

## استخراج شوری سطحی آب دهانه رودخانه اروند با استفاده از تصاویر ماهواره و روش‌های آماری

عباس عینعلی<sup>۱\*</sup>، مسعود صدری نسب<sup>۲</sup> و محمد اکبری نسب<sup>۳</sup>

<sup>۱\*</sup> نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر  
abbasinaly@yahoo.com  
<sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران  
masoud.sadri@ut.ac.ir  
<sup>۳</sup> استادیار، گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، بابلسر  
m.akbarinasab@umz.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۲۷

### چکیده

شوری آب برای رصد تغییرات در محیط دریا اهمیت بسیار زیادی دارد. اخیراً سنجش از دور که جزء کم‌هزینه‌ترین و سریع‌ترین روش‌های مانیتورینگ و ارزیابی محیط طبیعی است، برای بررسی شوری سطحی در آب‌های ساحلی استفاده می‌شود. در یکی از این روش‌ها که اساس این تحقیق بر آن استوار است، با تعیین رابطه شوری سطحی و رفلکتانس سطحی تصویر ماهواره با روش‌های آماری در هر منطقه، به استخراج شوری سطحی آب دریا پرداخته می‌شود. در شمال غرب خلیج فارس به دلیل ورود آب رودخانه اروند که اصلی‌ترین منبع آب شیرین برای خلیج فارس است، گرادیان شوری قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که امکان استفاده از این روش را بالا می‌برد. در این تحقیق رابطه خطی داده‌های میدانی شوری سطحی حاصل از گشت راپمی در سال ۱۹۹۲ و بازتابندگی سطحی باندهای ماهواره لندست TM5 با استفاده از مدل رگرسونی استخراج شد. این مدل نشان داد که باندهای ۲ و ۳ ماهواره لندست ارتباط خطی با شوری سطحی آب دارند. در نهایت، با اعمال رابطه به دست آمده بین داده‌های میدانی شوری سطحی و بازتابندگی سطحی به تمام پیکسل‌های تصویر لندست، الگوی شوری سطحی دهانه رودخانه اروند در بهار سال ۱۹۹۲ آشکار شد. این تحقیق که با استفاده از کمترین داده‌های میدانی (با توجه به عدم وجود داده در این منطقه) انجام شد؛ نشان داد که می‌توان با انجام حداقل اندازه‌گیری‌های میدانی در این منطقه خاص به درک خوبی از شرایط فیزیکی آن با استفاده از فناوری سنجش از دور دست یافت و به این ترتیب فقدان داده‌های میدانی را جبران نمود.

واژگان کلیدی: شوری سطحی، لندست، اروندرود

## ۱. مقدمه

سنجش شوری سطحی آب از راه دور به سه روش اندازه گیری مستقیم با استفاده از تصاویر ماهواره، اندازه گیری مستقیم با هواپیما و اندازه گیری غیرمستقیم با استفاده از تصاویر ماهواره انجام می شود. روش اندازه گیری مستقیم با تصاویر ماهواره دارای رزولوشن زمانی و مکانی بزرگی است و برای اقیانوس های آزاد مناسب است، در نتیجه برای دریاها و خلیج های کوچک مانند آب های ساحلی کشور قابل استفاده نیست. روش اندازه گیری با هواپیما نیز روشی پرهزینه است؛ بنابراین در این تحقیق از روش دوم یعنی اندازه گیری غیرمستقیم با استفاده از تصاویر ماهواره استفاده شده است، زیرا در این روش از تصاویر رایگان ماهواره های لندست و مادیس که رزولوشن زمانی و مکانی بسیار بهتری نسبت به دیگر ماهواره ها دارند، می توان استفاده کرد.

اساس فیزیکی سنجش شوری سطحی آب دریا از راه دور که در روش اندازه گیری مستقیم با تصاویر ماهواره و هواپیما استفاده می شود، استفاده از دمای روشنایی<sup>۱</sup> (Tb) امواج کوتاه است. دمای روشنایی متناسب با شوری و چند عامل دیگر است که البته به تصحیح نیاز دارند [۱]. در این زمینه محققان مطالعه های متعددی انجام داده اند. برای تعیین ثابت دی-الکتریک آب دریا بر اساس دما و شوری آب در یک فرکانس مشخص مدلی ارائه شد که نشان داد در یک فرکانس مشخص، ثابت دی الکتریک با افزایش شوری کاهش می یابد. این یافته ها از نخستین گام های سنجش مستقیم شوری سطحی با استفاده از هواپیماست [۲]. دمای روشنایی با دمای سطحی آب متناسب بوده و ضریب این تناسب توان گسیلش ( $e^2$ ) است که خود تابعی از دما و شوری سطحی آب است. نشان داده شد که در رنج دمایی آب دریاها (۰ تا ۳۲ درجه سانتی گراد) حساسیت توان گسیلش به شوری سطحی با کاهش فرکانس افزایش می یابد و فرکانسی بین ۸۰۰ تا ۱،۵ گیگاهرتز بهترین گزینه برای اندازه گیری شوری سطحی است [۳].

با توجه به اینکه چرخه های آب و هوایی مانند ال نینو و چرخش های ترموهالاینی اقیانوس ها با الگوی تغییرات شوری

سطحی ارتباط دارند، روش هایی برای سنجش شوری سطحی آب دریا در روش مستقیم با استفاده از هواپیما ارائه شد. این موضوع از آنجا اهمیت دارد که اندازه گیری های میدانی از شوری سطحی آب اقیانوس ها بسیار اندک است (با رزولوشن مکانی یک درجه در یک درجه) است و با استفاده از هواپیما هم نمی توان تمام اقیانوس ها را مورد سنجش قرار داد. از طرفی بسیاری از پارامترهای هواشناسی مانند دمای آب و سرعت باد با ماهواره قابل اندازه گیری است. با این استدلال، چالش آینده فناوری سنجش از دور را اندازه گیری شوری سطحی آب اقیانوس ها معرفی شد [۴].

مطالعه خلیج چسپیک به روش اندازه گیری مستقیم با استفاده از هواپیما، نمونه ای از یک تحقیق موفق در چند سال اخیر در این زمینه است [۵].

