

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای

نشریه شماره ۵۸۵

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

<http://seso.moe.org.ir>

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

nezamfanni.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه‌ی این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده‌ی هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره‌ی بند و صفحه‌ی موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از

همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ معاونت

برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

Email: info@nezamfanni.ir

web: nezamfanni.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

برآورد تغییرات مکانی عوامل هواشناسی در بسیاری از مطالعات هواشناسی و منابع آب اجتناب‌ناپذیر است. ولی به دلیل عدم امکان پوشش کامل منطقه توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری برآورد داده‌های نقطه‌ای در مناطق بین ایستگاه‌ها مطرح می‌گردد. برآورد تغییرات مکانی داده‌های نقطه‌ای بدون توجه به چگونگی انتخاب روش مناسب می‌تواند از عوامل مهم ایجاد خطا در برآورد و انجام مطالعات آتی وابسته به آن باشد. لذا استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور استخراج توزیع مکانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیک در قالب شبکه‌های سلولی و یا مدل‌های برداری ضروری می‌گردد. با توجه به اهمیت توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای موجود، تهیه یک راهنما جهت انتخاب بهترین روش جهت توزیع مکانی با توجه به اینکه یک روش علمی و جهانی جهت تهیه نقشه‌های عوامل هواشناسی وجود ندارد بیش‌تر احساس می‌شود.

با توجه به مطالب فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه نشریه «راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای» را با هماهنگی امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور در دستور کار قرارداد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی اجرایی کشور به این معاونت ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

هدف این نشریه، ارائه راهنمایی جهت نحوه برآورد توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مناسب‌ترین روش می‌باشد. بدین وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد ابراهیم نیا و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران را آرزومند می‌باشد.

امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود در خصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاون نظارت راهبردی

پاییز ۱۳۹۱

تهیه و کنترل راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای

(نشریه شماره ۵۸۵)

مجری: معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس

مؤلف اصلی: بهرام تقفیان پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری دکترای منابع آب

اعضای گروه تهیه‌کننده:

بهرام تقفیان	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	دکترای منابع آب
پیمان دانش کار آراسته	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی	دکترای علوم و مهندسی آبیاری
سیما رحیمی بندرآبادی	مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی	فوق لیسانس مدیریت مناطق بیابانی
ابراهیم فتاحی	پژوهشکده هواشناسی	دکترای هواشناسی
محسن محمدزاده	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای آمار

اعضای گروه نظارت:

عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
صدیقه ترابی	وزارت نیرو	دکترای منابع آب
مریم رحیمی فراهانی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	فوق لیسانس عمران - آب

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

احمد ابریشم‌چی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای منابع آب
عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
فضلعلی جعفریان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	لیسانس زمین‌شناسی
عباسقلی جهانی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی
مریم رحیمی فراهانی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	فوق لیسانس عمران آب
داوودرضا عرب	موسسه پژوهشی مهندسی راهبرد دانش پویا	دکترای عمران

اعضای گروه هدایت و راهبردی پروژه:

خشایار اسفندیاری	رییس گروه امور نظام فنی
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی
ساناز سرافراز	کارشناس منابع آب امور نظام فنی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۳	فصل اول- آشنایی مقدماتی با روش‌های درون‌یابی
۵	۱-۱- کلیات
۵	۲-۱- میانی درون‌یابی
۶	۳-۱- انواع درون‌یاب‌ها
۶	۱-۳-۱- درون‌یاب‌های قطعی
۷	۲-۳-۱- درون‌یاب‌های تصادفی
۹	فصل دوم - بررسی‌های مقدماتی برای تحلیل تغییرات مکانی
۱۱	۱-۲- کلیات
۱۱	۲-۲- آمار توصیفی داده‌ها
۱۱	۱-۲-۲- آمار توصیفی تک متغیره
۱۳	۲-۲-۲- آمار توصیفی دو متغیره
۱۳	۳-۲-۲- آمار توصیفی مکانی
۱۷	۳-۲- رابطه متغیرهای اقلیمی با سایر متغیرها
۱۷	۱-۳-۲- بررسی وضعیت عوامل اقلیمی در ایران
۲۰	۲-۳-۲- رابطه دما و ارتفاع
۲۱	۴-۲- تعیین اندازه سلول (تفکیک‌پذیری مکانی) بر اساس مقیاس نقشه‌ها
۲۱	۵-۲- تحلیل خوشه‌ای
۲۶	۱-۵-۲- معرفی نرم افزارها در تحلیل خوشه‌ای
۲۹	فصل سوم - تحلیل‌های زمین آماری تغییرات مکانی
۳۱	۱-۳- کلیات
۳۱	۲-۳- شاخص‌های کمی پیوستگی مکانی
۳۳	۱-۲-۳- مدل‌های نیم‌تغییرنما
۳۴	۳-۳- محاسبه و ترسیم نیم‌تغییرنما
۳۶	۴-۳- چگونگی بهینه‌سازی پارامترهای نیم‌تغییرنما
۳۶	۱-۴-۳- انتخاب پارامترهای فاصله
۳۷	۲-۴-۳- انتخاب مدل تئوریک نیم‌تغییرنما
۳۸	۵-۳- چگونگی تشخیص وجود یا فقدان همبستگی مکانی داده‌ها و تفسیر نیم‌تغییرنما
۳۸	۱-۵-۳- تشخیص پیوستگی مکانی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۸	۳-۵-۲- تشخیص همسان گردی از نیم‌تغییرنما
۳۹	۳-۶- چگونگی بررسی ایستایی مکانی داده‌ها و تشخیص روند و تناوب مکانی متغیرها در منطقه
۴۰	۳-۷- بررسی تاثیر متغیرهای کمکی در تغییرات مکانی داده‌ها
۴۳	فصل چهارم- نحوه ارزیابی و انتخاب روش مناسب درون‌یابی
	۴-۱- نحوه انتخاب اولیه روش‌های درون‌یابی با توجه به نیم‌تغییرنمای تجربی، میزان همبستگی مکانی و فیزیک پدیده مورد
۴۵	بررسی
۴۵	۴-۱-۱- چگونگی انتخاب یا حذف روش‌های مورد بررسی با توجه به فیزیک پدیده مورد نظر
۴۶	۴-۱-۲- چگونگی انتخاب یا حذف روش‌های درون‌یابی با توجه به تحلیل نیم‌تغییرنما و همبستگی مکانی داده‌ها
۴۶	۴-۲- معرفی معیارهای اعتبارسنجی روش‌های مختلف
۴۸	۴-۳- بهینه‌سازی پارامترهای روش درون‌یابی و بررسی اعتبار نتایج روش‌های مختلف
۴۹	۴-۴- چگونگی بررسی تطابق توزیع مکانی برآورد شده با فیزیک پدیده
۴۹	۴-۵- چگونگی شناسایی مناطق با برآورد پایین و یا بالا
۵۰	۴-۶- چگونگی برآورد خطای تخمین
۵۰	۴-۷- نحوه انتخاب روش مناسب و پارامترهای آن براساس آزمون‌های معتبر
۵۱	۴-۸- چگونگی استخراج نقشه توزیع مکانی براساس روش انتخابی
۵۳	فصل پنجم- معرفی و ارزیابی نرم‌افزارهای درون‌یابی
۵۵	۵-۱- کلیات
۵۵	۵-۲- معرفی نرم‌افزار GS+
۵۹	۵-۳- معرفی نرم‌افزار Arc/GIS
۶۱	فصل ششم- مطالعه موردی
۶۳	۶-۱- کلیات
۶۳	۶-۲- مراحل انجام مطالعه موردی
۷۷	پیوست ۱- سوابق کاربرد روش‌های درون‌یابی
۸۳	پیوست ۲- آنالیزهای آماری
۹۱	پیوست ۳- روش‌های درون‌یابی
۹۹	پیوست ۴- نحوه استفاده از نرم‌افزار GS+
۱۱۳	پیوست ۵- تحلیل گر زمین آماری در نرم‌افزار ArcGIS
۱۳۳	منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	شکل ۱-۲- هیستوگرام مقادیر متغیر V در ۱۰۰ نمونه، الف- هیستوگرام فراوانی ب- هیستوگرام فراوانی تجمعی
۱۴	شکل ۲-۲- تشریح علائم برداری در نمودار H-scatter
۱۴	شکل ۳-۲- نمایش چگونگی انتخاب جفت نقاط در نمودار H-Scatter (الف) جفت نقاط به فاصله (۱،۰) (ب) جفت نقاط به فاصله (۱،۰)
۱۶	شکل ۴-۲- نمودار H-Scatter جفت نقاط مقادیر متغیر V در جهت شمال و در چهار فاصله مختلف
۱۷	شکل ۵-۲- نمودار الف- کوواریانس، ب- همبستگی نگار و ج- MOI ۱۰۰ نمونه متغیر V
۲۳	شکل ۶-۲- دندروگرام (نمودار درختی)
۲۴	شکل ۷-۲- دندروگرام داده‌هایی سازگار و کاملاً تفکیک شده در دو گروه
۲۴	شکل ۸-۲- دندروگرام داده‌هایی سازگار و کاملاً تفکیک شده در سه گروه
۲۴	شکل ۹-۲- دندروگرام داده‌هایی ناسازگار
۳۲	شکل ۱-۳- فاصله بین جفت نقاط - متر
۳۴	شکل ۲-۳- نمایش انواع مدل‌های ریاضی تئوریک نیم‌تغییرنما
۳۵	شکل ۳-۳- موقعیت نقاط مثال
۳۷	شکل ۴-۳- نیم‌تغییرنما تجربی و مدل تئوری مثال
۳۸	شکل ۵-۳- نیم‌تغییرنمای بدون جهت از یک متغیر فرضی فاقد ساختار مکانی
۴۰	شکل ۶-۳- نمایش چند نمونه نیم‌تغییرنما دارای روند و تناوب
۴۱	شکل ۷-۳- نیم‌تعبیر نمای متقابل متغیرهای U و V
۴۷	شکل ۱-۴- چند نمونه از نیم‌تغییرنماهای تجربی برای داده‌های بارندگی الف- فاقد ساختار ب- دارای روند
۴۹	شکل ۲-۴- نمونه‌ای از نمودار مقادیر مشاهده‌ای در مقابل مقادیر برآورد شده با یک روش درون‌یابی
۶۴	شکل ۱-۶- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران
۶۶	شکل ۲-۶- موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی منطقه و مقادیر بارندگی سالانه در آنها
۶۶	شکل ۳-۶- نقشه طبقات ارتفاعی حوضه کرخه
۶۸	شکل ۴-۶- نمودار تغییرات بارندگی و ارتفاع و معادله گرادیان بارندگی
۶۹	شکل ۵-۶- نمودار هیستوگرام و q-Q بارندگی سالانه در محیط Arc/GIS:
۷۰	شکل ۶-۶- نمودار و مشخصات نیم‌تغییرنمای بدون جهت در نرم افزار Arc/GIS.
۷۱	شکل ۷-۶- نمودار سطح واریوگرام و راستای ناهمسان‌گردی داده‌های بارندگی سالانه در منطقه
۷۲	شکل ۸-۶- الف- نیم‌تغییرنمای ارتفاع در منطقه ب- نیم‌تغییرنمای متقابل ارتفاع و بارندگی
۷۴	شکل ۹-۶- بهینه‌سازی شعاع و تعداد نقاط همسایگی در روش IDW الف- تعداد نقاط همسایگی ب- شعاع همسایگی
۷۵	شکل ۱۰-۶- نمودار مقادیر برآوردی با روش اسپلاین در مقابل مقادیر مشاهده‌ای (به میلی‌متر)
۷۵	شکل ۱۱-۶- نمودار مقادیر برآوردی با روش کریجینگ در مقابل مقادیر مشاهده‌ای (به میلی‌متر)
۷۵	شکل ۱۲-۶- نمودار مقادیر برآوردی با روش IDW در مقابل مقادیر مشاهده‌ای (به میلی‌متر)
۷۶	شکل ۱۳-۶- نقشه توزیع مکانی بارندگی سالانه در حوزه کرخه با روش اسپلاین
۷۶	شکل ۱۴-۶- نقشه توزیع مکانی ارتفاع بالای ۲۷۰۰ متر در منطقه
۸۸	شکل پ.۱-۲- الف- هیستوگرام ۱۰۰ نمونه از متغیر U ب- هیستوگرام ۱۰۰ نمونه از متغیر V

