمای سطح آب‌های سواحل بوشهر در فصل‌های زمستان و تابستان وجود دارد؛ این در حالی است که شوری آن تقریباً بدون تغییر است (۲۵). خلیج فارس یکی از شورترین منابع آبی در میان آب‌های آزاد جهان است به طوری که شوری آن در بیشتر مناطق حدود ۴۰ گرم در لیتر است؛ شوری زیاد آن به دلیل اقلیم خشک، تبخیر زیاد، ورودی کم آب شیرین نسبت به تبخیر و نیز تبادل محدود آب آن با آب اقیانوسی است. عمده آب شیرین ورودی به خلیج فارس از جریان رودخانه‌های کارون، هندیجان، دجله، فرات، مند 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 (۲۶). محدوده مورد بررسی در این پژوهش، اطراف کشور بحرین و فاصله ۲۰ کیلومتری از سواحل استان بوشهر (حوالی هندیجان تا بندر مقام) را در برمی‌گیرد (شکل ۱).

روش تحقیق

پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تهیه نقشه دمای سطح دریا (SST)

ماهواره لندست ۸ با دو سنجنده OLI و TIRS (برخلاف لندست ۷ که تنها یک سنجنده برای دریافت هر دو طیف انعکاسی و حرارتی دارد) در ۱۱ فوریه سال ۲۰۱۳ میلادی با پرتاب موفق در مدار قرار گرفت: سنجنده OLI با ۹ باند طیفی در محدوده مرئی (VIS)، مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) و سنجنده TIRS با دو باند طیفی مادون قرمز موج بلند (LWIR). تفکیک‌پذیری مکانی TIRS ۱۰۰ متر با تکرار ۱۶ روزه است. مشخصات داده‌های لندست مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

برای اولین بار، الگوی تخلیه آب زیرزمینی دریاچه‌ای (LGD) را برای دریاچه‌های آب شیرین عمیق به کار گرفته و دریافتند که اندازه‌گیری TIR برای شناسایی الگوی تخلیه آب زیرزمینی در دریاچه‌ها، ابزاری قدرتمند است.

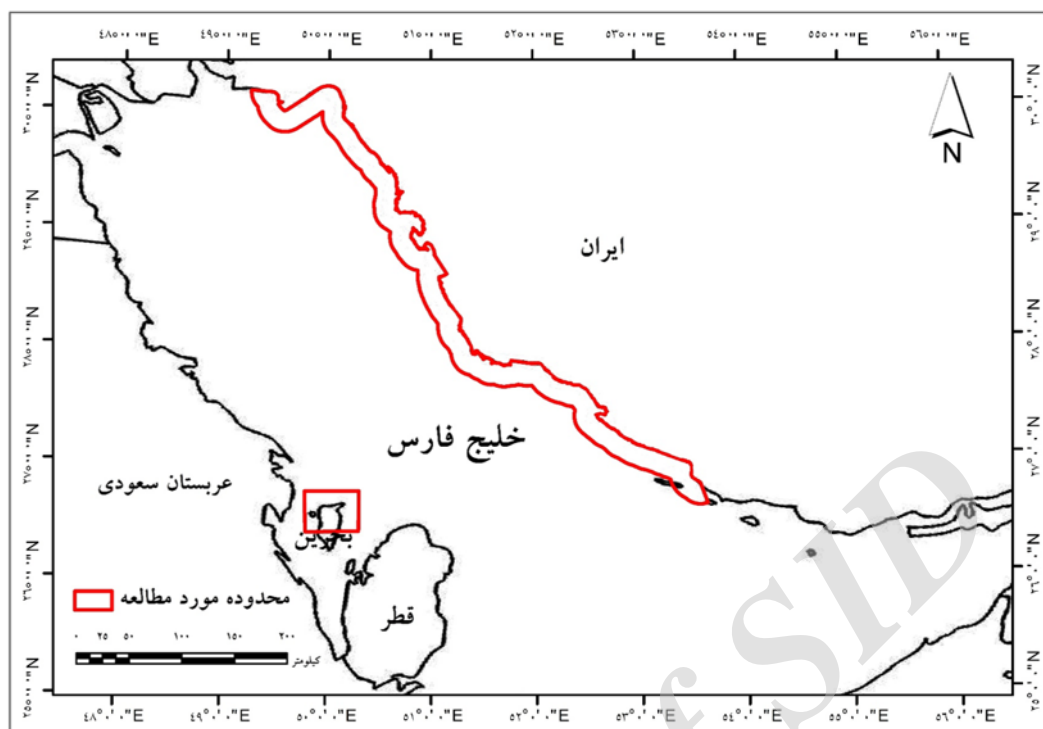
ویلسون و روچا (۳۶) الگوهای دمای سطح آب ایجاد شده را با استفاده از تفسیر تصاویر حرارتی لندست ۷ به منظور تعیین محل ورود آب زیرزمینی به دریاچه‌ای در غرب ایرلند مورد مطالعه قرار دادند؛ در این مطالعه، پلوم‌های سرد ناهنجار موجود در حاشیه‌های کم‌عمق دریاچه در طول ماه‌های تابستان به عنوان محل تخلیه آب زیرزمینی در نظر گرفته شد.

کاتمایر و همکاران (۱۹) نیز با تصویربرداری حرارتی هوایی در بحرالمت، نقشه دمای سطح دریا را تهیه و چشمه‌های زیردریایی فعال در محدوده مورد مطالعه را شناسایی کردند، ایشان بر این باور هستند که آب زیرزمینی تخلیه شده دمای مشخصی دارد که موجب بروز ناهنجاری دمایی ویژه‌ای در سطح دریا می‌شود که از دمای آب محیط اطراف متفاوت است. این مطالعه سعی بر آن دارد تا با استفاده از داده‌های حرارتی باند ۱۰ ماهواره لندست ۸، نواحی اولیه‌ای را به عنوان مناطق پتانسیل حضور چشمه‌های زیردریایی در سواحل استان بوشهر مشخص نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس محدوده آبی نیمه بسته‌ای است که در موقعیت جغرافیایی $۲۴^{\circ} ۰۰'$ تا $۲۸^{\circ} ۰۰'$ طول شرقی و $۵۶^{\circ} ۳۰'$ تا $۵۹^{\circ} ۰۰'$ طول شرقی و $۳۰^{\circ} ۳۰'$ تا $۳۰^{\circ} ۳۰'$ عرض شمالی، بین کشور ایران و شبه‌جزیره عربستان قرار گرفته و از طریق تنگه هرمز با دریای عمان ارتباط دارد. طول ساحل ایران با خلیج فارس ۱۲۶۰ و طول ساحل استان بوشهر ۶۲۵ کیلومتر است. دمای سطحی آب خلیج فارس از ۱۲ درجه سانتی‌گراد در زمستان تا بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در تابستان متغیر است (۲۷).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات داده‌های ماهواره لندست ۸، باند ۱۰ سنجنده TIR

تاریخ برداشت	ردیف/گذر	تاریخ برداشت	ردیف/گذر	تاریخ برداشت	ردیف/گذر
۱۳۹۴ بهمن ۱۷	۱۶۳/۴۱	۱۳۹۴ بهمن ۱۷	۱۶۳/۴۰	۱۳۹۴ بهمن ۲۶	۱۶۲/۴۱
کنگان تا رودخانه مند		رودخانه مند تا شیف		بندر مقام تا کنگان	
۱۳۹۴ بهمن ۱۷		۱۳۹۴ بهمن ۲۴	۱۶۴/۴۰	۱۳۹۴ بهمن ۲۴	۱۶۴/۳۹
۲۸ مهر ۱۳۹۵	۱۶۳/۴۲	بندرگاه تا گناوه		هندیجان تا بندر ریگ	
۶ فروردین ۱۳۹۵	بحرین				
۸ خرداد ۱۳۹۵					

برای تبدیل ارزش‌های پیکسل (DN) به تابش طیفی یا رادیانس (TOA) در سنجنده OLI/TIRS ماهواره لندست ۸ از رابطه ۱ استفاده گردید.

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad [1]$$

در این رابطه؛ L_{λ} رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده $(W/(m^2 \times sr \times \mu m))$ ، M_L فاکتور تبدیل ضریبی که در هدر تصاویر لندست ۸ به نام RADIANCE_MULT_BAND

در ابتدا در محیط نرم‌افزار ENVI تصحیحات لازم اتمسفریک بر باندهای حرارتی اعمال گردید. سپس به منظور بررسی وجود یا عدم وجود خطاهای هندسی و رادیومتری، بررسی کیفیت داده‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت به این ترتیب که با بررسی تصاویر تک باند و ترکیبات رنگی مختلف خطای قابل توجهی مشاهده نگردید (۲). همچنین تمامی تجزیه و تحلیل‌ها و استخراج نقشه‌های دمای سطحی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام گردید.

