مدلسازی مکانی پارامترهای فیزیکی دما، شوری و چگالی خزر جنوبی با استفاده از تحلیلگر زمین آماری نرم‌افزار ArcGIS

دکتر مسعود ترابی آزاد
استادیار دانشکده علوم و فنون دریایی
دانشگاه آزاد اسلامی

رحیم افتخاری

دکتر علی‌اکبر رسولی
دانشیار دانشکده علوم جغرافیا
دانشگاه تبریز

امیر سیه‌سرانی

چکیده

طی گشت تحقیقاتی اقیانوس جهانی ۲۰۰۱ در منطقه دریایی خزر، پارامترهای فیزیکی دما، شوری و چگالی دریای خزر اندازه‌گیری شدند. محدوده ایستگاه‌های انتخابی برای اندازه‌گیری این پارامترها کل دریای خزر را شامل می‌شد. البته این اندازه‌گیری‌ها به صورت گسسته از منطقهٔ مورد مطالعه صورت گرفته است. در تحقیق حاضر به مدلسازی مکانی این پارامترها با کمک تحلیلگر زمین مکانی نرم‌افزار ArcGIS 9.2 پرداخته شده است، که حاصل کار، ایجاد نقشه‌های پیوسته‌ای از پارامترهای حاضر در اعماق مختلف با اعتبار (Validation) بالا می‌باشد. این نقشه‌های هوشمند این قابلیت را دارند که با کلیک کردن نشانگر ماوس، مقدار پارامتر مورد تحلیل هر مختصات مکانی را در ناحیه مورد مطالعه ارائه دهند.

واژه‌های کلیدی: دریای خزر، سیستم‌های اطلاعات زمین مکانی (GIS)، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی دریا، زمین آمار، مدل سازی مکانی.

۱- مقدمه

کشور عزیزمان ایران با داشتن بیش از ۱۸۰۰ کیلومتر مرز آبی در جنوب کشور و واقع در سواحل شمالی خلیج همیشه فارس و دریای عمان و نیز حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مرز آبی در شمال کشور و واقع در سواحل نیلگون دریای خزر، با دارا بودن تعداد زیادی جزیره بزرگ و کوچک، میادین عظیم نفت و گاز و وجود مراکز عظیم صنایع اعم از پتروشیمی و سایر صنایع و قطب‌های کشاورزی و تجاری در مجاورت این دریاها، یک کشور دریایی است. دریای نیمه شور خزر که حدود ۴۶ درصد حجم دریاچه‌های دنیا را شامل می‌شود، نقش مهمی را در شکوفایی اقتصادی کشورهای همجوار خود ایفا می‌کند. کشف و شناخت میادین نفتی و منابع گازی در اکثر بخشهای این دریا و سواحل مربوط به آن خصوصیت دیگر این حوزه آبی به عنوان تولید انرژی به شمار می‌رود.

مطالعات جامع دریای خزر در حال حاضر توجه بسیاری از محققان را به خود معطوف داشته است. علاقمندی روز افزون به دریای خزر را می‌توان ناشی از سه عامل: اول - نوسانات شدید دریای خزر، دوم - رشد روز افزون استخراج نفت و گاز و سوم - تغییرات فاجعه‌آمیز اکوسیستم دریا در اثر هجوم شانه داران و افزایش میانگین دمای سطح آب دریا دانست. درنتیجه بروز این عوامل، باردهی زیستی دریای خزر و به خصوص ذخائر ماهیان به شدت کاهش یافته است *(ملک و همکاران، ۱۳۸۴)*.

