

فهرست مطالب

مقالات علمی

- پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه گدار خوش براساس شاخص NSFQI و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ۱
علی رضائی، مهدی احمدی‌مقدم و محمدرضا جعفری
- بررسی تاثیر پخش سیلاب بر تغییرات کمی پوشش گیاهی (مطالعه موردی منطقه برآباد-سبزوار) ۹
حسن برآبادی، غلامرضا زهتابیان، علی طویلی، ابوالقاسم دادرسی سبزوار و حسن خسروی
- الگوریتم محاسبه شاخص بادپناهی نقاط واقع در حوزه‌های آبریز برفگیر ۱۵
محمدرضا شریفی، سیامک فرخزاده، جهانگیر پرهمت، علی محمد آخوندعلی و عبدالنبی عبدکلاهیچی
- مقایسه روش‌های کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی احتمال در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در استان مازندران ۲۵
زهرا شیخ، عبدالحمیددهواری و فرهاد فرسادنیا
- استفاده از ویژگی‌های مغناطیسی برای بررسی نقش واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حسن ابدال زنجان) ۳۹
حجت اله صمدی‌ارقینی، سادات فیض‌نیا و علی اکبر نظری‌سامانی
- تحلیل شبکه اجتماعی ذینفعان محلی در برنامه عمل مدیریت مشارکتی منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه جاجرود در حوزه آبخیز لتیان-روستای دربندسر) ۴۷
فریبا ابراهیمی‌آذرخواران، مهدی قربانی، علی سلاجقه و محسن محسنی ساروی
- ارزیابی برخی روش‌های درون‌یابی در مطالعه مرفولوژی بستر رودخانه‌ها و کانال‌های آبی ۵۷
مریم رستمی، علی سلاجقه، مجتبی صانعی و محمد مهدوی

گزارش فنی

- ارائه رابطه تجربی برای تعیین تغییر مکان عرضی مصب رودخانه‌های استان گیلان ۶۷
محمدابراهیم بنی‌حبيب، مزدک اعرابی و آذر عربی

داوران این شماره

چکیده مقالات انگلیسی

Table of Contents

Abstracts

- **Water Qualitative Zoning of Goderkhosh River Based on NSFQI Index and Applying Geographic Information System (GIS)** 1
A. Ramezani, M. Ahmadimoghadam and M.R. Jaa'fari
- **Effect of Flood Spreading on Quantitative Changes of Vegetation Cover (Case Study: Borabad Region- Sabzevar)** 2
H.Barabadi, Gh.Zehtabian, A.Tavili, A. Darasi sabzevar and H. Khosravi
- **Calculation Algorithm for Wind Shelter Index in Snowy Catchments** 3
M. R. Sharifi, S. Farokhzadeh, J. Porhemat, A. M. Akhond Ali and A. A. kolahchi
- **Comparison Canonical Kriging and Linear Moments Methods for Regional Flood Frequency Analysis in Mazandaran Province** 4
Z. Sheikh, A. Dehvari and F. Farsadnia
- **Using Magnetic Properties to Investigate the Role of Lithological Units in Sediment Production (Case Study: Hasan Abdal watershed, Zanzan)** 5
H. Samadi Arghini, S. Feiz Nia and A. A. Nazari Samani
- **Social Network Analysis of Local Stakeholders in Action Plan for Water Resources Co-Management (Case Study: Jajrood River in Latian watershed, Darbandsar village)** 6
F. Ebrahimi Azarkharan, M.Ghorbani, A. Salajegheh and M. Mohseni Saravi
- **Evaluation of interpolation Methods in Study of Bed Morphology of Rivers and Water Channels** 7
M. Rostami, A. Salajegheh, M. Saneie and M. Mahdavi

Technical Note:

- **Developing an Emperical Equation for the Determination of the Displacement in Gilan Province Estuaries** 8
M. Ebrahim Banihabib, M. Arabi and A. Arabi

مقدمه

مرفولوژی بستر رودخانه‌ها از جمله مسائل قابل توجه و حائز اهمیت در مهندسی رودخانه است. تغییرات بستر بخصوص در مکان‌های دارای سازه‌های هیدرولیکی، پایه پل‌ها، بالادست سدها و ... محسوس‌تر می‌باشد. برای بررسی تغییرات مرفولوژیک بستر از دیرباز مطالعاتی انجام شده که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. کوهنل و همکاران [۱۲] الگوی آبستکی اطراف آبشکن‌ها را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که در آزمایش با عمق جریان کمتر، محل بیشینه آبستکی در بالادست آبشکن قرار دارد، در حالی که در آزمایش با عمق بیشتر، محل بیشینه آبستکی در بالادست آبشکن و در فاصله‌ای در حدود نصف طول آبشکن از دیواره کانال قرار دارد. ایشان روابطی برای حجم و هندسه حفره آبستکی اطراف آبشکن‌های بسته ارائه نمودند. اسپارنرینگ [۱۹] به بررسی و پیش‌بینی فرسایش بستر رودخانه با آبشکن‌ها پرداخت و نشان داد که بستر تعادل یافته‌ی رودخانه را می‌توان با یک تابع سهمی مرتبه‌ی چهار برآورد کرد. ادگارد [۱۷] با استفاده از یک مدل ریاضی، الگوی جریان و تغییرات بستر را در رودخانه‌های مثانداری مدل‌سازی کرد. برگ [۳] پژوهش‌هایی در قوس ۹۰ درجه با هدف برداشت داده‌های آزمایشگاهی از الگوی سرعت و تغییرات توپوگرافی بستر و مقایسه آن با مدل ریاضی انجام داد که با نتایج پژوهش‌های ادگارد هم‌خوانی داشت.

در مطالعات تغییرات مرفولوژی بستر برداشت شبکه‌ای از نقاط مورد نیاز برای دستیابی به فرم واقعی بستر، به‌صورت معمول و در حین آزمایش و یا در طبیعت علاوه بر صرف هزینه بسیار، زمان‌بر می‌باشد، بنابراین یافتن روشی مناسب برای تخمین شکل و مرفولوژی بستر و تعمیم مناسب نقاط کم برداشت شده به تمام بستر، مسئله‌ای حائز اهمیت می‌باشد. الگوریتم‌های گوناگونی برای این کار وجود دارد که برخی مبتنی بر آمار کلاسیک و برخی دیگر مبتنی بر روش‌های زمین‌آماري است. آمار کلاسیک مبتنی بر مستقل بودن نمونه‌ها از یکدیگر می‌باشد اما در روش زمین‌آمار نمونه‌ها تا فاصله‌ی مشخصی دارای وابستگی مکانی هستند و با مدل ریاضی واریوگرام^۵ می‌توان این وابستگی را نشان داد.