برای سنجش شوری در این روش، از امواج کوتاه استفاده می شود. در این محدوده، باندی به مرکزیت ۱،۴۱۳ Ghz به دلیل مصون ماندن از تداخل امواج رادیویی مورد استفاده در تحقیقات نجومی، استفاده می شود. رابطه تقریباً خطی Tb و SSS<sup>۳</sup> در SST<sup>۴</sup> مشخص، در شکل (۱) ارائه شده است. بیشترین نسبت سیگنال Tb بر SSS - که سبب افزایش دقت سنجش شوری سطحی می شود - در عرض های جغرافیایی گرم پیدا می شود. باید توجه داشت که Tb تنها در حدود ۹k در آب های آزاد تغییر می کند و پرتوسنج ها باید دقتی فوق العاده برای دریافت سیگنال از سطح اقیانوس ها داشته باشند [۱]. در روش مستقیم سنجش شوری از راه دور، در تحقیقات علمی طی دهه ها از اسکنرهای پرتوسنجی میکروویو در فرکانس پایین (Slfms<sup>۵</sup>) که روی هواپیما نصب شده اند، در تهیه نقشه شوری خلیج ها، خورها، رودخانه ها و آب های ساحلی استفاده شد. این اسکنر، پلوم سواحل مانند خلیج چیاپیک را با استفاده از نقشه شوری که مرز بین آب های شور و شیرین را مشخص می کند، نشان می دهد. الگوی شوری در خلیج فلوریدا نیز با استفاده از اسکنر در پروژه ای برای ارزیابی حساسیت اکوسیستم منطقه اندازه گیری شد. باین حال به دلیل هزینه زیاد در جمع آوری اطلاعات طولانی مدت با استفاده از فناوری اسکنرهای

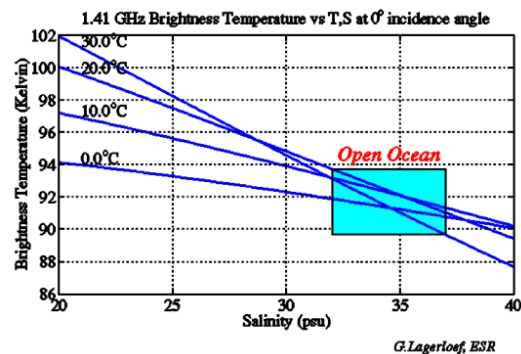
شوری در آن محیط وجود داشته باشد. به این حالت اختلاط پایا<sup>۱۰</sup> گفته می‌شود. از آنجاکه می‌توان CDOM را از راه دور اندازه‌گیری کرد، بنابراین می‌توان مقادیر شوری را نیز از مشاهده‌های سنجش‌ازدور محاسبه کرد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که این روش فقط در سیستم‌هایی که در آن‌ها اختلاط آب رودخانه و آب‌های ساحلی دریا پایاست، قابل اجرا است. اگرچه پدیده‌های لخته شدن<sup>۱۱</sup> و تغییر حالت بر اثر نور<sup>۱۲</sup> می‌تواند این فرض را بی‌اعتبار کند اما مطالعات قبلی که بلاف (۱۹۹۳) و دل کاستیلو (۱۹۹۹) انجام دادند، نشان می‌دهد این پدیده‌ها تأثیری بر غلظت CDOM ندارد. [۸۷]. به‌طور کلی به دلیل آنکه شوری سطحی تابعی از غلظت CDOM است، بنابراین تابعی از میزان بازتابندگی نور - که پارامتر مهمی در سنجش‌ازدور است - نیز هست. باین همه می‌توان در این فرض که شوری سطحی مستقیماً به- عنوان تابعی از بازتابش باندهای رنگی ماهواره‌ها از سطح اقیانوس هاست، اطمینان داشت [۹].

دبی رودخانه سبب تغییرات گرادیان شوری در خورها شده و بر الگوی جریانات فصلی و منطقه‌ای دهانه خورها مؤثر است. تغییرات شوری نیز به تبع سبب تغییراتی در فراوانی، نوع و توزیع موجودات دریایی می‌شود. تحقیقات نشان داده است که تغییر ۰/۵ ppt شوری خلیج سان‌فرانسیسکو سبب کاهش تخم‌ریزی برخی گونه‌های ماهی‌ها و مهاجرت آن‌ها به بالادست رودخانه می‌شود. همچنین تغییرات شوری نه تنها بر طول عمر و توزیع ماهی‌ها در دهانه رودخانه‌ها اثرگذار است، بلکه بر رشد و توزیع فیتوپلانکتون‌ها نیز در محیط خورها و دلتاها مؤثر است. علاوه بر همه این‌ها، تغییرات شوری بر الگوی توزیع مواد معلق<sup>۱۳</sup> نیز مؤثر است [۱۰].

رودخانه اروند از پیوستن چهار رودخانه مهم کارون، کرخه (در ایران)، دجله<sup>۱۴</sup> (در ترکیه و عراق) و فرات<sup>۱۵</sup> (در عراق) به یکدیگر شکل می‌گیرد؛ بنابراین حوضه آبریز این رودخانه بیشتر بین دو کشور ایران و عراق مشترک است. اروندرود اصلی‌ترین منبع آب شیرین برای خلیج فارس است و نقش زیست‌محیطی بسیار مهمی در مناطق ساحلی شمال غرب خلیج فارس دارد. این رودخانه بزرگ‌ترین منبع آب سطحی

پرتوسنجی میکروویو در فرکانس پایین، عملیات اندازه‌گیری درازمدت عملی نیست [۶].

در سال ۱۹۷۰ برخی از ماهواره‌ها مانند اسکای‌لب<sup>۶</sup> برای ارزیابی شرایط سطحی دریاها از اندازه‌گیری‌های رادیومتریک استفاده کردند. اطلاعات جمع‌آوری‌شده از پرتوسنج میکروویو ۱/۴ Ghz با جدول‌های استاندارد شوری سطحی دریاها مقایسه و همبستگی بین اطلاعات حس‌گر و شوری سطحی مشخص شد. با پیشرفت در فناوری ماهواره سنجش شوری ادامه یافت و پس از اسکای‌لب مأموریت‌های جدید ماهواره‌ای برای ارزیابی شوری سطحی مانند آکواریز<sup>۷</sup> در ژوئن ۲۰۱۱ انجام شد. آکواریز یک پرتوسنج طراحی‌شده از سوی ناسا است که برای تهیه نقشه جامع شوری از اقیانوس‌ها به صورت ماهانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجاکه رزولوشن فضائی این سنجنده بین ۷۶ تا ۱۵۶ کیلومتر است، بنابراین هدف اصلی آن ارزیابی شوری سطحی در دریاهای آزاد است [۶].



شکل ۱. مدل Tb و SSS در دماهای سطحی متفاوت آب دریا، قسمت سایه خورده محدوده اقیانوس‌های آزاد را نشان می‌دهد.

در روش اندازه‌گیری غیرمستقیم شوری سطحی آب با استفاده از تصاویر ماهواره، غلظت CDOM<sup>۸</sup> در آب نقش اساسی ایفا می‌کند. رابطه‌ی تجربی بین CDOM و شوری از این نظر که CDOM عملگری یا تابعی میان‌ی بین میزان بازتابندگی<sup>۹</sup> اندازه‌گیری شده با ماهواره و شوری سطحی است، اهمیت فراوان دارد. این رابطه بر این فرض است که آب رودخانه که شیرین و بدون CDOM بوده با آب شور دریا که دارای غلظتی از CDOM است، طوری با هم آمیخته می‌شوند که همواره رابطه‌ای خطی و معکوس بین CDOM و

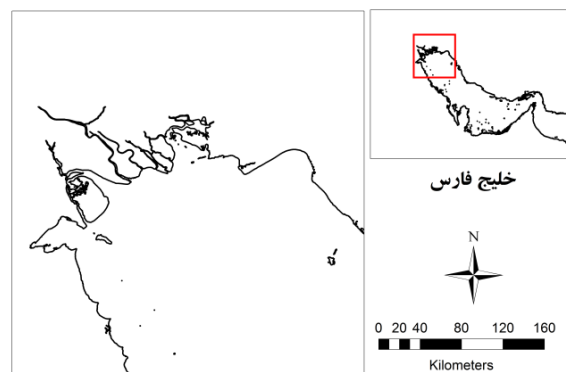
ماهواره‌های لندست نخستین بار در سال ۱۹۷۲ با لندست ۱ آغاز به کار کرد. ماهواره‌های لندست برای ۴۰ سال اطلاعات علمی و مداومی را که باعث افزایش دانش انسان از چرخه آب، آب و هوا، اکوسیستم، تغییرات زمین و غیره می‌شود را در اختیار قرار می‌دهد. لندست تی ام ۵ دارای ۷ باندها است. باندها ۱ تا ۳ در محدوده طیف مرئی، ۴ و ۵ در محدوده مادون قرمز نزدیک، باندها ۶ که باندهای حرارتی بوده و باندها ۷ که در محدوده مادون قرمز میانی است [۶].