بدست می‌آید، Q_{cal} ارزش پیکسل رقومی شده و واسنجی شده به نام RADIANCE_ADD_BAND است (جدول ۲).
 A_L (DN)، ضریب تبدیل جمعی که در هدر تصاویر لندست ۸

جدول ۲. مقادیر ضریب‌های ضریبی، جمعی و واسنجی برای باندهای حرارتی سنجنده OLI/TIRS لندست ۸

باندها	ضریب
باندها ۱۰ و ۱۱	M_L
۰/۰۳۳۴	۰/۰۳۳۴
۰/۱	A_L
۴۸۰/۸۸۸۳	K_1
۷۷۴/۸۸۵۳	K_2
۱۲۰۱/۱۴۴۲	۱۳۲۱/۰۷۸۹

در این رابطه؛ SST دمای سطح دریا (درجه سانتی‌گراد)،
 BT دمای درخشندگی (درجه سانتی‌گراد)، w طول موج
 رادیانس گسیل شده، ρ ضریب ثابت، h ثابت پلانک
 $(6.626 \times 10^{-34} \text{ JS})$ ، c سرعت نور $(2.998 \times 10^8 \text{ m/s})$ ، s ثابت
 بولتزمن $(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})$ و ε گسیلمندی می‌باشند. با توجه
 به طول موج دریافتی توسط باندها ۱۰ ماهواره لندست ۸ و میانه
 آن که برابر با ۱۰/۹ میکرومتر است (۷)، مقدار عددی
 گسیلمندی برای آب دریا، ۰/۹۸۹ در نظر گرفته شد (۳۰) و
 (۳۵).

پیش‌بینی و تعیین نواحی محتمل حضور چشمه

در ابتدا نقشه پراکنش این چشمه‌های زیردریایی در
 اطراف کشور بحرین تهیه گردید. سپس دمای پیکسل‌های
 حاوی این چشمه‌ها طی چهار برداشت مربوط به ماه‌های
 بهمن، فروردین، خرداد و مهر طی سال ۹۵-۱۳۹۴ از نقشه‌های
 دمای سطح دریا استخراج گردید. نظر به اینکه به طور معمول
 درجه حرارت چشمه‌های مربوط به یک آبخوان تقریباً یکسان
 است به طوری که ممکن است علیرغم وجود فواصل بسیار
 زیاد بین چشمه‌های یک منطقه، دمای آب آن‌ها تقریباً مشابه
 باشد و همچنین همواره تصور بر این است که حداقل بخش از
 آب خروجی چشمه‌های بحرین از اراضی ایرانی منتهی به
 خلیج فارس تأمین می‌شود (۱۳)، می‌توان دمای استخراجی
 چشمه‌های مذکور را به عنوان درجه حرارت کلیدی یا شاخص
 در شناسایی سایر نواحی پتانسیل حضور چشمه در سواحل

دمای درخشندگی سنجنده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه
 گردید.

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) \quad [2]$$

در این رابطه؛ T دمای روشنایی یا درخشندگی (BT) در
 سطح سنجنده بر حسب کلوین، L_λ رادیانس طیفی در بالای
 اتمسفر در سنجنده $(\text{Watts}/(\text{m}^2 \times \text{sr} \times \mu\text{m}))$ ، K_1 و K_2 ضرایب
 کالیبراسیون حرارتی سنجنده می‌باشند. با تفریق حاصل رابطه ۲
 در عدد ۲۷۳/۱۵، دمای برآوردی به درجه سانتی‌گراد تبدیل
 می‌شود.

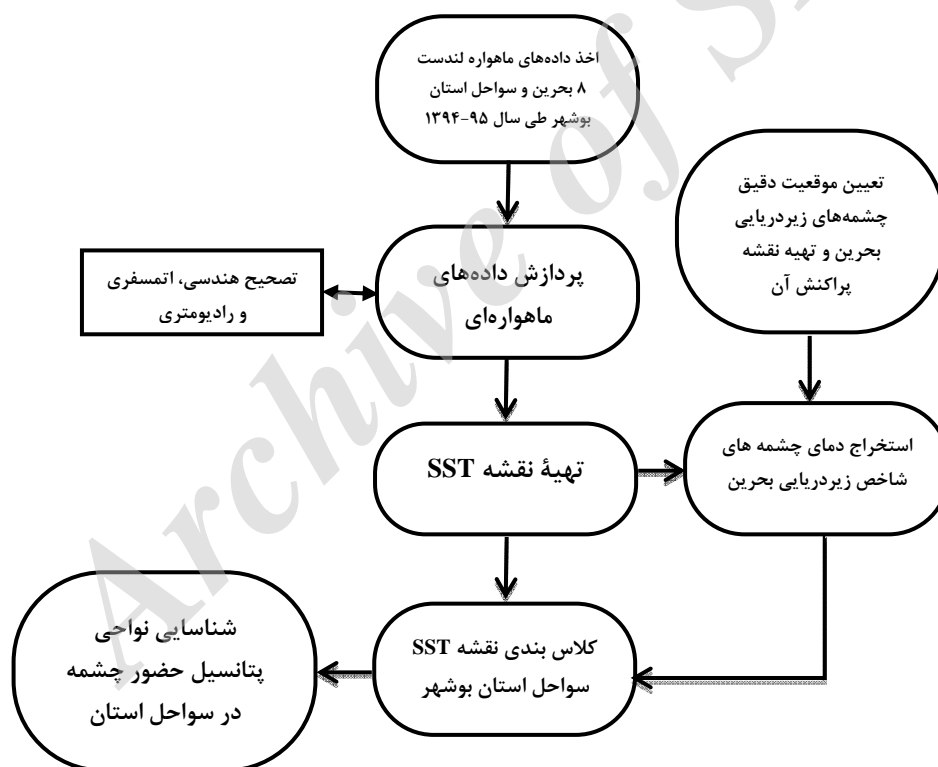
برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های
 مختلف نشان داده است که استفاده از داده‌های باندها ۱۰، دقت
 به مراتب بیشتری نسبت به باندها ۱۱ دارد (۲۳ و ۳۸) و باید از
 کاربرد داده‌های باندها ۱۱ به ویژه در جایی که به تصحیح کامل
 نیاز دارند، اجتناب کرد (۹). همچنین سازمان زمین‌شناسی
 ایالات متحده نیز به دلیل وجود نورهای مزاحم در باندها ۱۱ و
 در نتیجه عدم قطعیت قابل توجه در کیفیت داده‌های حاصل از
 این باندها، استفاده از باندها ۱۱ را توصیه نمی‌کند. از این رو، به
 منظور تعیین دمای سطح دریا در محدوده مورد مطالعه، تنها از
 داده‌های باندها ۱۰ ماهواره لندست ۸ استفاده گردید. در نهایت،
 دمای سطح دریا با استفاده از رابطه ۳ و ۴ محاسبه شد (۷).

$$SST = BT / \ln \varepsilon \times (BT/\rho) \times w + 1 \quad [3]$$

$$\rho = hc/s \quad [4]$$

اعمال و جستجوی این حدود دمایی در کلاس بندی نقشه دمای سطح دریا، کلاس و نواحی دارای این حدود دمایی در محیط نرم افزار ArcGIS مشخص شد و به عنوان نواحی دارای پتانسیل حضور چشمه قلمداد گردید. دلایل انتخاب داده های ماهواره ای اطراف بحرین طی چهار ماه بهمن، فروردین، خرداد و مهر را می توان در کیفیت برداشت ماهواره ای که تقریباً بدون ابر و گرد و غبار بود و آنالیز داده ماهواره ای و نقشه دمای سطح دریا (SST) مربوط به حداقل یکی از چهار ماه مذکور برای نواحی شمالی خلیج فارس صورت گرفته است که مبنای مقایسه و شناسایی نواحی پتانسیل را به تطابق زمانی نزدیک تر می نماید. مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.

