اقیانوس‌شناسی/ سال سوم/ شماره ۹/ بهار ۱۳۹۱/۹/۷۷-۶۹

تحلیل فضایی و میدانی کمیت‌های فیزیکی آب خلیج چابهار در مونسون زمستانه سال ۱۳۸۶ـ ۱۳۸۵

فرشته کمیجانی[1]*، وحید چگینی[2]

۱ـ دانشجوی مقطع دکتری، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: fereshtehkomijani@gmail.com

۲ـ استادیار، موسسه ملی اقیانوس‌شناسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: v_chegini@inio.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۷ * نویسنده مسوول تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۵

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۱، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

در آمار فضایی پیشگویی مقدار نامعلوم یک میدان تصادفی در موقعیت مشخص بر اساس مشاهدات، به‌عنوان بهترین پیشگوی خطی صورت می‌پذیرد. گاهی در بعضی مسایل کاربردی در هر موقعیت فضایی علاوه بر متغیر مورد بررسی، متغیرهای کمکی دیگری نیز در اختیار است که به‌کارگیری آنها می‌تواند دقت پیشگویی را بهبود بخشد. در این تحقیق، برخی از پارامترهای فیزیکی آب خلیج چابهار، از جمله دما، شوری و چگالی با استفاده از نیمرخ برداری توسط CTD در لایه‌های مختلف آب، مورد نمونه‌برداری قرار گرفته است. هدف اصلی این مطالعه، شناخت و آگاهی یافتن از نحوه توزیع چگالی آب تحت تأثیر سایر پارامترهای فیزیکی آب، ارائه‌ی کاربرد روش‌های نوین آمار مانند پیش‌بینی فضایی کریگیدن (Kriging)، هم‌کریگیدن (Co-Kriging) و عکس فاصله‌ی موزون (Inverse-Distance Weighted) در اقیانوس‌شناسی، پیش‌بینی میزان پارامترهای فوق برای کل منطقه و پهنه‌بندی چگالی خلیج بوده است. همچنین این روش‌ها از لحاظ دقت پیش‌بینی مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل اعتبارسنجی پارامتر چگالی، حاکی از آن است که پیش‌بینی حاصل از هم‌کریگیدن بهتر از کریگیدن و روش کریگیدن بهتر از عکس فاصله‌ی موزون است و این روش در مطالعه‌ی پدیده‌های محیطی مناسب است. همچنین با توجه به نتایج پهنه‌بندی فضایی برای پارامتر چگالی آب، با دقت بالا می‌توان گفت که در فصل‌های مونسون زمستانه سال ۱۳۸۶ـ ۱۳۸۵، به‌طور میانگین چگالی آب خلیج چابهار با پیشروی به‌سمت ساحل کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: *خلیج چابهار، پیش‌بینی فضایی، تحلیل فضایی، کریگیدن، هم‌کریگیدن، عکس فاصله‌ی موزون*

۱. مقدمه

خلیج چابهار با طول جغرافیایی بین "۱۵′۲۵°۶۰- "۴۵′۳۲°۶۰ و عرض جغرافیایی "۱۵′۱۷°۲۵- "۸۰′۲۶°۲۵ در جنوب شرقی سواحل استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. وسعت این خلیج برابر با ۳۲۰ کیلومتر مربع، عمق متوسط آن ۶ متر و عمق بیشینه در دهانه‌ی ورودی آن ۲۲ متر است. قطر این خلیج ۲۱ کیلومتر و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰ متر است (نیکویان، ۱۳۷۶;

Archive of SID

www.SID.ir

داداش‌پور، ۱۳۸۶). در بحث‌های اقلیمی، به‌منظور پیش‌بینی پارامترها، انواع روش‌های زمین‌آماری مانند کریگیدن، هم‌کریگیدن، عکس فاصله‌ی موزون و غیره ارائه شده‌اند. روش معمول پیش‌بینی فضایی در اقلیم شناسی برای مدت نیم قرن روش چند ضلعی‌های تایسن[1] بود، تا اینکه ماترون در اواسط سال ۱۹۶۰ مبانی زمین آمار را بنا نهاد و زمین آمار به‌سرعت در پیش‌بینی متغیرهای محیطی، توسعه پیدا کرد (Matheron, 1963). روش‌های زمین‌آمار به‌دلیل استفاده از همبستگی فضایی بین داده‌ها که عموماً توسط تابع تغییرنگار مدل بندی می‌شود از دقت بالایی نسبت به سایر روش‌ها به ویژه روش تایسن برخوردار است (Stone, 1974; Geiser, 1975). به‌منظور پیشگویی داده‌هایی که دارای روند هستند، معمولاً از روش کریگیدن معمولی استفاده می‌شود که به‌دلیل محاسبه‌ی واریانس پیش‌بینی در هر نقطه، یکی از روش‌های منحصر به فرد است. وقتی متغیرهای کمکی دیگری غیر از متغیر اصلی و موقعیت مشاهدات در اختیار باشد، به نظر می‌رسد استفاده از آنها در فرایند پیشگویی، افزایش دقت پیشگوها را به‌دنبال داشته باشد. کرسی مدل‌های رگرسیونی با خطاهای همبسته فضایی را برای مدل بندی ارتباط متغیر پاسخ و متغیر کمکی مطرح نمود. رایسل و چنگ نیز براورد ماکسیمم درستنمایی مقید را برای مدل‌های رگرسیونی با خطاهای خودهمبسته فضایی مرتبه‌ی اول ارایه کردند و کریمی و محمدزاده نیز براورد بیزی پارامترهای این‌گونه مدل‌ها را به‌دست آوردند.