باندها ۱ (آبی: ۴۵۰ تا ۵۲۰ نانومتر) که در تحلیل کیفیت آب به دلیل نفوذ بیشتر در ستون آب اهمیت ویژه‌ای دارد. باندها ۲ (سبز: ۵۲۰ تا ۶۰۰ نانومتر) که از سوی گیاهان سبز، بازتابیده می‌شود. باندها ۳ (قرمز: ۶۳۰ تا ۶۹۰ نانومتر) که برای گیاهان سبز، یک باندهای جذبی به شمار آمده و برای تشخیص مرز مناطق پوشیده از گیاه مفید است. باندها ۴ (مادون قرمز نزدیک: ۷۶۰ تا ۹۰۰ نانومتر) که برای تشخیص کنتراست‌های بین خشکی و آب استفاده می‌شود. باندها ۵ (مادون قرمز میانی: ۱۵۵۰ تا ۱۷۵۰ نانومتر) که برای بررسی میزان آب در گیاهان و متفاوت سازی یا تشخیص ابرها، برف و یخ مورد استفاده قرار می‌گیرد. باندها ۶ (مادون قرمز گرمایی: ۱۰۴۰۰ تا ۱۲۵۰۰ نانومتر) که انرژی مادون قرمز گسیل شده از سطح زمین (دما) را اندازه می‌گیرد. باندها ۷ هم‌چنین رزولوشن فضائی بیشتری (۱۲۰ متر) نسبت به دیگر باندهای لندست یعنی باندهای ۱ تا ۵ و باندها ۷ که رزولوشن ۳۰ متری دارند. باندها ۷ (مادون قرمز میانی: ۲۰۸۰ تا ۲۳۵۰ نانومتر) که برای تقسیم‌بندی جنس و رطوبت خاک استفاده می‌شود. ترکیبات متفاوتی از باندها اغلب برای کسب اطلاعات درباره اکوسیستم‌های متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. باندهای ۱ تا ۴ به دلیل عبور نور از آب در این محدوده طیفی اطلاعات مفیدی درباره کیفیت آب استخراج می‌کنند. باندها ۵ و ۷ برای مناطق مردابی بیشتر استفاده می‌شوند زیرا این باندها به محتوای رطوبت گیاهان و خاک حساس هستند. با این حال الگوی ترکیب باندها مخصوص هر منطقه است و از محیطی به محیط دیگر متفاوت است [۶].

در این منطقه است که حوضه آبریز آن با بیش از ۹۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع، از کوه‌های زاگرس در ایران و کوه‌های تاروس<sup>۱۶</sup> در ترکیه تا سرزمین‌های پست باتلاقی نزدیک خلیج فارس را شامل می‌شود. حوضه این رودخانه سکونت‌گاه حدود ۵۴ میلیون نفر در ایران، عراق، سوریه و ترکیه است.

اروند رود با نزدیک شدن به خلیج فارس عریض تر می‌شود به طوری که عرض آن از ۷۰۰ متر در نزدیکی خرمشهر به حدود ۸۰۰ متر در دهانه رودخانه افزایش می‌یابد. در تقسیم‌بندی دلتای رودخانه‌ها، از دلتای رودخانه اروند با عنوان دلتای خور<sup>۱۷</sup> (دلتایی که به علت پر شدن خور با آب رودخانه تشکیل می‌شود) یاد می‌شود زیرا رسوب‌های این رودخانه در مناطق باریک و کم عمقی از خلیج فارس ته‌نشین می‌شود. دلتای این رودخانه عرضی در حدود ۱۴۰ کیلومتر دارد که به بیش از ۱۰ شاخه تقسیم می‌شود [۱۱].

خلیج فارس به عنوان یک حوضه کم عمق نیمه بسته به دلیل ذخائر فراوان نفت و گاز، تکه‌ای بسیار مهم از آب‌های اقیانوسی جهان است. خلیج فارس به واسطه تنگه هرمز که تنها ۵۶ کیلومتر عرض دارد و در باریک‌ترین قسمت خلیج است، به خلیج عمان و قسمت‌های شمال غربی اقیانوس هند متصل می‌شود [۱۲]. خلیج فارس ۹۹۰ کیلومتر طول بیشینه و متوسط عمق به ترتیب ۳۶ و ۱۲۰ متر و مساحت ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع، به دلیل آب و هوای گرم و خشک و تبخیر بالا یکی از دریا‌های شور به شمار می‌آید [۱۳]. در شکل زیر منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه (دهانه رودخانه اروند) در شمال غرب خلیج فارس

$$y_{EC} = a + bx_4 + cx_6 + dx_7 \quad (1)$$

که در اینجا  $y_{EC}$  شوری در واحد ppt است و  $x_4$ ،  $x_6$  و  $x_7$  مقدار رادیانس به ترتیب در باندهای ۴، ۶ و ۷ است. همچنین ضرایب به صورت زیر است:

$$\text{and } d=8,981, a=56.96, b=-1.228, c=-3.004$$

این تحقیق نخستین تلاش در استفاده موفق از شماره رقومی ماهواره لندست برای تهیه نقشه شوری با استفاده از پردازش رقومی در این منطقه بوده است [۱۰].

در تحقیقی دیگر مدل‌های برآورد شوری سطحی آب دریا با استفاده از روش سنجش از دور در خلیج آب سفید مقایسه شدند. در این تحقیق داده‌های میدانی شوری آب خلیج آب-سفید از داده‌های سازمان تحقیقات زمین‌شناسی ایالات متحده از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ تهیه شد. داده‌های شوری سطحی با تصاویر ماهواره لندست تی‌ام ۵ به صورت دوجه دو بررسی و مقایسه شد [۶].