خلیج فارس به ویژه بخش شمالی آن به کار گرفت. از این رو، با میانگین گیری درجه حرارت چشمه های بحرین که بیشترین شباهت دمایی را دارند. در واقع چشمه هایی مدنظر قرار گرفت که علاوه بر داشتن تشابه نسبی دمایی، حتماً پایین تر از سطح دریا و در بستر قرار گرفته باشند چراکه برخی از چشمه های بحرین هر چند که زیر دریایی قلمداد شده اند اما در سطح ارتفاعی صفر یا اندکی بالاتر از آن قرار گرفته اند که مطمئناً در این حالت به شدت تحت تأثیر دمای محیط قرار می گیرند و دمای محاسباتی برای پیکسل حاوی این چشمه ها، بیشتر تابع محیط اطراف است تا دمای آب خروجی از آن ها و سپس لحاظ اندکی کران بالا و پایین (در حد یک درجه سانتی گراد) و

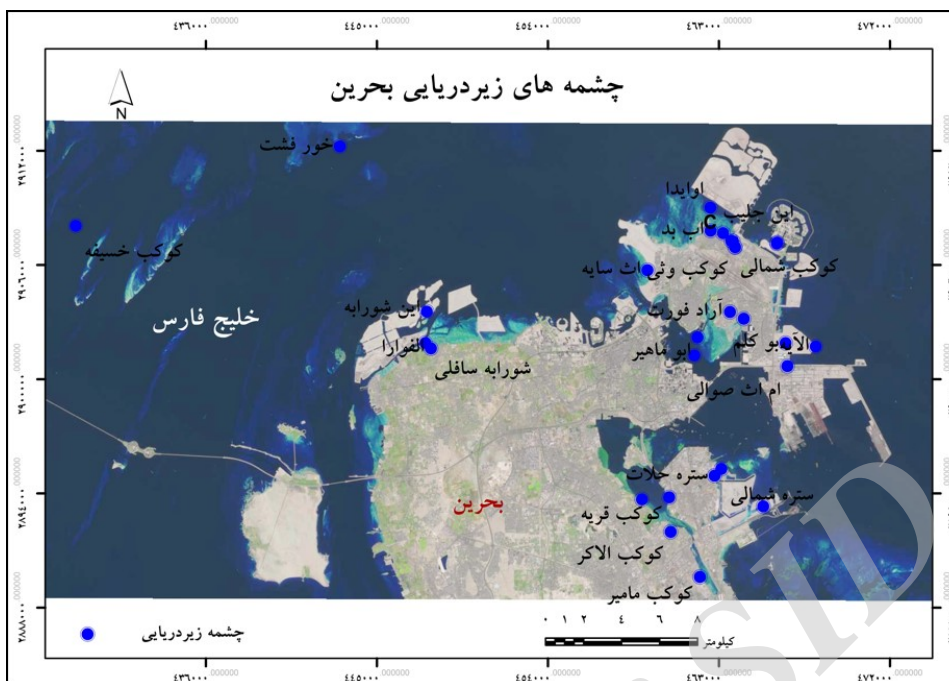


شکل ۲. فلوچارت روش تحقیق

نتایج

فشت و کوکب خسیفه (بیش از ۲۰ کیلومتر) بیشترین فاصله را از سواحل دارند و سایر چشمه ها در مجاورت خط ساحلی یا محدوده جزر و مدی قرار گرفته اند.

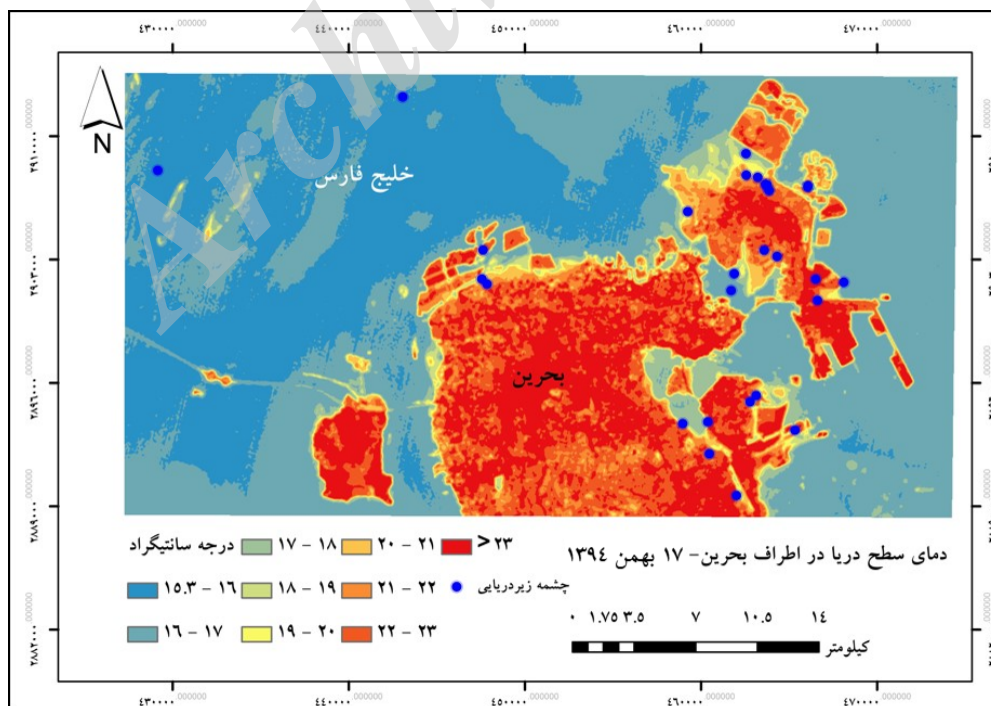
شکل ۳ موقعیت چشمه های زیر دریایی بحرین را نشان می دهد که ۲۹ چشمه قابل مشاهده است. چشمه های خور



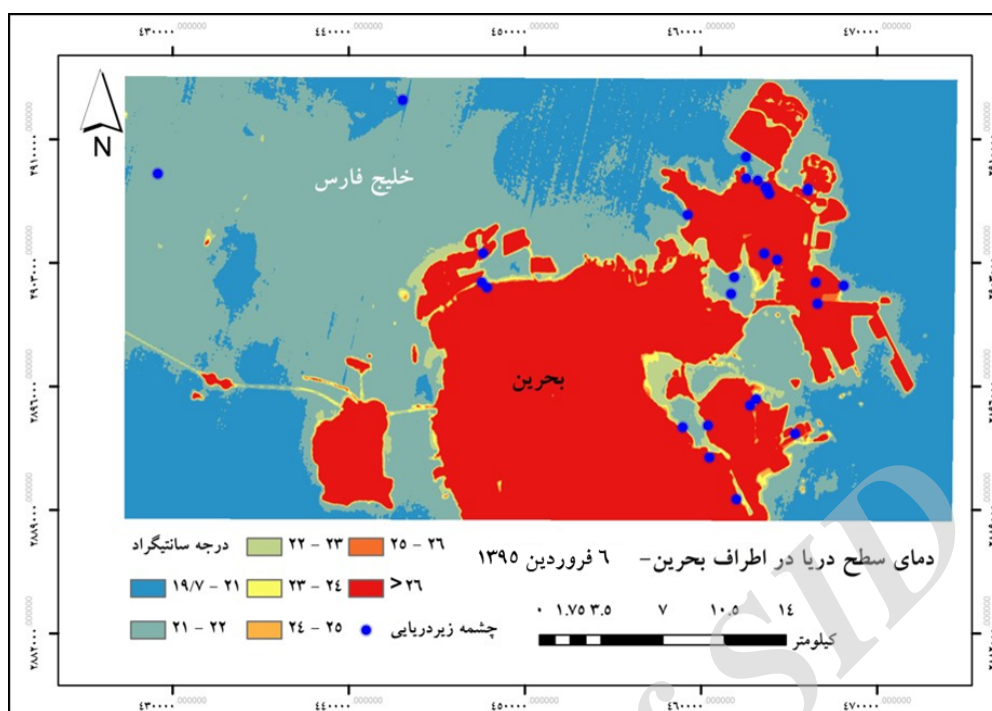
شکل ۳. موقعیت چشمه‌های آب شیرین زیر دریایی جنوب خلیج فارس، اطراف بحرین (با استناد به ال بسم و تیرو (۵))

شکل‌های ۴ تا ۷ نقشه دمای سطح دریا (SST) در اطراف بحرین طی ماه‌های بهمن، فروردین، خرداد و مهر سال ۱۳۹۴-۹۵ را نشان می‌دهد. مطابق این نقشه، کمترین دمای سطح دریا در اطراف بحرین در طی چهار ماه مذکور، به ترتیب، ۱۷، ۲۲، ۲۷ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین دما نیز به سطح خشکی مجمع‌الجزایر بحرین اختصاص دارد.