پارامترهای دما، شوری و چگالی یکی از مهمترین مشخصه‌های آب دریا محسوب می‌گردند، مقدار و تغییر پذیری آنها بر حسب زمان در اعماق دریا تعیین کنندهٔ شرایط امکان زیست، توسعهٔ موجودات گیاهی و جانوری در محیط زیست دریا است. همچنین آمار و اطلاعات موجود در رابطه با این پارامترهای آب در مطالعات اقیانوس‌شناسی قابل استفاده بوده و در عین حال فعالیت‌های دریایی برخی از ارگان‌ها و مراکز پیش بینی کننده در ارتباط مستقیم با شناخت این پارامترها است. پس اهمیت مطالعه دراین ارتباط مشخص می‌شود *(استیوارت، ۲۰۰۳)*.

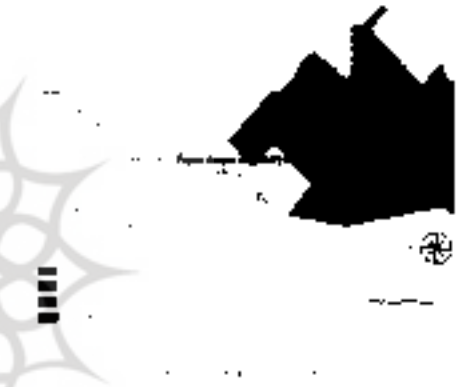
طی گشت تحقیقاتی اقیانوس جهانی ۲۰۰۱ در منطقه دریایی خزر، پارامترهای فیزیکی دما، شوری و چگالی دریای خزر اندازه‌گیری شدند. محدوده ایستگاه‌های انتخابی برای اندازه‌گیری این پارامترها کل دریای خزر را شامل می‌شد. البته این اندازه‌گیرها به صورت گسسته از منطقهٔ مورد مطالعه صورت گرفته است. درتحقیق حاضر به مدلسازی مکانی این پارامترها با کمک تحلیلگر زمین مکانی نرم‌افزار ArcGIS 9.2 پرداخته شده است، که حاصل کار، ایجاد نقشه‌های پیوسته‌ای از پارامترهای حاضر در اعماق مختلف با اعتبار (Validation) بالا می‌باشد. این نقشه‌های هوشمند این قابلیت را دارند که با کلیک کردن نشانگر ماوس، مقدار پارامتر مورد تحلیل هر مختصات مکانی را در ناحیه مورد مطالعه ارائه دهند.

تحقیقات علمی خزر عملاً در کلیهٔ رشته‌های اقیانوس‌شناسی بعد از انقلاب کمونیستی ۱۹۱۷ توسط شوروی سابق بسیار فعال گردید. از سال ۱۹۲۴ اندازه‌گیری آبشناسی فصلی در پروفیل‌های استاندارد انجام گرفت. علاوه بر آن در این سال شوروی به برنامهٔ شورای بین المللی مطالعه دریاها پیوست. در همین سال در باکو در سیستم کشتیرانی خزر، دفتر مطالعهٔ جریان‌های دریایی خزر به سرپرستی ن.ن استروئیسکی افتتاح گردید. در