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۹	شکل پ.۲-۲-الف- نمودار پراکنش ۱۰۰ نمونه از متغیر U ب- نمودار پراکنش ۱۰۰ نمونه از متغیر V
۱۰۱	شکل پ.۴-۱-محیط اصلی GS+
۱۰۲	شکل پ.۴-۲-تعیین مشخصات ستون‌ها
۱۰۳	شکل پ.۴-۳-مسیر تعیین خصوصیات آماری
۱۰۴	شکل پ.۴-۴-جانمایی داده‌ها در قسمت اول پنجره Data summary
۱۰۴	شکل پ.۴-۵-خصوصیات آماری متغیر مورد بررسی در قسمت دوم پنجره Data summary
۱۰۵	شکل پ.۴-۶-مسیر ترسیم نیم تغییرنما
۱۰۶	شکل پ.۴-۷-پنجره آنالیز نیم تغییرنما برای متغیر اصلی
۱۰۶	شکل پ.۴-۸-نیم تغییرنما و مشخصات نقاط تشکیل دهنده آن
۱۰۷	شکل پ.۴-۹-انتخاب مدل‌های مختلف و تغییر پارامترهای Sill، Nugget و Range
۱۰۷	شکل پ.۴-۱۰-مسیر انتخاب روش درون‌یابی
۱۰۸	شکل پ.۴-۱۱-مراحل محاسباتی روش کریجینگ
۱۰۸	شکل پ.۴-۱۲-یک نمونه فایل Grid
۱۰۹	شکل پ.۴-۱۳-پنجره روش درون‌یابی عکس فاصله وزنی IDW در نرم افزار GS+
۱۱۰	شکل پ.۴-۱۴-پنجره مربوط به Cross Validation
۱۱۰	شکل پ.۴-۱۵-مسیر ترسیم نقشه
۱۱۱	شکل پ.۴-۱۶-مراحل کار در پنجره Map
۱۱۷	شکل پ. ۵-۱-مسیر ترسیم هیستوگرام
۱۱۸	شکل پ.۵-۲-مراحل کار در ابزار هیستوگرام
۱۱۸	شکل پ.۵-۳-نمونه‌ای از یک نمودار QQ نرمال
۱۲۰	شکل پ.۵-۴-ابزار بررسی روند
۱۲۰	شکل پ.۵-۵-ابزار نیم تغییرنما/کوواریانس
۱۲۱	شکل پ.۵-۶-زوج نقاط در نیم تغییرنما و محیط نمایش ArcMap
۱۲۱	شکل پ.۵-۷-حذف حالت انتخاب
۱۲۳	شکل پ.۵-۸-مراحل گام ششم برای انتخاب داده ورودی
۱۲۴	شکل پ.۵-۹-روش IDW و پارامترهای آن
۱۲۵	شکل پ.۵-۱۰-روش RBF
۱۲۶	شکل پ.۵-۱۱-مراحل انجام روش کریجینگ
۱۲۷	شکل پ.۵-۱۲-بررسی راستای روند
۱۲۷	شکل پ.۵-۱۳-نحوه برازش مدل تئوریک به نیم تغییرنما تجربی
۱۲۸	شکل پ.۵-۱۴-محل انتخاب تعداد نقاط همسایگی
۱۲۹	شکل پ.۵-۱۵-نحوه انجام روش کوکریجینگ
۱۳۰	شکل پ.۵-۱۶-نمایش نتایج اجرای cross validation
۱۳۱	شکل پ.۵-۱۷-نقشه تولید شده با استفاده از روش انتخابی

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

۱۲	جدول ۱-۲- جدول فراوانی و فراوانی تجمعی ۱۰۰ نمونه متغیر V (بر حسب mm)
۱۹	جدول ۲-۲- رابطه بارش سالانه با ارتفاع در بخش‌های مختلف ایران
۲۱	جدول ۳-۲- رابطه‌ی مقیاس نقشه و اندازه سلول
۳۵	جدول ۱-۳- موقعیت (X, Y) و مقادیر مشاهده‌ای (Z) شکل (۳-۲).
۳۵	جدول ۲-۳- ماتریس فاصله بین نقاط (m)
۳۶	جدول ۳-۳- زوج نقاط مورد استفاده در محاسبه نیم‌تغییرنا
۳۶	جدول ۴-۳- محاسبه مقدار نیم‌تغییرنا در هر یک از گام‌های مکانی
۵۷	جدول ۱-۵- مشخصات چند نرم‌افزار موجود برای تحلیل‌های زمین آماری
۶۴	جدول ۱-۶- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه موردی
۶۷	جدول ۲-۶- آماره‌های توصیفی بارندگی سالانه در منطقه (به میلی‌متر)
۷۰	جدول ۳-۶- نتایج بررسی مدل‌های مختلف
۷۴	جدول ۴-۶- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف RBF
۷۴	جدول ۵-۶- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی
۸۷	جدول پ.۱-۲- پارامترهای آماری متغیرهای V و U شکل (پ ۲-۱)
۱۲۲	جدول پ.۱-۵- انواع روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و نقشه‌های قابل استخراج از آنها

مقدمه

داده‌های نقطه‌ای داده‌هایی هستند که در مکان یا مکان‌های معینی (مانند ایستگاه‌های هواشناسی) اندازه‌گیری می‌شوند. به منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و مطالعه الگوهای مکانی، داده‌های نقطه‌ای طی فرآیند درون‌یابی به سطح تعمیم می‌یابند. درون‌یابی مکانی فرآیندی است که در آن با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط معلوم، مقادیر نقاط مجهول برآورد می‌شود. امروزه از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در درون‌یابی به منظور استخراج توزیع مکانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در قالب شبکه‌های سلولی و یا مدل‌های برداری استفاده می‌گردد. روش‌های مختلفی برای درون‌یابی داده‌های مکانی وجود دارد که در این راهنما مهم‌ترین آنها تشریح می‌شود.

- هدف

هرگونه کاستی در انتخاب روش مناسب توزیع مکانی عوامل اقلیمی و بی‌توجهی به دقت روش‌های درون‌یابی می‌تواند موجب بروز خطا در برآوردهای طراحی گردد. هدف این راهنما ارائه نحوه برآورد توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مناسبترین روش می‌باشد. برای این منظور مراحل مورد نیاز جهت انجام یک برآورد مناسب تشریح می‌شود. همچنین اصول و مبانی روش‌های کاربردی توزیع مکانی بیان می‌گردد.

- دامنه کاربرد

برآورد تغییرات مکانی عوامل هواشناسی در بسیاری از مطالعات هواشناسی و منابع آب اجتناب‌ناپذیر است. لیکن به دلیل عدم امکان پوشش کامل منطقه توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برآورد عامل مورد نظر برای مناطق بین ایستگاه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. برآورد تغییرات مکانی عوامل هواشناسی بدون توجه به چگونگی انتخاب روش‌های مناسب می‌تواند از عوامل مهم ایجاد خطا در مطالعات باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد توزیع مکانی بارندگی و سایر عوامل هواشناسی وجود دارد که در این راهنما شرح داده خواهد شد. از نظر محدودیت‌ها باید اشاره کرد که روش‌های توزیع مکانی عموماً برای درون‌یابی (بین) ایستگاه‌ها هستند و در مناطق برون‌یابی با اشکال کاهش دقت روبرو هستند. همچنین باید توجه داشت که یک روش عمومی و جهانی برای تهیه نقشه‌های عوامل هواشناسی وجود ندارد.

فصل ۱

آشنایی مقدماتی با روش‌های

درون‌یابی

۱-۱- کلیات

داده‌های نقطه‌ای داده‌هایی هستند که در مکان یا مکان‌های معینی (مانند ایستگاه‌های هواشناسی) اندازه‌گیری می‌شوند. به منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و مطالعه الگوهای مکانی، داده‌های نقطه‌ای طی فرآیند درون‌یابی به سطح تعمیم می‌یابند. کلمه درون‌یابی^۱ از دو کلمه لاتین inter به معنای بین و polier به معنای پیراستن و پالایش کردن تشکیل شده است. درون‌یابی مکانی فرآیندی است که در آن با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط معلوم، مقادیر نقاط مجهول تخمین زده می‌شود. به عنوان مثال، با استفاده از درون‌یابی می‌توان دما را در نقاطی که ایستگاه هواشناسی وجود ندارد با استفاده از ایستگاه‌های مجاور آن منطقه تخمین زد. امروزه از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در درون‌یابی به منظور استخراج توزیع مکانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در قالب شبکه‌های سلولی و یا مدل‌های برداری استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای درون‌یابی داده‌های مکانی وجود دارد که در این دستورالعمل به مهم‌ترین آنها اشاره خواهد شد. متأسفانه اغلب کاربران معمولاً ساده‌ترین یا شناخته‌شده‌ترین روش را انتخاب می‌کنند و بدون مقایسه دقت روش‌ها اقدام به استخراج نقشه‌های توزیع مکانی می‌نمایند. هرگونه کاستی در انتخاب روش مناسب توزیع مکانی عوامل اقلیمی و بی‌توجهی به دقت روش‌های درون‌یابی می‌تواند، موجب بروز خطا در برآوردهای طراحی شود.

هدف این راهنما ارائه نحوه برآورد توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مناسب‌ترین روش می‌باشد که برای این منظور مراحل مورد نیاز جهت انجام یک برآورد مناسب از ابتدا تا انتها تشریح می‌شود. لذا ساختار این راهنما بدین ترتیب است که در ادامه این فصل به مبانی درون‌یابی پرداخته می‌شود. در فصل دوم به آنالیز مقدماتی داده‌های مکانی که قبل از مقایسه روش‌ها باید انجام گیرد، اشاره خواهد شد. در فصل سوم به نحوه آنالیز ساختار مکانی داده‌ها و چگونگی بررسی همبستگی مکانی پارامترهای اقلیمی پرداخته می‌شود. در فصل چهارم نیز به نحوه انتخاب اولیه روش‌های درون‌یابی با توجه به نیم‌تغییرنمای تجربی، میزان همبستگی مکانی و فیزیک متغیر پرداخته می‌شود. همچنین نحوه ارزیابی روش‌های مختلف و چند معیار ارزیابی نیز در این فصل تشریح می‌شوند و چگونگی استخراج نقشه توزیع مکانی براساس روش انتخابی نیز در همین فصل بیان می‌شود. در فصل پنجم نیز به معرفی نرم‌افزارهای تحلیل مکانی و برخی نرم‌افزارهای GIS با قابلیت‌های درون‌یابی پرداخته می‌شود. در فصل ششم، مراحل انجام کار در قالب یک مطالعه موردی تبیین شده است. نمونه‌هایی از تحقیقات انجام شده در داخل و خارج کشور در زمینه پارامترهای هواشناسی در پیوست (۱) ارائه می‌شود. شرح مفصل‌تر روش‌های آماری ارائه شده در فصل دوم در پیوست (۲) ارائه می‌گردد. در پیوست (۳) جزئیات بیش‌تری از روش‌های درون‌یابی متداول و مورد تأکید در این راهنما تشریح می‌شود. پیوست‌های (۴) و (۵) به معرفی جزئیات استفاده از نرم‌افزارهای معرفی شده اختصاص داده شده است.

۱-۲- مبانی درون‌یابی

شکل عمومی رابطه درون‌یابی خطی در یک نقطه فاقد اندازه‌گیری به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i \quad (1-1)$$

که Z_0 مقدار برآوردی متغیر در نقطه فاقد اندازه‌گیری با مختصات معلوم، w_i وزن نقطه i ام مشاهده‌ای (یا اندازه‌گیری شده)، Z_i مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه i (با مختصات معلوم) و n تعداد نقاط مشاهده‌ای می‌باشد به نحوی که $i=1, 2, 3, \dots, n$. تفاوت روش‌های مختلف درون‌یابی در نحوه محاسبه وزن‌ها (w) می‌باشد. برآورد مقادیر مجهول بر این اصل استوار است که مقادیر معلوم که در اطراف و همسایگی نقطه فاقد اندازه‌گیری (مجهول) قرار دارند، همبستگی بیش‌تری با مقدار متغیر در نقطه مجهول نسبت به نقاط دورتر دارند و لذا انتظار می‌رود وزن نقاط نزدیک‌تر بیش‌تر باشد.

۱-۳- انواع درون‌یاب‌ها

تقسیم‌بندی‌های متعددی برای روش‌های درون‌یابی وجود دارد. مانند روش سراسری^۱ در برابر روش‌های محلی^۲. در روش سراسری کلیه نقاط مشاهده‌ای در محاسبات نقطه یا نقاط مجهول دخالت داده می‌شوند (مانند روش سطح روند^۳). در حالی که در روش‌های محلی فقط از نقاط مشاهده‌ای موجود در یک محدوده، که به عنوان همسایه یا پنجره شناخته می‌شود، استفاده می‌کنند. پنجره‌ها قدم به قدم روی مجموعه داده‌ها حرکت داده می‌شوند تا عملیات درون‌یابی در کل محدوده مورد نیاز کامل شود. نوع دیگر تقسیم‌بندی روش‌های درون‌یابی، تقسیم‌بندی به روش‌های دقیق^۴ و تقریبی^۵ می‌باشد. در روش‌های دقیق سطح درون‌یابی شده از نقاط مشاهده‌ای عبور می‌کند (مانند روش عکس فاصله وزنی^۶). در روش‌های تقریبی مقداری عدم قطعیت برای داده‌ها در نظر گرفته می‌شود و لذا سطح درون‌یابی ممکن است از نقاط مشاهده‌ای عبور نکند (مانند روش سطح روند). در یک دیدگاه دیگر نیز، روش‌ها به دو دسته تدریجی^۷ و ناگهانی^۸ تقسیم‌بندی می‌شوند. یک نمونه معمول از روش تدریجی، روش میانگین متحرک وزنی می‌باشد که تغییرات در سطح درون‌یابی شده تدریجی صورت می‌گیرد. در روش‌های ناگهانی، تغییرات ناگهانی یا شکستگی در سطح درون‌یابی وجود دارد. به عنوان مثال در نقشه‌های زمین‌شناسی وجود گسل می‌تواند باعث بوجود آمدن ناپیوستگی در متغیر درون‌یابی شود. نوع دیگر تقسیم‌بندی روش‌ها به قطعی^۹ و تصادفی^{۱۰} می‌باشد که با توجه به اهمیت آن، این نوع دسته‌بندی در ادامه توضیح داده می‌شود.