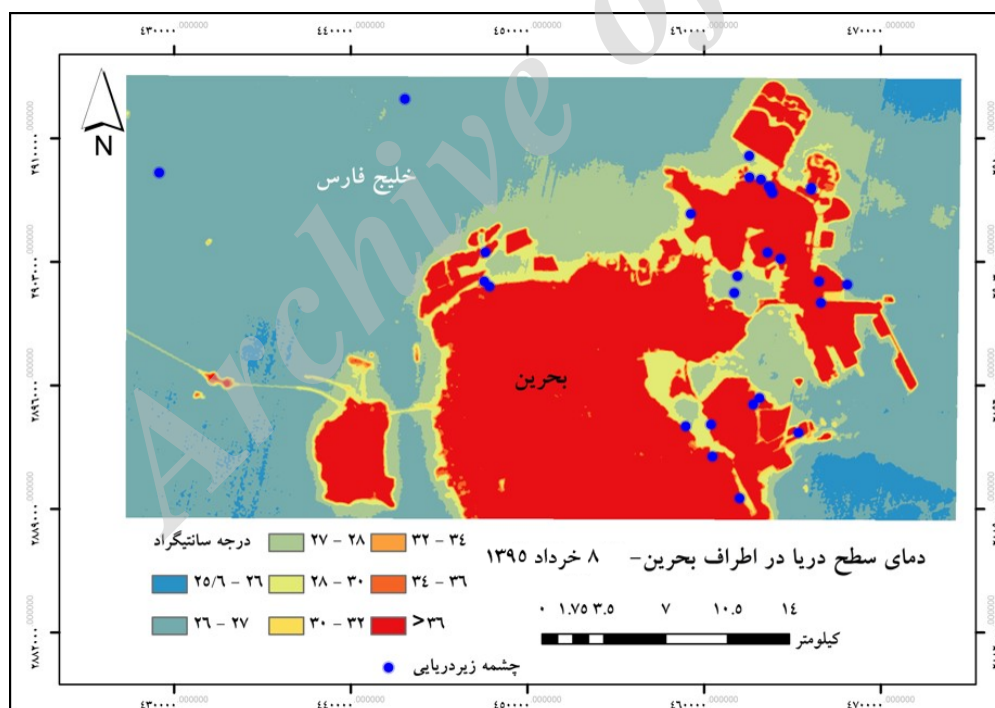
شکل‌های ۴ تا ۷ نقشه دمای سطح دریا (SST) در اطراف بحرین طی ماه‌های بهمن، فروردین، خرداد و مهر سال ۱۳۹۴-۹۵ را نشان می‌دهد. مطابق این نقشه، کمترین دمای سطح دریا در اطراف بحرین در طی چهار ماه مذکور، به ترتیب، ۱۷، ۲۲، ۲۷ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین دما نیز به سطح خشکی مجمع‌الجزایر بحرین اختصاص دارد.



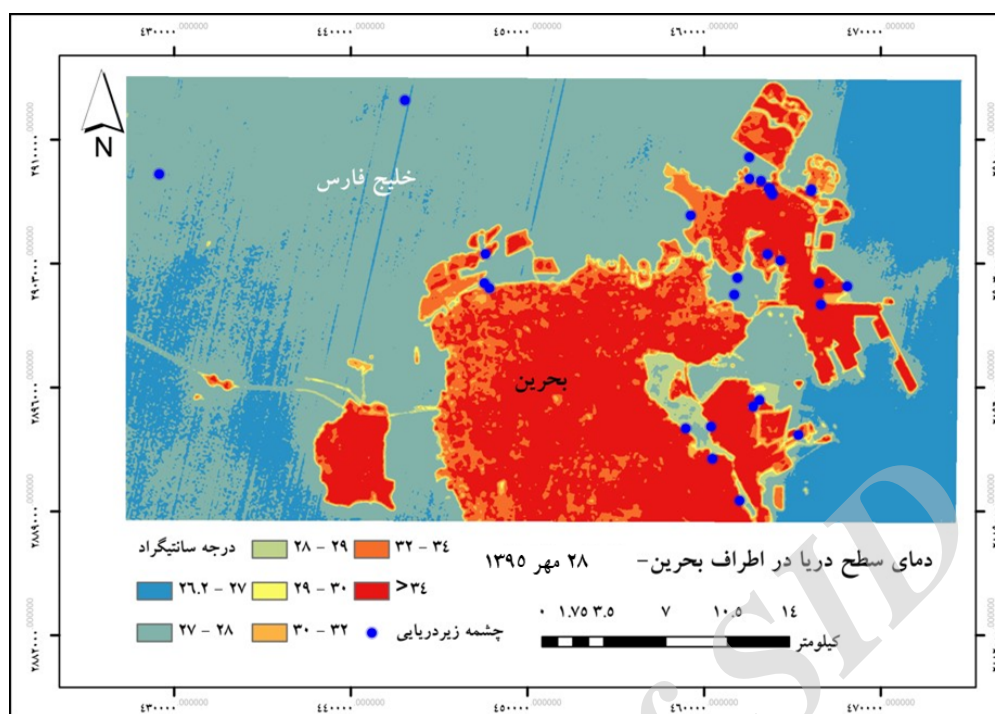
شکل ۴. نقشه دمای سطح دریا (SST) در اطراف بحرین در ۱۷ بهمن ۱۳۹۴



شکل ۵. نقشه دمای سطح دریا (SST) در اطراف بحرین در ۶ فروردین ۱۳۹۵



شکل ۶. نقشه دمای سطح دریا (SST) در اطراف بحرین در ۸ خرداد ۱۳۹۵



شکل ۷. نقشه دمای سطح دریا (SST) در اطراف بحرین در ۲۸ مهر ۱۳۹۵

پیکسل حاوی این چشمه نسبت به پیکسل‌های اطراف، کاملاً متمایز است. همچنین دمای این چشمه با دمای چشمه‌های کوکب خسیفه و خور فشت که فاصله بسیار زیادی با یکدیگر دارند (شکل ۳)، تقریباً مشابه است. این تشابه دمایی برای چشمه‌های ابو ماهر، ال آیه و اوایدا نیز صادق است. از این رو، این شش چشمه به عنوان شاخص در استخراج دمای کلیدی حضور چشمه در سایر نواحی مد نظر قرار گرفت (جدول ۴). همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود به منظور لحاظ عدم قطعیت و همچنین ارائه حدود دمای شاخص، کران بالا و پایین (حدود یک درجه سانتی‌گراد) در نظر گرفته شده است. در نهایت، با توجه به اینکه چشمه‌های آب شیرین زیردریایی به میزان بارندگی منطقه وابسته است (۳۱) و بهترین زمان برای شناسایی این چشمه‌ها فصل زمستان است (۴) دمای مربوط به ماه فوریه به عنوان دمای شاخص نهایی جهت تعیین نواحی پتانسیل حضور چشمه در نظر گرفته شده است یعنی دمای ۱۶/۹۸ درجه سانتی‌گراد.

نتایج دمای چشمه‌های زیردریایی بحرین استخراج شده از داده‌های ماهواره لندست ۸ در جدول ۳ ارائه شده است. طبق این جدول برخی از چشمه‌های زیردریایی بحرین بالاتر از سطح دریا قرار گرفته‌اند که احتمالاً هنگام مد دریا به زیر آب می‌روند از این رو، تفاوت دمایی پیکسل‌های حاوی این چشمه‌ها با چشمه‌هایی که پایین‌تر از سطح دریا و در بستر دریا قرار گرفته‌اند، محرز می‌باشد به طوری که دمای آب چشمه‌هایی که نزدیک سطح دریا قرار گرفته‌اند (چشمه‌های کم عمق)، بیشتر از دمای آب چشمه‌هایی است که در زیر سطح دریا قرار گرفته‌اند؛ این تفاوت دمایی را می‌توان به تأثیر قابل توجه دمای محیط اطراف چشمه بر آن دانست که نشان از ناچیز بودن دبی چشمه است؛ بنابراین، نمی‌توان این دما را به عنوان دمای واقعی آب خروجی از چشمه قلمداد کرد. در مقابل، تعدادی از چشمه‌ها در بستر قرار گرفته و برخی مانند چشمه معروف ام‌جراجیر که عمق زیادی نیز دارد (۱۰ متر) و علاوه بر این که نزدیک ساحل قرار گرفته است دمای آن در طول سال نسبت به سایر چشمه‌ها تغییرات کمتری را نشان می‌دهد و به نظر می‌رسد دبی قابل توجهی دارد چراکه دمای