این زمان امور دیده بانی بر روی کشتی‌ها، شناورها انجام می‌گرفت و از بطری‌های فاسد نیز استفاده می‌شد. نوسانات تراز دریای خزر و به طبع آن تبخیر از سطح دریا، بیلان آب و غیره بیشتر مورد توجه قرار گرفت. سالهای دهۀ ۳۰ میلادی، سال‌های اجرای دو برنامه اول پنج ساله قبل از جنگ جهانی دوم بود، که به اقتضای پیشرفت امور اقتصادی کشور شوروی سابق، زمان توسعه علوم در کشور شوروی بود. در این دوره مرحلۀ جدید تحقیقات دریای خزر آغاز گردید. در این راستا انستیتوی علمی تحقیقاتی شیلات شوروی به همراه آکادمی علوم و دانشگاه‌ها، تحقیقات وسیعی را در رشته‌های مختلف اقیانوس‌شناسی انجام دادند. در سال ۱۹۳۰ تا سال ۱۹۳۲، ن.م. کنیپوویچ گشت تحقیقاتی شیلاتی بر روی دریای خزر را راه انداخت. سال‌های بعد از جنگ جهانی دوم، یعنی دهۀ ۵۰ و ۶۰ میلادی دورۀ رشد شدید اقتصاد مردمی اتحاد جماهیر شوروی بود که بر اساس برنامۀ پنج سالۀ پنجم تا هشتم صورت گرفت. در این دوره مسئله دریای خزر در پاره‌ای از اجلاس‌های سراسری شوروی از جمله اجلاس ۱۹۵۱ باکو، ۱۹۵۶ آستراخان و ۱۹۶۰ مسکو دراتحاد جماهیر شوروی مطرح شد. در سال‌های دهۀ ۷۰ میلادی وضعیت آب در حوضه دریای خزر به شدت بحرانی گردید. در سال ۱۹۷۳ شورای علمی کمیتۀ دولتی شورای وزیران در امور علوم و فنون و آکادمی علوم شوروی برای مطالعۀ جامع مسائل دریای خزر تشکیل گردید. در اواسط سال های دهۀ ۸۰ به موازات کارهای مربوط به انتقال جریان آب که توسط شورای علمی کمیتۀ شورای وزیران در امور علوم و فنون و آکادمی علوم شوروی به همراه انستیتو مسائل آب انجام شد. انستیتوی دولتی اقیانوس‌شناسی یکی از مبتکرین تحقیقات آب و هواشناسی و شیمی آب دریای خزر است. که به صورت کتابی با عنوان شرایط آب و هواشناسی منطقۀ فلات قاره دریای خزر و پس از آن کتاب دیگری با عنوان تغییرات کنونی اقلیم دریای خزر چاپ گردید.

فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی در حد زیادی کارهای تحقیقاتی در خزر را به تأخیر انداخته و آن را با مشکل مواجه ساخت. امروزه مسائل مربوط به مطالعه دریای خزر را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: دسته اول مسائل بنیادی و پایه‌ای در تحقیقات فرآیندهای طبیعی و با منشاء صنعتی از قبیل اقلیم‌شناسی، آبشناسی و هیدروفیزیکی (فیزیک آب)؛ دستۀ دوم مسائل عملی و تجربی از جمله مسائلی که در حین بهره‌گیری از دریای خزر بوجود می‌آید مانند ارزیابی پارامترهای زیست محیطی دریا، مطالعۀ تغییر آلودگی صنعتی ،بیلان آب دریا، ذخایر نفت و گاز فلات قاره، تدوین رژیم حقوقی دریا و غیزه. اولویت بندی مسائل خزر برای تحقیقات فرآیندهای طبیعی و تکنوژنیک (صنعتی) را می‌توان از روی میزان تأثیر این فرایندها ابتدا در شرایط زندگی افراد و نقش اقتصادی آن و سپس از روی مشخصات زیست محیطی دریایی که عملاً تا نود درصد از ذخایر جهانی با ارزش‌ترین تاس ماهیان را دارد، تعیین نمود. علت اصلی افزایش کنونی تراز دریای خزر به میزان ۲/۵ متر همانگونه که تحقیقات انجام شده در انستیتوی مسائل آب آکادمی علوم روسیه، انستیتوی فیزیک اتمسفر آکادمی علوم روسیه و دیگر انستیتوها نشان داده‌اند به سبب تغییر شرایط اقلیمی در ۲۰-۱۵ سال اخیر است. افزایش میانگین دمای هوای سطح کرۀ زمین به میزان ۵-۰ درجه در سدۀ اخیر در حد زیادی به علت رشد تراکم دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه ای با منشاء صنعتی می‌باشد. علاوه بر آن دریای خزر و منطقۀ ساحل فلات قارۀ آن برای فرایندهایی که ممکن است به هنگام افزایش جهانی تراز اقیانوس‌ها ناشی از اثرات گلخانه‌ای پیش آید، مدل شده‌اند. در سال ۱۹۹۲ ریاست جمهوری فدراسیون روسیه دستور داد تا اقدامات لازم برای حفاظت از ساکنان حاشیۀ خزر و حل مسئله مربوط به بالا آمدن آب دریای خزر صورت گیرد. برای اجرای این دستور برنامه برای سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۶ در جهت حل مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی ناشی از افزایش تراز آب دریای خزر (برنامۀ کاسپی) تدوین گردید. در سال ۱۹۹۸ دولت فدراسیون روسیه برنامۀ هدفدار فدرال اقیانوس جهانی شامل ۱۰ زیر برنامه را مورد تأیید قرار داد. یکی از آنها تحقیق دربارۀ طبیعت اقیانوس جهانی شامل بخش ویژه‌ای با عنوان تحقیقات جامع و پایش دریاهای سیاه، آزوف و خزر می‌باشد. تحقیقات در چارچوب این بخش دارای ۱۳ طرح می‌باشد که ۱۲ طرح آن به مطالعۀ دریای خزر اختصاص یافته است *(ملک و همکاران، ۱۳۸۳)*.