۱-۳-۱- درون‌یاب‌های قطعی

در روش‌های قطعی یک یا چند رویه به مجموعه نقاط مشاهده‌ای (Z) در مختصات معلوم برازش داده می‌شود. درون‌یاب‌های قطعی می‌توانند، دقیق و یا تقریبی باشند به طوری که اگر مقادیر مشاهده‌ای به عنوان مقادیر دقیق (بدون خطا و یا عدم قطعیت) در محل‌های نمونه‌گیری تلقی شود، استفاده از یک روش دقیق برای درون‌یابی توصیه می‌شود. ولی اگر مقداری عدم قطعیت برای متغیر

-
- 1- Global
 - 2- Local
 - 3- Trend Surface
 - 4- Exact
 - 5- Approximate (or Inexact)
 - 6- Inverse Distance Weighting (IDW)
 - 7- Gradual
 - 8- Abrupt
 - 9- Deterministic
 - 10- Stochastic

در نظر گرفته شود، ممکن است یک روش هموار^۱ انتخاب شود. لذا در این دسته، توابع ریاضی مختلفی برای برازش سطوح درون‌یابی به نقاط معلوم می‌توانند، استفاده شوند. روش‌های چندجمله‌ای و اسپلاین^۲ از جمله توابع مورد استفاده در روش‌های قطعی می‌باشند. از مهم‌ترین روش‌های دیگری که در این دسته قرار می‌گیرند، روش‌های عکس فاصله، تیسن و مثلث‌بندی می‌باشند.

۱-۳-۲- درون‌یاب‌های تصادفی

درون‌یاب‌های تصادفی به دسته‌ای از روش‌ها گفته می‌شود که بر پایه ویژگی‌های آماری سری مکانی متغیر مورد نظر، نظیر میانگین و انحراف معیار استوار می‌باشد. در روش‌های آماری تخمین میانگین مکانی یک منطقه، به تعداد نمونه‌ها و احتمال دخالت هر نمونه وابسته است. این نوع از درون‌یاب‌ها در زمینه نمونه‌برداری کلاسیک به عنوان روش‌های طراحی محور^۳ شناخته می‌شوند. لازم به ذکر است که وزن داده‌های مشاهده‌ای در این نوع درون‌یاب‌ها براساس عبارات احتمالاتی ساده محاسبه می‌شوند. یک فرآیند آماری $(F(x))$ می‌تواند به عنوان فرآیندی که دارای یک بخش ساختاردار یا قطعی و یک بخش با همبستگی مکانی تصادفی است، تعریف شود. تابع با استفاده از نقاط مشاهده شده به دست می‌آید. در این حالت بخش ساختاردار یا روند که با $f(x)$ نشان داده شده است، با برازش یک تابع خطی یا غیرخطی مناسب تعیین شود. بنابراین:

$$F(x) = f(x) + \varepsilon(x) \quad (1-2)$$

به طوری که $\varepsilon(x)$ معرف جز تصادفی می‌باشد.

در روش‌های احتمالاتی، همبستگی مکانی باقی‌مانده‌های $\varepsilon(x) = F(x) - f(x)$ به وسیله واریانس فواصل بین نقاط تحلیل می‌شوند. درون‌یابی به وسیله کمینه کردن واریانس تخمین انجام می‌گیرد. بنابراین می‌توان گفت که روش‌های آماری تا حدودی «بهترین» تخمین را ارائه نموده و مقدار اعتبار تخمین را نیز محاسبه می‌نمایند. انواع مختلف روش کریجینگ از جمله روش‌های آماری می‌باشند. تاریخچه و کاربرد این روش‌ها در برآورد پارامترهای مختلف در پیوست (۱) ارائه شده است. شرح بیش‌تر هر یک از روش‌ها نیز در پیوست (۳) ارائه شده است.

فصل ۲

بررسی‌های مقدماتی برای تحلیل

تغییرات مکانی

۲-۱- کلیات

در مرحله اول برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی لازم است، ابتدا شناخت کلی از داده‌های مکانی کسب شود. شناخت رفتار داده‌های مکانی می‌تواند در دو مرحله صورت گیرد. ۱- بررسی‌های آماری داده‌ها و ۲- بررسی عوامل موثر بر متغیر مورد نظر. اطلاع داشتن از این عوامل می‌تواند در انتخاب روش و تفسیر نتایج کمک موثری نماید. لذا در این فصل تحلیل‌های آمار توصیفی داده‌ها، ارتباط متغیرها و نیز رفتار پارامترهای اقلیمی در ایران به اختصار ارائه می‌شوند. همچنین در مورد ارتباط بین مقیاس نقشه‌ها و تفکیک‌پذیری مکانی مورد استفاده در تولید نقشه‌های هم‌مقدار مطالبی ارائه شده است. در نهایت با توجه به اهمیت هم‌گن‌بندی و طبقه‌بندی داده‌ها در درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای روش‌های متداول آن معرفی شده‌اند.

۲-۲- آمار توصیفی داده‌ها

این بخش از مطالب در سه قسمت آنالیز آمار توصیفی تک متغیره، آمار توصیفی دو متغیره و آمار توصیفی مکانی ارائه خواهد شد.

۲-۲-۱- آمار توصیفی تک متغیره

الف- هیستوگرام فراوانی

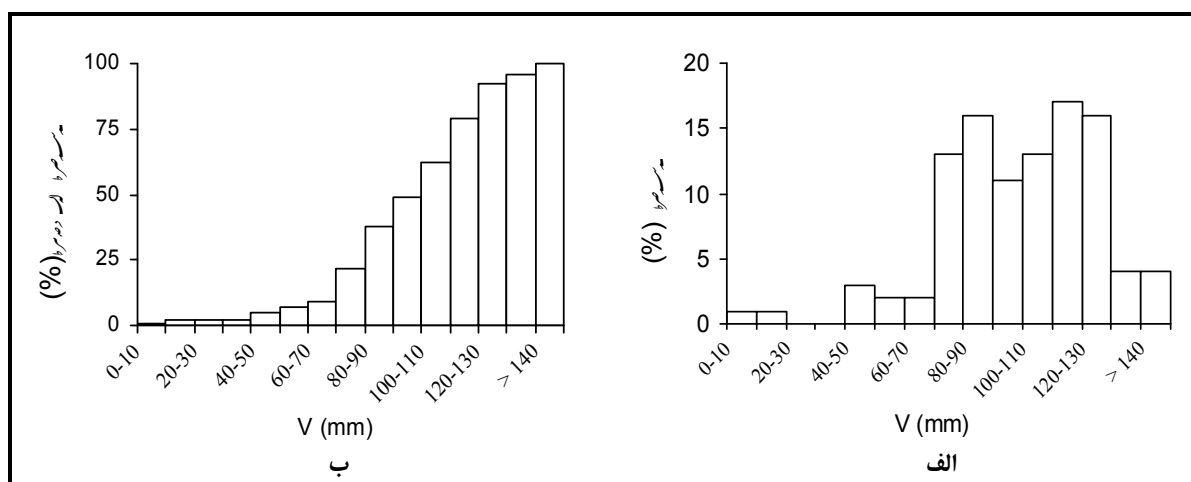
یکی از متداول‌ترین و مفیدترین روش‌های ارائه اطلاعات، جدول هیستوگرام فراوانی می‌باشد. اغلب یک جدول فراوانی مقادیر مشاهده‌ای را در فواصل معین تقسیم می‌کند. جدول (۱-۲) فراوانی یک متغیر فرضی را نشان می‌دهد. اطلاعات جدول (۱-۲) می‌تواند به صورت هیستوگرام نشان داده شود (شکل ۱-۲ الف). به طور معمول از یک دامنه ثابت برای کلاس‌های هیستوگرام استفاده می‌شود، به طوری که ارتفاع هر نوار فراوانی متغیر مورد نظر را در هر کلاس به طور نسبی نشان می‌دهد. در برخی موارد می‌توان از هیستوگرام فراوانی تجمعی استفاده نمود (شکل ۱-۲ ب).

ب- آماره‌ها (خلاصه‌های آماری)

مهم‌ترین خصوصیات هیستوگرام‌های فراوانی داده‌های مکانی را می‌توان توسط تعدادی از آماره‌ها استخراج کرد. آماره‌ها به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: معیارهای موقعیت، معیارهای پراکنش و معیارهای شکل، آماره‌های اولین گروه، اطلاعاتی در مورد قسمت‌های مختلف توزیع ارائه می‌دهند. میانگین، میانه و مد موقعیت مرکز توزیع فراوانی را تعیین می‌کنند. موقعیت قسمت‌های دیگر توزیع با چندک‌های^۱ (کوانتایل) مختلف قابل استخراج است. دومین گروه شامل واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات و فاصله کوانتایل است که در توصیف میزان تغییرات مقادیر داده‌ها حول میانگین مفید می‌باشند. شکل توزیع توسط کشیدگی و ضریب چولگی در گروه سوم توصیف می‌شوند. ضریب چولگی به تقارن توزیع می‌پردازد و کشیدگی مربوط به طول دنباله انواع معینی از توزیع‌ها می‌باشد. به طور کلی این آماره‌ها اطلاعات با ارزشی را ارائه می‌کنند. توضیح بیش‌تر در مورد نحوه محاسبه هر یک از این معیارها در پیوست (۲) ارائه شده است.

جدول ۱-۲- جدول فراوانی و فراوانی تجمعی ۱۰۰ نمونه متغیر V (بر حسب mm)

فراوانی تجمعی		فراوانی		کلاس
درصد	تعداد	درصد	تعداد	
۱	۱	۱	۱	$10 \leq V < 0$
۲	۲	۱	۱	$20 \leq V < 10$
۲	۲	۰	۰	$30 \leq V < 20$
۲	۲	۰	۰	$40 \leq V < 30$
۵	۵	۳	۳	$50 \leq V < 40$
۷	۷	۲	۲	$60 \leq V < 50$
۹	۹	۲	۲	$70 \leq V < 60$
۲۲	۲۲	۱۳	۱۳	$80 \leq V < 70$
۳۸	۳۸	۱۶	۱۶	$90 \leq V < 80$
۴۹	۴۹	۱۱	۱۱	$100 \leq V < 90$
۶۲	۶۲	۱۳	۱۳	$110 \leq V < 100$
۷۹	۷۹	۱۷	۱۷	$120 \leq V < 110$
۹۲	۹۲	۱۶	۱۳	$130 \leq V < 120$
۹۶	۹۶	۴	۴	$140 \leq V < 130$
۱۰۰	۱۰۰	۴	۴	$\infty \leq V < 140$



شکل ۱-۲- هیستوگرام مقادیر متغیر V در ۱۰۰ نمونه، الف- هیستوگرام فراوانی ب- هیستوگرام فراوانی تجمعی

ج- توزیع احتمال نرمال و لوگ نرمال

انتخاب یک مدل تئوری برای توزیع مقادیر داده‌ها معمولاً یک گام مهم قبل از شروع فرآیند تخمین می‌باشد. توزیع گوسی یا نرمال یکی از اشکال توزیع است که می‌تواند با یک توصیف ریاضی دقیق بیان شود. فراوانی تجمعی توزیع نرمال به شکل یک خط راست در کاغذ نمودار احتمالاتی نرمال نشان داده می‌شود. در صورتی که توزیع لگاریتمیک متغیر نرمال باشد، آن متغیر به صورت لوگ نرمال توزیع شده است. با استفاده از یک مقیاس لگاریتمی در محور x نمودار احتمال نرمال، می‌توان وجود توزیع لوگ نرمال را

بررسی نمود. اگر مقادیر داده‌ها دارای توزیع لوگ نرمال باشد، نمودار فراوانی‌های تجمعی مقادیر داده‌ها در این نمودار به صورت یک خط مستقیم رسم می‌شود.

