



مکان یابی چشمه های آب شیرین زیر دریایی سواحل مکران (خلیج چابهار)

مرضیه زارع حقیقی^{۱*}، ناصر حافظی مقدس^{۱*}، حسین محمدزاده^۲، بهنام رحیمی^۲
 ۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، Marziezare144@gmail.com
 nhafezi@um.ac.ir
 ۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، mohammadzadeh@um.ac.ir
 b-rahimi@um.ac.ir

پیشگفتار:

چشمه های آب شیرین زیر دریایی مسیر جریان آب از خشکی به دریاست که در محل اتصال آبخوان ساحلی به دریا و در اثر ورود جریان آب زیرزمینی به دریا ظاهر می شوند. همچنین این چشمه ها را می تواند با فاصله از سواحل در صفره های آرتزین نیز مشاهده نمود. این چشمه ها از گذشته منبع تأمین آب شیرین مردم محلی در برخی نواحی مواجه با بحران کمبود آب بودند. شناسایی، بررسی توسعه و مقدار حجم آب وارد شده به دریا مدت کمی است که توجه محققان را به خود جلب کرده است. افراد زیادی در سراسر دنیا و نواحی مختلف اقدام به مکان یابی این چشمه ها کرده اند (George, M. E et al.2018, PAULINO, S et al.2018).

تحقیقات صورت گرفته تاثیر حضور این چشمه ها بر شرایط محیط دریایی نظیر شرایط هیدروشیماپی و شرایط زیستی را نشان می دهد (Kantún-Manzano, C. A. et al.2018, George, M. E et al.2018).

جریان ناشی از خشکی باعث تفاوت در غلظت برخی عناصر همچون رادون، رادیوم و نسبت به محیط دریایی وارد شده می گردد. این تفاوت در غلظت عناصر خود می تواند به یافتن موقعیت این نقاط و تأیید صحت حضور آنها کمک کند (Cheng, K. H et al.2020).

علاوه بر پارامترهای غلظت عناصر، استفاده از دما نیز نقش بسزایی در بررسی های سنجش از دور منطقه داشته که به نسبت هزینه کمتری را دربر خواهد داشت. در طی سالیان اخیر محبوبیت این روش در بین محققین افزایش یافته است (Samani, A et al.2021). آب شیرین زیرزمینی وارد شده به دریا چگالی کمتری دارد از این رو بر سطح آب شناور قرار می گیرد و با توجه به گرادیان دمایی موجود بین آب سطحی و آب زیرزمینی تخلیه شده روش های سنجش از دور حرارتی پتانسیل قابل توجهی در شناسایی این چشمه ها دارند. روند تغییرات دمایی سطح آب نسبت به دمای آب محیط دریایی در زمستانی گرم تر و در تابستان سردتر می باشد. این اختلاف دمایی می تواند متاثر از عواملی نظیر حجم آب خروجی از چشمه، مسافت طی شده توسط آب زیرزمینی و شرایط اقلیمی منطقه باشد. منظور از دمای سطح دریا، دمای لایه بالایی آب به ضخامت حدود یک میلی متر می باشد که سنجنده قادر به ثبت آن می باشد.

عوامل دیگری از قبیل شوری، چگالی، هدایت الکتریکی و... از جمله پارامترهایی هستند که در آب دریا و چشمه های آب شیرین نسبت به یکدیگر متفاوت هستند (Moore, W. S.2010).

این عوامل نیز با برداشت های محلی قابل اندازه گیری می باشند و می توان از آن در جهت اعتبارسنجی بررسی های سنجش از دور استفاده نمود. ظهور این چشمه ها تغییرات محیطی را در پی خواهد داشت. بالطبع با تغییر شرایط موجود در منطقه شرایط زیستی برای جانداران متفاوت می گردد، برخی از این تغییرات مثبت و برخی دیگر منفی هستند. در این بین می توان به نقش SGD بر زیست توده ها اشاره نمود که موجب بهبود توسعه در برخی از انواع آنها گردیده است (Kantún-Manzano, C. A. et al.2018).