در حال حاضر در ایران نیز برخی از مراکز پژوهشی از جمله مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر (وزارت نیرو)، مرکز شیلات ایران، معاونت محیط زیست دریایی سازمان محیط زیست کشور، شرکت نفت خزر و ارگان‌های دریایی کشور و... هر یک در راستای اهداف تشکیلاتی خود بر این گسترۀ آبی، فعالیت‌های مطالعاتی - تحقیقاتی داشته و خواهند داشت. در عین حال به نظر می‌رسد در بین این مراکز انجام امور تحقیقاتی در مرکز شیلات مازندران از سوابق و یا از قدمت بیشتری برخوردار باشد. زیرا این مرکز از دیر باز با در اختیار داشتن یک فروند کشتی تحقیقاتی - صیادی که به دستگاه‌های عمق یاب (اکو ساندر)، بانی ترموگراف، نمونه بردار رسوب بستر، و دستگاه‌های نمونه بردار آب، آزمایشگاه شیمی آب و... مجهز می‌باشد. نیازمندی‌های آماری اطلاعاتی خود که زمینه ساز شناسایی و در نهایت بهره وری بهینه از ذخایر پروتئینی (به ویژه صید ماهی) این منبع آبی می‌باشد را تدارک دیده است. گرچه، این مرکز به اقتضای طبیعت کار خود مشخصه‌های فیزیک و شیمیایی آب را در مواضع و یا ایستگاه‌های مطالعاتی خاص اندازه‌گیری می‌نماید ولی گزارش مدون و یا حداقل قابل دسترسی در این زمینه منتشر ننموده است. آژانس بین المللی انرژی اتمی در سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ میلادی نظر موافق مرکز تحقیقاتی - مطالعاتی کشورهای ساحلی را جهت همکاری و مشارکت در اجرای طرح جامع و چند منظورۀ در پهنه آبی دریای خزر جلب و در این راستا درشهریور ماه سال ۱۳۷۴ برابر سپتامبر سال ۱۹۹۵ میلادی نخستین سفر تحقیقاتی این گسترۀ آبی را آغاز کرده است. هدف اصلی از اجرای این طرح دستیابی به منشاء تغذیۀ آب دریای خزر با استفاده از ایزوتوپ‌های محیطی از طریق نمونه برداری آب از اعماق مختلف دریا بود که در انجام این امر از یک فروند کشتی تحقیقاتی متعلق به کمیتۀ آب و هواشناسی جمهوی آذربایجان به نام الیف حاجی اف استفاده گردید *(اکتانی، ۱۳۷۸)*.