هدف این مقاله تهیه‌ی نقشه‌ی سطح تراز چگالی (زیگماتی) برای کل خلیج است که از سه روش کریگیدن (نوعی درون‌یابی آماری)، هم‌کریگیدن (نوعی درون‌یابی آماری متغیر وابسته به کمک برخی متغیرهای مستقل) و عکس فاصله‌ی موزون استفاده شده است. همچنین کاربرد روش‌های آماری در تحلیل پارامترهای دریایی، مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۲ـ۱. داده‌های میدانی

نمونه‌برداری توسط دستگاه CTD از نوع Ocean Seven 316 مجهز به حسگرهای دقیقی است که به کمک آن می‌توان پارامترهایی از قبیل: فشار (dbar)، درجه حرارت (°C)، هدایت الکتریکی (mS/cm)، اکسیژن محلول (ppm)، کلروفیل a (mg/m^3) و کدورت (gtu، Ftu یا Ntu) را در هر عمقی مستقیماً اندازه‌گیری و با استفاده از مقادیر ثبت شده، کمیت‌های دیگر نظیر: عمق متناسب با فشار (m)، شوری (ppt یا psu)، چگالی (Kg/m^3) و سرعت صوت را محاسبه کرد.

داده‌های CTD شامل دما، شوری، چگالی و عمق آب در ۲۴ ایستگاه و در طول ۹ برش، ۴ برش T1 تا T4 عمود بر ساحل و ۵ برش B1 تا B5 موازی ساحل، شکل ۱ جمع‌آوری شدند. برش طولی B5 در آبهای آزاد دریای عمان قرار داشت. فاصله‌ی ایستگاه‌ها در تمام برش‌ها (بجز ایستگاه‌ها ۲۱ و ۲۲) ۳/۶ km بوده است. نمونه‌برداری از زمستان ۱۳۸۵ تا بهار ۱۳۸۶ در اواسط هر ماه، طی یک روز صورت می‌گرفت. داده‌های میدانی در هر ایستگاه از سطح تا بستر با گام زمانی ۱ ثانیه برداشت می‌شدند.

شکل ۱ـ موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ترانسکت: T و بلوک: B

۲ـ۲. روش‌های آماری

۲ـ۲ـ۱. رگرسیون خطی تعمیم یافته

به‌منظور حصول اطمینان از رسیدن به بهترین الگو و دسترسی به بالاترین دقت، از تحلیل رگرسیون چند متغیره با سطح اطمینان ۹۹٪ استفاده گردید. نتایج حاصل به‌صورت رابطه‌ی خطی وابسته به زمان (ماه) و مکان (محل ایستگاه) و همچنین رابطه‌ی خطی مستقل از مکان و وابسته به زمان برای پارامترهای عمق، درجه حرارت، شوری و چگالی تهیه گردید (جدول ۱).

[1] Thissen Polygon

www.SID.ir

جدول ۱ـ نتایج رگرسیون خطی تعمیم یافته در ۶ ماه نمونه‌برداری

ماه	R2	ضریب همبستگی استاندارد شوری	ضریب همبستگی استاندارد دما	ضریب همبستگی استاندارد عمق	معادله
دی	۰/۹۹۸	Sig=۰/۰۰۰۰/۲۷۸	Sig=۰/۰۰۰-۰/۷۳۱	Sig=۰/۰۰۰۰/۰۹۸	$\delta_T = 5.930 + .004d + (-.290)T + .708S$
بهمن	۰/۹۹۹	Sig=۰/۰۰۰۰/۴۰۵	Sig=۰/۰۰۰-۰/۶۵۰	Sig=۰/۰۰۰۰/۱۵۲	$\delta_T = 4.624 + .004d + (-.295)T + .746S$
اسفند	۰/۹۹۷	Sig=۰/۰۰۰۰/۸۰۰	Sig=۰/۰۰۰-۰/۹۲۵	Sig=۰/۰۰۰۰/۲۰۳	$\delta_T = 4.310 + .004d + (-.303)T + .760S$
فروردین	۰/۹۹۹	Sig=۰/۰۰۰۰/۵۸۸	Sig=۰/۰۰۰-۱/۳۲۰	Sig=۰/۰۰۰۰/۱۰۰	$\delta_T = 4.812 + .004d + (-.309)T + .751S$
اردیبهشت	۰/۹۹۹	Sig=۰/۰۰۰۰/۳۰۰	Sig=۰/۰۰۰-۱/۲۳۹	Sig=۰/۰۰۰۰/۰۳۱	$\delta_T = 7.980 + .004d + (-.317)T + .670S$
خرداد	۰/۹۹۹	Sig=۰/۰۰۰۰/۴۳۳	Sig=۰/۰۰۰-۰/۶۱۹	Sig=۰/۰۰۰۰/۰۲۴	$\delta_T = 4.210 + .004d + (-.329)T + .781S$

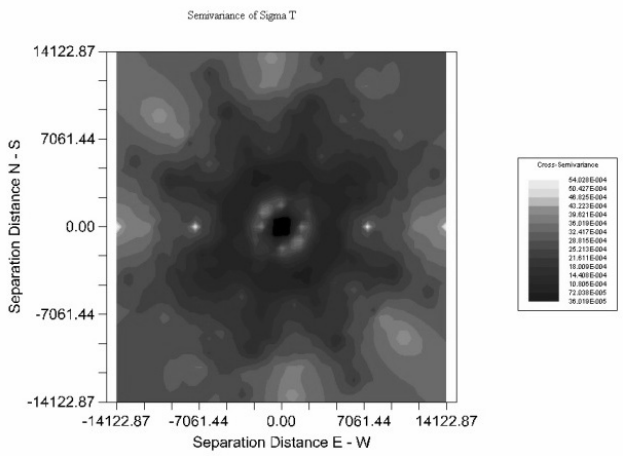
δ_T: زیگماتی (کیلوگرم بر متر مکعب)، d: عمق (متر)، T: درجه حرارت (درجه‌ی سانتیگراد) و S: شوری (قسمت در هزار). در تمام روابط Sig=۰/۰۰۰ بدست آمد که نشان از دقت بالای محاسبات دارد.