فرضیات درباره توزیع مقادیر داده‌ها بیش‌ترین تاثیر را بر تخمین مقادیر حدی دارد. اگر از روش‌هایی که وابسته به نوع توزیع داده‌ها است برای تخمین استفاده شود، باید مراقب انحراف اتفاقی یک نمودار احتمالاتی در موارد حدی بود. لازم به ذکر است که هرچند خطی بودن داده‌ها در یک نمودار احتمالاتی، یک تخمین مناسب را تضمین نمی‌کند، خمیدگی یک خط نیز نمی‌تواند استفاده از روش‌های توزیع - محور^۱ را برای تخمین رد کند. البته در مورد برخی از روش‌ها فرض درباره توزیع داده‌ها نسبت به بقیه روش‌ها مهم‌تر می‌باشد.

۲-۲-۲- آمار توصیفی دو متغیره

روش‌های تک متغیره که در بند قبلی توضیح داده شد، برای توصیف توزیع متغیرهای منفرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما اگر یک مجموعه داده‌های چند متغیره به صورت منفرد تحلیل شوند، اطلاعات اندکی به دست خواهد آمد. یکی از مهم‌ترین خصوصیات داده‌های علوم زمین ارتباط و وابستگی‌های موجود بین متغیرهای مختلف می‌باشد که می‌تواند در تخمین بهتر یکی از متغیرها در نقاط مجهول مفید واقع شوند. روش‌های بیان ارتباط بین دو متغیر شامل مقایسه دو توزیع، دیاگرام‌های پراکنش و همبستگی متغیرها می‌باشد که نحوه بررسی هر یک از این روش‌ها در پیوست (۲) ارائه شده است.

۲-۲-۳- آمار توصیفی مکانی

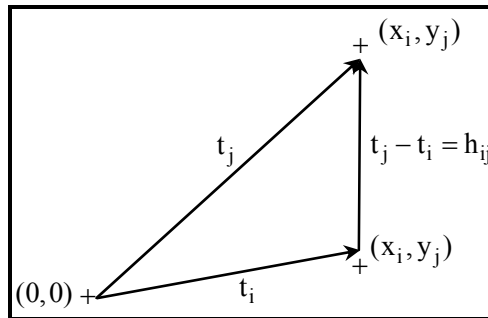
الف- پیوستگی مکانی

پیوستگی مکانی در بسیاری از داده‌های علوم زمین وجود دارد. مقدار نمونه‌هایی که در فاصله نزدیک‌تری به هم قرار دارند، نسبت به نمونه‌های دورتر به هم شبیه‌ترند. زمانی که ما به نقشه داده‌ها نگاه می‌کنیم، به نظر نمی‌رسد که مقادیر به طور تصادفی قرار گرفته باشند، بلکه مقادیر کم‌تر تمایل دارند که به سایر مقادیر کم نزدیک باشند و مقادیر بالا هم به سایر مقادیر بالا نزدیک هستند. زمانی که ما یک داده پرت در نقشه می‌بینیم، این یک هشدار است که آن داده ممکن است دارای خطا باشد، زیرا یک ارتباط غیرعادی مکانی را با دیگر مقادیر نشان می‌دهد. از نمودار H-Scatter می‌توان در بیان پیوستگی مکانی استفاده نمود.

ب- نمودار H-scatter

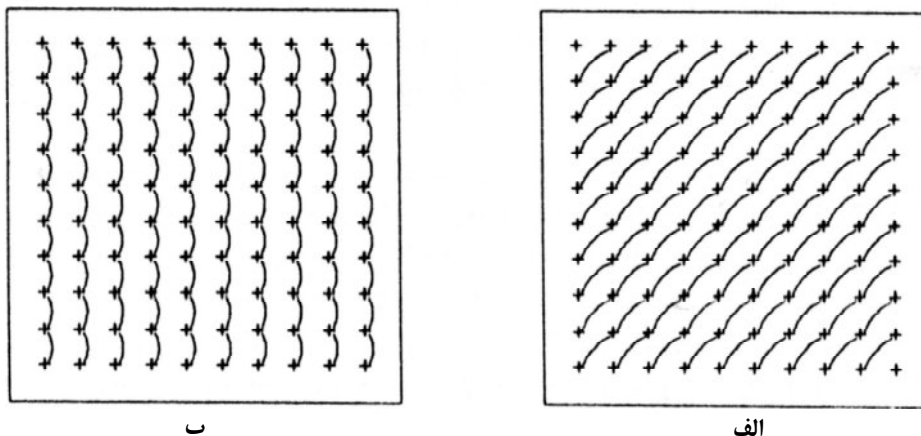
یک نمودار H-Scatter تمام جفت نقاط ممکن از مقادیر داده‌ها که موقعیت آنها نسبت به یکدیگر در یک راستای مشخص دارای یک فاصله مکانی معین باشند را نشان می‌دهد. در اینجا حروف X و Y برای اشاره به مختصات مکانی در یک فضای دو بعدی استفاده می‌شود. موقعیت یک نقطه را نسبت به مبدا مختصات می‌توان مانند فاصله بین دو نقطه با یک بردار نمایش داد. از نماد بردار هنگام توصیف زوج مقادیری که در یک فاصله مشخص در یک راستای معین از یکدیگر قرار دارند، استفاده می‌شود. مطابق شکل (۲-۲) موقعیت یک نقطه در مختصات $(X_i$ و $Y_i)$ نسبت به مبدا مختصات را با بردار t_i نمایش می‌دهیم. به همین صورت نقطه‌ای که

در مختصات (x_i, y_j) قرار دارد با t_j نشان داده می‌شود. بنابراین بردار بین دو نقطه i و j برابر با $t_j - t_i$ است که می‌توان آن را به صورت زوج مختصات $(x_i - x_j, y_i - y_j)$ بیان کرد. در بسیاری مواقع جهت بردار فاصله نیز اهمیت بسیاری دارد. ما از نماد h_{ij} برای نمایش برداری که از i به سمت j می‌رود و از نماد h_{ji} برای برداری که از j به سمت i می‌رود، استفاده می‌کنیم.



شکل ۲-۲- تشریح علائم برداری در نمودار H-scatter

متغیری مانند z را در نظر بگیرید. در نمودار H-scatter، $z(t)$ بر روی محور x و مقادیر $z(t+h)$ بر روی محور y قرار می‌گیرند که در آن $z(t)$ مقدار z در موقعیت بردار t و $z(t+h)$ مقدار z در فاصله h از انتهای بردار t است. برای مثال به ازای $h=(0,1)$ جفت نقاطی مورد نظر هستند که در مختصات طولی یکسان ولی در مختصات عرضی به اندازه یک متر فاصله دارند. شکل (۲-۳ ب) تعداد ۹۰ جفت نقطه از یک شبکه $10 \times 10 \text{ m}$ را نشان می‌دهد که در راستای شمالی یک متر از یکدیگر فاصله دارند. حال اگر فرض کنیم h برابر با $(1,1)$ باشد، جفت داده‌هایی مورد نظر می‌باشند که در راستای شرقی یک متر و در راستای شمالی نیز یک متر از هم فاصله دارند (به عبارتی داده‌هایی که در راستای شمالی شرقی از یکدیگر $\sqrt{2}$ متر فاصله دارند). شکل (۲-۳ الف) ۸۱ جفت از داده‌هایی که به فاصله $\sqrt{2}$ متر در راستای شمالی شرقی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳- نمایش چگونگی انتخاب جفت نقاط در نمودار H-Scatter (الف) جفت نقاط به فاصله $(1,1)$ (ب) جفت نقاط به فاصله $(0,1)$

ابر نقاط در نمودار H-scatter معرف میزان پیوستگی مکانی مقادیر داده‌هایی است که در یک فاصله معین و در یک راستای مشخص از یکدیگر قرار گرفته‌اند. اگر مقادیر داده‌هایی که به اندازه h از یکدیگر فاصله دارند بسیار به هم شبیه باشند، آنگاه جفت نقاط نزدیک به خط ۴۵ درجه که از مبدا مختصات نمودار H-scatter عبور می‌کند، قرار می‌گیرند. زمانی که مقادیر داده‌ها شباهت کم‌تری نسبت به هم داشته باشند، آنگاه ابر نقاط در نمودار H-scatter پراکنده‌تر خواهد شد.

برای یک شبکه مفروض $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ، نمودارهای H-scatter داده‌های نقاطی که از 1 m تا 4 m در راستای شمالی از یکدیگر فاصله دارند در شکل (۲-۴ الف تا د) ترسیم شده است. از این چهار نمودار می‌توان نتیجه گرفت که از $h = (0, 1)$ تا $h = (0, 4)$ ابر نقاط پراکنده تر و از خط ۴۵ درجه دورتر می‌شوند. هرچند که خط ۴۵ درجه از میان ابر نقاط در هر نمودار H-scatter می‌گذرد، اما ابر نقاط به صورت متقارن در اطراف این خط قرار نمی‌گیرند.

ج- توابع همبستگی، توابع کوواریانس و نیم‌تغییرنا

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، یکی از مشخصه‌های مهم نمودار H-scatter بزرگی ابر نقاط می‌باشد. یک آماره برای خلاصه کردن این مشخصه ضریب همبستگی (R) است. هنگامیکه ابر نقاط بزرگ‌تر می‌شود، ضریب همبستگی کاهش می‌یابد. ضریب همبستگی چهار نمودار شکل (۲-۴) با افزایش h به صورت پیوسته کاهش می‌یابد.

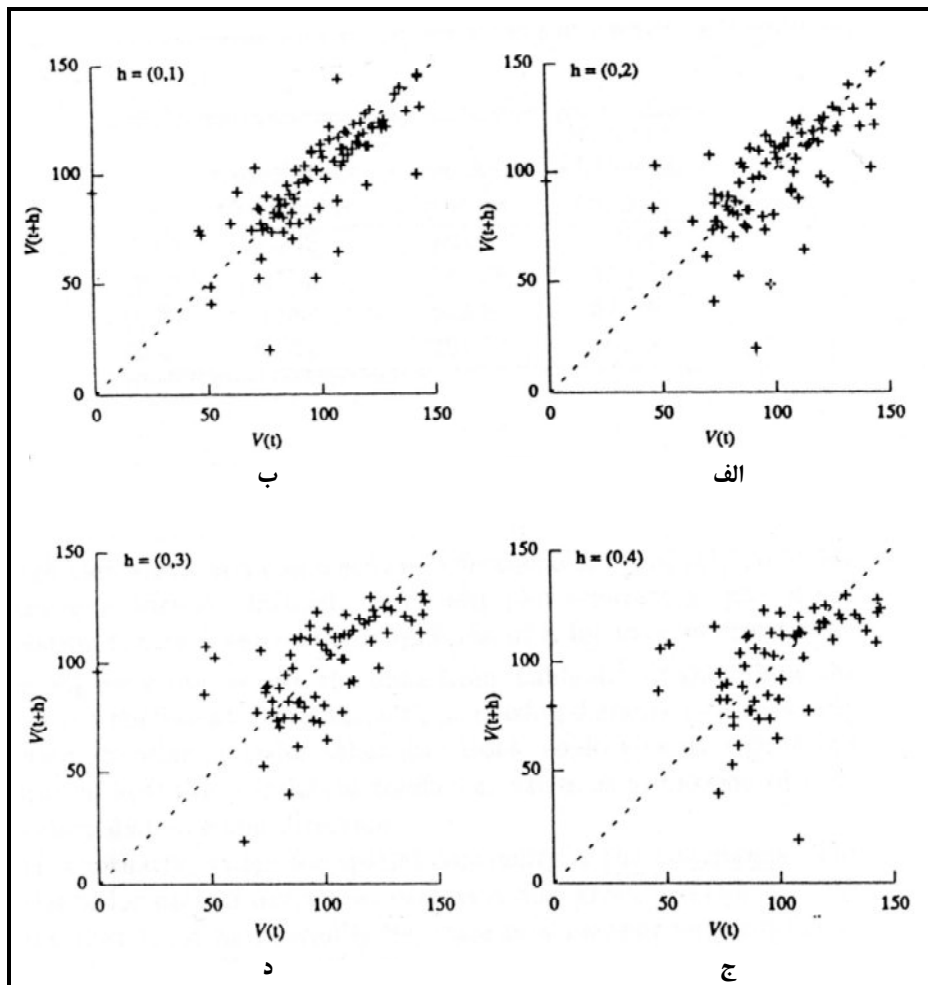
ارتباط بین ضریب همبستگی نمودار H-scatter و h تابع همبستگی یا کوریلوگرام^۱ نامیده می‌شود. ضریب همبستگی به h به عنوان برداری دارای بزرگی و راستا بستگی دارد. شکل (۲-۵ ب) تغییرات تابع همبستگی ($\rho(h)$) را با h (فاصله در جهت شمال) نشان می‌دهد.