نگاره ۱: مدلسازی مکانی دمای سطحی دریای خزر

۲- مواد و روش‌ها

تحلیلگر زمین آماری ArcGIS® شرکت ESRI® برای عملکردهای مجموعه نرم‌افزاری ArcGIS است که قادر به مدلسازی پیشرفته سطوح با استفاده از روش‌های جبری و زمین آماری می‌باشد. تحلیلگر زمین آماری را می‌توان انقلابی در علوم زیست محیطی از جمله اقیانوس‌شناسی و هواشناسی دانست، چراکه این تحلیلگر را می‌توان به عنوان پلی بین شکاف بزرگ زمین آمار و GIS دانست. تحلیلگر زمین آماری از نقاط نمونه برداری شده استفاده می‌کند و سطوح پیوسته‌ای را ایجاد می‌کند (درونیابی می‌کند). تحلیلگر زمین آماری دو گروه از تکنیک‌های زمین آماری را فراهم می‌آورد: جبری [۱] و زمین آماری [۲]. در حقیقت می‌توان گفت همهٔ روش‌ها به یکدیگر شبیه‌اند چراکه از نقاط نمونه برداری شدهٔ مجاور برای ایجاد سطح استفاده می‌کنند. تکنیک‌های جبری از توابع ریاضی برای درون یابی استفاده می‌کنند. ولی روش‌های زمین آماری از هر دو روش ریاضی و آماری بهره می‌برد، که می‌تواند برای ایجاد سطوح بکار برده شود و این قابلیت را دارد که خطای برآورد یا عدم قطعیت پیش بینی را تعیین کند. در این تحقیق، ابتدا نقشه‌ای از منطقه مورد مطالعه تهیه گردید، این نقشه به صورت یک نقشه رقومی می‌باشد که قابل استفاده در نرم‌افزار ArcGIS 9.2 است. این نقشهٔ digit شده، دارای سیستم مختصات جغرافیایی با Datum، WGS1984 می‌باشد. مختصات مکانی تمامی ایستگاه‌های نمونه برداری شده در هر گشت تحقیقاتی در ابتدا توسط ابزارهای موجود در ArcMap نمایش داده شد، سپس توسط برنامه جنبی XTools، نقاط از حالت Graphic به Shape تبدیل گردید و در نهایت لایه‌ای برای همهٔ ایستگاه‌های موجود در هر گشت تهیه شد. با استفاده ازداده‌های CTD موجود در ارتباط با پارامترهای فیزیکی دما، شوری و چگالی پایگاه داده‌ای برای سطح دریا و اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درهر گشت ایجاد شد.

جدول توصیفی لایهٔ مربوط به ایستگاه‌های تحقیقاتی را با پایگاه دادهٔ ایجاد شده، Join نموده و در نهایت تحلیل هر یک از پارامترهای موجود در جدول توصیفی جدید شروع شد.

نگاره ۲: مدلسازی مکانی شوری سطحی دریای خزر

این کار با تحلیلگر زمین آماری صورت گرفت و از روش کریجینگ معمولی [۳] استفاده شد. با استفاده از مجموعه فرآیندهای هدایتی موجود در کادرهای محاوره‌ای تحلیلگر زمین آماری و پاره‌ای از مباحث بنیادی در این ارتباط، نقشه‌های پیش بینی ایجاد شد. این نقشه‌ها این قابلیت را دارند که با

کلیک کردن نشانگر ماوس، مقدار پارامتر مورد تحلیل هر مختصات مکانی در ناحیه مورد مطالعه را مشخص می‌نمایند.

۳- زمین آمار، کریجینگ و اعتبار سنجی مدل

در بررسی‌های آمار کلاسیک، نمونه هایی از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شود، فاقد اطلاعات مکانی بوده و در نتیجه، مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خاص هیچگونه اطلاعاتی را در مورد مقدار همان کمیت در نمونه دیگری به فاصلهٔ معین در بر نخواهد داشت. زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه را نیز مورد توجه قرار می‌دهد. بدین لحاظ می‌تواند موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یکجا مورد تحلیل قرار دهد. روش‌های زیادی به زمین آمار وابسته می‌باشند، اما همگی این روش‌ها بخشی از خانواده کریجینگ [۴] می‌باشند. نه تنها با انجام روش‌های کریجینگ در تحلیلگر زمین آماری، این روش‌ها به ایجاد سطوح و خطای آنها می‌پردازند، بلکه آنها همچنین نقشه‌های خروجی احتمالی و چارکی وابسته به نیاز ما را نیز تولید می‌کنند. برای داده‌های زمین آماری،