روش‌های زمین‌آماري ابتدا در مطالعات معادن استفاده شد و پس از آن رفته رفته در علوم دیگر توسعه یافت. چاپل و همکاران [۴] با

ارزیابی برخی روش‌های درون‌یابی در مطالعه مرفولوژی بستر رودخانه‌ها و کانال‌های آبی

مریم رستمی^۱، علی سلاجقه^۲، مجتبی صانعی^۳، محمد مهدوی^۴
تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۳۱

چکیده

مطالعه تغییرات بسترهای رسوبی در شناخت رفتار رودخانه‌ها، از جمله مسائل مورد توجه مهندسان رودخانه می‌باشد. با توجه به اینکه رودخانه‌ها مکان‌هایی می‌باشند که همواره در معرض فرسایش و رسوبگذاری و به عبارتی دیگر بارگذاری و باربرداری هستند، شناخت چگونگی تغییرات توپوگرافی بستر و الگوی آبستکی و رسوبگذاری از نکات جالب توجه مهندسان هیدرولیک می‌باشد. در پژوهش پیش رو با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۸ متر و عرض ۰/۲۵۵ سانتی‌متر به بررسی تغییرات مرفولوژیک بستر پرداخته شده است. بدین منظور از روش‌های درون‌یابی موجود در نرم‌افزار surfer برای تبدیل برداشت‌های نقطه‌ای به سطوح پیوسته و برای ارزیابی دقت از روش اعتباریابی متقاطع و هم‌چنین محاسبه معیارهای خطاگیری RMSE, MAE استفاده شده است. مجموع نتایج نشان داد که روش‌های حداقل انحنای کریجینگ از دقت بیشتری در تعیین تغییرات مرفولوژی بستر کانال‌های مستقیم برخوردار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی دقت، توپوگرافی بستر، روش‌های درون‌یابی

۱- دانش‌آموخته دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران،
۲- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و نویسنده مسئول، salajegh@ut.ac.ir
۳- عضو هیات علمی و دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
۴- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

استفاده از سمی واریوگرام^۱ و بررسی زمین آماری تغییرپذیری فضایی به تفسیر مورفودینامیکی رودخانه با یک بستر ماسه‌ای در دوره‌های زمانی گوناگون پرداختند. مروارد و همکاران [۱۵] روش‌های درون‌یابی فضایی گوناگون را در مطالعه عمق رودخانه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ در مطالعه ناهمسانگردی رودخانه نسبت به دیگر روش‌ها بهتر است، اما به خاطر پیچیدگی آن روش وزن‌دهی عکس فاصله نمایی EIDW را که یک روش اصلاحی بود پیشنهاد دادند. واقفی و همکاران [۲۱] میزان دقت روش‌های گوناگون زمین آماری فضایی وزن‌دهی عکس فاصله، کریجینگ و اسپیلین کششی را در بررسی توپوگرافی بستر کانال‌های قوسی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که از بین این سه روش در این کانال‌ها، کریجینگ روشی مناسب‌تر و دقیق‌تر است. در این پژوهش، طی یک مطالعه آزمایشگاهی در خصوص تغییرات مرفولوژی بستر رودخانه‌ها و کانال‌های آبی مستقیم به بررسی کارایی و ارزیابی دقت ده روش گوناگون موجود در نرم‌افزار surfer پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

روش‌های درون‌یابی

در اغلب علوم مهندسی، مخصوصاً مهندسی رودخانه و هیدرولیک، به طور معمول از داده‌های تجربی، آزمایشگاهی و اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود و سپس مقدار داده در نقاط دیگر با استفاده از این داده‌ها تخمین زده می‌شود. به طور کلی، درون‌یابی برای تخمین مقدار یک تابع در نقطه‌ای بین نقاط معلوم به کار می‌رود [۱۴]. به عبارتی دیگر روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده نشده‌اند، درون‌یابی می‌گویند. روش‌های میان‌یابی یا درون‌یابی، یکی از روش‌های بسیار قدیمی و کارآمد ریاضی است. عقیده‌ی کلی درباره‌ی این روش‌ها، که هنوز هم کارآمد است، این بوده است که بدانیم اگر در زمان‌های مختلف، جسمی را رویت کنیم، چگونه می‌توانیم موقعیت آن جسم را در زمان‌هایی که آن را ندیده‌ایم برآورد کنیم [۱۶]. درواقع درون‌یابی، تغییرات پیوسته‌ی فضایی را به صورت یک سطح تعریف شده مجسم می‌سازد [۹]. روش‌های درون‌یابی به دو شیوه قطعی و زمین آمار انجام می‌شوند [۱۱].

در این پژوهش، از برخی روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آماری برای درون‌یابی تغییرات مرفولوژیک بستر استفاده شده است. در روش‌های قطعی برای درون‌یابی فقط از توابع ریاضی استفاده می‌نمایند [۱۱]. این روش‌ها بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله) یا درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی) انجام می‌شود. توضیحات چگونگی کارکرد این روش‌ها را می‌توان در مقالات و منابع مختلف به تفصیل مشاهده کرد. درون‌یابی زمین آمار بر مبنای تئوری متغیرات ناحیه‌ای

پایه‌گذاری شده است و به توابع ریاضی و آمار متکی است، آن‌ها از مدل واریوگرام (تغییرنما) برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری نشده استفاده می‌کنند [۲]. به بیانی دیگر برای مدل نمودن همبستگی مکانی متغیرهای مورد بررسی از واریوگرام استفاده می‌شود. نقاط این نمودار بر اساس زوج نقاطی صورت می‌گیرد که به فاصله‌ی معینی از یکدیگر قرار دارند و از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

که در آن: $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله‌ی h از یکدیگر قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده‌ی متغیر مورد نظر و $Z(x_i+h)$ مقدار مشاهده شده‌ی متغیر مورد نظر که به فاصله‌ی h از $Z(x_i)$ قرار دارد، می‌باشد [۵]. واریوگرام با عنوان سمی واریوگرام هم خوانده می‌شود که سمی واریوگرام رابطه بین فاصله و واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. از بین روش‌های زمین آمار موجود نیز می‌توان به کریجینگ اشاره کرد.

روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آماری که در این تحقیق استفاده شده است به اختصار در زیر معرفی می‌شوند:

به دلیل وجود شرایط مختلف فیزیکی برای داده‌ها، وجود روش‌های مختلف نمونه‌برداری، محدودیت‌های محاسباتی و اهداف متفاوت، روش‌های بسیار زیادی برای درون‌یابی پیشنهاد گردیده است. به طور کلی، نمی‌توان یکی از روش‌ها را به عنوان بهترین برگزید بلکه برای هر کاربرد خاص یک روش بهینه وجود دارد [۲۰].

قبل از پرداختن به توضیحاتی کوتاه، پیرامون روش‌های درون‌یابی مورد ارزیابی در این پژوهش، مراحل مختلف موجود در کلیه روش‌های درون‌یابی به اختصار بیان می‌شود:

همه انواع روش‌های درون‌یابی، صرف نظر از روش مورد استفاده مراحل زیر را طی می‌کنند [۲۰].

- انتخاب یک تابع درون‌یابی مناسب
از جمله این توابع می‌توان توابع چند جمله‌ای، توابع استدلالی و توابع چند مجذوری را نام برد. تابع مورد استفاده بایستی به گونه‌ای انتخاب شود که داده‌های ورودی در یک بازه معلوم را به خوبی تقریب نماید.

- تعیین ضرایب تابع انتخاب شده برای درون‌یابی
پس از انتخاب تابع درون‌یابی، ضرایب آن باید به نحوی انتخاب شوند که به بهترین نحو بر نقاط مرجع منطبق گردند. انطباق تابع در نقاط مرجع برای کاربردهای مختلف ممکن است تعابیر متفاوتی داشته باشد.

- تعیین ضرایب تابع برای یک فاصله معلوم از نقاط مرجع
این مرحله در روش‌های دامنه مانند و قطعه مانند متفاوت خواهد بود.

- تعیین مقدار تابع در نقاط میانی با استفاده از تابع درون‌یابی

روش‌های درونیابی مورد استفاده در پژوهش بطور خلاصه عبارتند از:

● فاصله معکوس توانی^۱

یکی از روش‌هایی است که درونیابی را به صورت ساده انجام می‌دهد. این روش با توان‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست آورده و درونیابی را انجام می‌دهد. بنابراین هر نقطه اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای) دارای یک اثر محلی است و با افزایش فاصله از تاثیر آن کاسته می‌شود.

● کریجینگ^۲

در چند دهه گذشته روش کریجینگ، ابزاری بنیادین و کارآمد در بین روش‌های زمین‌آمار بوده است. این روش نیز با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست می‌آورد. با این تفاوت که در روش‌های دیگر، وزن‌دهی بر اساس یک الگوریتم ساده بوده در حالی که در این روش وزن‌ها از روش پیچیده و خبره‌تری به دست می‌آیند. به طور کلی در روش‌های زمین‌آمار اطلاعات موقعیت مکانی داده‌ها نیز در محاسبات وارد می‌گردد و سعی می‌شود تا رابطه‌ای نیز بین آن‌ها تعریف گردد. معمولاً این ارتباط و هم‌بستگی بین نمونه‌ها به صورت یک مدل ریاضی ارائه می‌شود تا از این طریق بتوان تغییرپذیری را شبیه‌سازی نمود.

● روش حداقل انحنای^۳

این روش بر مبنای حداقل خمیدگی در درونیابی است که همواری‌سازی یا نرم شدن تغییرات از ویژگی‌های آن است. بدین معنا که واریانس نمونه‌های تخمین زده شده نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری دارد.

● همسایه طبیعی^۴

همسایگی طبیعی از روش‌های وزنی در درونیابی است. روش وزن‌دهی نقاط اندازه‌گیری شده یا معلوم به این ترتیب است که نزدیکترین مجموعه نقاط معلوم نسبت به نقطه مجهول وزن‌دهی می‌شود و بر اساس حاصلضرب وزن در مقدار نقطه معلوم، درونیابی انجام می‌شود. این درونیابی به درونیابی سیبسون^۵ یا درونیابی مساحت‌ریایی^۶ نیز معروف است. ویژگی اساسی این درونیابی محلی بودن آن و استفاده از نمونه‌های اطراف نقاط مجهول است. در این درونیابی مقدار برآورد شده برای نقطه مجهول در بازه نقاط نمونه‌گیری است و هیچ‌گاه نقاطی مانند قله یا چاله در درونیابی ایجاد نمی‌شود. این مدل بر اساس شعاع تعریف شده برای پیدا نمودن نزدیکترین نقاط عمل می‌کند و به نمونه‌گیری منظم یا نامنظم توجهی ندارد.

● نزدیک‌ترین همسایه^۷

سریع‌ترین روش محسوب می‌شود. این روش، از مقادیر حقیقی موجود استفاده می‌کند و بنابراین ارقام جدیدی که گاه ممکن است غیر واقعی باشند را تولید نمی‌نماید. این مسئله به خصوص برای موقعی که قرار است تصویر طبقه‌بندی گردد، بسیار مفید خواهد بود. مهم‌ترین عیب این روش این است که در نتایج این روش، گاه بعضی از مقادیر تکرار شده و اثر بلوک بلوک شدن ظاهر می‌شود.

● رگرسیون چند جمله‌ای^۸

مرسوم‌ترین روش برای گذراندن منحنی از بین نقاط اندازه‌گیری شده استفاده از روش MSE است (به رابطه ۳ توجه شود). به این منظور پارامترهای تابع باید به گونه‌ای انتخاب شوند که MSE بین منحنی و مقادیر اندازه‌گیری شده کم‌ترین مقدار را داشته باشد. این روش^۹ MMSE خوانده می‌شود.

رگرسیون چند جمله‌ای فرمی از MMSE است که تابع انتخاب شده به صورت چند جمله‌ای بوده و پارامترهای انتخابی همان ضرایب چند جمله‌ای هستند.

● تابع پایه شعاعی^{۱۰}

توابع پایه شعاعی، از نوع شبکه‌های رو به جلو همراه با یک لایه میانی هستند. شبکه‌های توابع پایه شعاعی دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی، بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل می‌باشند. این شبکه‌ها تقریباً به‌طور کلی، از سه لایه شامل ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. توابع پایه شعاعی منظم به عنوان تابع تحریک لایه نورون‌های مخفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً آموزش شبکه RBF به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخش اول عمدتاً یادگیری از نوع بدون نظارت است که با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی، پارامترهای توابع پایه (مراکز و عرض‌ها) با استفاده از اطلاعات ورودی تعیین می‌شود و در بخش دوم که یادگیری از نوع با نظارت است، وزن‌های بین لایه میانی و لایه خروجی با استفاده از روش‌های کاهش شیب و رگرسیون خطی تعیین می‌شود. [۶].