بعد از اینکه داده‌های ماهواره و داده‌های زمینی جمع‌آوری شد، این اطلاعات به دو دسته در فصل تر (تابستان و پائیز) و فصل خشک (زمستان و بهار) تقسیم شدند. شماره رقومی هر تصویر (DN) ماهواره دقیقاً در جایی که داده واقعی از شوری در آنجا وجود دارد استخراج و با هم مقایسه شدند تا ارتباط بین آن دو کشف شود. با استفاده از آنالیز رگرسیون روی باندهای لندست، بهترین باندها برای مدل تجربی انتخاب شد. شوری آب به عنوان متغیر وابسته<sup>۱۹</sup> و باندهای تصویر ماهواره به عنوان متغیرهای مستقل<sup>۲۰</sup> انتخاب شدند. مدل GWR پسندیده‌تر از دیگر مدل‌های رگرسیونی معرفی شد. برای این مطالعه مدل GWR به صورت زیر قابل توصیف است:

$$Y_i = B_0 + B_{1i}X_1 + B_{2i}X_2 + B_{3i}X_3 + B_{4i}X_4 + B_{5i}X_5 \quad (2)$$

که در اینجا  $Y$  شوری سطحی در موقعیت  $i$   $B_0$  عرض از مبدأ،  $B_n$  ضرایب باند که در موقعیت  $i$  متفاوت است و  $X_n$  اطلاعات طیفی استخراج شده از باندهای تصاویر ماهواره است [۶].

با وجود ویژگی‌های ممتاز سنجنده لندست که در پاراگراف قبل ارائه شد، اما دلایل اصلی انتخاب این سنجنده توسط بیشتر محققان، رایگان بودن تصاویر، رزولوشن مکانی خوب، رزولوشن زمانی مناسب و از همه مهم‌تر در اختیار قرار دادن تصاویر حاوی اطلاعات علمی و مداوم برای حدوداً ۴۰ سال از چرخه آب، آب و هوا، اکوسیستم، تغییرات زمین و غیره است. همچنین لندست اطلاعات را به صورت کالیبره و با تصحیحات رادیومتریک در اختیار محققان قرار می‌دهد. با توجه به مزیت‌های گفته شده، تصاویر لندست برای دهه‌هاست که در ارزیابی شوری رودخانه، خور، خلیج و آب‌های ساحلی مورد استفاده محققان قرار می‌گیرد [۶]. در این تحقیق نیز از تصاویر ماهواره لندست استفاده شد.

مدل‌های تجربی متعددی برای تخمین شوری سطحی آب دریا از داده‌های لندست مورد استفاده قرار گرفتند. در بیشتر این مدل‌ها با استفاده از روش‌های رگرسیونی رابطه بین داده‌های واقعی شوری و اطلاعات باندهای تصویر ماهواره تعیین می‌شود [۶]. بنابراین وجود داده‌های میدانی دقیق و کافی که گستره مکانی مناسبی نیز در محدوده مطالعه داشته باشد، از ضروریات این نوع از مطالعات است.

نخستین تلاش برای سنجش شوری سطحی آب دریا، در خلیج سانفرانسیسکو با روش غیرمستقیم انجام شد. در این مطالعه داده‌های سنجش از دور و همچنین داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در سپتامبر ۱۹۷۸ جمع‌آوری شد. این اطلاعات شامل شماره رقومی (DN<sup>۱۸</sup>) سنجنده چند طیفی لندست (MSS) و شوری اندازه‌گیری شده با قایق بود. یک سری از مدل‌های ریاضی برای تعیین بهترین رابطه بین شوری سطحی اندازه‌گیری شده و مقادیر رادیانس برای باندهای ماهواره لندست مورد امتحان قرار گرفت. در این آزمایش‌ها، همچنین بهترین نسبت و ترکیب برای باندها نیز مورد امتحان قرار گرفت. در نهایت، بهترین مدل رگرسیون بر اساس باندهای ۴، ۶ و ۷ انتخاب شد. بر اساس تحلیل آماری برای بیان بهترین رابطه بین شوری اندازه‌گیری شده و مقدار داده‌های رادیانس لندست متناظر، مدل زیر انتخاب شد:

گیری داده‌های میدانی و ثبت تصویر ماهواره، تاریخچه این تحقیق مربوط به دهه نود میلادی است.

اخیراً در این منطقه تحقیقاتی انجام شده، اما به دلیل مشکلات منطقه که قبلاً اشاره شد، بیشتر آن‌ها به بررسی پارامترهای فیزیکی آب داخل رودخانه پرداختند و در دهانه آن (داخل دریا) اندازه‌گیری‌های میدانی مناسبی صورت نگرفته است. برای بررسی اثرات جزر و مد و برداشت بی‌رویه آب از رودخانه اروند بر شوری آب رودخانه و پیش‌بینی نفوذ شوری در آب این رودخانه، در چندین ایستگاه شوری آب در داخل رودخانه اروند اندازه‌گیری شد [۱۴] و [۱۵]، درحالی که در آب‌های ساحلی دهانه رودخانه هیچ اندازه‌گیری صورت نگرفت.

به‌طور خلاصه هدف این تحقیق ارائه روشی است که به‌واسطه آن می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، یکی از ویژگی‌های آب (شوری سطحی آب) این منطقه که امکان اندازه‌گیری میدانی آن با توجه به شرایط منطقه وجود ندارد، را مورد ارزیابی قرار داد.

## ۲. مواد و روش‌ها

مدل‌های تجربی متعددی برای تخمین شوری سطحی از داده‌های لندست محاسبه شدند. در بیشتر این مدل‌ها با استفاده از روش‌های رگرسیونی رابطه بین داده‌های واقعی شوری و اطلاعات باندهای تصویر ماهواره تعیین می‌شود [۶]. بنابراین؛ وجود داده‌های میدانی دقیق و کافی که گستره مکانی مناسبی نیز در محدوده مطالعه داشته باشد، از ضروریات این نوع از مطالعات است. متأسفانه در دهانه رودخانه اروند به‌دلیل ۱- عمق کم و به‌تبع آن عدم دسترسی کشتی‌های تحقیقاتی (کشتی‌های تحقیقاتی راپمی)؛ و ۲- تقسیم این محدوده بین سه کشور ایران، عراق و کویت و امنیتی بودن منطقه و مشکلات تردد بین آب‌های این سه کشور، اطلاعات اقیانوس‌شناسی کافی وجود ندارد. تنها مجموعه اطلاعات اقیانوس‌شناسی که گستره مکانی مناسبی داشته و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های اندازه‌گیری به دهانه رودخانه اروند را دارد، داده‌های مربوط به گشت اقیانوس‌شناسی راپمی در سال

منطقه شمال غرب خلیج فارس و دهانه رودخانه اروند، در برابر خشک‌سالی و تغییرات اقلیمی بسیار آسیب‌پذیر است. در حال حاضر نیز بحران خشک‌سالی در این منطقه، مسائل و مشکلات فراوان زیست‌محیطی، اجتماعی، صنعتی، کشاورزی، اقتصادی، سیاسی و غیره را ایجاد کرده است. برداشت بی‌رویه آب از سرچشمه‌های این رودخانه نیز زمینه‌ساز بروز مسائل و اختلافات حقوقی بین کشورهای منطقه است.