۲ـ۲ـ۲. تحلیل و پهنه‌بندی فضایی

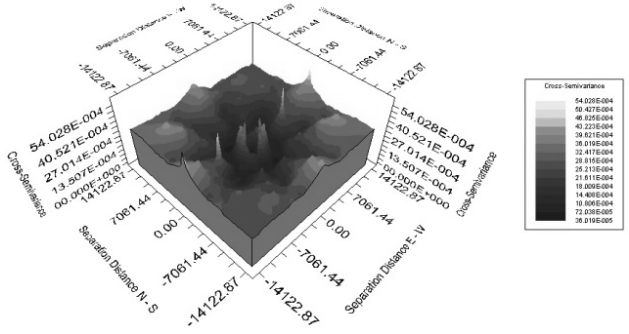
داده‌های فضایی، مشاهداتی هستند که وابستگی آنها ناشی از موقعیت آنان است که این وابستگی نوعاً تابعی از فاصله‌ی قرار گرفتن مشاهدات از یکدیگر در فضای مورد مطالعه است. بررسی پهنه بندی ویژگی فیزیکی آب خلیج چابهار (چگالی آب) بر اساس سه روش‌های هم‌کریگیدن، کریگیدن و عکس فاصله موزون با کمک نرم افزار +GS انجام گرفته شده است که نتایج گرافیکی آن در خلیج چابهار با استفاده از درونیابی انجام شده توسط نرم افزار ArcGIS9.1 رسم شده است. در این تحقیق، نقاط نمونه‌برداری در موقعیت‌های نقطه‌ای نامنظم قرار دارند و مشاهدات فضایی از گروه مشاهدات آماری[1] پیوسته هستند.

۲ـ۲ـ۳. تحلیل اکتشافی داده‌ها

در تحلیل داده‌های فضایی، مفروضات بنیادی مانند نرمال بودن، مانایی در میانگین، همسانگردی[2] و همچنین وجود داده‌های پرت، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این قسمت به بررسی این مفروضات می‌پردازیم. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون‌های غیر پارامتریک یک طرفه Kolmogrov-Smirnov، ملاحظه شد که پارامترهای ثبت شده دارای توزیع نرمال هستند با توجه به توزیع یکنواخت ایستگاه‌ها (شکل ۱)، داده‌ی پرتی مشاهده نشده است. همچنین در این بررسی روند خاصی در مشاهدات دیده نمی‌شود، پس می‌توان مانایی در میانگین را پذیرفت. به‌منظور بررسی همسانگردی از روش تغییرنگار استفاده شد. با توجه به شکل‌های ۲ و ۳، چون روش تغییرنگار در تمام جهات تقریباً یکسان دیده می‌شود، در نتیجه همسانگردی برقرار است. در این حالت با یک مدل تغییرنگار همسانگرد در تمام جهات می‌توان کریگیدن و هم‌کریگیدن را انجام داد.



شکل ۲ـ روش دو بعدی تغییر نگار Sigma T (چگالی)



شکل ۳ـ روش سه بعدی تغییر نگار Sigma T

[1] Geostatistical Data

[2] Isotropic همسانگردی بدین معنی است که ساختار همبستگی که با تغییر نگار بیان می‌شود در تمام جهات یکسان است.

www.SID.ir

۲ـ۲ـ۴. مدل‌بندی آماری

به‌طور معمول یک میدان تصادفی که مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی مانند $\{Z(t), t \in D\}$ است[1]، به‌عنوان مدل آماری برای داده‌های فضایی در نظر گرفته می‌شود. اجزای اصلی داده‌های فضایی، موقعیت‌های فضایی مانند tn و ... و t1 هستند. اگر Z(0) متغیر مورد بررسی باشد، Z(tn) و ... و Z(t1) داده‌های مشاهده شده در آن مکان‌ها هستند. میانگین و تغیرنگار برای این میدان به صورت:

$$E(Z(t)) = \mu(t), t \in D \text{ و } 2\gamma(t_1, t_2) = Var(Z(t_1) - Z(t_2)) \quad (۲)$$

و برای دو متغیر Zi و Zj تغییرنگار متقابل به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$2\gamma_{ij}(t_1, t_2) = E\left[(Z_i(t_1) - Z_i(t_1))(Z_j(t_1) - Z_J(t_2))\right] \quad (۳)$$

هر میدان تصادفی $Z(t)$ را می‌توان به‌صورت زیر تجزیه کرد:

$$Z(t) = \mu(t) + \delta(t), t \in D \quad (۴)$$

که در آن $\mu(0)$ روند و $\delta(0)$ خطای تصادفی میدان است.