$$Z(s)= \mu(s)+ \varepsilon(S) \qquad (۱)$$

که $Z(s)$ متغیر مورد علاقه ماست، که این متغیر به روند جبری $\mu(s)$ و خطاهای تصادفی خود همبسته $\varepsilon(S)$ تجزیه می‌شود. سمبل s نمایانگر موقعیت می‌باشد؛ باید توجه داشت که این موقعیت یاد شده در فرمول فوق متضمن مختصات مکانی x-(طول جغرافیایی) و Y-(عرض جغرافیایی) می‌باشد. تغییرات بر روی این فرمول، پایه و اساس همه انواع مختلف روش کریجینگ را شکل می‌دهد. در روش کریجینگ معمولی فرض بر این است که مدل به فرم زیر می‌باشد:

$$Z(s)= \mu+ \varepsilon(S) \qquad (۲)$$

که μ یک ثابت مجهول است. روش کریجینگ معمولی برای تولید نقشه‌های پیش بینی، چارکی، احتمالی و خطای استاندارد استفاده می‌شود.

همان طور که اشاره شد در کریجینگ معمولی، فرض می‌شود که داده‌ها تحقق و فهم یک فرایند خود همبستهٔ مکانی به علاوهٔ خطاهای تصادفی مستقل هستند:

$$Z_t(s)= \mu(s)+ \varepsilon_t(S) \qquad (۳)$$

اما حالا خطاهای تصادفی را تجزیه می‌کنیم،

$$\varepsilon_t(s)= Y(s)+ \eta(s)+ \delta_t(s) \qquad (۴)$$

که $Z_t(s)$، t- امین تحقق در موقعیت s_i است، و اجازه داریم n_i را به عنوان تعداد اندازه‌گیری‌ها در موقعیت s_i در نظر بگیریم. اغلب اوقات $n_i=1$ و اگر $n_i>1$ در این صورت در آن مدل، خطای اندازه‌گیری شکل می‌گیرد. مفروضات زیر ایجاد می‌شوند:

- $\mu(s)= \mu$ یک مجهول است، و مقدار میانگین جبری.
- $Y(s)$ یک فرآیند ایستای مرتبهٔ دوم هموار است که دامنهٔ خود همبستگی وابسته به آن، قابل کشف با یک سمی واریوگرام یا کوواریانس تجربی است.
- $E(Y(s))= 0$
- $Cov(Y(s), Y(s+h))= C_y(h)$ و اثر قطعه‌ای اضافی در فرآیند $Y(s)$ وجود ندارد.
- $\eta(s)$ یک فرآیند ایستای مرتبهٔ دوم هموار است که دامنهٔ واریوگرام وابسته به آن به قدری نزدیک به ۰ است که آن کوچکتر از هر فاصلهٔ کاربردی بین داده‌ها و موقعیت‌های پیش بینی است.
- $E(\eta(s))= 0$
- $Cov(\eta(s), \eta(s+h))= C_\eta(h)$ با $C_\eta(Y)= 0$
- $\delta_t(s)$ یک فرآیند white-noise ترکیب شده با خطاهای اندازه‌گیری شده‌اند.
- $E(\delta(s))= 0$ برای همهٔ s و tها.
- $Cov(\delta_t(s), \delta_u(s+h))= s^2$ اگر $h=0$ و $t=u$، و گرنه آن ۰ است.
- $Y(\bullet)$، $\eta(\bullet)$ و $\delta(\bullet)$ از همدیگر مستقل‌اند.