کوواریانس^۲ شاخص دیگری برای بیان پیوستگی مکانی می‌باشد. تابع کوواریانس مانند ضریب همبستگی به صورت پیوسته با افزایش h کاهش پیدا می‌کند. رابطه بین کوواریانس حاصل از یک نمودار H-scatter با h تحت عنوان تابع کوواریانس خوانده می‌شود. شکل (۲-۵ الف) تابع کوواریانس در راستای شمالی را نشان می‌دهد.

یک شاخص مناسب دیگر برای بیان بزرگی ابر نقاط در نمودار H-scatter گشتاور اینرسی (MOI) حول خط ۴۵ درجه است که با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$MOI = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (1-2)$$

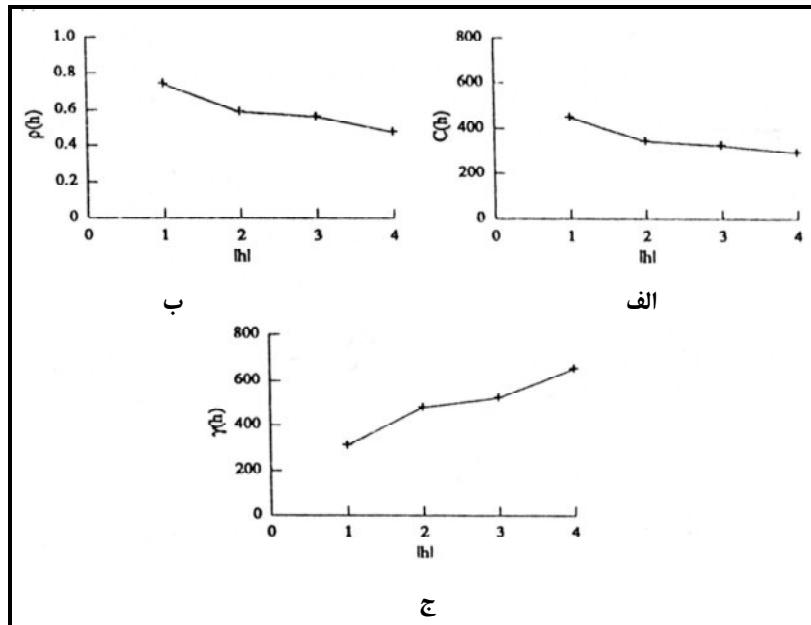
که در آن n تعداد جفت نقاط و x_i و y_i مختصات هر یک از جفت نقاط بر روی H-scatter می‌باشند.



شکل ۴-۲- نمودار H-Scatter جفت نقاط مقادیر متغیر V در جهت شمال و در چهار فاصله مختلف. الف- فاصله ۲ متری ب- فاصله ۱ متری ج- فاصله ۴ متری د- فاصله ۳ متری

شاخص MOI برابر است با نصف میانگین اختلاف میان مختصات x و y هر یک از جفت نقاط واقع در نمودار H-scatter. تمام نقاط در نمودار H-scatter به ازای $h = (0,0)$ دقیقاً روی خط $y=x$ قرار خواهند گرفت. هنگامی که قدر مطلق h افزایش می‌یابد، نقاط از خط $y=x$ انحراف بیشتری خواهند یافت. بنابراین گشتاور اینرسی در حول خط ۴۵ درجه بزرگی ابر نقاط را بیان می‌نماید. بر خلاف دو شاخص قبلی گشتاور اینرسی با بزرگ‌تر شدن ابر نقاط افزایش پیدا خواهد کرد. ارتباط بین گشتاور اینرسی نمودار H-scatter و h موسوم به نیم‌تغییرنما^۱ است که یکی از مهم‌ترین نمودارهای تحلیل داده‌های مکانی به شمار می‌رود. نمونه‌ای از نیم‌تغییرنما که گاهی تغییرنما نیز خوانده می‌شود، در شکل (۲-۵ ج) نشان داده شده است. از جمله خواص نیم‌تغییرنما اینست که $\gamma(h) = \gamma(-h)$ این رابطه نشان می‌دهد که نیم‌تغییرنمای محاسبه شده برای هر راستای مشخص برابر است با نیم‌تغییرنمای محاسبه شده برای راستای مخالف آن. تابع کوواریانس و تابع همبستگی نیز همین ویژگی را دارند. به همین دلیل معمولاً راستاهای مخالف را در توصیف پیوستگی مکانی با یکدیگر تلفیق می‌کنیم. بنابراین برای مثال قبل بجای بحث در مورد پیوستگی در راستای شمالی، پیوستگی مکانی در راستای شمالی - جنوبی مورد نظر است زیرا هر یک از آماره‌های مورد بحث مقادیر

یکسانی در راستای شمالی و جنوبی را به خود اختصاص می‌دهند. در ارتباط با نحوه محاسبه و ویژگی‌های نیم‌تغییرنما در فصل سوم توضیحات بیش‌تری ارائه شده است. اگر چه نحوه محاسبه و کاربرد آنالیزهای آماری در این بخش توضیح داده شد، اما در فصل ششم (مطالعه موردی) نیز با جزییات عددی ارائه می‌شود.



شکل ۲-۵- نمودار الف- کوواریانس، ب- همبستگی نگار و ج- MOI ۱۰۰ نمونه متغیر V.

۲-۳- رابطه متغیرهای اقلیمی با سایر متغیرها

همان‌طور که گفته شد به منظور برآورد توزیع مکانی یک متغیر اقلیمی ضروری است که شناخت کافی از متغیر کسب شود. بنابراین یکی از بررسی‌های مقدماتی که قبل از درون‌یابی لازم است صورت گیرد، بررسی خصوصیات ذاتی متغیرها و نحوه عملکرد آنها در منطقه می‌باشد. لذا در این بخش در مورد تغییرات عوامل اقلیمی در ایران و عوامل موثر بر آنها به اختصار و در حد مطالعات انجام شده و در دسترس پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱- بررسی وضعیت عوامل اقلیمی در ایران

عوامل کنترل کننده اقلیم ایران را می‌توان به دو دسته محلی و بیرونی تقسیم‌بندی کرد. عوامل محلی به آن دسته از عوامل اطلاق می‌شوند که در محل موجودند و از سالی به سال دیگر تغییر نمی‌کنند. جهت تابش، ناهمواری‌ها و پوشش زمین را می‌توانیم جزء عوامل کنترل کننده اقلیم در سطح محلی به شمار آوریم.

عوامل بیرونی کنترل کننده اقلیم عواملی هستند که در داخل ایران استقرار ندارند. این عوامل در خارج از محدوده ایران واقع شده‌اند و با ورود آنها به داخل کشور اقلیم ایران را کنترل می‌کنند. عوامل بیرونی را می‌توانیم به دو دسته تقسیم‌بندی نماییم. دسته اول آنهايي هستند که بر اثر گسترش سیستم‌های فشار نواحی مجاور ایران مانند پرفشار سیبری، کم فشار دره گنگ و یا گسترش هوای گرم عربستان به ایران وارد می‌شوند. هوای سرد سیبری در طول فصل سرد بر اثر گسترش سیستم پرفشار سیبری به سمت ایران جریان می‌یابد و هوای بسیار سرد و خشک و یخبندان‌های شدید را در شمال شرق ایران و مرکز ایران باعث می‌شود. دسته دوم

عواملی هستند که از سرزمین‌های دورتر، مانند دریای مدیترانه، اقیانوس اطلس، شمال سبیری و غیره ریشه می‌گیرند و به وسیله سیستم‌های فشار و سامانه‌های جوی به ایران می‌رسند. عمده‌ترین این عوامل عبارتند از سیکلون‌های مدیترانه، موج‌های کوتاه بادهای غربی، آنتی سیکلون‌های برون حاره ای و رودباد جبهه قطبی. تمام این سامانه‌ها در داخل بادهای غربی تشکیل و حرکت می‌کنند و ورود آنها به ایران به پیشروی و گسترش بادهای غربی وابسته است. ورود این عوامل، بارش‌های ایران را سبب می‌شوند. در صورت عدم ورود این سیستم‌ها هوای مرطوب به ایران نمی‌رسد و بنابراین بخش اعظم بارش‌های ایران معلول ورود این عوامل به کشور می‌باشند. این عوامل را تحت عوامل سیاره‌ای یا گردش عمومی هوا نیز می‌توان عنوان کرد. تحلیل مکانی عناصر اقلیمی بر پایه عوامل ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی و دوری و نزدیکی به منبع رطوبت انجام می‌شود، به طوری که عوامل فوق متغیرهای مستقل و عناصر اقلیمی نظیر دما، دمای نقطه شبنم، بارش و غیره به عنوان متغیر وابسته می‌باشند. در برخی بررسی‌های توزیع مکانی، روابط حاکم بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است و در بسیاری دیگر از مطالعات توزیع مکانی صرفاً عامل ارتفاع به عنوان موثرترین عامل توزیع مکانی در نظر گرفته شده است. ارتفاع ممکن است در بسیاری از مناطق به عنوان موثرترین عامل توزیع بارش باشد ولی در برخی از مناطق نظیر مناطق شمالی کشور ارتفاع به عنوان عامل اصلی موثر بر توزیع مکانی بارش نمی‌باشد. در سواحل دریای خزر عمدتاً مسیر سامانه‌های پرفشار سبیری و دوری و نزدیکی به منبع رطوبت به عنوان اصلی‌ترین عامل در توزیع مکانی بارش است.

در سایر مناطق کشور، ارتفاع و سایر عوامل نظیر مسیر حرکت سامانه‌های جوی (طول و عرض جغرافیایی) و منبع رطوبت در توزیع بارش نقش ایفا می‌کنند، به طوری که با افزایش ارتفاع و به دنبال آن کاهش دما و تبخیر و همچنین تسریع در رسیدن دما به نقطه شبنم، میزان بارش با ارتفاع افزایش می‌یابد. باید به این نکته توجه کرد که افزایش میزان بارش با ارتفاع بصورت رابطه خطی نیست. به نظر می‌رسد که با توجه به خصوصیات مختلف ناهمواری‌های کشور بارش تنها تا ارتفاع معینی افزایش می‌یابد و از آن پس با افزایش ارتفاع مقدار بارش رو به کاهش می‌رود.

در مناطق حاره که لایه پایینی جو سرشار از رطوبت است ولی لایه‌های میانی جو از نظر رطوبت بسیار فقیر هستند، حرکات همرفتی تنها به لایه‌های پایینی جو محدود می‌شود. از همین رو در نواحی حاره بارش تا ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متری افزایش می‌یابد و از آن پس رو به کاهش می‌گذارد. اما در مناطق برون حاره نظیر کشور ایران مقدار بارش تا ارتفاع ۳۰۰۰ الی ۴۰۰۰ متری افزایش می‌یابد. همچنین اثر ارتفاع بر بارش در تابستان‌ها شدیدتر از زمستان و در دامنه‌های بادگیر بسیار قوی‌تر از دامنه‌های باد پناه است.

تاکنون پژوهشگران زیادی کوشیده‌اند تا بر پایه مدل بارش-ارتفاع، توزیع مکانی بارش در حوضه‌ها را محاسبه کنند. این مطالعات از لحاظ تعداد سال‌های آماری، تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی، پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌ها و دقت آماری محاسبات بسیار متفاوتند. در جدول (۲-۲) برخی از نتایج این مطالعات درج شده است. از بررسی این جدول چنین استنباط می‌شود که اول ضریب همبستگی میانگین بارش سالانه و ارتفاع در همه جا مثبت است اما مقدار آن شدت و ضعف دارد. دوم این که خیز بارش بسیار متغیر است و بین ۱/۲ میلی‌متر بر متر در حوضه آبریز زهره تا ۰/۰۴ در ارتفاعات مرکزی کرمان تغییر می‌کند. سوم این که نوع رابطه بارش-ارتفاع غالباً خطی پیشنهاد شده است. به علت محدودیت‌های محاسبه روابط بارش-ارتفاع و همچنین محدودیت جغرافیایی مناطق بررسی شده در جدول (۲-۲) تصویر روشنی از چگونگی رابطه بارش و ارتفاع در ایران وجود ندارد. موحد دانش (۱۳۷۳) نشان می‌دهد که اگر به جای ارتفاع مطلق در مدل‌های بارش-ارتفاع، میانگین وزنی ارتفاع حوضه به کار گرفته شود، نتیجه بسیار بهتری به دست می‌آید. بنابراین به نظر می‌رسد از راه بازبینی در شکل روابط ریاضی بارش-ارتفاع و یا استفاده از مدل‌های کریجینگ بتوان

الگوی توزیع مکانی بارش را بهتر برآورد نمود. همچنین در نواحی کوهستانی فاصله پایه ابر تا زمین کم‌تر است و حتی قطرات بسیار ریز باران نیز فرصت می‌یابند تا پیش از آن که در جو تبخیر شوند، خود را به زمین برسانند و به همین سبب مقدار بارش نواحی کوهستانی و ارتفاعات نسبت به دشت‌های مجاور زیادتر است. در مجموع، عوامل گوناگون سبب می‌شود تا از اعتبار روابط بارش سالانه و ارتفاع کاسته شود. برخی عوامل از دقت آماری این روابط می‌کاهند و برخی دیگر سبب می‌شوند که روابط به دست آمده به نواحی جغرافیایی کوچکی محدود شوند. این عوامل را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد.