تغییرنگار و تغییرنگار متقابل تجربی[2] برای متغیرهای مورد بررسی، یعنی چگالی (Sigma T) و دمای آب (Temp) با استفاده از نرم افزار +GS به‌صورت نمودارهای ۱، ۲ و ۳ محاسبه شده‌اند. فرمول مدل‌های تغییرنگار و تغییرنگار متقابل فوق به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

(۵)

$$\gamma_{SigmaT} = \begin{cases} .186 + .187\left[1.5\left(\frac{h}{41100}\right) - .5\left(\frac{h}{41100}\right)^3\right], h < 41100 \\ .373, h > 41100 \end{cases}$$

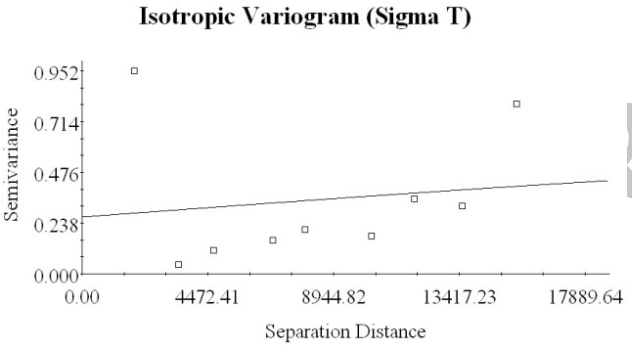
(۶)

$$\gamma_{Temp} = \begin{cases} 1.661 + 2.035\left[1.5\left(\frac{h}{41100}\right) - .5\left(\frac{h}{41100}\right)^3\right], h < 41100 \\ 3.696, h > 41100 \end{cases}$$

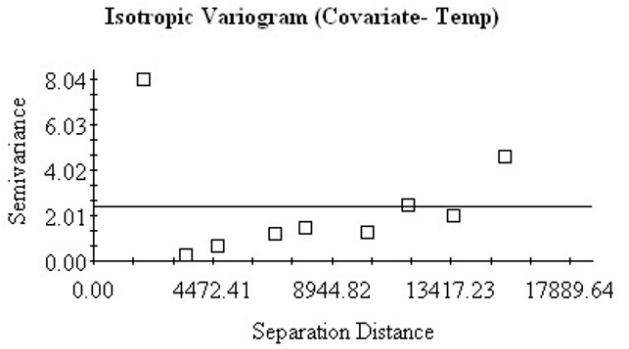
(۷)

$$\gamma_{SigmaT,Temp} = \begin{cases} -.560 - .561\left[1.5\left(\frac{h}{41100}\right) - .5\left(\frac{h}{41100}\right)^3\right], h < 41100 \\ -1.121, h > 41100 \end{cases}$$

با توجه به مقدار کم اعتبار سنجی متقابل (RSS)[3] بین مدل‌های مختلف نظری، مدل کروی برای تغییرنگارهای Sigma T و Temp و برای تغییرنگار متقابلSigma T و Temp انتخاب شدند.



نمودار ۱ـ تغییر نگار کروی Sigma T



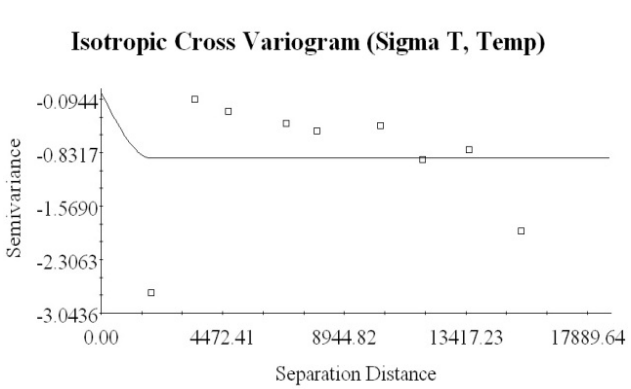
نمودار ۲ـ تغییر نگار کروی Temp

[1] D یک زیر مجموعه از فضای اقلیدسی R^d بعدی $d \geq 1$ است

[2] Cross-Variogram

[3] Residue Square Sum

www.SID.ir



نمودار ۳ـ تغییر نگار متقابل کروی برای متغیرهای Sigma T و Temp

۲ـ۲ـ۵. ارزیابی اعتبار مدل‌ها

معمولاً از ابزار اعتبارسنجی متقابل[1] برای بررسی خوبی برآورد مشخصه‌ها، پیش‌بینی و انتخاب مدل مناسب داده‌ها استفاده می‌شود. ایده‌ی اصلی، خذف داده و استفاده از دیگر داده‌ها برای پیش‌بینی داده های حذف شده است. سپس خطای پیش‌بینی را می‌توان از اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر اصلی بررسی و مدل‌های آماری مورد نظر را به‌وسیله‌ی این خطا ارزیابی کرد. در صورتی که پیش‌بینی کننده خوب عمل کند، تفاوت بین این دو مقدار باید ناچیز باشد (Stone, 1974; Geiser, 1975).

در تحقیق فوق از این ابزار برای مقایسه‌ی سه روش پیش‌بینی کننده‌ی کریگیدن، هم‌کریگیدن و عکس فاصله‌ی موزون و همچنین گزینش مدل‌های مختلف تغییرنگار و تغییرنگار متقابل استفاده شده است. اگر خط رگرسیون بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده به‌خوبی برازش یابد و ضریب زاویه‌ی خط تقریباً برابر ۱ باشد، می‌توان نتیجه گرفت که روش پیش‌بینی کننده به‌درستی عمل می‌کند. از دو مقدار کمی ضریب تعیین $R2$[2] و خطای استاندارد پیش‌بینی SEP[3]، نیز می‌توان استفاده کرد. حال، سه روش پیش‌بینی کننده‌ی کریگیدن، هم‌کریگیدن و عکس فاصله‌ی موزون توضیح داده می‌شود.