یکی از ابزارهای اعتبار سنجی مدل، cross-validation است. روش cross-validation از همهٔ داده‌ها برای تخمین مدل خود همبستگی استفاده می‌کند. در این روش تحلیلگر زمین آماری هر موقعیت دارای داده‌ای را، یک به یک، در نظر نگرفته و مقدار داده را برای آن نقطه پیش بینی می‌کند؛ این دستورالعمل برای نقطه دوم تکرار می‌شود، و همین طور ادامه می‌یابد. برای همه نقاط اندازه‌گیری شده، cross-validation محاسبه شده و مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده مقایسه می‌شود. بعد از کامل نمودن cross-validation برای برخی موقعیت‌های دارای داده که ممکن است مقدار غیر معمولی اختصاص داده شده باشد، به مدل خود همبستگی بااصلاح و برازش دوباره نیازمندیم.

۴- بحث و نتایج

در جریان کار با مدل ریاضی، اغلب با انبوهی از اطلاعات و کمیت‌های عددی مواجه هستیم و تنها در موارد معدودی استفاده مستقیم از این اعداد مفید می‌باشد. به عبارت دیگر مشاهده منحنی‌های تغییرات پارامترها، غالباً احساس واضح و جامع‌تری را از رفتار و یا اثر آنها در پدیده بدست می‌دهد. بنابراین استفاده از روش‌های گرافیکی برای به تصویر کشیدن چگونگی رفتار و تغییرات پدیده‌ها روش مناسب‌تری می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود، تحلیلگر زمین آماری قابلیت نمایش روش‌های گرافیکی تغییرات پارامترهای فیزیکی دریا با دقت بالا را دارد. پس از طی مراحل ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها ،برای تحلیل پایگاه دادهٔ حاوی اطلاعات مکانی از تحلیلگر زمین آماری کمک گرفته شد. چنانچه اشاره شد این پایگاه داده در عمق‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ایجاد شده است. در اینجا به خاطر محدودیت در تعداد صفحات مقاله ما تنها به تحلیل پارامترهای فیزیکی در سطح دریای خزر پرداخته‌ایم. نگاره‌های ۱، ۲، و ۳ به ترتیب نقشه‌های پیوسته‌ای از پارامترهای فیزیکی دما، شوری و چگالی در سطح خزر جنوبی را نمایش می‌دهند. جهت اعتبار یابی برای مدلسازی ایجاد شده، از روش cross-validation استفاده شد و برای مدل ایجاد شده نتایج بسیار خوبی

حاصل شد. با توجه به نقشه‌های توزیع دما، در خزر جنوبی دما از خرز میانی به خزر جنوبی در حال افزایش است. در طبقات بالایی خزر جنوبی این دما به ۱۲ الی ۱۳ درجهٔ سانتی گراد در زمستان می‌رسد که در نگاره ۱ این کاملاً مشهود است و در امتداد ساحل غربی دریا دما در حدود ۱ تا ۱/۵ درجهٔ سانتی گراد کمتر از ساحل شرقی است. دما در خزر جنوبی در فصل تابستان به طور متوسط ۲۳ درجهٔ سانتی گراد می‌باشد.