● درونیابی خطی با مثلث^{۱۱}

این الگوریتم با رسم خطوطی بین داده‌های مشاهداتی، مثلث‌هایی ایجاد می‌کند. این روش یکی از راه‌های دقیق درونیابی می‌باشد که با استفاده از مختصات گرانیگاهی امکان مناسبی برای درونیابی یک تابع روی یک شبکه‌ی نامنظم یا شبکه فراهم می‌کند؛ با این فرض که مقدار تابع در تمامی گوشه‌های آن شبکه معلوم باشد.

● میانگین متحرک^{۱۲}

استفاده از این روش برای مطالعاتی با داده‌های کم تا متوسط توصیه نشده است و به عنوان ابزار مناسبی برای مشخص کردن

7- Nearest Neighbor
8- Polynomial Regression
9- Minimum Mean Absolute Error
10- Radial Basis Function
11- Triangulation with Linear
12- Moving Average

1- Inverse Distance to a Power
2- Kriging
3- Minimum Curvature
4- Natural Neighbor
5- Sibson
6- Area-stealing



شکل ۲- دستگاه ژرفاسنج و ولت متر استفاده شده برای اندازه گیری تغییرات توپوگرافی بستر

ارزیابی دقت

بررسی ها نشان می دهند که نوع متغیر و تغییرپذیری مکانی آن، روش مناسب درونیابی را مشخص می کند، لذا لازم است روش های گوناگون برای متغیر مورد نظر به گونه ای مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرند و از بین آن ها مناسب ترین روش ها پیشنهاد شوند. برای دستیابی به این مهم، روش اعتباریابی متقاطع مناسب می باشد. در این روش هر بار یک نقطه مشاهده ای حذف شده و با استفاده از نقاط مجاور و مدل مورد نظر، مقداری برای نقطه حذف شده برآورد می گردد، پس از آن مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده شده و برای تمامی نقاط شبکه، این عمل تکرار می شود. در نهایت با توجه به مقادیر مشاهداتی و برآورد شده می توان خطا و انحراف روش را برآورد کرد [۱]:

معیارهای گوناگونی برای انجام این کار وجود دارد، که می توان به میانگین خطای مطلق^۲، ریشه دوم میانگین مربع خطا^۳ اشاره کرد؛ که معادلات این روش ها به صورت ذیل است:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|z(x_i) - \hat{z}(x_i)|) \quad (2)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|z(x_i) - \hat{z}(x_i)|)^2 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2} \quad (4)$$

که در آن ها:

2- Mean Absolute Error
3- Root-Mean-Square Error



شکل ۱- فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده

داده های مکانی کاربردی دارد. این روش فقط هنگامی که حداقل و حداکثر متغیر مورد نظر در محدوده مورد مطالعه موجود باشد یک ابزار سودمند واقع شده است [۱۰].

چند جمله ای محلی^۱

با استفاده از تابع چند جمله ای ریاضی یک رویه هموار را برای نقاط نمونه برداری شده برازش می دهد. در این روش تعداد زیادی چند جمله ای بر داده های محدود در یک همسایگی معین، برازش داده می شوند.

مواد و روش ها:

به منظور بررسی روش های زمین آماری، در شرایط آزمایشگاهی برداشت هایی از تغییرات مرفولوژی بستر فلوم آزمایشگاهی (شکل ۱) صورت گرفت. وجوه فلوم از قاب فلزی و دیواره ها و کف آن با مصالح شفاف از جنس پلکسی گلاس است تا بتوان به خوبی داخل فلوم و بخصوص تغییرات پروفیل سطح مواد بستر را مشاهده کرد. طول فلوم ۸ متر، عرض فلوم ۲۵۵ میلی متر و عمق آن ۲۵۰ میلی متر در نظر گرفته شد. ارتفاع فلوم از کف آزمایشگاه ۱۳۰ سانتی متر است. کف کانال را رسوباتی با میانگین قطر ۰/۱۲ میلی متر می پوشاند. دو متر از طول فلوم مورد بررسی توسط مصالح پوشیده شد و پس از آماده سازی، آزمایش هایی برای مشاهده و برداشت تغییرات مرفولوژیک بستر انجام گردید.

برداشت داده های توپوگرافی بستر توسط دستگاه ژرفاسنج صورت گرفت (شکل ۲). این دستگاه با دقت ۰/۱ میلی متر تغییرات بستر را ثبت می کند. برای مطالعه پیش رو در بستر مورد بررسی توپوگرافی نقاطی با فاصله عرضی ۲ و طولی ۳ سانتی متر اندازه گیری گردید. لازم به ذکر است در مکان هایی با تغییرات بیشتر، تعداد نقاط برداشت شده افزایش یافت.

1- Local Polynomial

جدول ۱: ارزیابی روش‌های درونیابی مورد استفاده

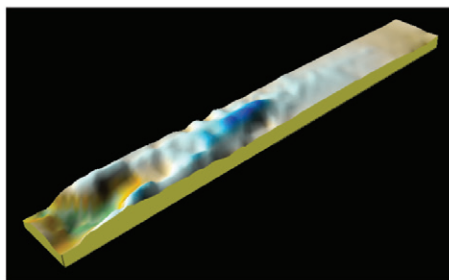
روش مورد استفاده	MAE	RMSE
فاصله معکوس توانی	۰/۲۸	۰/۶۸۷
کریجینگ	۰/۲۰	۰/۶۷۰
حداقل انجنا	۰/۲۴	۰/۶۳۴
همسایه طبیعی	۰/۲۸	۰/۷۹۲
نزدیک‌ترین همسایه	۰/۲۲	۰/۶۷۱
رگرسیون چند جمله‌ای	۰/۳۷	۰/۹۵۴
تابع پایه شعاعی	۰/۲۷	۰/۶۴۹
درونیابی خطی با مثلث	۰/۲۳	۰/۶۷۵
میانگین متحرک	۰/۴۳	۰/۸۶۱
چند جمله‌ای محلی	۰/۳۲	۰/۷۷۲

جدول ۲: مقایسه‌ی بیش‌ترین مقادیر فرسایش و رسوبگذاری در روش‌های درونیابی مختلف و مقادیر واقعی