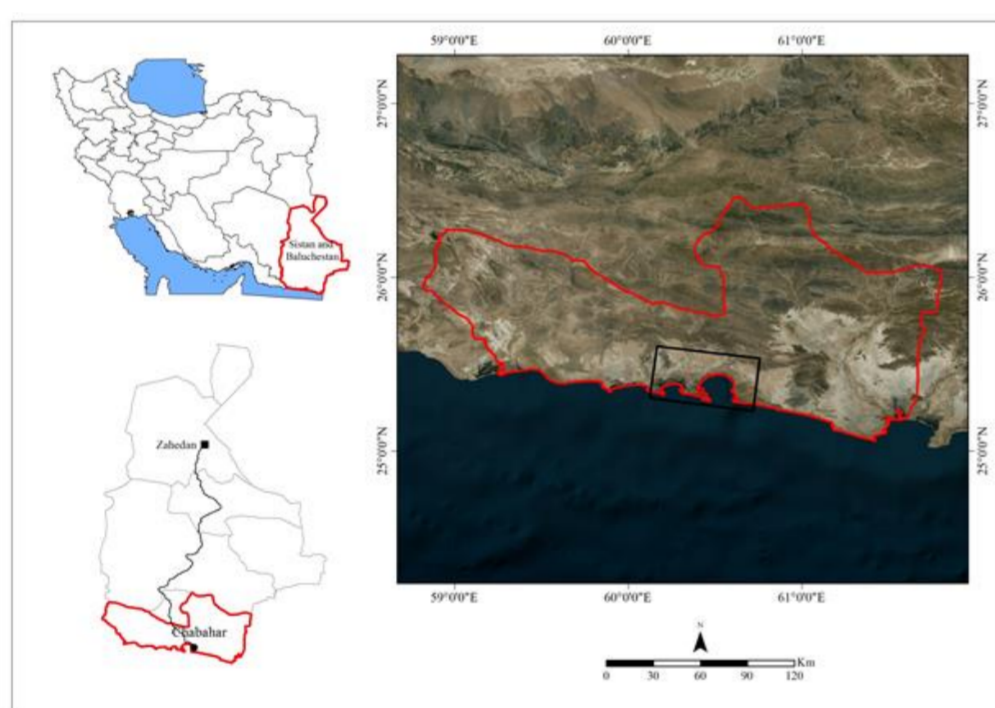
ورود آب زیرزمینی به محیط ساحلی به ۳ دلیل دارای اهمیت می باشد: ۱- آب زیرزمینی می تواند حامل مواد محلولی باشد که آثار شیمیایی و اکولوژیک را در اطراف آب های ورودی به همراه داشته باشد ۲- نفوذ آب شور و جنبه های هیدروژیک مربوط به منابع آب از جمله هدر رفت آب شیرین ۳- جنبه های ژئوتکنیکی ساحل (مانند پایداری رسوبات).

مواد و روش ها:

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان سیستان و بلوچستان، زون مکران و در مختصات ۴۹.۷۱ و ۶۰ ۳۸ ۴۷.۹۷ قرار دارد (شکل ۱). مساحت منطقه بررسی شده حدود ۱۹۵۷۰ کیلومتر مربع می باشد.

براساس تقسیم بندی زمین شناسی ایران توسط آقا نباتی (۱۳۸۵)، منطقه مورد بررسی، بخشی از زون زمین ساختمانی مکران است (شکل ۱). مکران به دو بخش مکران داخلی (ساحلی) و بیرونی تقسیم گشته است. خلیج چابهار در مکران ساحلی قرار دارد. این ناحیه در ورقه زمین شناسی ۱۰:۱۰۰۰۰۰۰ چابهار (جعفریان و صمدیان، ۱۳۷۵) واقع شده و شامل جنوبی ترین بیرون زدگی های ساحلی از پهنه رسوبی مکران می باشد.

مرز غربی این زون به گسل میناب، مرز شمالی توسط گسل بشاگرد و فروافتادگی جازموریان، مرز جنوبی توسط دریای عمان و مرز شرقی به مرز پاکستان محدود می گردد (آقانیاتی، ۱۳۸۵).



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی

ماهواره لندست ۸ که در فوریه ۲۰۱۳ پرتاب شد دارای ۲ سنجنده TIR و OLI می باشد. سنجنده OLI آن دارای ۹ باند در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز با طول موج کوتاه است. سنجنده TIR آن دارای ۲ باند می باشد که در محدوده مادون قرمز حرارتی تصویربرداری می کند. در این مطالعه ما از تصاویر این ماهواره به منظور مکان یابی چشمه های زیر دریایی با استفاده از دما بعنوان یک ردیاب استفاده نموده ایم. سنجنده حرارتی لندست دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر بوده و از ۲ باند حرارتی آن، باند ۱۰ تصاویر مناسب تری را ارائه داده است.