همه این‌ها در حالی است که تاکنون ویژگی‌های هیدرودینامیکی و فیزیکی آب دهانه این رودخانه و دبی آن به دلیل مشکلات سیاسی، جغرافیایی و امنیتی به‌طور علمی و دقیق اندازه‌گیری نشده است. در صورتی که درک صحیح از چرخش آب در این منطقه و اتخاذ تصمیم صحیح مدیریتی در حوضه بحران‌های زیست‌محیطی، شیلاتی، آبی و غیره، بدون شناخت ویژگی‌های هیدرودینامیکی و فیزیکی آنجا عملی نیست. متأسفانه به علت ناامنی‌های چند ده سال اخیر در مصب اروندرود، فعالیت‌های علمی در حوزه مهندسی سواحل و فیزیک دریا اغلب به رودخانه‌ها و حوضه‌های آبی دیگر هدایت شده‌اند و با وجود اهمیت ویژه این منطقه، سؤالات بی‌پاسخ زیادی در این ناحیه باقی مانده است.

ارتباط بین توزیع مکانی شوری سطحی آب دریا در دهانه این رودخانه (که موضوع این تحقیق است) با دبی آن، یکی از مسائلی است که اهمیت این تحقیق را با توجه به عدم اطلاعات کافی از دبی این رودخانه و تغییرات آن با وجود خشک‌سالی‌های اخیر منطقه، برجسته می‌کند. اگرچه لازمه انجام این چنین تحقیقاتی وجود اطلاعات اقیانوس‌شناسی دقیق، کافی و با گستردگی مناسب است، اما متأسفانه به‌دلایلی که در ادامه توضیح داده می‌شود، داده‌های میدانی کافی در این منطقه وجود ندارد.

برجسته‌ترین داده اندازه‌گیری شوری در نزدیکی دهانه رودخانه اروند، داده‌های گشت راپمی در سال ۱۹۹۲ است. از طرفی لندست، تنها سنجنده دارای تصویر قابل‌دسترس در آن زمان بود. با توجه به این دو موضوع و لزوم هم‌زمانی اندازه-



رگرسیون و همبستگی برای مطالعه ارتباط بین دو متغیر به کار می‌رود. اصطلاح همبستگی اغلب به ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون<sup>۲۶</sup> گفته می‌شود. این ضریب شاخصی است که تنها مشخص می‌کند؛ چقدر ارتباط بین دو متغیر به خط مستقیم نزدیک است؛ اما رگرسیون که رابطه نزدیکی با همبستگی دارد، زمانی به کار می‌رود که بخواهیم با تشکیل یک معادله مقادیر یک متغیر را از روی مقادیر متغیر دیگر پیش‌بینی کنیم. واژه رگرسیون اغلب به رگرسیون خطی ساده اطلاق می‌شود که وجود رابطه خطی بین دو متغیر را آزمون می‌کند [۱۷]. در این تحقیق، منظور از ضریب همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون و منظور از رگرسیون، رگرسیون خطی ساده است.

مدل‌های رگرسیونی ارتباط بین متغیر مستقل و متغیر وابسته را مشخص می‌کند [۱۷]. در این تحقیق، بازتابندگی سطحی باندهای مختلف سنجنده لندست به‌عنوان متغیر مستقل و شوری سطحی آب به‌عنوان متغیر وابسته انتخاب شد. با استفاده از مدل رگرسیونی ارتباط بین این دو متغیر محاسبه شد. برای استخراج بازتابندگی سطحی در موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری شوری سطحی از تصویر لندست، از ابزار (Extract Values to Points) در نرم‌افزار ArcMap از زیرمجموعه نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۹/۳ استفاده شده است.

روش‌های مختلفی برای برآورد پارامترهای معادله رگرسیون وجود دارد. در این تحقیق از روش کمترین مربعات خطا (LSE<sup>۲۷</sup>) استفاده می‌شود.

در این روش طوری ضرایب معادله خط تعیین می‌شود یا به‌عبارتی خطی به‌عنوان خط رگرسیون به دست می‌آید که کمترین مربعات خطا را داشته باشد. این روش از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده در رگرسیون است [۱۷]. برای محاسبه شوری خلیج آب سفید، یکی از شیوه‌های این روش رگرسیونی استفاده شد [۶].

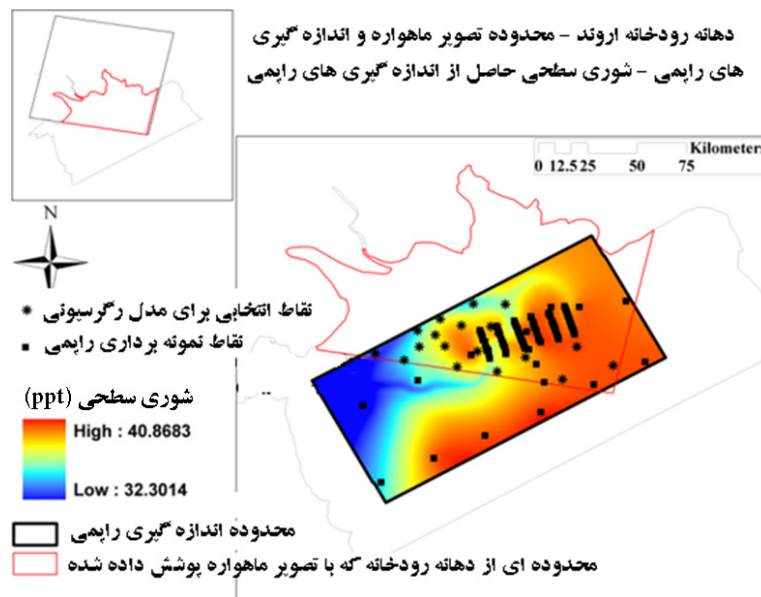
شکل (۳) محدوده دهانه رودخانه اروند، محدوده تصویر ماهواره لندست، ایستگاه‌های اندازه‌گیری گشت راپمی و تصویر رنگی شوری سطحی استخراج شده از داده‌های راپمی

۱۹۹۲ است. در گشت راپمی<sup>۲۱</sup> که بین فوریه تا ژوئن سال ۱۹۹۲ انجام شد، مشخصات آب دریا در منطقه راپمی<sup>۲۲</sup> (شمال غرب خلیج فارس) طی ۱۰۰ روز با کشتی تحقیقاتی مونت‌میثل متعلق به نوآ<sup>۲۳</sup> اندازه‌گیری شد. در این گشت پارامترهای مختلفی از جمله شوری ستون آب به‌وسیلهٔ CTD<sup>۲۴</sup> اندازه‌گیری شد [۱۶]. ماهواره لندست تنها ماهواره‌ای است که دارای تصویر در سال ۱۹۹۲ بوده و این تصاویر نیز رایگان قابل دسترسی است؛ بنابراین با توجه به اینکه لندست، تنها سنجنده‌ای دارای تصویر در سال ۱۹۹۲ و هم‌زمان با گشت راپمی است، استفاده از آن علاوه بر همه مزیت‌های گفته‌شده برای این سنجنده، ناگزیر است. لازم به یادآوری است از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۲۵</sup> برای به دست آوردن تصاویر استفاده شده است.