جدول ۳. دمای چشمه‌های زیردریایی بحرین استخراج شده از داده‌های ماهواره لندست ۸

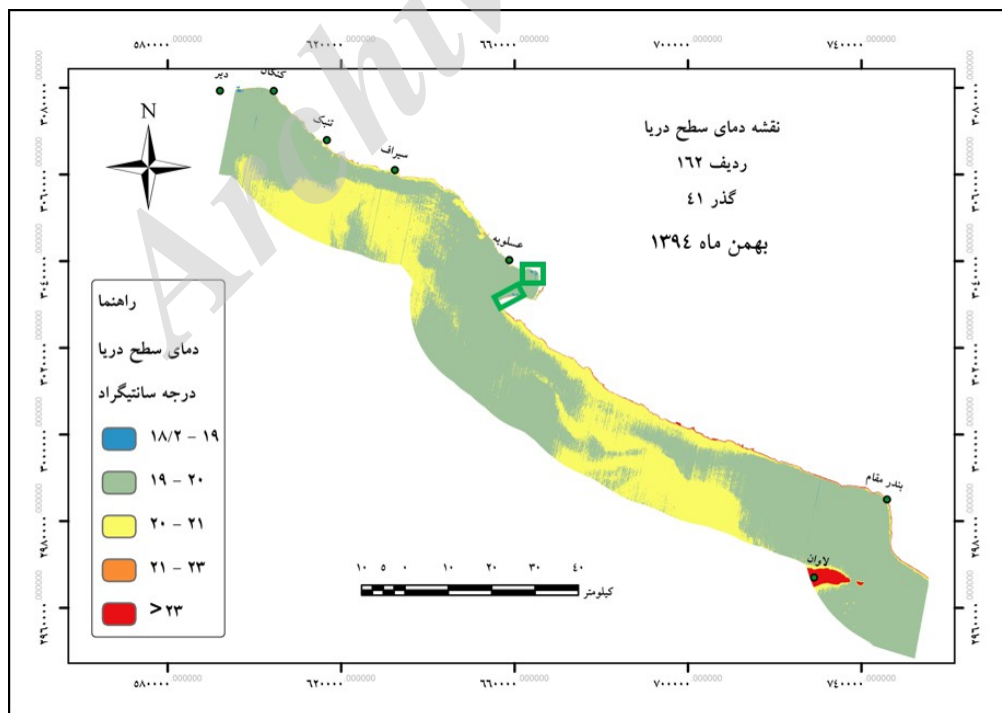
ارتفاع از سطح دریا	دما (درجه سانتی‌گراد)				نام چشمه
	۲۸ مهر ۱۳۹۵	۸ خرداد ۱۳۹۵	۶ فروردین ۱۳۹۵	۱۷ بهمن ۱۳۹۴	
-۱/۵	۲۸/۵۸	۲۸/۹۸	۲۲/۴۸	۱۹/۸۰	کوکب سلیج
-۱/۶	۳۶/۶۵	۴۰/۸۰	۳۴/۵۹	۲۳/۵۷	ام اث صوالی
۰	۳۲/۸۳	۳۵/۸۷	۲۹/۱۵	۲۱/۷۱	کوکب قریه
-۱۰	۲۷/۳۶	۲۷/۴۱	۲۱/۶۰	۱۶/۵۴	ام جراجیر
-۴	۳۰/۵۴	۳۳/۴۳	۲۶/۷۵	۱۸/۵۴	چشمه کیسوی
-۱/۲	۳۰/۰۵	۳۲/۲۴	۲۶/۰۸	۱۹/۱۲	چشمه جوردی- a
-۱/۲	۳۱/۰۴	۳۴/۲۶	۲۷/۸۲	۱۹/۹۱	چشمه جوردی- b
-۱/۷	۲۷/۴۷	۲۷/۵۵	۲۱/۶۳	۱۸/۵۲	ابو ماهیر
-۰/۷	۳۳/۸۹	۳۸/۸۳	۳۲/۳۲	۲۳/۳۹	کوکب مامیر
-۱/۷	۳۳/۹۶	۳۹/۸۵	۳۴/۶۹	۲۲/۶۸	این شورابه
-۳	۲۸/۶۵	۲۸/۲۷	۲۲/۹۴	۱۷/۲۹	الآیه
۰/۴	۳۵/۱۳	۴۰/۱۱	۳۲/۷۳	۲۲/۳۵	کوکب الاکر
-۰/۸	۳۱/۹۶	۳۴/۲۳	۲۷/۳۹	۲۱/۲۴	ستره حالات
-۲/۱	۲۷/۱۶	۲۶/۸۴	۲۱/۰۰	۱۵/۹۷	خور فشت
-۰/۶	۳۲/۳۲	۳۳/۸۰	۲۷/۲۰	۲۱/۲۷	ستره شمالی
-۱/۲	۳۶/۳۸	۳۹/۹۶	۳۲/۶۵	۲۳/۴۶	بو کلم
-۰/۴	۲۸/۲۱	۳۰/۰۰	۲۳/۴۴	۲۰/۳۲	اث سایه
۰/۵	۳۱/۱۹	۳۴/۶۰	۲۸/۷۹	۲۱/۲۱	الفورا
-۰/۹	۲۷/۹۴	۲۸/۵۰	۲۳/۴۷	۲۰/۲۶	شورابه سافلی
-۱/۲	۲۷/۳۷	۲۸/۱۱	۲۰/۸۸	۱۷/۷۳	اوایدا
۰/۴	۳۴/۲۱	۴۰/۰۷	۳۱/۷۶	۲۲/۳۵	آزاد اسکول
۰/۱	۳۴/۱۰	۳۹/۸۹	۳۱/۷۹	۲۲/۲۰	کوکب وئی- a
۰/۲	۳۴/۲۵	۳۹/۹۷	۳۱/۷۹	۲۲/۲۳	این جلیب- b
۰	۳۴/۲۸	۳۹/۷۱	۳۲/۱۶	۲۲/۵۰	این جلیب- c
۰/۲	۳۴/۰۱	۳۹/۵۴	۳۱/۷۴	۲۲/۴۴	کوکب شمالی- d
۰/۵	۳۵/۵۱	۴۰/۱۹	۳۱/۷۷	۲۲/۵۱	آزاد فورت
-۰/۳	۲۷/۱۷	۲۶/۴۹	۲۱/۳۷	۱۵/۸۳	کوکب خسیفه
-۰/۴	۳۰/۴۶	۳۳/۶۷	۲۷/۴۵	۲۰/۷۶	اب بد
-۰/۲	۳۱/۵۹	۳۴/۶۱	۲۷/۰۰	۲۰/۷۷	کوکب ریا الحور

جدول ۴. چشمه‌های انتخابی به عنوان شاخص در تعیین نواحی پتانسیل حضور چشمه

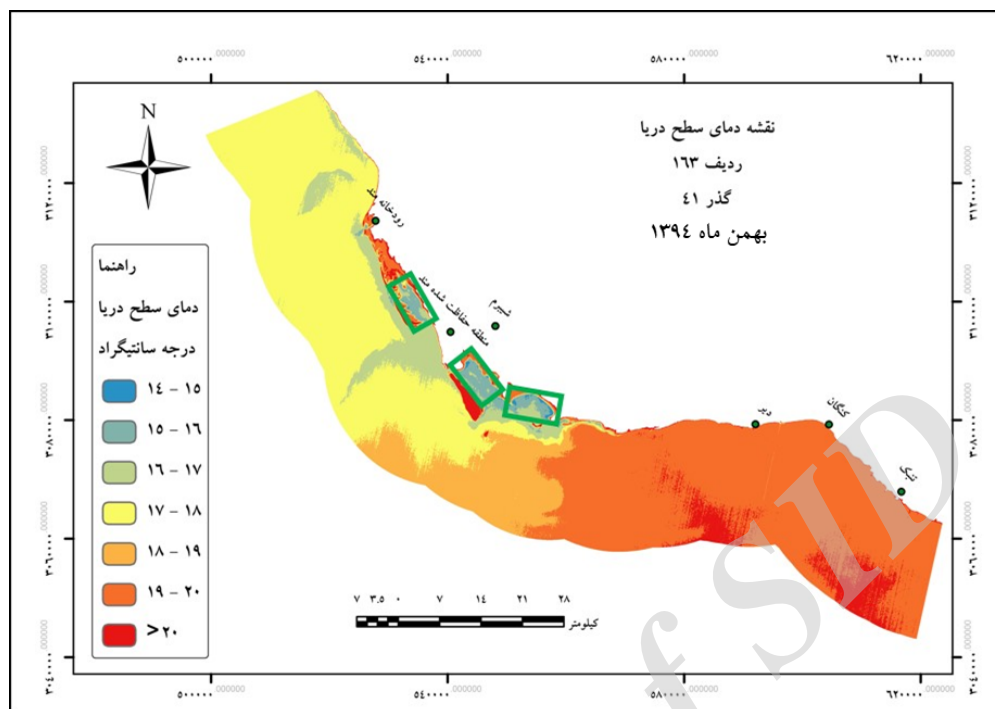
ارتفاع از سطح دریا (متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)				نام چشمه
	۲۸ مهر ۱۳۹۵	۸ خرداد ۱۳۹۵	۶ فروردین ۱۳۹۵	۱۷ بهمن ۱۳۹۴	
-۱۰	۲۷/۳۶	۲۷/۴۱	۲۱/۶۰	۱۶/۵۴	ام جراجیر
-۱/۷	۲۷/۴۷	۲۷/۵۵	۲۱/۶۳	۱۸/۵۲	ابو ماهیر
-۳	۲۸/۶۵	۲۸/۲۷	۲۲/۹۴	۱۷/۲۹	الآیه
-۲/۱	۲۷/۱۶	۲۶/۸۴	۲۱/۰۰	۱۵/۹۷	خور فشت
-۱/۲	۲۷/۳۷	۲۸/۱۱	۲۰/۸۸	۱۷/۷۳	اوایدا
-۰/۳	۲۷/۱۷	۲۶/۴۹	۲۱/۳۷	۱۵/۸۳	کوکب خسیفه
-	۲۷/۵۳	۲۷/۴۵	۲۱/۵۷	۱۶/۹۸	میانگین
-	۲۸/۵۳	۲۸/۴۵	۲۲/۵۷	۱۷/۹۸	+۱ میانگین
-	۲۶/۵۳	۲۶/۴۵	۲۰/۵۷	۱۵/۹۸	-۱ میانگین

محیط اطراف دارند که علاوه بر وجود تطابق تقریبی دمای این نواحی با دمای چشمه‌های شاخص بحرین، به دلیل وجود ناهنجاری دمایی می‌توان این نواحی را به عنوان مناطق پتانسیل حضور چشمه قلمداد کرد. در واقع، طبقه‌ای که کمترین دما را به خود اختصاص داده است را می‌توان ناحیه پتانسیل حضور چشمه زیردریایی در نظر گرفت.