جدول ۱- مشخصات داده های مورد استفاده

ردیف/اگر	تاریخ برداشت	موقعیت
۴۲/۱۵۷	۱۹/۱۱/۱۳-۱۹	بریس-کلبرک
۴۲/۱۵۷	۰۵/۱۲/۱۳-۱۹	بریس-کلبرک

به این منظور ما از سامانه گوگل ارث انجین استفاده نموده ایم. در ابتدا تصحیحات اتمسفریک بر باند حرارتی ۱۰ اعمال گردید و سپس جهت افزایش دقت و رفع خطای رادیومتری، تصحیح رادیومتریکی نیز بر تصویر حاصله اعمال گردید. برای تبدیل ارزش پیکسل ها و مقادیر (DN) به رادیانس از رابطه ۱ استفاده گردید.

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{AI} + A_L$$

رابطه ۱

L_{λ} رادیانس سنجنده مربوط به بالای اتمسفر، M_L پارامتر تبدیل RADIANCE-MULTI-BAND، Q_{AI}

AL پارامتر تبدیل RADIANCE-ADD-BAND

جدول ۲- ضرایب داده های لندست

ضرایب	B10	B11
K1	774.89	480.89
K2	1321.08	1201.14
ML	3.3420E-04	3.3420E-04
AL	0.1000	0.1000

پس از بدست آوردن مقدار L_{λ} به منظور محاسبه دمای درخشندگی از رابطه ۲ استفاده گردید.

$$T = K2 / \ln(k1 / L_{\lambda} + 1) - 273.15 \quad \text{رابطه ۲}$$

T دمای درخشندگی بر حسب درجه کلوین، K1 و K2 ضرایب حرارتی سنجنده.

جهت تبدیل درجه کلوین به درجه سانتی‌گراد مقدار حاصله از رابطه ۲ را از 273.15 کم می‌کنیم.

در نهایت دمای سطح دریا با استفاده از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$SST = \frac{BT}{\ln \epsilon} + \frac{BT * \lambda}{\rho} * \ln \epsilon \quad \text{رابطه ۳}$$

نقشه ناهنجاری حرارتی STA

جهت تعیین نواحی احتمالی ظهور چشمه‌های آب شیرین زیر دریایی، نقشه ناهنجاری دمایی برای محدوده مطالعاتی تهیه گردید. نقشه ناهنجاری حرارتی (TA) از تفاضل دمای مربوط به هر پیکسل (T_p) و مقدار میانگین دمای سطح دریا (T) بر حسب درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید.

$$TA = T_p - T \quad \text{رابطه ۴}$$

در صورت عدم وجود داده‌های دمای ثبت شده در تاریخ و مکان دقیقی که در آن تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده است، آن‌گاه داده‌های دمایی ماهواره‌ای را نمی‌توان صحت سنجی کرد. این محدودیت می‌تواند با ایجاد نقشه استاندارد شده‌ای که امکان مقایسه مقادیر دمای سطح دریا که از داده‌های ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف بدست آمده است، برطرف شود. برای محاسبه مقادیر ناهنجاری حرارتی استاندارد شده، مقادیر TA بر انحراف از معیار مقادیر دمایی دریا تقسیم می‌شود:

$$STA = \frac{TA}{\sigma} \quad \text{رابطه ۵}$$

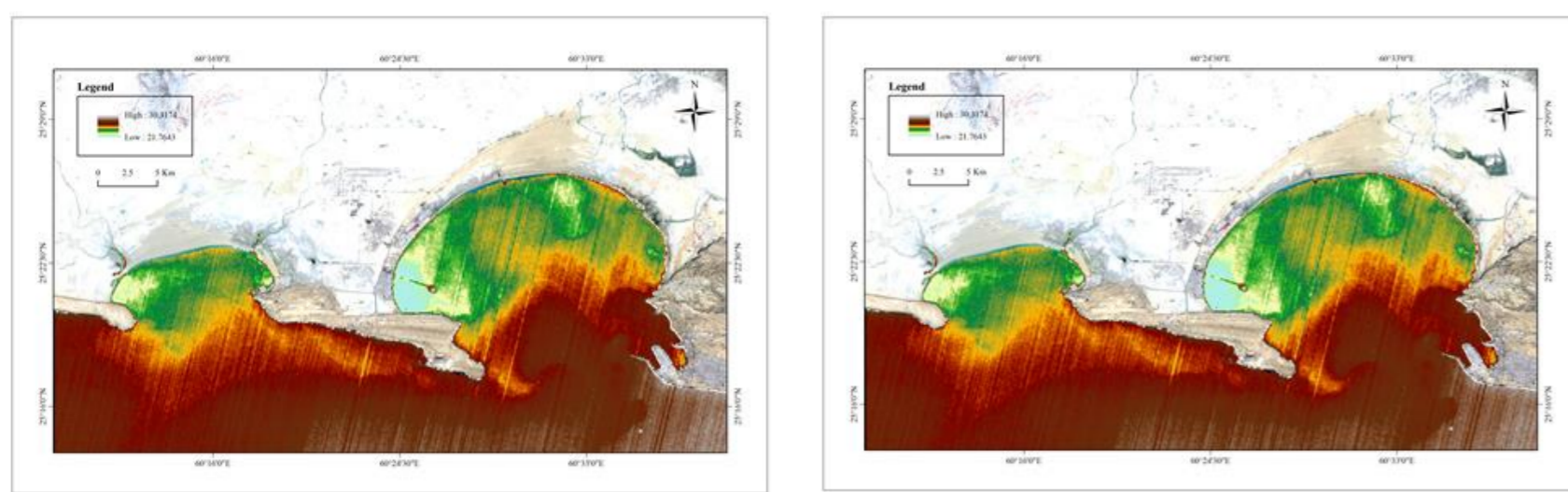
STA ناهنجاری حرارتی استاندارد (بدون بعد)، TA ناهنجاری حرارتی و σ انحراف از معیار است.