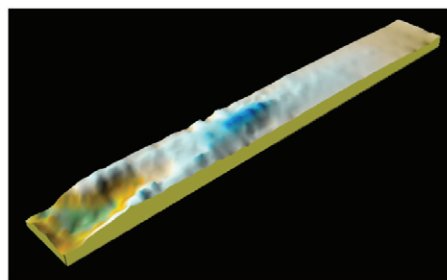
روش مورد استفاده	حداکثر عمق رسوبگذاری (cm)	حداکثر عمق آبشستگی (cm)	میانگین (cm)	انحراف معیار	واریانس	ضریب هم‌بستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی
فاصله معکوس توانی	۱/۱۱	-۱/۹۷	-۰/۰۸	۰/۵۶	۰/۳۲	۰/۸۶
کریجینگ	۱/۷۶	-۲/۹۴	-۰/۰۸	۰/۷۱	۰/۵۰	۰/۹۲
حداقل انجنا	۱/۸۳	-۳/۰۶	-۰/۰۹	۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۹۳
همسایه طبیعی	۱/۶۴	-۲/۶۵	-۰/۰۵	۰/۶۷	۰/۴۷	۰/۸۳
نزدیک‌ترین همسایه	۱/۸۲	-۳/۱۴	-۰/۰۷	۰/۷۷	۰/۵۹	۰/۸۹
رگرسیون چند جمله‌ای	۰/۲۵	-۰/۳۸	-۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۲۲
تابع پایه شعاعی	۲/۱۲	-۲/۹۷	-۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۹۱
درونیابی خطی با مثلث	۱/۶۸	-۲/۶۴	-۰/۰۸	۰/۶۹	۰/۴۵	۰/۹۱
میانگین متحرک	۰/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۰۰۶	۰/۰۶	۰/۰۰۴	-۰/۱۸
چند جمله‌ای محلی	۰/۷۶	-۱/۸۸	-۰/۰۹	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۶۹
مقادیر برداشت شده واقعی	۱/۸۶	-۳/۱۴	-۰/۰۸	۰/۷۴	۰/۵۶	۱/۰۰

نشان می‌دهد که در این صورت درونیابی صورت گرفته، معتبر است و می‌توان از آن روش برای درونیابی استفاده کرد.

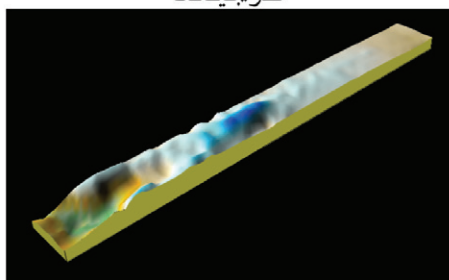
$\hat{Z}(x_i)$: مقدار برآورد شده‌ی متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده‌ی متغیر مورد نظر و n : تعداد داده‌ها می‌باشند. هر اندازه دو معیار MAE , MSE به صفر نزدیک‌تر و هم‌چنین مقدار $RMSE$ کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است. فرجی سبکبار [۷]