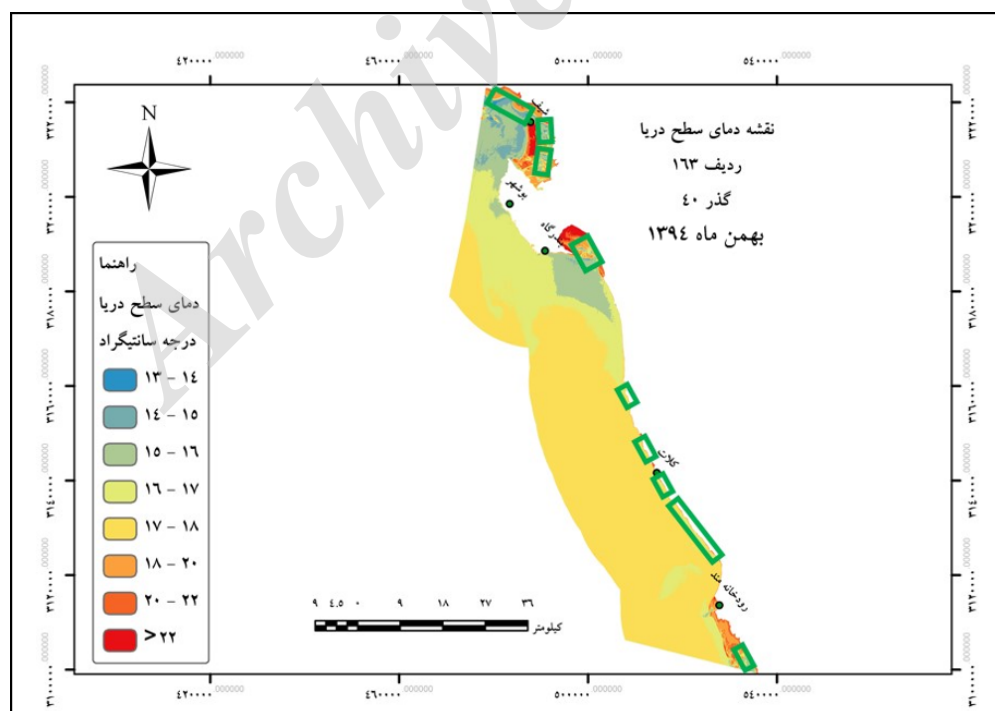
با جستجو حدود دمای شاخص (۱۷/۹۸-۱۵/۹۸) درجه سانتی‌گراد) در نقشه‌های SST و کلاس‌بندی مجدد آن‌ها نواحی پتانسیل حضور چشمه (مرز سبز رنگ) تا فاصله ۲۰ کیلومتری از سواحل استان بوشهر مشخص شده است (شکل‌های ۸ تا ۱۲). همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود برخی از نواحی نزدیک ساحل دمای کاملاً متفاوتی از



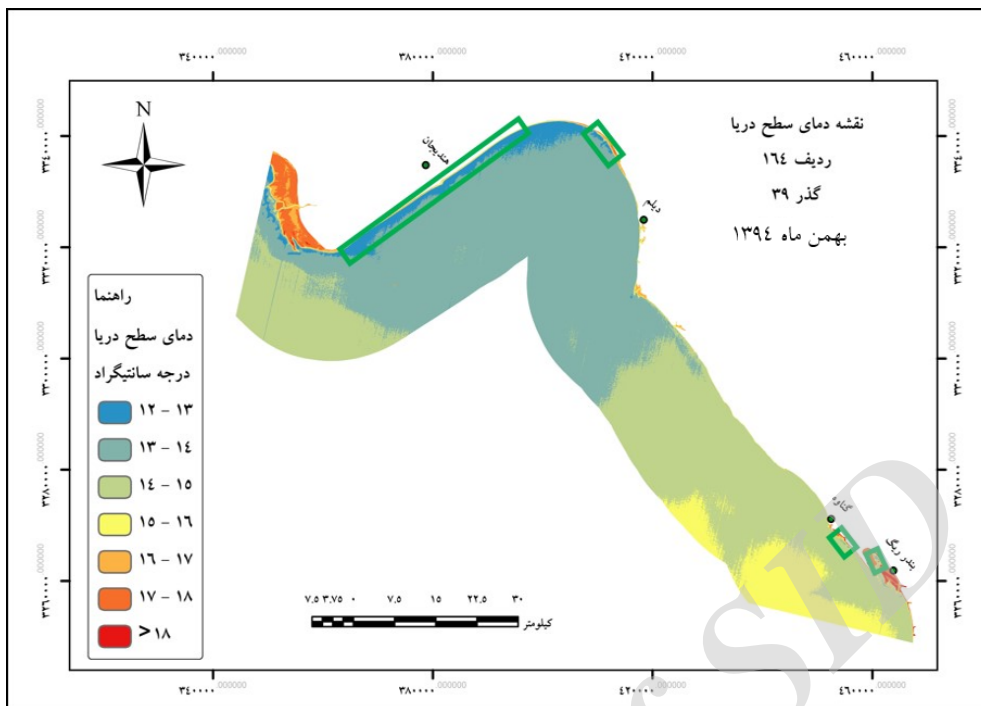
شکل ۸. نقشه دمای سطح دریا و ناحیه پتانسیل حضور چشمه زیردریایی از بندر مقام تا کنگان در بهمن ماه ۱۳۹۴



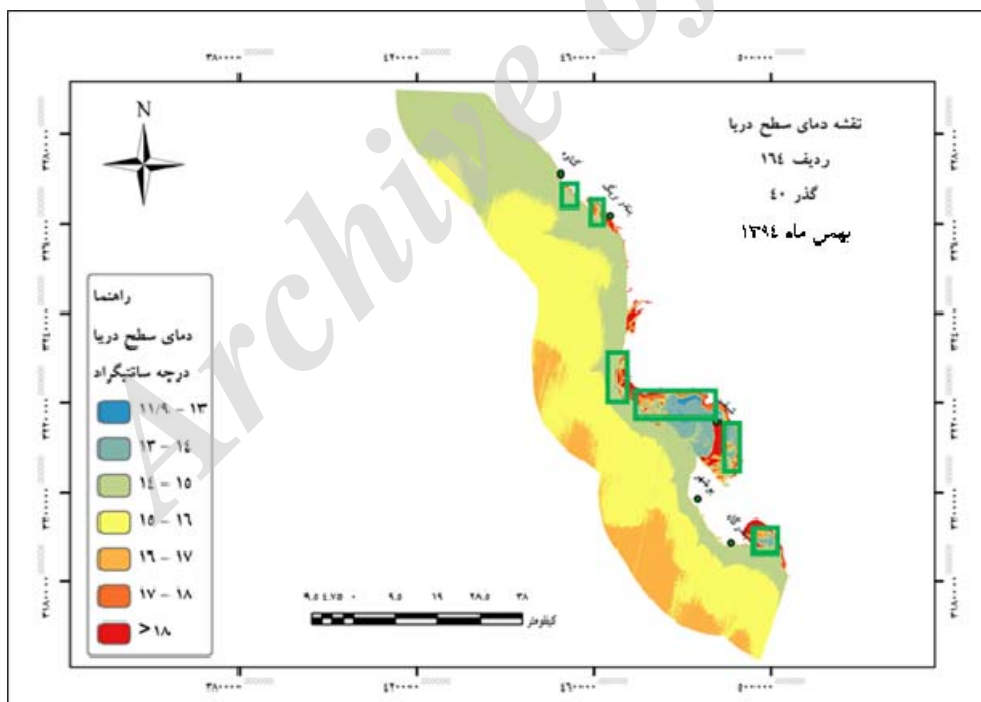
شکل ۹. نقشه دمای سطح دریا و ناحیه پتانسیل حضور چشمه زیر دریایی از بندر دیر تا رودخانه مند در بهمن ماه ۱۳۹۴



شکل ۱۰. نقشه دمای سطح دریا و ناحیه پتانسیل حضور چشمه زیر دریایی از رودخانه مند تا شیف در بهمن ماه ۱۳۹۴



شکل ۱۱. نقشه دمای سطح دریا و ناحیه پتانسیل حضور چشمه زیردریایی از بندرگاه تا بندر گناوه در بهمن ماه ۱۳۹۴



شکل ۱۲. نقشه دمای سطح دریا و ناحیه پتانسیل حضور چشمه زیردریایی از بندر ریگ تا هندجیان در بهمن ماه ۱۳۹۴