۲ـ۲ـ۵ـ۱. کریگیدن معمولی (Kriging)

کریگیدن برای پیش‌بینی متغیر، از داده‌های نقاط همسایه‌ی مکان مورد نظر استفاده می‌کند. در این روش پیش‌بینی مقدار متغیر $Z(0)$ در نقطه‌ی t0 با استفاده از n مشاهده‌ی همسایه توسط ترکیب خطی زیر با وزن‌های wi انجام می‌شود (Cressie, 1993; Wackernagel, 1998)

$$\hat{P}(Z;t_0)=\hat{Z}(t_0)=\sum_{i=1}^{n} w_i Z(t_i) \qquad (۸)$$

کریگیدن معمولی روی مدل (۴) با فرض $\mu(t)=\mu$ صورت می‌گیرد، که در آن μ مقدار ثابت و نامعلوم است. فرض می‌کنیم داده‌ها بخشی از مشاهدات یک تابع تصادفی با تغییرنگار $\gamma(h)$ باشد.

با رعایت قید $\sum_{i=1}^{n} w_i = 0$ دستگاه کریگیدن معمولی به‌صورت $\Gamma_0 w_0 = \lambda_0$ که در آن $\gamma_0 = (\gamma(t_0-t_1),...,\gamma(t_0-t_n),1)^T$، $w_0 = (w_1,...,w_n,m)^T$، m ضریب لاگرانژ و Γ_0 که ماتریس متقارن $(n+1)\times(n+1)$ است، به‌دست می‌آید:

$$\Gamma_0 = \begin{bmatrix} \gamma(t_0-t_0) & \dots & \gamma(t_1-t_n) & 1 \\ \gamma(t_2-t_1) & \dots & \gamma(t_2-t_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(t_n-t_1) & \dots & \gamma(t_n-t_n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

۲ـ۲ـ۵ـ۲. هم‌کریگیدن معمولی (Co-Kriging)

پیش‌بینی‌کننده‌ی هم‌کریگیدن معمولی ترکیب خطی از وزن‌های w_{ji} همراه با داده‌هایی از متغیرهای مختلف نقاط نمونه‌برداری است که در همسایگی t_0 قرار دارند. هر متغیر بر اساس مجموعه‌ای از نمونه‌هایی با حجم n_i به‌صورت پیش‌بینی‌کننده‌ی

$$\hat{Z}_1(t_0)=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{n_i} w_{ji} Z_i(t_j)$$

---

[1] Cross-Validation

[2] توان دوم ضریب همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده

[3] $SEP = SD \times \sqrt{1-R^2}$

SD = StandardDiviation

Archive of SID
www.SID.ir

تعریف می‌شود. در اینجا هم‌کریگیدن برای چگالی (زیگماتی) شرح داده می‌شود و با توجه به نتایج رگرسیون، پارامتر کمکی، دمای آب درنظر گرفته می‌شود. دستگاه معادلات هم‌کریگیدن به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

(۹)

$$\sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{n_k} w_{lk}\gamma_{ik}\left(t_j - t_l\right) + m_i = \gamma_{i1}\left(t_j - t_0\right), i = 1,...,N, J = 1,...,n_i$$

$$\sum_{l=1}^{n_i} w_{li} = \delta_{il}, i = 1,...,N$$

۲ـ۲ـ۵ـ۳. عکس فاصله موزون (*Inverse Distance Weighted*)

این روش ساده‌ترین پیش‌بینی‌کننده در داده‌های فضایی است و فرمول‌بندی ساده‌ای دارد. این مدل برای پیش‌بینی $Z(0)$ در نقطه‌ی $t0$ به داده‌هایی که فاصله‌ی کمی با $t0$ دارند وزن زیاد و داده‌هایی که فاصله زیاد دارند وزن کم می‌دهد. روش عکس فاصله‌ی موزون، مقدار $Z(0)$ را در نقطه‌ی $t0$ به‌صورت

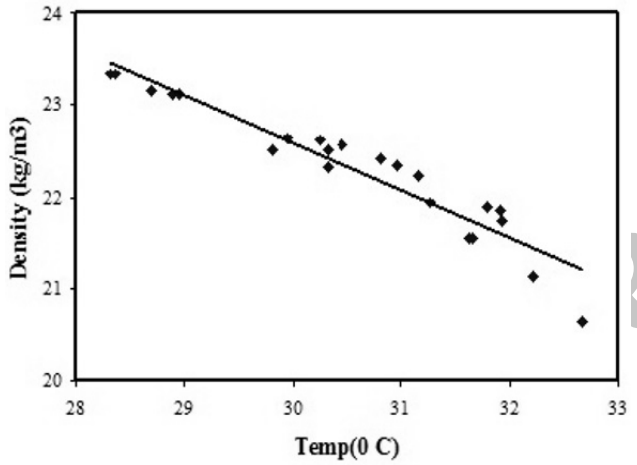
$$\hat{Z}\left(t_0\right) = \frac{\sum_i \left(\frac{Z\left(t_i\right)}{\left(h_{i0} - s\right)^P} \right)}{\sum_i \left(\frac{1}{\left(h_{i0} - s\right)^P} \right)}, i = 1,...,n$$

پیش‌بینی می‌کند. که در آن $hi0$ فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی $t0$ و ti، S ضریب همواری و P توان وزن است. در تحقیق حاضر، با بررسی اعتبار سنجی متقابل $S=0$ و $P=2$ اختیار شده‌اند.