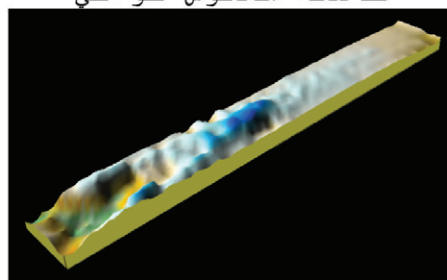
کرچینگ



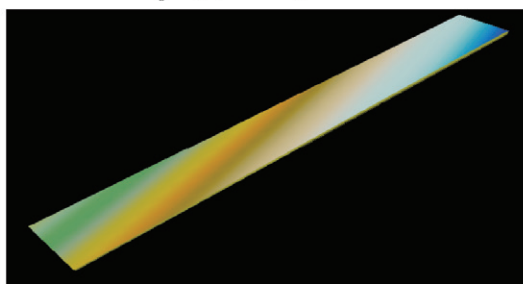
فاصله معکوس توانی



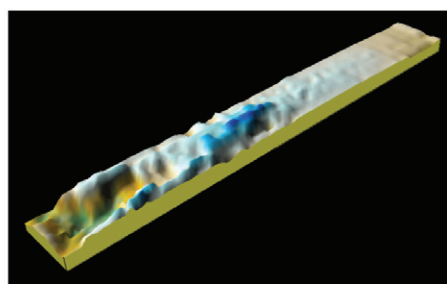
همسایه طبیعی



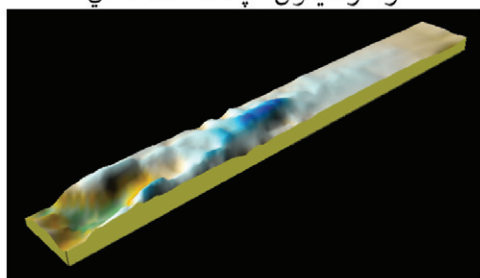
حداقل انجنا



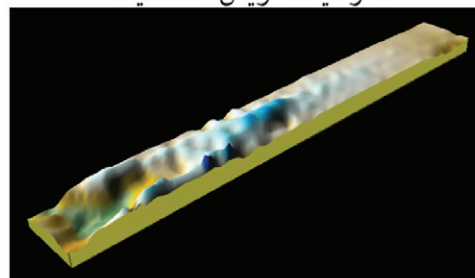
رگرسیون چند جمله ای



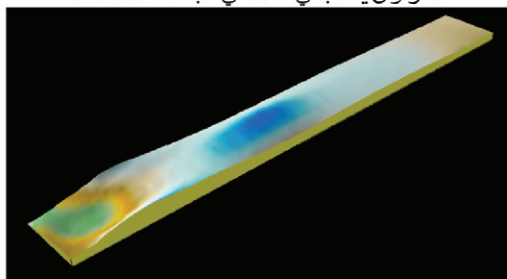
نزدیکترین همسایه



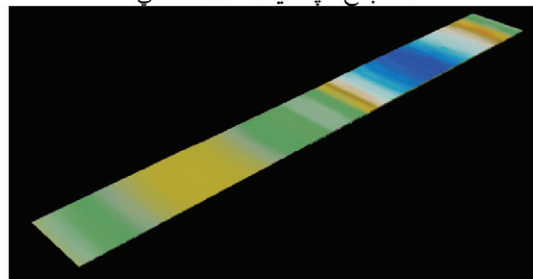
درون یابی خطی با مثلث



تابع پایه شعاعی



چند جمله ای محلی



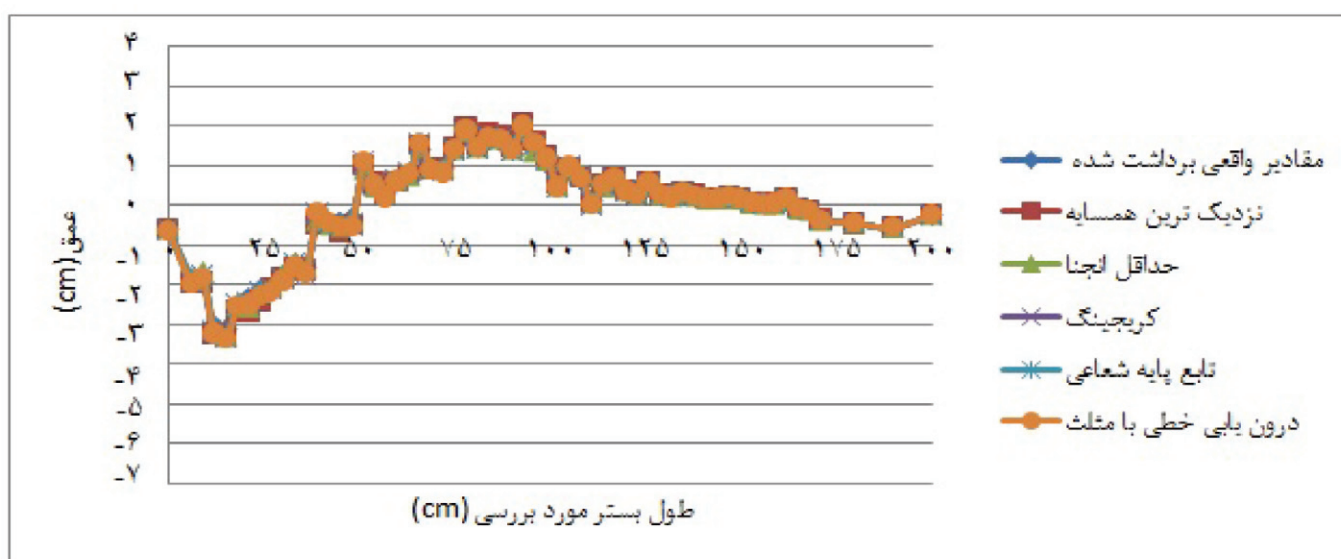
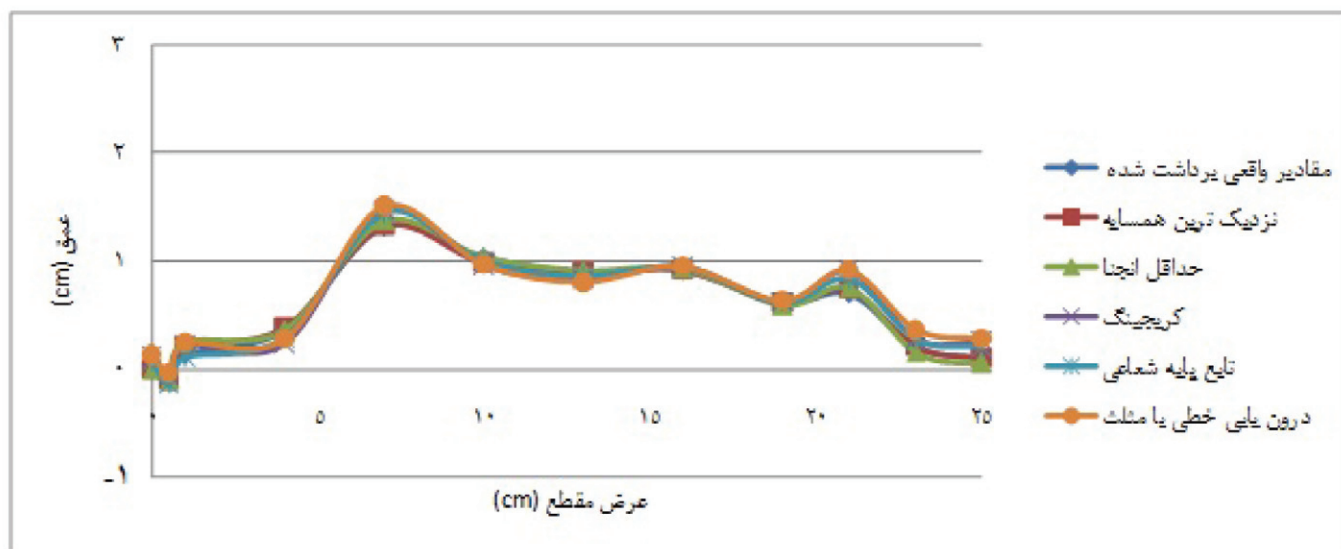
میانگین متحرک

شکل ۳- مقایسه تاثیر استفاده از روش های مختلف درون یابی بر دقت نمایش تغییرات مرفولوژیک بستر تحت شرایط و داده های یکسان