نگاره ۳: مدلسازی مکانی شوری سطحی دریای خزر

به طور کلی بخش مرکزی دریای خزر دارای دمای بیشتری نسبت به بخش شمالی و بخش جنوبی دارای دمای بیشتری نسبت به بخش مرکزی است. دما آب در بخش غربی خزر جنوبی با توجه به نقشه‌های ایجاد شده در حدود ۲ تا ۴ درجهٔ سانتی گراد بالاتر از بخش میانی می‌باشد. با توجه به اینکه در فصل زمستان درجه حرارت آب دریای خزر تحت تأثیر شرایط آب و هوای نیمکرهٔ شمالی و یخبندان سیبری است، کاهش چشمگیری تا اواخر اسفند ماه را می‌توان داشت. اختلاف فشار بین هوای مناطق شمال و جنوب این دریا اختلاط لایه‌های مختلف آب دریای خزر را موجب می‌گردد و به همین دلیل تعادل حرارتی از سطح تا عمق ۲۰ متری در حدود ۲ تا ۲/۵ درجه سانتی گراد در سواحل غربی می‌باشد و تا عمق ۵۰ متری همان طور که در نقشه‌ها مشخص است به ۴ درجهٔ سانتی گراد می‌رسد. میزان شوری آب دریای خزر نیز بستگی به عوامل مختلفی از جمله رودخانه‌ها، آبرفت‌ها و املاح نمکی که توسط باد و رودها از مناطق شور خشکی آورده می‌شود، دارد. مقدار متوسط نمک آب دریای خزر بین ۱۲ تا ۱۲/۸ جزء در هزار می‌باشد که نوسان آن همان طور که در نگاره ۲ مشخص است بین ۳ جزء در هزار بین خزر جنوبی و میانی است. در خزر جنوبی شوری در حدود ۱۱/۷ تا ۱۲/۳۴ جزء درهزار در سطح دریا می‌باشد. تغییرات شوری دریای خزر در اعماق مختلف با توجه به چگونگی انتشار توزیع مقدار املاح دراعماق مختلف دریا معمولاً یکنواخت است، و گاهی تغییرات جزئی در نقاط عمیق ممکن است مشاهده شود. اغلب ممکن است با افزایش عمق، املاح نیز افزایش یابد و نیز دیده می‌شود گاهی میزان شوری در لایهٔ سطحی آب همان طور که نگاره‌ها نشان می‌دهند، بیش از طبقات عمیق‌تر باشد. همان طور که در نگاره ۲ دیده می‌شود شوری دریای خزر در سواحل غربی بیشتر از سواحل شرقی می‌باشد و تغییرات شوری با عمق بیشتر در سواحل شرقی دریای خزر دیده می‌شود و علت آن نیز ورود شارش‌های آب شیرین به این نواحی است. با توجه به نقشه‌های مختلف در خزر جنوبی به این نتیجه می‌رسیم که تغییرات دما در بخش هایی از آن بیشتر از تغییرات چگالی است. بنابراین توزیع چگالی در سطح و عمق آب عمدتاً وابسته به دمای آب است و میزان دانسیته در خزر جنوبی کمتر از خزر میانی است. میزان سیگما – t در خزر جنوبی در حدود ۵/۷ تا ۶/۶ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

منابع

۱ – اکتانی، ر.، ۱۳۷۸، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دریای خزر (دما، شوری و چگالی)، مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر.

۲ – تی تی دژا، ا.، ۱۳۸۴ خودآموز ArcGIS 9.x و مفاهیم پایه‌ای GIS، انتشارات دانشگاه شمال و مؤسسهٔ علم عمران.

۳ – حسنی پاک، ع.، ۱۳۷۷ زمین آمار (ژئو استاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران.

۴ – ملک، ج.، ۱۳۸۳، مسائل دریای خزر (برگزیدهٔ مقالات علمی مجلهٔ وستینیک کاسپیا، چاپ مسکو)، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، جلد اول.

۵ – ملک، ج.، ۱۳۸۳، مسائل دریای خزر (برگزیدهٔ مقالات علمی مجلهٔ وستینیک کاسپیا، چاپ مسکو)، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، جلد دوم.

۶ – رسولی، ع.، ۱۳۸۴، تحلیلی بر فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، انتشارات دانشگاه تبریز.

7- Kevin Johnston, J.M,.Ver Hoef, K.K., and Neil, L., 2003, ArcGIS 9.X using ArcGIS Geostatistical Analyst, ESRI Press.

8- Stewart, R.H., 2004, Introduction to Physical Oceanography, Dapartment of Oceanography Texas A & M University.

پی نوشت

1- Deterministic

2- Geostatistical

3- Ordinary Kriging

4- Kriging