۳. بحث و نتیجه‌گیری

۳ـ۱. تحلیل آماری

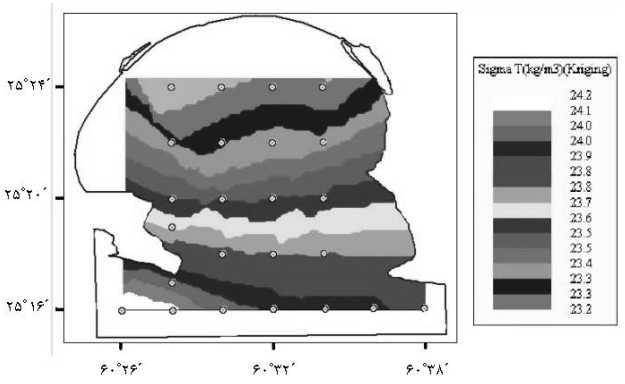
چگالی آب دریا تابعی از درجه حرارت و شوری آب است. به‌منظور تعیین پهنه بندی چگالی خلیج و تعیین پارامتری که بیشترین تأثیر را روی توزیع چگالی دارد از آزمون رگرسیون چند متغیره با سطح اطمینان ۹۹٪ استفاده گردید. نتایج حاصل به‌صورت یک رابطه‌ی خطی مستقل از مکان (در اینجا: محل ایستگاه) و وابسته به زمان (ماه) تهیه شد. این روابط بر اساس داده‌های ایستگاه‌های ۲۴ گانه ازسطح تا عمق مشخص شده است. در این روابط عمق، درجه حرارت و شوری پارامتر مستقل و چگالی کمیت وابسته در نظر گرفته شده‌اند. در بررسی نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون وابسته به مکان و زمان در هر ایستگاه و تبدیل ضرایب غیر استاندارد به ضرایب (جدول ۱)، با مقایسه‌ی ضرایب همبستگی استاندارد به‌وضوح مشاهده می‌شود که روند تغییرات چگالی بیشتر متأثر از درجه حرارت است تا میزان شوری که در شکل ۴ نمودار خط رگرسیون بین چگالی و دمای آب (R^2= /۹۷۴) نشان داده شده است. در نتیجه در این تحقیق، درجه حرارت به‌عنوان پارامتر کمکی در تعیین پهنه بندی چگالی آب انتخاب شده است.



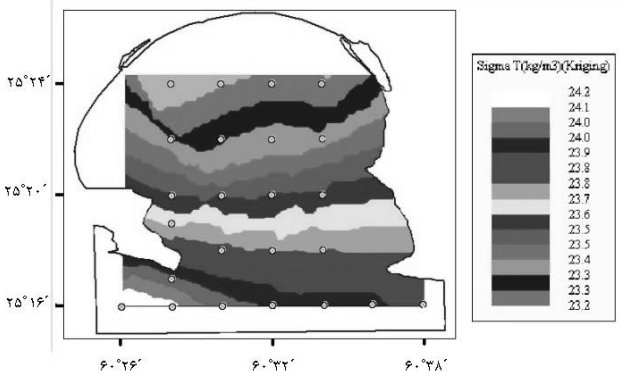
شکل ۴ـ خط رگرسیون بین دمای آب و چگالی آب حاصل از اندازه‌گیری

تعیین پهنه بندی چگالی آب خلیج چابهار، بر اساس آنچه در بخش ۲ توضیح داده شد صورت گرفته است. همان‌طور که گفته شد از بین مدل‌های مختلف نظری، مدل کروی برای تغییرنگارهای Sigma T و Temp و برای تغییرنگار متقابل Sigma T و Temp انتخاب شده است. در نتیجه‌ی این روش می‌توان به نقشه‌ای دست یافت که نمایانگر روند تغییرات چگالی آب در کل خلیج چابهار و برای کل دوره‌ها باشد. نتایج پهنه‌بندی فضایی برای پارامتر چگالی آب در روش‌های کریگیدن، هم کریگیدن و عکس فاصله موزون به‌ترتیب در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است، به‌طور کلی با دقت بالا می توان گفت که در فصل‌های زمستان و بهار به طور میانگین چگالی آب خلیج چابهار با پیشروی به سمت ساحل کاهش می‌یابد.