نای بند مشاهده می‌شود. محدوده ساحلی منطقه حفاظت شده مند و شیرم و مل گنزه (شکل ۹) با حداقل دمای ۱۴ درجه

کمترین دمای سطح آب دریا در حدفاصل بندر مقام تا کنگان (شکل ۸)، تقریباً ۱۸ درجه سانتی گراد است که در خلیج

سانتی‌گراد، ناحیه پتانسیل حضور چشمه زیردریایی از بندر دیر تا رودخانه مند را تشکیل می‌دهد که سطح قابل توجهی را نشان می‌دهد. شرق و غرب بوشهر و بندر ریگ با دمای تقریباً ۱۲ درجه سانتی‌گراد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) نیز یکی از مهم‌ترین نواحی پتانسیل حضور چشمه‌ها است. حدفاصل بندر دیلم تا سواحل هندیجان مهم‌ترین نواحی پتانسیل وجود چشمه زیردریایی در شکل ۱۲ را نشان می‌دهد، کمترین دمای این محدوده ۱۲ درجه سانتی‌گراد است که سطح قابل توجهی را پوشش داده است. به طور کلی، مناطق ساحلی که به عنوان نواحی پتانسیل حضور چشمه زیردریایی مشخص شده‌اند شامل حوالی عسلویه و خلیج نای‌بند، بخش وسیعی از حدفاصل بندر دیر تا رودخانه مند (به ویژه شبیرم و منطقه حفاظت شده مند)، حوالی روستای کلات، شرق و غرب بندر بوشهر (بندرگاه و شیف)، حدفاصل رودخانه حله و جزیره شیف، بندر ریگ، حوالی بندر گناوه و حدفاصل هندیجان و بندر دیلم می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

بهره‌گیری از حرارت به عنوان ردیاب آب زیرزمینی، به اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی بر می‌گردد (۶). از آنجایی که چگالی آب شیرین زیرزمینی کمتر از چگالی آب دریا است و به صورت پلوم‌های شناور بر روی آب شور قرار می‌گیرد (۲۴) و (۳۷)، گرادیان دمایی بین پیکره‌های آب سطحی و آب زیرزمینی تخلیه‌ای به وجود می‌آید؛ از این رو، روش‌های حرارت‌سنجی یا دیگر روش‌های سنجش از دور پتانسیل خوبی در شناسایی اولیه چشمه‌ها دارند (۱۴، ۳۲ و ۳۶). بونم (۱۰) نیز معتقد است که شناسایی چشمه‌های زیردریایی به سبب دما و شوری اندک آن‌ها بسیار ساده است. به طور معمول، در سنجش از دور دمای آب‌های سطحی، از سنجنده‌هایی استفاده می‌شود که در بخش مادون قرمز طیف الکترومغناطیس عمل می‌کنند؛ تشعشع این طیف در سطوح وسیع پیکره‌های آبی، نزدیک به صفر است (۳۶). استفاده از سنجنده‌های مادون قرمز با تفکیک‌پذیری مؤثر و قابل قبول، اختلاف دمای بین جریان آب زیرزمینی

ورودی و آب‌های سطحی (رودخانه، دریاچه، اقیانوس) را مشخص می‌کند. در نتیجه، ناهنجاری‌های حرارتی، مکان‌های پتانسیل تخلیه آب زیرزمینی را در مقیاس بزرگ به نمایش می‌گذارد (۳۷). سیستم‌های سنجش از دور مورد استفاده در تعیین محل تخلیه آب زیرزمینی به دریا یا دریاچه از جمله تصاویر هوایی با تفکیک‌پذیری بالا (۲۱)، تصویربرداری مادون قرمز هوایی دستی (۱۲) یا تصویربرداری حرارتی زمینی (۲۸) در عین حال که کارا و مؤثر هستند، بسیار پرهزینه می‌باشند و مطمئناً برای ارزیابی در مقیاس منطقه‌ای یا پایش پیوسته تخلیه آب زیرزمینی در پیکره‌های وسیع آبی مناسب نمی‌باشند (۱۶) و (۳۶). از طرف دیگر، جریان‌های ورودی آب زیرزمینی با ناهنجاری‌های دمایی کمتر از ۱۰۰ متر، به احتمال زیاد اهمیت به نسبت کمتری نسبت به ناهنجاری‌های بزرگ‌تر از ۱۰۰ متر دارند بنابراین استفاده از تصاویر با کیفیت تفکیک‌پذیری متوسط می‌تواند به منظور تشخیص ناهنجاری‌های وسیع و با اهمیت، اولویت بیشتری از نظر زمان و هزینه نسبت به تصاویر با کیفیت بالا داشته باشد. از این رو و با توجه به وسعت بسیار زیاد محدوده مورد مطالعه، از داده‌ها و تصاویر رایگان مربوط به سال ۲۰۱۶ ماهواره لندست ۸ جهت تعیین نقشه‌های دمای سطح دریای خلیج فارس به منظور تعیین حدود احتمالی چشمه‌های آب شیرین زیردریایی در طول سواحل استان بوشهر استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش با بسیاری از مطالعات مشابه در سایر نقاط جهان که چشمه‌های زیردریایی را با استفاده از سنجش از دور حرارتی شناسایی کرده‌اند، همخوانی دارد از جمله بنکس و همکاران (۸) در ناحیه مریلند ایالات متحده آمریکا؛ چرپیانو و همکاران (۳۳) در ایالات متحده آمریکا؛ شبان و همکاران (۲۹) در سواحل لبنان؛ اکاووی (۴) در بحرال‌میت؛ کودمانی (۲۰) در سوریه؛ روکاس و همکاران (۲۶) در یونان؛ کلوکوسیس و همکاران (۱۸) در یونان؛ ویلسون و روچا (۳۵ و ۳۶) در ایرلند؛ مجیاز و همکاران (۲۲) در اسپانیا؛ لوواندوسکی و همکاران (۲۱) در آلمان؛ کاتمایر و همکاران (۱۹) در بحرال‌میت. به طور کلی، تصویربرداری مادون قرمز حرارتی راهی

احتمالاً این منابع آب شیرین نه تنها در پهنه استان بوشهر بلکه در بخش زیادی از نوار ساحلی خلیج فارس و دریای عمان، تقریباً بدون استفاده مانده و به درون دریا تخلیه می‌شوند؛ بنابراین، در صورتی که نقاط خروج این جریان‌ها زیرزمینی به طور دقیق شناسایی و مورد بهره‌برداری قرار گیرد، می‌توان بخشی از آب مورد نیاز جمعیت مسکون در سواحل و جزایر خلیج فارس را تأمین نمود.

منابع مورد استفاده

۱. عسگرزاده، پ.، ع. درویشی بلورانی، ح. بهرامی و س. حمزه. ۱۳۹۵. مقایسه برآورد دمای سطح زمین در روش‌های تک-باندی و چندباندی با استفاده از تصویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۳): ۱۸-۲۹.
۲. میرزایی زاده، و.، م. نیک‌نژاد و ج. اولادی قادیکلایی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده غیرپارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۲۹-۴۴.
۳. ویسی، ش.، ع. ع. ناصری، س. حمزه و پ. مرادی. ۱۳۹۵. برآورد دمای مزارع نیشکر با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۱): ۲۷-۴۰.
4. Akawwi E. 2006. Locating zones and quantify the submarine groundwater discharge into the eastern shores of the Dead Sea-Jordan. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Georg-August-Universität zu Göttingen. 188 pp.
5. Al Bassam AA, Tiro EHM. 2011. 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, Le Meridian, Al-Khobar – Eastern Province, April 24-26.
6. Anderson MP. 2005. Heat as a ground water tracer. Groundwater, 43(6): 951-968.