در این مطالعه از داده‌های شوری سطحی اندازه‌گیری شده از گشت اقیانوس‌شناسی راپمی (داده‌های شوری سطحی از اندازه‌گیری‌های CTD در ۳۰ سانتی‌متری سطحی ستون آب) سال ۱۹۹۲ استفاده شده است. اندازه‌گیری در ایستگاه‌های نزدیک دهانه اروند در این گشت، در ۱۷ آوریل ۱۹۹۲ انجام شد. سنجنده لندست تی‌ام ۵ دو تصویر در تاریخ‌های ۲۲ آوریل و ۲۴ می ۱۹۹۲ از این منطقه ثبت کرده که متأسفانه این تصاویر در شرایط ابرناکی ثبت شده‌اند و اطلاعاتی از آن‌ها قابل استخراج نیست. مناسب‌ترین تصویر از لندست که از نظر زمانی به زمان اندازه‌گیری‌های میدانی نزدیک بوده و گستره مکانی این اندازه‌گیری‌ها را هم به‌خوبی پوشش دهد، تصویری است که در ۵ مارس ۱۹۹۲ ثبت شده است. در این تصویر هیچ‌نوع پوشش ابری مشاهده نمی‌شود و از این تصویر برای استخراج شوری سطحی آب در دهانه اروند استفاده شده است.

به دلیل این که تغییرات شوری به‌شدت تغییرات دما نیست، نیازی به هم‌زمانی دقیق داده‌های ماهواره و داده‌های واقعی شوری نیست [۶]؛ بنابراین علی‌رغم فاصله زمانی بین اندازه‌گیری میدانی و تصویر ثبت شده، الگوی شوری سطحی در این مدت تغییرات قابل ملاحظه‌ای ندارد.

شوری سطحی و بازتابندگی باندهای ماهواره لندست انتخاب شد که علاوه بر پوشش مکانی محدوده، بیشترین تغییرات در میزان بازتابندگی باندهای لندست را نیز دارند. در نقاط ستاره شکل (۳)، شوری سطحی و میزان بازتابندگی هر یک از باندهای ماهواره استخراج شد که به صورت جدولی (جدول ۱) به نرم افزار SPSS وارد شد. در این تحقیق از نسخه ۲۱ نرم افزار SPSS استفاده شد. تغییرات شوری در نقاط انتخاب شده در حدود ۳۶ تا ۴۰ ppt است.



شکل ۳. محدوده دهانه رودخانه اروند را نشان می دهد، در سمت چپ و بالای این شکل، سایه ماهواره یا محدوده پوشش دهی ۲۸ تصویر ماهواره لندست در ۵ مارس ۱۹۹۲ است، مربعها ایستگاههای اندازه گیری گشت راپمی هستند که در آنجا شوری سطحی در تاریخ ۱۷ آوریل ۱۹۹۲ اندازه گیری شد. تصویر رنگی، شوری سطحی استخراج شده از داده های راپمی را در محدوده اندازه گیری این گشت نشان می دهد.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی، شوری سطحی، میزان بازتابندگی باندهای لندست در نقاطی از محدوده داده های راپمی که تصویر لندست نیز پوشش می دهد، موقعیت این نقاط در شکل (۳) با ستاره مشخص شده است.

بازتابندگی	بازتابندگی	بازتابندگی	بازتابندگی	بازتابندگی	بازتابندگی	شوری (ppt)	طول جغرافیایی (°)	عرض جغرافیایی (°)
باند ۶	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند ۱			
۲۴۳	۲۵۰	۵۷۱	۹۷۲	۱۴۵۲	۱۲۹۵	۳۴/۲۹	۴۸/۴۹۶	۲۹/۵۵
۱۹۹	۲۵۰	۵۷۱	۷۵۷	۱۱۸۵	۱۰۹۵	۳۶/۰۱	۴۸/۶۲۹	۲۹/۵۱۹
۱۵۶	۲۲۱	۵۲۹	۷۹۲	۱۱۸۵	۱۰۹۵	۳۶/۱۰	۴۸/۶۸۹	۲۹/۶۵۲

شکل نشان می دهد که رابطه ای خطی بین شوری سطحی و میزان بازتابندگی باندهای به ترتیب ۳ و ۲ مشهود است.

برای بررسی رابطه بین میزان شوری سطحی و میزان بازتابندگی باندهای مختلف لندست از مدل رگرسیونی چند

### ۳. نتایج

نمودار پراکندگی بین بازتابندگی سطحی باندهای تصویر لندست با شوری سطحی در شکل (۴) ارائه شده است. این

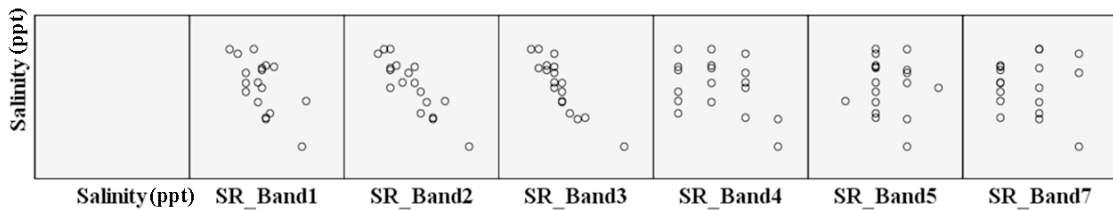


باقیمانده‌ها دارند، است. هر چه این نسبت بیشتر باشد یا به عبارتی شاخص F بیشتر باشد نشان‌دهنده مناسب بودن مدل است. بزرگ بودن شاخص F ملاک مشخصی دارد. اگرچه اغلب مقدار F را بر اساس توزیع جدول F می‌سنجند، اما می‌توان از مقدار  $P^{29}$  برای این منظور استفاده کرد. هر چقدر مقدار P کوچک و به صفر نزدیک باشد، نشان‌دهنده مناسب بودن مدل رگرسیونی است. مقدار P یک شاخص کاهش از قابلیت اطمینان یک نتیجه است.

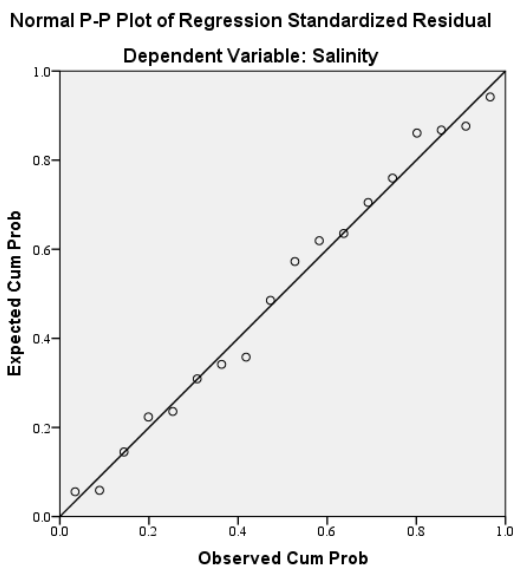
عرض از مبدأ و ضرایب باندهای ۲ و ۳ به ترتیب برابر  $۰/۰۰۴$  و  $-۰/۰۰۹$  به دست آمد که مقدار P برای هر یک از این ضرایب نیز به صفر نزدیک است. به این ترتیب می‌توان شوری سطحی را با استفاده از بازتابندگی باندهای ۲ و ۳ لندست بر اساس رابطه زیر در محدوده گشت راپمی استخراج کرد.