پس از تهیه نقشه STA، کلاس بندی‌های مختلف با استفاده از ArcGIS 10.7 انجام گردید و پس از تعیین مرز ناهنجاری‌ها، پراکندگی آن‌ها مشخص گردید.

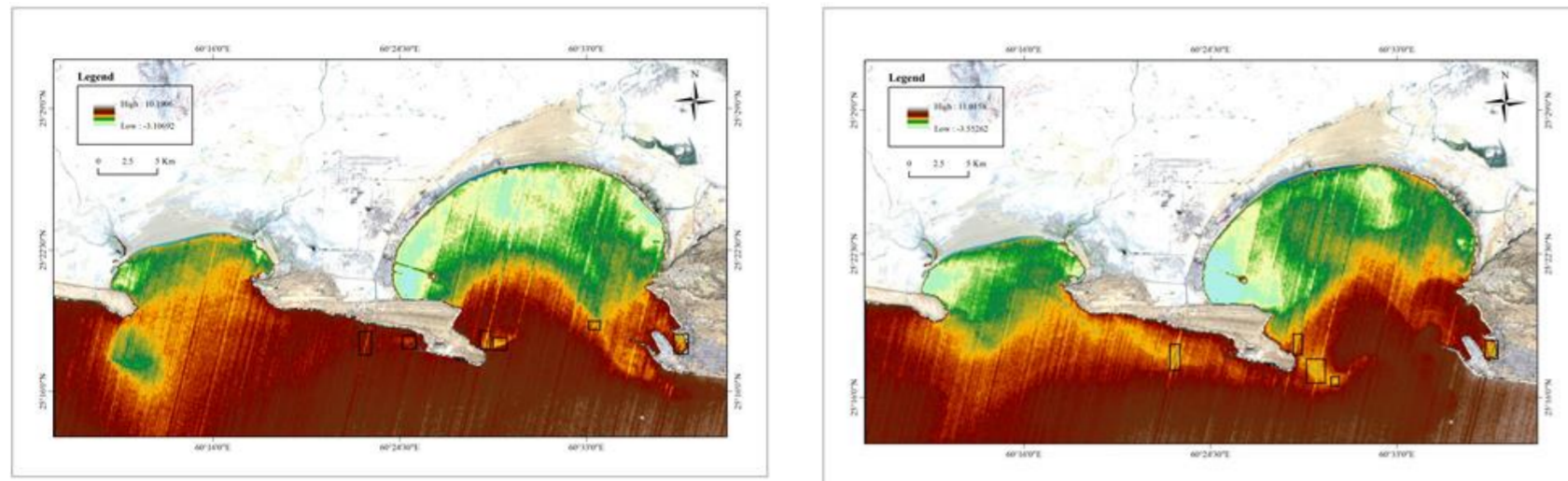
نتایج:

استفاده از باندهای حرارتی تصاویر لندست ۸ به منظور تعیین محل SGD در این مطالعه نتایج مناسبی را ارائه نمود. آب شیرین ناشی از چشمه‌های زیرزمینی به دلیل اختلاف چگالی روی آب شور دریا قرار می‌گیرد و با توجه به تفاوت دمایی که نسبت به یکدیگر دارند، توسط داده‌های حرارتی قابل تشخیص می‌باشند. داده‌های حرارتی با توجه به نوع بررسی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال برای بررسی‌های در سطح جهانی می‌توان از داده‌های سنجنده مادیس و AVHRR استفاده نمود که قدرت تفکیک مکانی کمی دارند. تصاویر لندست که ما از آن‌ها استفاده کرده‌ایم دارای تفکیک مکانی ۱۰۰ متر هستند که هر ۱۶ روز یکبار تصویر برداری می‌کند. جهت انجام بررسی‌های دقیق‌تر می‌توان از تصاویر حرارتی هوایی نظیر تصاویر تهیه شده توسط پهپاد استفاده نمود. در این مطالعه بروی پهنه خلیج چابهار تا کنارک پس از اعمال پیش پردازش‌ها، پردازش‌های ذکر شده صورت گرفته است و موقعیت نقاط احتمالی SGD مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شرایط آب و هوایی این محدوده که در تابستان تحت تاثیر مونس‌های تابستان و در زمستان نیز توسط مونس‌های زمستانه دمای محیط تعدیل می‌گردد. تاثیر دمای جو بر دمای آب و تعدیل دمای آن امکان تشخیص حضور این چشمه‌ها را دشوار می‌نماید. همچنین به علت نرخ کم بارش‌ها در اغلب ماه‌های سال شاهد آنومالی چشمگیری نخواهیم بود. به این منظور ما از تصاویر مربوط به ماه‌های زمستان جهت بارزسازی بهتر نقاط SGD استفاده کرده‌ایم (شکل ۲).

به منظور بارزسازی نقاط ظهور SGD ما از داده‌های مربوط به دو ماه آخر سال ۲۰۱۹ استفاده کرده‌ایم. نقشه مربوط به ناهنجاری دمایی استاندارد مربوط به این زمان‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق شکل مناطق دارای تفاوت دمایی نسبت به محیط اطراف بصورت آنومالی‌های حرارتی مشخص گردیده است. مشاهده تکرار آنومالی در زمان‌های مختلف اهمیت زیادی دارد و بیانگر وجود چشمه‌های زیر دریایی می‌باشد. از این رو سعی شده است که بر نقاط دارای آنومالی مشترک در هر دو تاریخ تمرکز شود.



شکل ۲- تصاویر دمای سطح دریا (آور و دی ماه)



شکل ۳- تصاویر ناهنجاری دمایی استاندارد (STA) و نقاط ظهور SGD

بحث و نتیجه گیری:

بررسی و مکان‌یابی چشمه‌های آب شیرین زیر دریایی اخیراً بعنوان منبعی جهت تامین آب آشامیدنی مورد توجه قرار گرفت. استفاده از دما بعنوان یک ردیاب و با کمک متدهای سنجش از دور، روشی مناسب جهت شناسایی این چشمه‌ها می‌باشد. در این مطالعه ما از تصاویر باندهای حرارتی لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۹ بهره برداریم. به این منظور با استفاده از معادله پلانک به شناسایی چشمه‌های آب شیرین زیر دریایی در سواحل خلیج چابهار تا کنارک که در اثر تفاوت دمایی بین آب‌زیرزمینی و آب دریا قابل رویت می‌باشند، پرداخته‌ایم. باید توجه داشت که پارامترهایی نظیر شرایط آب و هوایی نقش موثری بر نرخ تخلیه و بالطبع بارزسازی آنومالی‌های حرارتی دارد. براساس نتایج بدست آمده در این پژوهش، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزاری مفید جهت مطالعات بررسی دمای سطح دریا در محلی می‌باشد.

منابع:

- آقاباتی، ع.، (۱۳۸۵)، زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جعفریان، م.ب.، صمدیان، م.ر.، (۱۳۷۵)، "گزارش نقشه زمین شناسی چابهار با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور".
- Cheng, K. H., Luo, X., & Jiao, J. J. (2020). Two-decade variations of fresh submarine groundwater discharge to Tolo Harbour and their ecological significance by coupled remote sensing and radon-222 model. *Water research*, 178, 115866.
- George, M. E., Babu, D. S., Akhil, T., & Rafeeqe, M. K. (2018). Investigation on submarine groundwater discharge at Kozhikkode Coastal Aquifer, SW Western Ghats. *Journal of the Geological Society of India*, 92(5), 626-633.
- Kantún-Manzano, C. A., Herrera-Silveira, J. A., & Arcega-Cabrera, F. (2018). Influence of coastal submarine groundwater discharges on seagrass communities in a subtropical karstic environment. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 100(1), 176-183.
- Moore, W. S. (2010). The effect of submarine groundwater discharge on the ocean. *Annual review of marine science*, 2, 59-88.
- 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 Sensing*, 13(3), 358.