مؤثر در شناسایی چشمه‌های زیردریایی است. این تکنیک بر مبنای گرادیان حرارتی بین آب زیرزمینی و شرایط سطحی محیط استوار است؛ به طوری که در ارزیابی سریع نواحی وسیع و کسب اطلاعات در مورد نواحی ویژه تخلیه آب زیرزمینی می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد. داده‌های ماهواره لندست ۸ که علاوه بر دسترسی رایگان، به روز نیز می‌باشند یکی از بهترین منابع ارائه تصویر با تفکیک‌پذیری متوسط است. همچنین همبستگی بالایی را می‌توان بین دمای برآوردی حاصل از داده‌های حرارتی لندست ۸ با دمای واقعی مشاهده نمود (۱ و ۳). با این وجود، استفاده از این نوع داده‌ها با کیفیت متوسط، تنها در سطوح وسیع توصیه می‌شود؛ در واقع، استفاده از این داده‌ها می‌تواند به عنوان آزمون ابتدایی غربالگری برای شناسایی اولیه نواحی پتانسیل تخلیه آب زیرزمینی و حضور چشمه‌های زیردریایی که نیازمند تمرکز بیشتر بررسی‌ها است، مورد استفاده قرار گیرد (۳۶ و ۳۷). تعیین مکان دقیق چشمه‌های احتمالی زیردریایی، مستلزم استفاده از تجهیزات مدرن و پیشرفته به ویژه تصویربرداری مادون قرمز هوایی و نیز بررسی‌های دقیق میدانی است؛ به عنوان مثال، استفاده از تصاویر مادون قرمز حرارتی هوایی با تفکیک‌پذیری بسیار بالا که توسط دوربین‌های ویژه متصل به هواپیماهای کوچک یا پهلوهای عملیاتی برداشت می‌شود را می‌توان مؤثرترین و کاراترین روش مکانیابی چشمه‌های کم‌عمق زیردریایی به شمار آورد. البته هزینه این روش بسیار زیاد است و عملاً در سطوح محدود قابلیت اجرا دارد. از این رو، لازم است که در نواحی وسیعی مانند سواحل خلیج فارس، ابتدا بررسی اولیه‌ای با داده‌های ماهواره‌ای مانند لندست ۸ که کیفیت تفکیک‌پذیری متوسطی دارد، انجام شود و سپس با تعیین نواحی پتانسیل حضور چشمه که در این پژوهش ارائه شده است و تمرکز بر نواحی معرفی شده با بررسی‌های تفصیلی شامل استفاده از تصاویر مادون قرمز هوایی و مطابقت آن با شرایط محیطی حاکم بر منطقه و در نهایت پیمایش و ارزیابی صحرائی، علاوه بر کاهش چشمگیر هزینه و زمان، مکان دقیق این چشمه‌های احتمالی را مشخص کرد. اهمیت این موضوع در این است که

7. Artis DA, Carnahan WH. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4): 313-329.
8. Banks WS, Paylor RL, Hughes WB. 1996. Using thermal-infrared imagery to delineate ground-water discharge. *Groundwater*, 34(3): 434-443.
9. Barsi JA, Schott JR, Hook SJ, Raqueno NG, Markham BL, Radocinski RG. 2014. Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11): 11607-11626.
10. Bonem RM. 1988. Effects of submarine karst development ref succession. *Proceeding of the 6th International Coral Reef Symposium*, Australia, 3: 419-423.
11. Chapman RE. 1981. *Geology and water: An introduction to fluid mechanics for geologists*. Springer Netherlands, 228 pp.
12. Duarte T, Hemond HF, Frankel D, Frankel S. 2006. Assessment of submarine groundwater discharge by handheld aerial infrared imagery: Case study of Kaloko fishpond and bay, Hawai'i. *Limnology and Oceanography: Methods*, 4(7): 227-236.
13. Farhoudi G, Poll K. 1992. A morphotectonic study of environmental impact on ground water in Southern Iran and under the Persian Gulf. *Geologische Rundschau*, 81(2): 581-587.
14. Ford D, Williams P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons, 562 pp.
15. Fromant AC. 1965. The water supplies of Bahrain. *Journal of the Institute of Water Engineers*, 19: 579-585.
16. Hennig H, Mallast U, Merz R. 2015. Multi-temporal thermal analyses for submarine groundwater discharge (SGD) detection over large spatial scales in the Mediterranean. In: *EGU General Assembly Conference*, Vienna, Austria, April 12-17.
17. Judd A, Hovland M. 2007. *Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*. Cambridge University press, 475 pp.
18. Kolokoussis P, Karathanassi V, Rokos D, Argialas D, Karageorgis AP, Georgopoulos D. 2011. Integrating thermal and hyperspectral remote sensing for the detection of coastal springs and submarine groundwater discharges. *International Journal of Remote Sensing*, 32(23): 8231-8251.
19. Kottmeier C, Agnon A, Al-Halbouni D, Alpert P, Corsmeier U, Dahm T, Eshel A, Geyer S, Haas M, Holohan E. 2016. New perspectives on interdisciplinary earth science at the Dead Sea: The DESERVE project. *Science of the Total Environment*, 544: 1045-1058.
20. Koudmani M. 2008. Applications of remote sensing to water resources management in Syria. *The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum*, Saudi Arabia, November 16-19.
21. 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.
22. Mejías M, Ballesteros BJ, Antón-Pacheco C, Domínguez JA, Garcia-Orellana J, Garcia-Solsona E, Masqué P. 2012. Methodological study of submarine groundwater discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Hydrology*, 464: 27-40.
23. Montanaro M, Gerace A, Lunsford A, Reuter D. 2014. Stray light artifacts in imagery from the Landsat 8 Thermal Infrared Sensor. *Remote Sensing*, 6(11): 10435-10456.
24. Moore WS. 2010. The effect of submarine groundwater discharge on the ocean. *Annual Review of Marine Science*, 2: 59-88.
25. Reynolds RM. 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.
26. Rokos E, Markantonis K, Koumantakis I. 2009. Submarine water discharge detection, nearby urban areas in Greece, using Aster and Landsat images. *6th International Conference on Land and Water Degradation Processes and Management*, Magdeburg, Germany, September 6-9.
27. ROPME (the Regional Organization for the Protection of the Marine Environment). 2000. *Regional Report of the State of the Marine Environment*, Kuwait, 26 pp.
28. Schuetz T, Weiler M. 2011. Quantification of localized groundwater inflow into streams

- using ground-based infrared thermography. *Geophysical Research Letters*, 38(3): 1-5.
29. Shaban A, Khawlie M, Abdallah C, Faour G. 2005. Geologic controls of submarine groundwater discharge: application of remote sensing to north Lebanon. *Environmental Geology*, 47(4): 512-522.
30. Srivastava P, Majumdar T, Bhattacharya AK. 2009. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM⁺ thermal infrared data. *Advances in Space Research*, 43(10): 1563-1574.
31. Stefouli M, Tsompos P. 2004. Identification and monitoring of fresh water outflows in coastal areas: pilot study on Psahna area/Evia island Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36(2): 928-937.
32. Taniguchi M, Burnett WC, Smith CF, Paulsen RJ, O'rourke D, Krupa SL, Christoff JL. 2003. 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*, 66(1): 35-53.
33. Tcherepanov E, Zlotnik V, Henebry G. 2005. Using Landsat thermal imagery and GIS for identification of groundwater discharge into shallow groundwater-dominated lakes. *International Journal of Remote Sensing*, 26(17): 3649-3661.
34. Williams MO. 1946. Bahrain: port of pearls and petroleum. *National Geographic*, 89: 194-210.
35. 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.
36. Wilson J, Rocha C. 2016. A combined remote sensing and multi-tracer approach for localising and assessing groundwater-lake interactions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44: 195-204.
37. Xing Q, Braga F, Tosi L, Lou M, Zaggia L, Teatini P, Gao X, Yu L, Wen X, Shi P. 2016. Detection of Low Salinity Groundwater Seeping into the Eastern Laizhou Bay (China) with the Aid of Landsat Thermal Data. *Journal of Coastal Research*, 74(sp1): 149-156.
38. 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(10): 9829-9852.



Identification of potential areas for presence of submarine springs in the persian gulf on the coasts of Bushehr province using thermal data of Landsat 8

M. Farzin ^{1*}, A. A. Nazari Samani ², S. Menbari ³, S. Feiznia ⁴, Gh. A. Kazemi ⁵

1. Assis. Prof. College of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University

2. Assoc. Prof. College of Natural Resources, University of Tehran

3. MSc. Graduated of Environment and Natural Resources, International Desert Research Center, University of Tehran

4. Prof. College of Natural Resources, University of Tehran

5. Assis. Prof. College of Geology Sciences, Shahrood University of Technology

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 December 2016

Accepted 09 October 2017

Available online 20 February 2018

Keywords:

Submarine freshwater springs
Sea surface Temperature (SST)
Satellite thermal data
Bushehr
Persian Gulf

ABSTRACT

In order to determine potential areas of submarine springs on the coast of Bushehr province, Sea Surface Temperature (SST) around Bahrain and the coasts of Bushehr province, according to atmospheric correction coefficients and the relations for thermal band 10 of Landsat 8 in four months 2016 was mapped using ArGIS and ENVI software. After extracting the estimate temperature submarine springs of Bahrain, six springs was determined as a control. The temperature of the springs was estimated 16.54, 18.52, 17.29, 15.97, 17.73, and 15.83°C in the image of February. Matching coastlines estimated temperature of Bushehr province with the mean control temperature (16.98°C), several regions were identified as potential areas of submarine springs, including Asaloyeh-Nayband bay, a large part of the coastline between Bandar Dayer to Mond river, around the village of Kalat, east-west of Bushehr, between Shif island and Heleh river, Bandar Rig, around Bandar Ganaveh, and between Hendijan and Bandar Deylam. Thermal anomalies with less 100 meter diameter to water bodies probably are less important than wider anomalies; therefore using the images with moderate resolution, such as Landsat 8, may be more important than high resolution images for detecting the broad and significant anomalies, especially in terms of time and cost. The images may use as a preliminary screening test for the early identification of potential areas of the submarine springs.

* Corresponding author e-mail address: m.farzin@ut.ac.ir