نزدیک ترین همسایه^۱ بیشترین مقدار آبستگي و رسوب گذاری به

نتایج

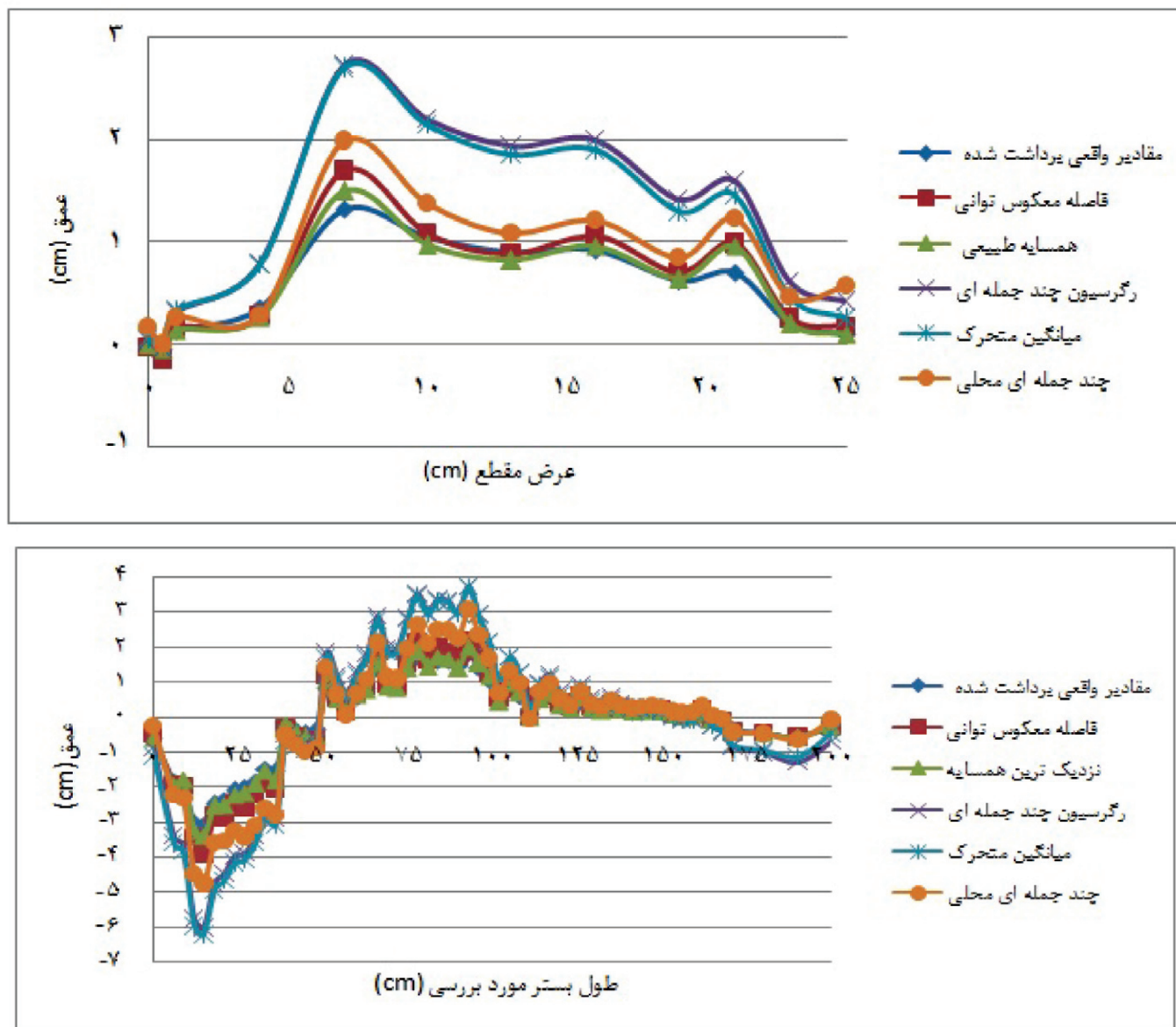
ابتدا درون یابی توپوگرافی بستر با استفاده از روش های بیان (شکل ۳) نشان داده شده است انجام گردید. نتایج نشان می دهد که در روش



شکل ۴- مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی با مقادیر مشاهده شده واقعی

(جدول ۲) ضریب هم‌بستگی مقادیر پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف مورد استفاده در این پژوهش و مقادیر اندازه‌گیری شده، بیش‌ترین مقدار فرسایش و رسوبگذاری برآورد شده از طریق روش‌های مختلف و هم‌چنین مقادیر میانگین، انحراف معیار و واریانس را در مقایسه با مقادیر واقعی (جدول ۲) مشاهده می‌گردد. همان‌طور که از نتایج بدست آمده (جدول ۲) قابل برداشت است مقادیر حداکثر آبشستگی و رسوبگذاری برآورد شده به ترتیب در روش‌های نزدیک‌ترین همسایه، حداقل انجنا، کریجینگ، تابع شعاعی و درون‌یابی خطی با مثلث نسبت به روش‌های دیگر مطابقت بیش‌تری با داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده دارد. شکل ۳ با نمایش سه‌بعدی تغییرات مرفولوژی بستر تحت شرایط یکسان تمامی پارامترهای تاثیرگذار و برای یک تعداد داده مشخص برداشت شده در محدوده مورد پژوهش از فلوم تحت آزمایش، امکان مقایسه دقت روش‌های

ترتیب برابر $1/82$ و $3/14$ - است که با داده‌های برداشت شده آزمایشگاهی از نظر مکانی و مقدار که برابر $1/86$ و $3/14$ - است، مشابه می‌باشد. مقدار خطای میانگین مطلق و ریشه دوم میانگین مربع خطا در روش نزدیک‌ترین همسایه به ترتیب برای بستر مورد مطالعه برابر $0/24$ و $0/77$ می‌باشد، همان‌طور که گفته شد هرچه این مقادیر کمتر باشد بیان‌گر اعتبار بیشتر مدل می‌باشد. جدول ۱ نمایان‌گر مقادیر خطای میانگین و ریشه دوم میانگین مربع خطای روش‌های مختلف مورد بررسی می‌باشد. همان‌گونه که اطلاعات موجود در جدول نشان می‌دهد با توجه به مقادیر اختصاص یافته به MAE ، $RMSE$ به ترتیب روش‌های کریجینگ، حداقل انجنا، نزدیک‌ترین همسایه، تابع شعاعی و درون‌یابی خطی با مثلث در بین روش‌های درون‌یابی موجود در نرم‌افزار SURFER از بقیه روش‌ها بهتر و مناسب‌تر می‌باشند.



شکل ۵- مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی با مقادیر مشاهده شده واقعی

نزدیک‌ترین همسایه، حداقل انحناء، کریجینگ، تابع شعاعی و درون‌یابی مثلثی با خط ترسیم و دقت آن‌ها در مقایسه با داده‌های واقعی (جدول ۲) نمایش داده شده است.

پروفیل عرضی رسم شده به عنوان نمونه برای طول ۷۲ سانتی‌متری بستر انتخاب گردید و پروفیل طولی مربوط به تمام مسیر در عرض متوسط کانال می‌باشد.

مقایسه پنج روش درون‌یابی که، نتایج این پژوهش، استفاده از آن‌ها را در مقایسه با روش‌های دیگر مناسب نشان می‌دهد، در مقطع طولی و عرضی انتخابی که به عنوان نمونه آورده شده نیز تایید کننده دقت مناسب برآورد صورت گرفته به وسیله این روش‌ها در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده طی آزمایش می‌باشد. همان‌طور

مختلف درون‌یابی را به گونه‌ای دیگر فراهم می‌کند. اشکال سه‌بعدی، همچنین اطلاعات جدول ۲ نتیجه می‌دهند که روش‌های رگرسیون چندجمله‌ای، میانگین متحرک و چند جمله‌ای محلی برای نمایش و درون‌یابی تغییرات توپوگرافی و مرفولوژی بستر در کانال‌های مستقیم مشابه مناسب نیستند و استفاده از آن‌ها در این‌گونه مطالعات توصیه نمی‌شوند. بررسی ضریب همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف نیز بیان‌گر وجود بیش‌ترین میزان همبستگی در روش‌های حداقل انحناء، کریجینگ، تابع شعاعی، درون‌یابی مثلثی با خط و نزدیک‌ترین همسایه، نسبت به دیگر روش‌ها می‌باشند. (شکل ۴) پروفیل عرضی و طولی بستر مورد بررسی با روش‌های

and Landforms 28 (4), 349-370.