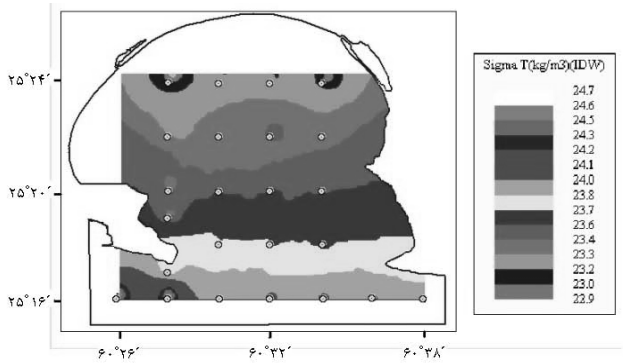
www.SID.ir



شکل ۵ ـ خطوط هم‌تراز زیگماتی در کل دوره‌ها به روش کریگیدن

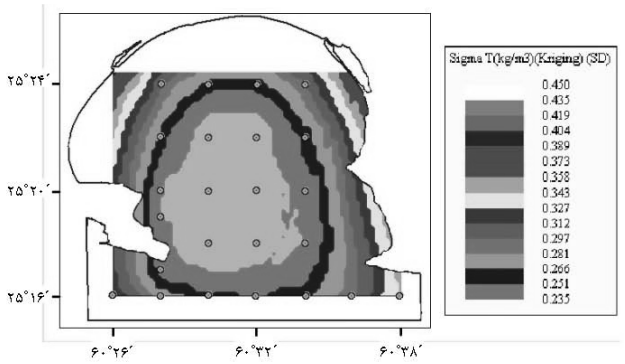


شکل ۶ـ خطوط هم‌تراز زیگماتی در کل دوره‌ها به روش هم‌کریگیدن



شکل ۷ ـ خطوط هم‌تراز زیگماتی در کل دوره‌ها به روش عکس فاصله‌ی موزون

به منظور تعیین اعتبار هر یک از مدل‌ها از نمودارهای انحراف معیار، خطای معیار پیش‌بینی و نمودار اعتبار سنجی استفاده شده است. با توجه به محاسبات، مقدار انحراف معیار در روش هم‌کریگیدن صفر به‌دست آمده است، شکل ۸ پهنه بندی انحراف معیار پیش‌بینی مقدار زیگماتی را برای کل خلیج، به روش کریگیدن نشان می‌دهد. شایان ذکر است که پهنه بندی انحراف معیار برای روش عکس فاصله‌ی موزون قابل محاسبه نیست.



شکل ۸ ـ خطوط هم‌تراز انحراف معیار کریگیدن

خطای معیار پیش‌بینی کریگیدن، کریگیدن با روند برونی و عکس فاصله‌ی موزون در ۶ ماه نمونه‌برداری برای چگالی آب خلیج محاسبه و در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲ـ خطای معیار روش‌های کریگیدن معمولی، کریگیدن با روند برونی و عکس فاصله‌ی موزون طی ۶ ماه

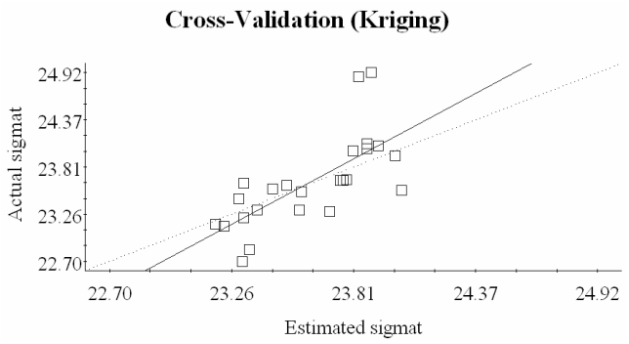
روش	دی ۱۳۸۵	بهمن ۱۳۸۵	اسفند ۱۳۸۵	فروردین ۱۳۸۶	اردیبهشت ۱۳۸۶	خرداد ۱۳۸۶
کرگیدن معمولی	۰/۳۷۶	۰/۳۵۵	۰/۳۴۸	۰/۲۵۱	۰/۳۱۰	۰/۱۹۹
کریگیدن با روند معمولی	۰/۳۱۰	۰/۲۱۲	۰/۲۵۶	۰/۱۵۶	۰/۲۴۶	۰/۱۷۶
عکس فاصله‌ی موزون	۰/۴۴۳	۰/۴۵۰	۰/۴۸۰	۰/۳۴۸	۰/۴۳۰	۰/۲۴۵

همان‌طور که ملاحظه می‌شود خطای معیار پیشگویی‌های انجام شده توسط کریگیدن فضایی با روند برونی در تمام ماه‌ها از خطای معیار کریگیدن معمولی و عکس فاصله‌ی موزون کوچکتر است. به‌عبارت دیگر لحاظ نمودن دمای آب، که یکی از عوامل مؤثر در تعیین چگالی آب به‌شمار می‌رود، تأثیر بسزایی در افزایش دقت پیشگویی کریگیدن با روند برونی در مقایسه با سایر روش‌ها دارد.

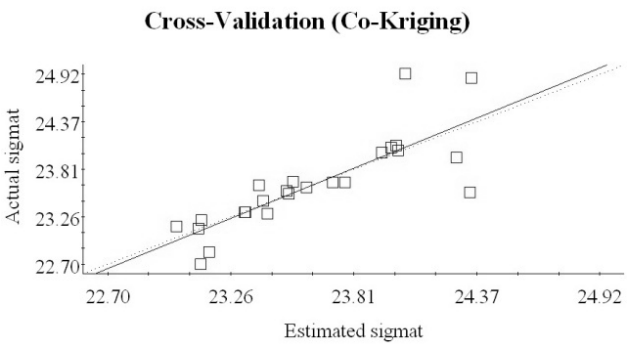
نمودارهای اعتبارسنجی که مقدار چگالی حاصل از شبیه‌سازی به‌وسیله‌ی هر یک از روش‌های آماری نسبت به مقدار واقعی حاصل از اندازه‌گیری را نشان می‌دهد، در نمودارهای ۴ تا ۶ قابل مشاهده است. در تفسیر نمودار اعتبارسنجی باید گفت که اگر ضریب زاویه‌ی خط رگرسیون تقریباً برابر ۱ باشد به این معنی است که برازش به خوبی انجام شده است و می‌توان نتیجه