$$SSS = 48.628 - 0.004(SR_{Band2}) - 0.009(SR_{Band3}) \quad (۳)$$

متغیره در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در این مدل شوری به عنوان متغیر وابسته و بازتابندگی باندهای ماهواره به عنوان متغیر مستقل به مدل اعمال شد. نحوه وارد کردن متغیرها به مدل رگرسیونی چندمتغیره با روش Stepwise انجام شد و مشخص شد که باندهای ۲ و ۳ لندست، برای استخراج معادله رگرسیونی، مناسب هستند. در این روش متغیرها یک‌به‌یک وارد مدل می‌شوند. در این روش ابتدا متغیری که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارد، انتخاب می‌شود. متغیر دوم که وارد مدل می‌شود، متغیری است که پس از تفکیک متغیر اول، سبب بیشترین افزایش در مقدار ضریب  $R^2$  می‌شود. در این روش ورود متغیرها به صورت مدل یک‌به‌یک و تازمانی ادامه می‌یابد که معنی‌داری متغیر به  $۰/۰۵$  (سطح خطا  $۰/۰۵$ ) برسد. ضریب تعیین این مدل رگرسیونی برابر  $۰/۸۷$  است. از جدول آنالیز واریانس آن‌نوا مشخص شد که این مدل رگرسیونی با شاخص F برابر با  $۴۹/۹۳$  و مقدار P نزدیک به صفر مدل مناسبی است. در واقع F نسبت میانگین تغییراتی که با مدل رگرسیونی پیش‌بینی می‌شود به میانگین تغییراتی که



شکل ۴. نمودار پراکندگی بین شوری سطحی و بازتابندگی سطحی باندهای مختلف تصویر لندست



شکل ۵. نمودار مقادیر مورد انتظار توزیع نرمال در برابر مقادیر مشاهده‌شده

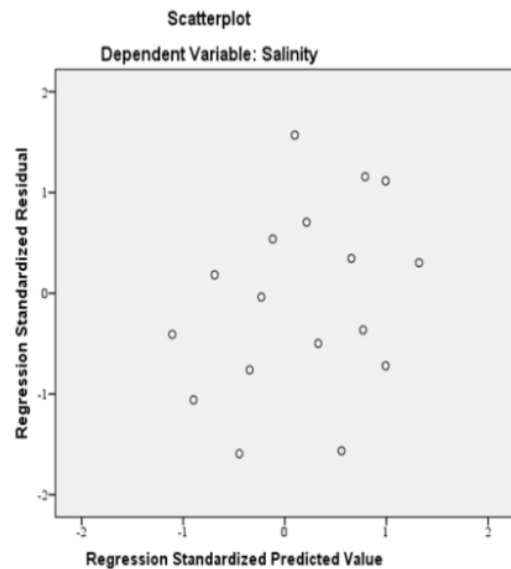
از آنجا که محدوده تغییرات شوری سطحی که در مدل رگرسیونی استفاده شده بین حدود ۳۶ تا ۴۰ ppt است، به طور طبیعی استفاده از این مدل رگرسیونی در این محدوده دقت کافی دارد. در شکل‌های ۵ و ۶ نمودارهای احتمال نرمال<sup>۳۰</sup>، فرض نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها و نمودار پراکنش استاندارد شده مقادیر باقی‌مانده‌ها<sup>۳۱</sup> در برابر استاندارد شده مقادیر پیش‌بینی شده<sup>۳۲</sup>، تصادفی بودن و ثابت بودن واریانس باقی‌مانده‌ها که از ضروریات مدل رگرسیونی است را نشان می‌دهد. این نمودارها صحت مدل رگرسیونی را تأیید می‌کنند.

می دهد که شوری سطحی استخراج شده از تصویر ماهواره با درون یابی شوری سطحی از دیگر داده های راپمی که به مدل رگرسیونی وارد نشدند (ایستگاه های شاهد)، تطابق دارد. این موضوع نشان دهنده صحت عملکرد مدل رگرسیونی در این منطقه و برهه زمانی است. به دلیل آنکه برای استخراج رابطه بین شوری سطحی و بازتابندگی باندهای لندست از داده های شوری در محدوده ۳۶ تا ۴۰ استفاده شده است، بنابراین به منطقه ای که شوری به دست آمده در این محدوده قرار دارد، می توان اطمینان داشت.

#### ۴. نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از فنون سنجش از دور، ابزار مناسبی برای برآورد شوری سطحی دریا در مناطقی با گرادیان شوری بالا (دهانه رودخانه ها) هستند. ارتباط خطی بین باندهای ۲ و ۳ سنجنده لندست با شوری سطحی آشکار شد. همان طور که اشاره شد از ضروریات این نوع از تحقیقات وجود داده های میدانی گسترده و مناسب است؛ بنابراین توجه به اندازه گیری های میدانی در این منطقه علی رغم همه موانع مانند مشکلات امنیتی، عمق کم و غیره ضروری است.

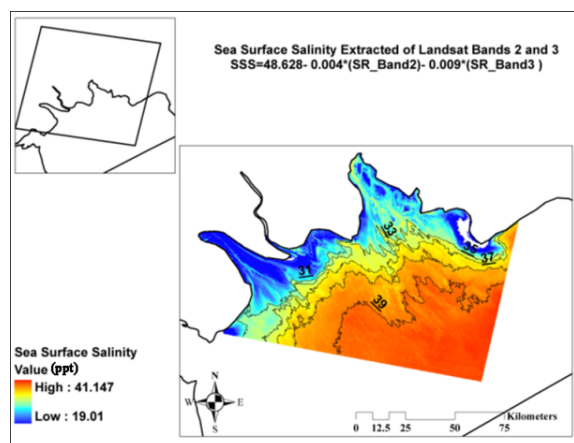
اگرچه داده های شوری سطحی آب در دهانه رودخانه اروند که در این تحقیق از آن استفاده شد مربوط به ماه مارس سال ۱۹۹۲ است که در گشت راپمی اندازه گیری شد، اما این مجموعه داده تنها داده ای است که گستردگی فضایی قابل قبول در این محدوده دارد. در این تحقیق با استفاده از همین داده ها الگوی شوری سطحی در دهانه رودخانه اروند در آن زمان به دست آمد، که نشان می دهد با روش ارائه شده در این تحقیق می توان از حداقل داده های موجود استفاده و وضعیت پارامترهای فیزیکی آب دریا را در گذشته به خوبی استخراج کرد. شناخت پارامترهای فیزیکی آب دریا در گذشته، موضوع بسیار مهمی در زمینه تغییرات اقلیمی و زیست محیطی است که برای مدیریت بحران هایی مانند خشک سالی های اخیر و کاهش دبی رودخانه اروند بسیار کاربردی است. به طور مشخص نتایج این تحقیق در بحث خشک سالی سال های اخیر، کاهش دبی رودخانه اروند و



شکل ۶. نمودار پراکنش استاندارد شده مقادیر باقی مانده ها در برابر استاندارد شده مقادیر پیش بینی شده