5- Delbari M., KhayatKholghi M., And Mahdian M. H (2004). Evaluating Geostatistics Methods in Estimating Hydraulic Conductivity in Shib-Ab and Posht- Ab, Sistan Plain, Iran, Iranian, J. Agric. Sci. Vol. 35, No. 1.

6- Eyvazi M., and Mosaedi A (2012). An Investigation on Spatial Pattern of Annual Precipitation in Golestan Province by Using Deterministic and Geostatistics Models, Journal of Water and Soil, Vol. 26, No. 1.

7- Faraji sabokbar H., and Azizi GH (2006). Assessing the accuracy of spatial interpolation methods (case study: modeling of the rainfall Mashhad Kardeh watershed basin), Geographical researches, No 58, pp 1-15.

8- Ghahroudi tali M (2002). Evaluation of the kriging interpolation, Geographical researches, No 43, pp 95-108.

9- Ghahroudi tali M (1384). GIS in Three-dimensional environment, universities Jahad Publications, No 49.

10- ILWIS 3.0 Academic, Users Guide. 2001.

11- Johnston K., VerHoef J.M., Krivoruchko K., and Lucas N (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst-GIS by ESRI, United States of America.

12- Kuhnle, R.A., Alonso, C.V. and Shields, F.D. 1999. Geometry of Scour Holes Associated with 90 Spur Dikes. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol: 125, No.9.

13- Kruger C., Constrained Cubic Spline Interpolation for Engineering Applications, 1998.

14- Legleiter, C.J., Phelps, T.L. and Wohl, E.E. 2006. Geostatistical analysis of the effects of stage and roughness on reach-scale spatial patterns of velocity and turbulence intensity. Geomorphology 83: 322-345.

15- Merwade, V.M., Maidment, D.R. and Goff, J.A. 2006. Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. Journal of Hydrology, Vol. 331, Issues 3-4, pp: 731-741.

16- Mehri B., and Nakhaei R (2006)., Numerical calculations, Ayezh Publications.

17- Odgaard A.J. 1984. Flow bed Topography in Alluvial channel Bed, Journal of Hydraulic Engineering,

که ملاحظه می شود بطور تقریبی در تمام مسیر مقادیر محاسباتی مماس با مقادیر اندازه گیری شده می باشند (شکل ۴).

شکل ۵ به مقایسه پنج روش دیگر مورد بررسی در این پژوهش می پردازد. نمودارها نمایانگر دقت کمتر این روش ها در برآورد تغییرات توپوگرافی بستر نسبت به روش های استفاده شده در شکل ۴ می باشند. لازم به ذکر است همان گونه که اطلاعات جدول ۱ و ۲ و همچنین اشکال ۳ و ۵ نیز نمایش می دهند از بین پنج روش مورد بررسی در شکل ۵ روش های همسایگی طبیعی و فاصله معکوس توانی نسبت به دیگر روش های مورد مقایسه دقت بهتری دارند.

نتیجه گیری

در پژوهش پیش رو برخی روش های درونیابی موجود در نرم افزار SURFER در بررسی تغییرات مرفولوژیک بستر (کانال های مستقیم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. دقت این روش ها با کمک روش اعتباریابی متقاطع و پارامترهای آماری، خطای میانگین، ریشه دوم میانگین مربع خطا و ضریب همبستگی بین داده های مشاهداتی و محاسباتی بررسی شدند. نتایج مجموع بررسی ها نشان می دهد که به ترتیب روش های حداقل انحناء، کریجینگ، نزدیک ترین همسایه، تابع شعاعی و درونیابی مثلثی با خط در زمینه مورد مطالعه دارای دقت بیشتری است و مقادیر برآورد شده با استفاده از این روش ها شباهت و نزدیکی بیشتری با مقادیر واقعی دارند. به طور کلی این روش ها در برآورد بیشترین میزان آبستگي و رسوبگذاری نیز نسبت به روش های دیگر دقیق تر عمل می کند و استفاده از روش های موجود دیگر در مطالعات مشابه به علت دقت برآورد و محاسبه پایین تر توصیه نمی شود.

منابع

1- Akhtari R., Mahdian M. H., And Morid S (2007). Assessment of spatial analysis of SPI and EDI drought indices in tehran province, IRAN water resources research, Vol: 2, No 3.

2- Ashiq M. W., Zhao C., Ni J., and akhtar m (2010). GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain plain areas of Upper Pakistan for regional climate Change impact studies, TheorApplClimatol 99.

3- Berge, M.A. 1990. Flow processes in a curved Alluvial channel, phd. Thesis in Iowa University, VSA, 365p.

4- Chappell, A., Heritage, G.L., Fuller, I.C., Large, A.R.G. and Milan, D.J. 2003. Geo statistical analysis of ground-survey elevation data to elucidate spatial and temporal river channel change. Earth Surface Processes

20- Tempfli k., Notes on Interpolation and Filtering, ITC, 1982. Vaghefi M., Ahmadabadi A., and Fathnia A., and Ghodsian M (2009). Comparison of interpolation methods in the bed topography of curved channels, Iran-Watershed Management Science & Engineering, Vol 3, No 6.

ASCE, and Vol: 111, No 110.

18- Odgaard, A.J. 1986. Meander Flow Model. I: Development. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 12.

19- Spannring, M. 2000. Degradation of the River Bend After Building of Groynes. Technische University Munchen, Germany.

*Abstract***Evaluation of Interpolation Methods in Study of Bed Morphology
of Rivers and Water Channels**M. Rostami¹, A. Salajegheh², M. Saneie³, M. Mahdavi⁴

Received: 2014.04.29 Accepted: 2014.07.22

The study of changes of sediment beds is of the issues which has attracted river engineers. Attention to investigate the rate of scour and sedimentation is significant in studies of rivers. The change of bed topography, scour and sedimentation pattern have caught the attention of hydraulic engineering profession. This paper examines the topography changes using experimental data in a laboratory flume with a length of 8 meters and a width of 0.255 m and changes of bed morphological will be discussed. For this purpose, interpolate methods contained in the Surfer used to convert point measurement to continuous surfaces. Accuracy assessment accomplished by validation method and MAE, RMSE also. The result showed that Minimum Curvature and Kriging methods have best accuracy to create surfaces for studying changes of bed morphology in rivers.

Keywords: Accuracy assessment, Bed topography, Interpolation method

1- M Sc Graduate, University of Tehran, Tehran, Iran,

2- Professor, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: salajegh@ut.ac.ir , (Corresponding Author)

3- Associate ,Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

4- Professor, University of Tehran, Tehran, Iran