www.SID.ir

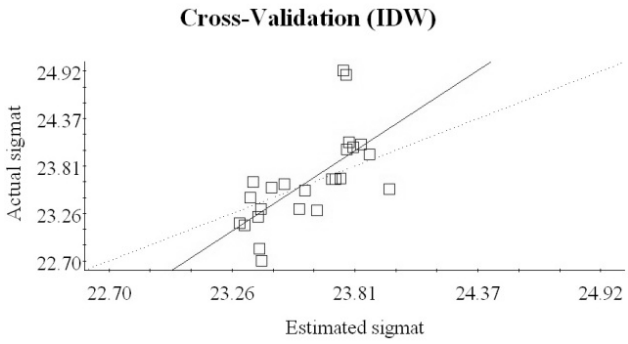
گرفت که روش پیش‌بینی کننده به‌درستی عمل می‌کند. در نمودار مربوط به هم‌کریگیدن (نمودار ۵)، خط رگرسیون از نیمساز ربع اول با ضریب زاویه یک گذشته است، ولی در نمودار ۴ مربوط به کریگیدن و نمودار ۶ مربوط به عکس فاصله‌ی موزون، خط رگرسیون با خط فرضی که دقیقاً از نیمساز ربع اول با شیب یک می‌گذرد (خط فرضی با نقطه چین مشخص شده است)، فاصله دارند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، برتری روش هم کریگیدن نسبت به کریگیدن و کریگیدن را نسبت به عکس فاصله‌ی موزون را در پیشگویی پارامترهای محیطی مشخص می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده، با توجه به اینکه در روش هم کریگیدن برای پهنه بندی فضایی کمیت مورد بررسی (در اینجا چگالی آب) از یک پارامتر کمکی و تأثیر گذار (در اینجا دمای آب) بر آن استفاده می کند، نتایج حاصل بسیار مناسب‌تر از سایر روش‌ها است. شایان ذکر است که با توجه به خط رگرسیون (نمودار ۷)، بین دو متغیر Sigma T (متغیر وابسته) و Temp (متغیر کمکی)، چون ارتباطی قوی بین این دو پارامتر وجود دارد (R^2= ۰/۹۷۴)، در عمل تفاوت زیادی در دقت هم‌کریگیدن و کریگیدن دیده می‌شود.



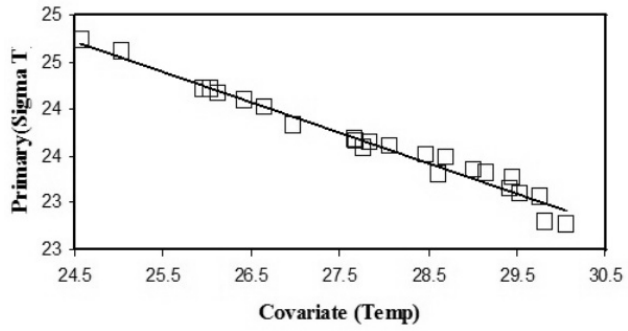
نمودار ۴ـ اعتبارسنجی متقابل به روش کریگیدن



نمودار ۵ـ اعتبارسنجی متقابل به روش هم‌کریگیدن



نمودار ۶ـ اعتبارسنجی متقابل به روش عکس فاصله‌ی موزون



نمودار ۷ـ خط رگرسیون بین Sigma T و Temp

۴. سپاسگزاری

تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده به‌وسیله‌ی تجهیزات میدانی ایستگاه پژوهشی چابهار موسسه ملی اقیانوس‌شناسی انجام شده است. لذا از مسوولین موسسه ملی اقیانوس‌شناسی، سرپرست محترم وقت ایستگاه پژوهشی چابهار (آقای مهندس سنجانی) و جناب آقای دکتر امیر کاوسی دولانقر تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

منابع

داداش‌پور، ج.، ۱۳۸۶. محاسبه و فرمولاسیون اثر ضریب دراگ سطح دریا روی حوضه‌ی خلیج چابهار و محاسبه‌ی بودجه گرمایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم و فنون دانشگاه آزاد اسلامی تهران. ۱۴۷ صفحه.

کریمی، الف.؛ محمدزاده.، م.، ۱۳۸۶. برآورد بیزی پارامترهای مدل رگرسیون با خطاهای خودهمبسته فضایی. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۳، شماره ۳، صفحات ۳۸-۳۳.

Archive of SID
www.SID.ir

نیکویان، ع.، ۱۳۷۶. بررسی تراکم، پراکنش، تنوع و تولید ثانویه بی‌مهرگان کفزی (ماکروبنتوزها) در خلیج چابهار. رساله دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی. ۱۹۵ صفحه.

Cressie, A.C., 1993. Statistics for Spatial Data. A Wiley-Interscience publication, USA. 887P.

Geiser, S., 1975. The Prediction Sample Reuse method with applications, Journal of the American Statistical Association, Vol. 70: 320-328.

Matheron, G., 1963. Principles of Geostatistics. Journal of Economic Geology, Vol. 58: 1246-1266.

Reinsel, G.C.; Cheang, W.K., 2003. Approximate ML and REML Estimation for Regression Models with Spatial or Time Series AR(1) Noise. Statistics and Probability Letters, Vol. 62(2): 123-135

Stone, M., 1974. Cross-Validity Choice and Assessment of Statistical Predictions. Journal of the Royal Statistical Society. Vol. 36: 111-133.

Wackernagel, H., 1998. Multivariate Geostatistics. Springer publication, Berlin. 292P.

Archive of SID

www.SID.ir