- ۱- تراکم بارانسنج‌ها در مناطق مرتفع کم است.
- ۲- وقوع بارش با منشاهاى مختلف رابطه بارش-ارتفاع را پیچیده می‌سازد.
- ۳- تغییرات مکانی بارش در مناطق مرتفع شدید است.
- ۴- دقت اندازه‌گیری بارش در مناطق مرتفع کم است.
- ۵- شکل زمین در نواحی کوهستانی پیچیده است و رابطه بارش-ارتفاع تحت تاثیر عوامل موضعی مانند جهت دره‌ها قرار می‌گیرد.

۶- روابط بارش-ارتفاع به شدت موضعی است و به‌ویژه به جهت جریان توده‌های هوا بستگی دارد.

۷- در کوه‌های کم ارتفاع و گسسته رابطه بارش-ارتفاع نسبت به رشته کوه‌های پیوسته و بلند ضعیف‌تر است.

به واسطه دلایل فوق عدم قطعیت رابطه بارش-ارتفاع بسیار زیاد و نتایج مدل‌ها تقریبی می‌باشد. برای مثال مطالعاتی که در انگلستان انجام شده است بیانگر آن است که در نواحی کوهستانی اثر ارتفاع بر بارش در مناطق جغرافیایی مختلف بسیار با هم تفاوت دارد. همچنین مطالعاتی که در ایران بر روی رابطه بارش-ارتفاع انجام شده است، نیز نشان می‌دهد که رابطه ارتفاع با بارش در نواحی جغرافیایی مختلف بسیار متنوع است. همچنین مطالعات دیگری از جمله علیجانی (۱۳۷۴) نشان داده است که در کرانه‌های دریای خزر فاصله از دریا بهتر از ارتفاع، تغییرات مکانی بارش را توضیح می‌دهد.

جدول ۲-۲- رابطه بارش سالانه با ارتفاع در بخش‌های مختلف ایران

منبع	محل جغرافیایی	ضریب همبستگی	رابطه بارش-ارتفاع
مهندسین مشاور هامونباد	ارتفاعات جنوب کرمان	۰/۸۹	$P=۸۵/۷۹ + ۰/۹۵ H \pm ۱۶/۹$
مهندسین مشاور هامونباد	ارتفاعات جنوب غربی کرمان	۰/۷۶	$P=۱۵۷/۷ + ۰/۴۴ H \pm ۳۵/۴$
مهندسین مشاور هامونباد	ارتفاعات مرکزی کرمان	۰/۵۹	$P=۶۷/۶ + ۰/۰۴۱ H \pm ۳۴$
مهندسین مشاور هامونباد	ارتفاعات شمال شرق کرمان	۰/۸۶	$P=۱/۷ + ۰/۰۶ H \pm ۲۴/۴$
حبیبی (۱۳۷۳)	ارتفاعات آبریز کارون و مارون در کهگیلویه و بویراحمد	۰/۸۸	$P=۶۳۷/۹ + ۰/۷۱۷H$
حبیبی	ارتفاعات آبریز زهره در کهگیلویه	۰/۹۷	$P=-۸۵/۳۹ + ۱/۲۰ H$
مسببی	ارتفاعات آبریز گلپایگان	۰/۸۹	$P=-۱۳۲/۳۸ + ۰/۲۰۲H$
نیک اندیش	شمال غرب کارون (منطقه چلگرد)	۰/۹۲	$P=-۱۵۸۲/۸ + ۱/۰۳H$
نیک اندیش	غرب کارون (منطقه لردگان)	۰/۷۵	$P=۱۰۶/۹۶ + ۰/۳۷۵H$
نیک اندیش	شرق کارون (منطقه شهرکرد)	۰/۷۳	$P=-۶۲/۲۶ + ۰/۱۱۲H$
نیک اندیش	جنوب و جنوب شرق کارون (منطقه یاسوج)	۰/۸۸	$P=-۱۳۱۴ + ۱/۱۹H$

ادامه جدول ۲-۲- رابطه بارش سالانه با ارتفاع در بخش‌های مختلف ایران

منبع	محل جغرافیایی	ضریب همبستگی	رابطه بارش-ارتفاع
نیک اندیش	نواحی حوضه کارون	۰/۸۲	$P = -81/7 + 23 \log H$
باقری	کارون میانی (بین گذارلندر تا پل شالو)	۰/۵۳	$P = 452/6 + 0/433H$
صالحی	دامنه‌های غربی زاگرس (منطقه باغ ملک)	۰/۷۱	$P = 480 + 0/133H$
موحد دانش	حوضه دریاچه ارومیه	-	$P = 1000 + 0/188H$
(P) میانگین بارش سالانه به میلی‌متر		(H) ارتفاع از سطح دریا به متر	

۲-۳-۲- رابطه دما و ارتفاع

در مورد دمای هوا و تغییرات آن می‌توان بیان داشت که کاهش مقدار آماره‌های مختلف دمای هوا، به ویژه میانگین‌های دما، با ارتفاع پدیده شناخته شده‌ای است و پیچیدگی‌های متغیر بارش را ندارد. به طوری که در مراجع بسیار قدیمی مربوط به عصر تمدن یونان نیز به آن اشاره شده است. روند تغییرات نرمال‌های دمایی بر حسب عرض جغرافیایی نیز از استوا به قطب کاهنده می‌باشد. لازم به توضیح است اثر عرض جغرافیایی در مطالعات محدوده‌های بزرگ نسبت به محدوده‌های کوچک می‌تواند، نتایج بسیار دقیق‌تری را به همراه داشته باشد. اثر عامل طول جغرافیایی که بیش‌تر مربوط به توزیع خشکی‌ها و دریاها و موقعیت سرزمین در حاشیه یا بطن قاره‌ها می‌باشد، نیز کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

تأثیر متقابل و هم‌زمان عناصر و عوامل اقلیمی زمینه‌های به‌کارگیری روش‌های مختلفی را در تفسیر تغییرات مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی فراهم آورده است. از جمله این روش‌ها، روش‌های چند متغیره می‌باشد. به نحوی که متغیرهای وابسته نظیر بارش و دما ممکن است با چندین متغیر مستقل همبستگی داشته باشند. در حالت کلی رگرسیون چند متغیره با M متغیر مستقل به شکل زیر بیان می‌شود.

$$R = B_0 + \sum_{i=1}^M B_i X_i \quad (2-2)$$

که در آن X_i متغیرهای مستقل (که با دما ارتباط دارند)، B_0 عدد ثابت، B_i ضرایب رگرسیون و R متغیر وابسته (دما) می‌باشد. یک مدل چند متغیره معرف یک صفحه در فضای چند برداری است. پارامتر B_i ارتفاع از مبدا صفحه رگرسیون و معمولاً فاقد تفسیر فیزیکی است. پارامتر B_i حاکی از تغییر مورد انتظار برای R به ازای یک واحد تغییر در عامل i است، به شرطی که بقیه متغیرها ثابت باشد. در فصول بعدی در ارتباط با مدل‌های چند متغیره توضیحات بیش‌تری ارائه خواهد شد.

در ایران، بررسی‌های خلیلی (۱۳۷۵) نشان می‌دهد که گرادیان تغییرات دمای هوا یک بردار در فضای سه بعدی است که تغییرات مولفه‌های قائم، نصف النهاری و مداری آن به وسیله مدل‌های رگرسیونی ساده خطی بیان می‌شود. مسعودیان (۱۳۸۲) نیز تغییرات سه بعدی دما را به وسیله رگرسیون ساده خطی تشریح کرده است.

باید توجه داشت که اگر چه مدل‌های متکی بر رگرسیون چند متغیره در مورد متغیرهای هواشناسی ماهانه، فصلی و سالانه ممکن است با دقت بالا همراه باشد. اما به‌ویژه در مورد بارش تا کنون در سطح جهان گزارشی مبنی بر کاربرد روش‌های رگرسیون در مقیاس روزانه و ساعتی مشاهده نمی‌شود. لذا در مقیاس‌های زمانی کوتاه باید روش‌های دیگری که در فصول بعدی مورد بحث قرار خواهد گرفت، مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۴- تعیین اندازه سلول (تفکیک‌پذیری مکانی) بر اساس مقیاس نقشه‌ها

انتخاب اندازه تفکیک‌پذیری باعث افزایش یا کاهش جزئیات در نقشه‌های شبکه‌ای^۱ می‌شود و می‌تواند موجب بروز خطا در نتایج شبیه‌سازی‌ها شود. عامل ایجاد این خطا محدودیت اندازه سلول و تناسب آن با مقیاس داده‌های ورودی برای درون‌یابی می‌باشد. به‌طور مثال در نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با افزایش اندازه سلول شیب کاهش می‌یابد. سایر پارامترها مانند جهت و انحنا نیز با تغییر اندازه سلول تغییر می‌نمایند. همچنین با افزایش اندازه سلول توزیع آماری سطح زهکشی و شبکه زهکشی نیز به شدت تغییر می‌یابد.

در مورد رابطه بین تفکیک‌پذیری مکانی و مقیاس نقشه‌ها، در جدول (۲-۳) اندازه سلول پیشنهادی بر اساس روش هنگل (۲۰۰۶) با توجه به مقیاس‌های مختلف نقشه‌ها آمده است. در این جدول حداکثر اندازه مجاز و بهترین اندازه برای اندازه سلول پیشنهاد شده است. انتخاب اندازه نهایی سلول‌ها با توجه به محدودیت‌هایی مانند حجم محاسبات سلولی یا در مقایسه با سایر نقشه‌های مشابه صورت می‌گیرد.

جدول ۲-۳- رابطه‌ی مقیاس نقشه و اندازه سلول

مقیاس	حداکثر اندازه سلول (متر)	بهترین اندازه سلول (متر)
۱:۲۵,۰۰۰	۶۲/۵	۱۲/۵
۱:۵۰,۰۰۰	۱۲۵	۲۵
۱:۱۰۰,۰۰۰	۲۵۰	۵۰
۱:۲۵۰,۰۰۰	۶۲۵	۱۲۵
۱:۵۰۰,۰۰۰	۱۲۵۰	۲۵۰
۱:۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰

۲-۵- تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای^۲ شامل تعدادی روش و الگوریتم مختلف بوده که به منظور گروه‌بندی اشیا و یا داده‌های آماری مشابه و قرار دادن آنها در طبقه‌های مناسب به کار می‌رود. به عبارت دیگر می‌توان گفت تحلیل خوشه‌ای یک ابزار تحلیلی داده‌ها و اطلاعات، جهت گروه‌بندی آنها می‌باشد که اگر داده‌ها متعلق به یک گروه باشند بیش‌ترین درجه شباهت و در غیر این صورت حداقل درجه شباهت را خواهند داشت. فرایندی که در تحلیل خوشه‌ای صورت می‌گیرد، جمع‌آوری اطلاعات و ترکیب آنها می‌باشد که داده‌ها و مشاهدات به شکلی مناسب گروه‌بندی شوند. اهمیت این روش در درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای، یافتن مناطق همگن می‌باشد بخصوص زمانی که تغییرات داده‌ها و وسعت منطقه زیاد است. اقلیم‌شناسان از تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی مناطق همگن در مقیاس‌های مکانی متفاوت استفاده می‌کنند. به طور مثال برای تعیین مناطق هم‌اقلیم می‌توان از عوامل میانگین بارش و دمای ماهانه ایستگاه‌های منطقه استفاده کرد. در مواردی با تعداد بیش‌تری از عوامل (مانند رطوبت، سرعت باد و ...) از روش‌های تجزیه مولفه‌های اصلی یا تحلیل عاملی می‌توان برای کاهش داده‌ها و یافتن مولفه‌های اصلی استفاده کرد.

1- Raster

2- Clustering

به طور کلی الگوریتم‌های تحلیل خوشه‌ای در دو گروه خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی^۱ و خوشه‌بندی تفکیکی^۲ قرار می‌گیرند. روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مجموعه‌ای از اجزای به هم پیوسته در یک نمودار درختی (دندروگرام) به وجود می‌آورد. در حالی که روش‌های تفکیکی خوشه‌های جدا شده و مجزا را به عنوان خروجی می‌دهند. در ادامه این دو گروه معرفی و مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های آنها معرفی خواهد شد.

– خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی

این نوع خوشه‌بندی به دو روش ترکیبی و تقسیمی انجام می‌شود. در روش ترکیبی، خوشه‌های کوچک‌تر با هم ترکیب شده و گروه‌های بزرگ‌تر را به وجود می‌آورند. در حالی که در روش تقسیمی خوشه‌های بزرگ‌تر به گروه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شوند. به عبارت دیگر تکنیک‌های تقسیمی، با فرض یک گروه واحد شروع به کار می‌کند و آن گروه را به زیرگروه‌هایی تقسیم می‌نماید. این زیر گروه‌ها در مراحل بعدی به زیر گروه‌های دیگر تقسیم می‌شوند. تا آن جا که هر زیر گروهی تنها یک عضو داشته باشد. اما در تکنیک‌های ترکیبی در ابتدا هر گروهی یک عضو دارد، سپس گروه‌های مشابه با هم ترکیب می‌شوند و یک گروه دیگر را به وجود می‌آورند، این کار آن قدر ادامه می‌یابد تا نهایتاً یک گروه واحد به وجود آید. در این روش نتایج به صورت یک نمودار درختی (دندروگرام) قابل گزارش است. در این نمودار خوشه‌ها در سطوح مختلف با هم ترکیب می‌شوند و روش این امکان را به شما می‌دهد که سطح مناسب و مطلوب از ترکیب خوشه‌ها را به دلخواه تعیین کنید. الگوریتم‌های خوشه‌ای که در این روش به کار می‌روند هفت روش می‌باشند که رایج‌ترین آنها که از نوع ترکیبی است، روش وارد^۳ نام دارد.

• الگوریتم وارد

تابع الگوریتم وارد مجموع مربعات فاصله اعضاء از مرکز ثقل خوشه را به حداقل می‌رساند.

$$W = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{N_k} (y_{ij}^k - y_{\bullet j}^k)^2 \quad (۳-۲)$$

$$y_{\bullet j}^k = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} y_{ij}^k}{N_k} \quad (۴-۲)$$

در این رابطه، K تعداد خوشه‌های موجود، m تعداد متغیرهای در نظر گرفته شده، N_k تعداد اعضاء متعلق به هر خوشه، $y_{\bullet j}^k$ ، مقدار متوسط بی‌بعد شده متغیر j در خوشه k ، y_{ij}^k ، مقدار بی‌بعد شده متغیر j مربوط به عضو i واقع در خوشه k می‌باشد. برای بی‌بعد کردن مقدار متغیرها از رابطه (۲-۵)، استفاده می‌شود.

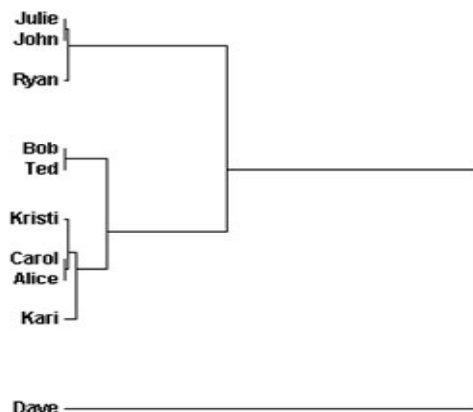
$$y_{ij} = \frac{w_j}{\sigma_j} [f(x_{ij})] \quad (۵-۲)$$

در این رابطه، x_{ij} ، مقدار متغیر j ام مربوط به عضو i ، $f(0)$ ، تابع تبدیل، w_j ، وزن در نظر گرفته شده برای متغیر j ، σ_j و y_{ij} ، انحراف استاندارد و مقدار بی‌بعد شده متغیر j است.

الگوریتم وارد، تحلیل را با خوشه‌های تک عضوی شروع می‌کند. در این مرحله مرکز هر خوشه همان تک‌عضو مربوط به خوشه است. بنابراین مقدار تابع W ، صفر خواهد بود. در هر مرحله، ترکیب آن دو خوشه‌ای قابل قبول است، که منجر به کم‌ترین افزایش در مقدار تابع W شود. این الگوریتم منجر به ایجاد خوشه‌هایی کروی با اندازه‌هایی برابر می‌گردد. این خصوصیت، الگوریتم وارد را برای ناحیه‌بندی مناطق همگن مناسب کرده است.

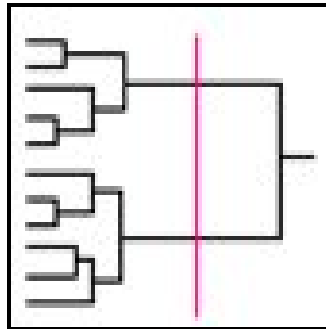
• دندروگرام^۱ (نمودار درختی)

همان‌طور که قبلاً گفته شد، یکی از راه‌های نمایش نتایج تحلیل خوشه‌ای به روش سلسله مراتبی، استفاده از نمودار درختی است. یک دندروگرام، ترکیب‌ها یا تقسیم‌بندی‌هایی که در سطوح متوالی ساخته شده را تشریح می‌کند. در این نمودار، شاخه‌های درخت، خوشه‌ها را نشان می‌دهند. شاخه‌ها در گره‌هایی ترکیب می‌شوند که وضعیتشان در امتداد یک محور فاصله (یا مشابهت)، سطحی را نشان دهد که در آن پیوستگی‌ها به وقوع می‌پیوندد. به عنوان مثال نمودار درختی زیر را در نظر بگیرید:



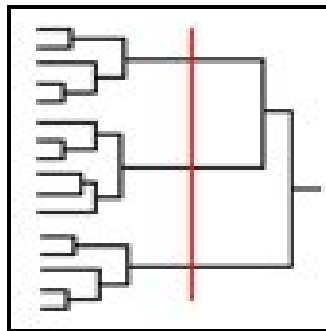
شکل ۲-۶- دندروگرام (نمودار درختی)

در این دندروگرام Julie, John, Ryan در یک گروه و Bob, Ted, Kristi, Carol, Alice, Kari در گروه دیگر قرار گرفته‌اند. در این مثال Dave اصطلاحاً Runt نام دارد. در تحلیل خوشه‌ای گاهی عضو و یا اعضای مشاهده می‌شود که تا آخرین مرحله خوشه‌بندی به هیچ گروهی تعلق نمی‌یابد. به این اعضا اصطلاحاً Runt گفته می‌شود. در واقع Runt‌ها جز استثنای گروه‌بندی هستند. معمولاً طول شاخه‌ها یا فاصله بین زیرگروه‌ها، در شاخه‌های نزدیک (آخرین مراحل خوشه‌بندی) بیش‌تر از طول آنها در شاخه‌های دور (اولین مراحل خوشه‌بندی) می‌باشد. به عبارت دیگر هر چه مراحل خوشه‌بندی پیش می‌رود، فاصله بین زیر گروه‌ها افزایش می‌یابد (شکل ۲-۷).



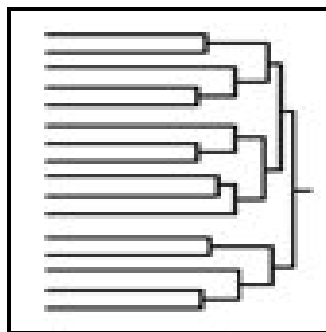
شکل ۲-۷- دندروگرام داده‌هایی سازگار و کاملاً تفکیک شده در دو گروه

در این دندروگرام همان‌طور که مشاهده می‌شود ۲ گروه کاملاً مجزا از هم مشخص شده است. در دندروگرام زیر، سه گروه تفکیک شده از هم مشخص می‌باشد.



شکل ۲-۸- دندروگرام داده‌هایی سازگار و کاملاً تفکیک شده در سه گروه

وقتی فواصل یا طول شاخه‌های دورتر (مراحل اولیه خوشه‌بندی) نسبت به شاخه‌های نزدیک بزرگ‌تر باشد، موید این مطالب می‌باشد که گروه‌بندی، موثر انجام نشده است. چرا که بزرگ بودن مقادیر فاصله، نشان‌دهنده اختلاف و عدم شباهت بین اعضاست. در نتیجه گروه‌بندی چنین اعضایی قابل اعتماد نخواهد بود. در شکل (۲-۹) دندروگرام داده‌هایی با این خصوصیت نشان داده شده است. به چنین داده‌هایی اصطلاحاً ناسازگار اطلاق می‌شود.



شکل ۲-۹- دندروگرام داده‌هایی ناسازگار

همان‌طور که مشاهده می‌شود، تفسیر دندروگرام بسیار ساده است. معمولاً طول شاخه‌ها یا فاصله بین زیرگروه‌ها، در شاخه‌های نزدیک (آخرین مراحل خوشه‌بندی) به دلیل افزایش فاصله بین گروه‌ها، بیش‌تر از طول آنها در شاخه‌های دور (اولین مراحل خوشه‌بندی) است. به عبارت دیگر هر چه مراحل خوشه‌بندی پیش می‌رود، فاصله بین زیر گروه‌ها افزایش می‌یابد.

- خوشه‌بندی تفکیکی

روش‌های خوشه‌ای کردن تفکیکی یا غیرسلسله مراتبی، جهت دسته‌بندی کردن مشاهدات به مجموعه‌ای از k خوشه طراحی شده است. تعداد خوشه‌ها، یعنی k ممکن است از پیش مشخص شده باشد، یا به عنوان بخشی از روش خوشه‌ای کردن تعیین شود. به واسطه اینکه ماتریس فواصل (مشابهت‌ها) لازم نیست تعیین گردد، نیازی به ذخیره کردن داده‌های اصلی در طول اجرای رایانه نیست، لذا این روش‌ها را می‌توان به مجموعه داده‌های بسیار بزرگ‌تری نسبت به روش‌های سلسله مراتبی به کار برد.

زمانی که خوشه‌بندی در مورد مجموعه‌هایی با تعداد زیاد داده اعمال می‌شود، روش تفکیکی عملی‌تر و کاراتر خواهد بود. زیرا ساخت نمودار درختی از نظر محاسباتی وقت‌گیر و پیچیده است. بر خلاف روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی، این روش برای توصیف گروه‌بندی داده‌ها، ساختار درختی شکل (دندروگرام) تولید نمی‌کند و امکان نمایش تقسیم‌بندی‌ها در سطوح مختلف وجود ندارد. تفاوت دیگر، این است که در این روش، مشاهدات و داده‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نه ماتریس شباهت.

در این روش، هر داده‌ای به عنوان یک مکان در فضا تلقی می‌شود و تقسیم‌بندی به نحوی انجام می‌گیرد، که اعضاء قرار گرفته درون هر خوشه تا حد امکان به هم نزدیک (شبيه) بوده و اعضای هر خوشه با خوشه‌های دیگر تا حد امکان متفاوت باشند. بر خلاف روش‌های سلسله مراتبی که نسبت به فرضیات اولیه حساس نیستند، و مشکل حداقل‌یابی محلی در آنها به وجود نمی‌آید، روش غیرسلسله مراتبی، شدیداً به فرضیات اولیه (تعداد و مرکز ثقل خوشه‌ها و ...) حساس بوده، و تخصیص نهایی اقلام به خوشه‌ها، تا حد زیادی به افراز اولیه یا انتخاب اولیه نقاط تغذیه بستگی دارد.

مهم‌ترین الگوریتم موجود در این روش، که کاربرد فراوانی در مطالعات هیدرولوژی (تعیین مناطق همگن) دارد، K-means می‌باشد. این الگوریتم هر قلم را به خوشه‌ای که دارای نزدیک‌ترین مرکز (میانگین) است نسبت می‌دهد، پیشنهاد می‌کند. این الگوریتم با یک گروه‌بندی اولیه به صورت بردار $p(K, m)$ با m عنصر که در K خوشه دسته‌بندی شده‌اند آغاز می‌گردد. میزان تشابه بین عناصر موجود در خوشه‌ها به وسیله‌ی یک تابع خطا به صورت زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$e[p(K, m)] = \sum_K D[I, L(I)]^2 \quad (۶-۲)$$

که در آن $L(I)$ خوشه I ام و $D[I, L(I)]^2$ مجموع مربعات انحراف هر یک از عناصر خوشه I ام از مرکز (میانگین خوشه) می‌باشد. در نهایت تعداد خوشه‌ای مورد پذیرش قرار می‌گیرد که با افزایش تعداد خوشه‌ها حداقل مقدار خطا را داشته باشد. الگوریتم این روش به طور خلاصه در سه مرحله می‌باشد:

- ۱- انتخاب یک عدد صحیح C ، $2 \leq C < N$ (تعداد داده‌ها) به عنوان تعداد خوشه‌ها یا انتخاب مستقیم مراکز خوشه‌ها جهت خوشه‌بندی ابتدایی اشیا.
- ۲- قرار دادن تمامی اشیا در داخل خوشه‌ها براساس نزدیک‌ترین فاصله میان مرکز خوشه با هر شی و محاسبه مرکز جدید هر خوشه براساس محل قرارگیری مرکز جرم آن.
- ۳- ادغام خوشه‌ها با یکدیگر یا تجزیه یک خوشه براساس اطلاعات اکتشافی (اطلاعات بدست آمده از سعی و خطا) و تکرار گام ۲. این گام تا مادامی تکرار می‌شود که همگرایی صورت گیرد. یعنی زمانی که اعضای خوشه پایدار شود، به عبارت دیگر زمانی که مقدار تابع خطای مجذور به حداقل مقدار خود رسیده باشد.