شکل (۷) شوری سطحی که از اعمال رابطه زیر بر باندهای ۲ و ۳ لندست به دست آمده است را نشان می دهد. برای اعمال این رابطه بر تک تک پیکسل های تصویر ماهواره و استخراج شوری سطحی، از ابزار Band Math در نرم افزار ENVI نسخه ۵/۳ استفاده شده است.

$$SSS = 48.628 - 0.004(SR_{Band2}) - 0.009(SR_{Band3}) \quad (۴)$$



شکل ۷. شوری (ppt) استخراج شده از تصویر ماهواره لندست TM5 در ۵ مارس ۱۹۹۲

همان طور که مشخص است با دور شدن از دهانه رودخانه شوری افزایش می یابد و الگوی نشان داده شده مطابق با وضعیت شوری سطحی این منطقه است. این شکل نشان

- [3] Swift CT, McIntosh RE. Considerations for microwave remote sensing of ocean-surface salinity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1983 Oct(4):480-91.
- [4] Lagerloef GS, Swift CT, Le Vine DM. Sea surface salinity: The next remote sensing challenge. *Oceanography*. 1995 Jan 1;8(2):44-50.
- [5] Miller JL, Goodberlet MA, Zaitzeff JB. Airborne salinity mapper makes debut in coastal zone. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 1998 Apr 7;79(14):173-7.
- [6] Selch D. Comparing salinity models in Whitewater Bay using remote sensing [Master of Arts Thesis]. Florida Atlantic University; 2012.
- [7] Blough NV, Zafriou OC, Bonilla J. Optical absorption spectra of waters from the Orinoco River outflow: Terrestrial input of colored organic matter to the Caribbean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1993 Feb 15;98(C2):2271-8.
- [8] Del Castillo CE, Coble PG, Morell JM, Lopez JM, Corredor JE. Analysis of the optical properties of the Orinoco River plume by absorption and fluorescence spectroscopy. *Marine Chemistry*. 1999 Jul 1;66(1-2):35-51.
- [9] Urquhart EA, Zaitchik BF, Hoffman MJ, Guikema SD, Geiger EF. Remotely sensed estimates of surface salinity in the Chesapeake Bay: a statistical approach. *Remote Sensing of Environment*. 2012 Aug 1;123:522-31.
- [10] Khorram S. Remote sensing of salinity in the San Francisco Bay Delta. *Remote Sensing of Environment*. 1982 Mar 1;12(1):15-22.
- [11] UN-ESCWA B. United Nations economic and social commission for western Asia; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Beirut: Inventory of Shared Water Resources in Western Asia; 2013.
- [12] Azizpour J, Chegini V, Khosravi M, Einali A. Study of the physical oceanographic properties of the Persian gulf, strait of hormuz and gulf of oman based on PG-GOOS CTD measurements. *Journal of the Persian Gulf*. 2014 Dec 15;5(18):37-48.
- [13] Sadrinasab M, Kämpf J. Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf. *Geophysical research letters*. 2004 Dec 1;31(24)
- [14] Abdullah AD, Karim UF, Masih I, Popescu I, Van der Zaag P. Anthropogenic and tidal influences on salinity levels of the Shatt al-Arab River, Basra, Iraq. *International journal of river basin management*. 2016 Jul 2;14(3):357-66
- [15] Abdullah AD, Gisen JI, Zaag PV, Savenije HH, Karim UF, Masih I, Popescu I. Predicting the salt

نفوذ شوری در آن برای مقایسه شرایط کنونی با گذشته بسیار کاربردی و حائز اهمیت است.

داده‌های اندازه‌گیری شوری سطحی مورد استفاده در مدل رگرسیونی این تحقیق در محدوده ۳۶ تا ۴۰ ppt است. مقایسه شوری سطحی استخراج شده از تصویر ماهواره با داده‌های اندازه‌گیری در آن محدوده شوری (ایستگاه‌های شاهد)، نشان‌دهنده تطابق بیشتر از ۹۰ درصد بین شوری سطحی استخراج شده از تصویر ماهواره با واقعیت است.

شکل زبانه رودخانه که متأثر از دبی آن است از الگوی شوری سطحی قابل استخراج بوده است، بنابراین درک تغییرات دبی رودخانه با سنجش شوری سطحی آب دهانه آن با استفاده از روش ارائه شده، یکی دیگر از کاربردهای قابل توجه این تحقیق است.

به‌طور خلاصه درک ویژگی‌های فیزیکی این منطقه خاص در گستره وسیع با استفاده از داده‌های اندک و پراکنده، از نتایج مهم این تحقیق است.

اصلی‌ترین هدف این تحقیق ارائه و تأیید روشی برای سنجش شوری سطحی آب دهانه رودخانه اروند است که از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، شیلاتی، مدیریت منابع آب، سیاسی، جغرافیایی و غیره اهمیت فراوانی دارد. این تحقیق که با استفاده از کمترین داده‌های میدانی (با توجه به عدم وجود داده در این منطقه) انجام شد، نشان داد که می‌توان با انجام حداقل اندازه‌گیری‌های میدانی در این منطقه خاص به درک خوبی از شرایط فیزیکی آن با استفاده از فناوری سنجش از دور دست یافت و به این ترتیب فقدان داده‌های میدانی را جبران نمود.

## مراجع

- [1] Koblinsky CJ, Hildebrand P, LeVine D, Pellerano F, Chao Y, Wilson W, Yueh S, Lagerloef G. Sea surface salinity from space: Science goals and measurement approach. *Radio Science*. 2003 Aug;38(4).
- [2] Klein L, Swift C. An improved model for the dielectric constant of sea water at microwave frequencies. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 1977 Jan;2(1):104-11.

26. Pearsons product moment correlation
27. Least square errors
28. Footprint
29. Significant or P-value
- 30 Normal probability plot
31. ZRESID
32. ZPRED
- water intrusion in the Shatt al-Arab estuary using an analytical approach. Hydrology and earth system sciences. 2016 Oct 6;20(10):4031-42.
- [16] Reynolds RM. Overview of physical oceanographic measurements taken during the Mt. Mitchell Cruise to the ROPME Sea Area. United States :Brookhaven National Lab;1993 Mar 31.Report No. BNL-49194.
- [17] Townend J. Practical statistics for environmental and biological scientists. John Wiley & Sons; 2013 Apr 30.

## بی نوشت

1. Brightness temperature
2. Emissivity
3. Sea surface salinity
4. Sea surface temperature
5. Scanning Low-Frequency Microwave Radiometers
6. Skylab
7. Aquarius
8. Colored dissolved organic matter
9. Reflectance
10. Conservative Mixing
11. Flocculation
12. Photodegradation
13. Suspended materials.
14. Tigris
15. Euphrates
16. Taurus
17. Estuarine-deltaic
18. Digital number
19. Dependent
- 20 Explanatory
21. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (ROPME)
22. ROPME sea area including the persian Gulf, the Gulf of Oman and the open coastal waters of Oman in the Arabian Sea
23. National Oceanic and Atmospheric Administration
24. Conductivity, Temperature and Depth (CTD)
25. <http://earthexplorer.usgs.gov>