۲-۵-۱- معرفی نرم افزارها در تحلیل خوشه‌ای

در این بخش به طور خلاصه در مورد کاربرد نرم‌افزار Matlab در تحلیل خوشه‌ای مطالبی آورده شده است. البته از سایر نرم‌افزارهای آماری مانند Minitab و SPSS نیز به سادگی می‌توان استفاده نمود.

۲-۵-۱-۱- خوشه‌بندی سلسله مراتبی

- تعیین میزان شباهت و یا فاصله بین هر دو جفت عضو موجود در اعداد، در این مرحله، فاصله بین اعضا با استفاده از تابع Pdist محاسبه می‌شود. تابع Pdist روش‌های مختلفی را جهت اندازه‌گیری فاصله بین اعضا به کار می‌برد.
- گروه‌بندی اعضا و داده‌ها در خوشه‌های دو عضوی، در این مرحله دو عضوی که بیشترین شباهت را با یکدیگر دارند، به کمک تابع linkage در یک گروه قرار می‌گیرند. تابع linkage فواصل محاسبه شده در گام اول را برای تعیین شباهت اعضا، مورد استفاده قرار می‌دهد. بعد از اینکه خوشه‌های دو عضوی ایجاد شدند، خوشه‌بندی را ادامه می‌دهیم تا گروه‌های بزرگ‌تری حاصل گردد.
- تعیین سطح مطلوب خوشه‌بندی، در این مرحله به کمک تابع Cluster، می‌توان سطح مطلوب گروه‌بندی مشاهدات را تعیین کرد. برای این منظور، تابع Cluster با توجه به سطح مورد نظر کاربر جهت گروه‌بندی، نمودار درختی تولید شده را برش می‌زند. با در نظر گرفتن سطوح مختلف می‌توان گروه‌بندی‌های مختلفی ایجاد کرد. توجه کنید که در نرم افزار MATLAB، بدون نیاز به اجرای توابع linkage, pdist و cluster، تنها با استفاده از تابع Clusterdata، می‌توان سه مرحله مذکور را اجرا کرد.

- ارزیابی تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی

پس از گروه‌بندی اعضای موجود در داده‌های اصلی به روش سلسله مراتبی، ممکن است بخواهید میزان درستی و صحت خوشه‌بندی را بررسی کنید. در خوشه‌بندی سلسله مراتبی، هر جفت از داده‌ها، نهایتاً در یک سطح از خوشه‌بندی به هم ملحق شده و در یک گروه قرار می‌گیرند. ارتفاع این الحاق، نشان دهنده فاصله بین دو خوشه‌ای است که این دو عضو را در بر دارند. این ارتفاع، فاصله Cophenetic بین دو عضو نام دارد. یک روش برای حصول اطمینان از نتیجه گروه‌بندی تابع linkage، این است که فواصل Cophenetic را با فواصل واقعی محاسبه شده به کمک تابع Pdist، مقایسه کنیم. اگر خوشه‌بندی به درستی صورت گرفته باشد، می‌بایست یک همبستگی قوی بین این فواصل برقرار باشد. تابع Cophenet، این دو گروه از مقادیر را مقایسه کرده، همبستگی بین آنها را محاسبه می‌کند و آن را با نام ضریب همبستگی Cophenetic گزارش می‌نماید. هر چه این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت عمل و صحت انجام خوشه‌بندی است. می‌توان به کمک این ضریب، نتایج حاصل از خوشه‌بندی به روش‌های مختلف تعیین فاصله، و یا الگوریتم‌های مختلف گروه‌بندی را مقایسه کرد.

۲-۵-۱-۲- تولید نمودار درختی (دندروگرام)

نتایج خوشه‌بندی سلسله مراتبی انجام شده به کمک تابع linkage، وقتی به شکل گرافیکی نمایش داده شود، بیش‌تر قابل درک خواهد بود. نرم افزار MATLAB، برای این منظور تابع دندروگرام را به کار برده و اطلاعات حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی به صورت یک گراف نمایش داده می‌شود.

۲-۵-۱-۳- خوشه‌بندی به روش تفکیکی (k-means)

تحلیل خوشه‌ای مذکور، به عنوان روشی غیرسلسله مراتبی مطرح می‌شود. به این معنا که تابع kmeans، اعضای موجود در داده‌های اصلی را به k خوشه دو به دو ناسازگار تقسیم، و در پایان، برداری را به عنوان خروجی تولید می‌کند که در آن مشخص می‌شود، هر عضو به چه خوشه‌ای تعلق دارد. هر خوشه در این نوع تقسیم‌بندی، توسط «اعضاء» و «مرکز ثقل» آن قابل تشخیص است. مرکز ثقل هر خوشه، نقطه‌ای است که مجموع فواصل تمامی اعضاء موجود در آن خوشه، تا آن نقطه حداقل شود. kmeans مرکز ثقل خوشه‌ها را برای تمامی روش‌های اندازه‌گیری فاصله، محاسبه می‌کند تا مجموع فواصل تا مرکز ثقل به حداقل ممکن برسد. kmeans برای این منظور الگوریتمی تکرار شونده را به کار می‌برد. این الگوریتم، اعضا را میان خوشه‌ها آن قدر جابه‌جا می‌کند، تا آن جا که دیگر مجموع فواصل تا مرکز ثقل، کاهش پیدا نکند. نتیجه کار، تهیه مجموعه‌ای از خوشه‌های کاملاً مجزا از هم خواهد بود. برای اجرای تحلیل خوشه‌ای kmeans در نرم‌افزار MATLAB، از تابع kmeans استفاده می‌شود.

فصل ۳

تحلیل‌های زمین آماری تغییرات

مکانی

۳-۱- کلیات

پس از بررسی آمار توصیفی داده‌ها که به منظور شناخت بیش‌تر متغیر انجام می‌گیرد، لازم است که همبستگی مکانی داده‌ها بررسی گردد. این مرحله قبل از انتخاب روش درون‌یابی انجام گرفته و پیش‌نیاز برخی از روش‌ها مانند کریجینگ نیز می‌باشد. با استفاده از آنالیز همبستگی مکانی می‌توان انتخاب اولیه روش‌های درون‌یابی را انجام داد. به عنوان مثال در صورتی که نتوان همبستگی مکانی داده‌ها را به خوبی مدل‌سازی نمود، استفاده از برخی روش‌ها دچار محدودیت می‌شود. در زیر کاربردی‌ترین ابزار برای بررسی همبستگی مکانی ارائه شده است.

۳-۲- شاخص‌های کمی پیوستگی مکانی

در فصل قبلی سه تابع برای خلاصه کردن پیوستگی مکانی معرفی شدند: تابع همبستگی $\rho(h)$ ، تابع کوواریانس $C(h)$ و نیم‌تغییرنما $\gamma(h)$. با وجود اینکه این توابع تقریباً مشابه هستند، نیم‌تغییرنما بیش‌ترین کاربرد را به خود اختصاص می‌دهد. رابطه نیم‌تغییرنما به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1-3)$$

که در آن، $\gamma(h)$: مقدار نیم‌تغییرنما برای جفت نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند، $n(h)$: تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند، $z(x_i)$: مقدار مشاهده‌ای متغیر x در موقعیت i و $z(x_i + h)$: مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله‌ی h از x_i است.

نمودار نیم‌تغییرنما با ترسیم مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند در مقابل h به دست می‌آید. شکل (۱-۳) نمونه‌ای از یک نیم‌تغییرنما را نشان می‌دهد. خصوصیات مهم نیم‌تغییرنما عبارتند از:

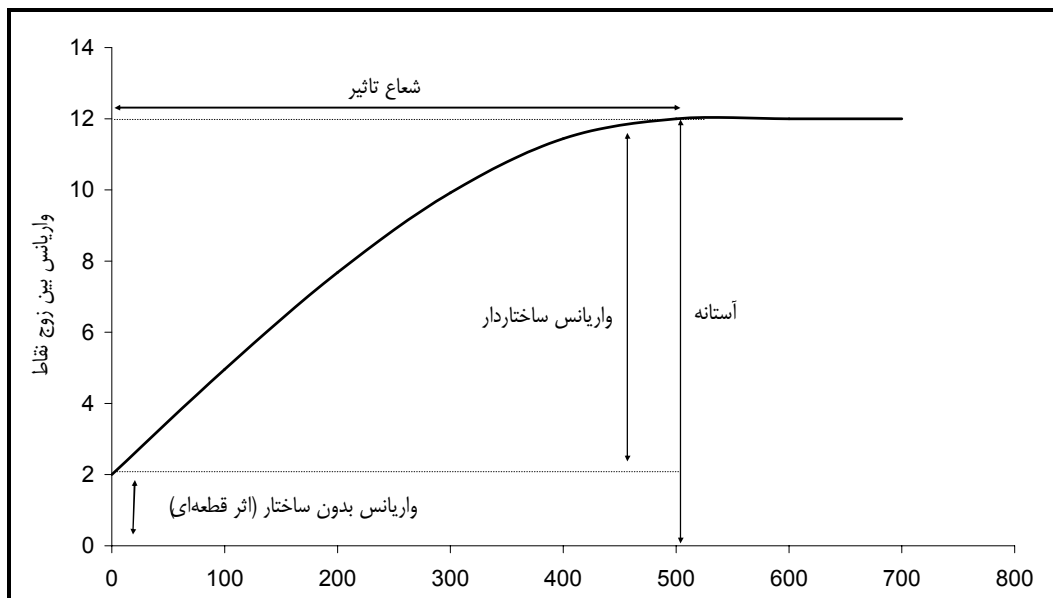
الف- دامنه یا شعاع تاثیر^۱: هنگامی که فاصله بین جفت نقاط افزایش می‌یابد، مقدار نیم‌تغییرنما معمولاً افزایش می‌یابد تا جایی که با وجود افزایش در فاصله جداکننده بین زوج نقاط هیچ افزایشی در میانگین مجذور تفاضل بین مقادیر زوج نقاط ایجاد نمی‌شود و نیم‌تغییرنما به یک مقدار ثابت می‌رسد. فاصله‌ای که در آن نیم‌تغییرنما به این مقدار ثابت میل می‌کند، دامنه یا شعاع تاثیر می‌نامند.

ب- آستانه^۲: عبارت است از مقدار ثابت نیم‌تغییرنما در فاصله دامنه تاثیر.

ج- اثر قطعه‌ای^۳: اگر چه مقدار نیم‌تغییرنما برای $h=0$ باید برابر صفر باشد، چندین عامل نظیر خطای نمونه‌برداری و تغییرات کوچک مقیاس باعث می‌شود که مقادیر نمونه‌هایی که در فاصله‌ی کوچکی از یکدیگر قرار دارند، کاملاً با یکدیگر برابر نباشند. این واقعیت باعث ایجاد عرض از مبدا نیم‌تغییرنما می‌شود. پرش عمودی نیم‌تغییرنما در مبدا مختصات اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تحت عنوان اثر قطعه‌ای نسبی و بر حسب درصد بیان می‌شود.

1- Range
2- Sill
3-Nugget Effect

نیم‌تغییرنما تحت تاثیر راستای h نیز قرار دارد. یک نیم‌تغییرنما بدون راستا را می‌توان به عنوان نیم‌تغییرنمایی که میانگین نیم‌تغییرنماها در راستاهای مختلف است، در نظر گرفت. زمانی که نیم‌تغییرنمای بدون راستا نتواند به خوبی پیوستگی داده‌ها را نشان دهد، می‌توان نیم‌تغییرنمای راستاهای مختلف را به منظور کشف الگوی ناهمسان‌گردی ترسیم کرد. در برخی از مطالعات تخصصی، اطلاعات اولیه در مورد محورهای ناهمسان‌گردی در دسترس است. به عنوان مثال در مطالعه شدت آلودگی هوا برخی اطلاعات ممکن است از دانش راستای باد غالب به دست آید. چند روش جهت انتخاب راستاها برای محاسبات نیم‌تغییرنما بدون اطلاعات کمکی وجود دارد. یک دیدگاه به منظور شناسایی ناهمسان‌گردی، در صورت عدم وجود اطلاعات اولیه، این است که یک تصویر از تمام سطح نیم‌تغییرنما ترسیم شود و راستای ناهمسان‌گرد از این سطح استخراج شود. یک روش دیگر و بسیار رایج این است که نیم‌تغییرنما در راستاهای مختلف محاسبه شود. ناهمسان‌گردی در دامنه و یا مقدار آستانه با استفاده از نیم‌تغییرنماهای ترسیم شده قابل تشخیص می‌باشد. (شکل ۳-۱)



شکل ۳-۱ - فاصله بین جفت نقاط - متر

از طرف دیگر یکی از شرایط اساسی برای استفاده از روش‌های زمین آماری ایستا بودن^۱ داده‌ها می‌باشد. ایستایی به این مفهوم است که پارامترهای یک تابع توزیع تصادفی از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر نکند. ایستایی درجات مختلفی دارد، اگر میانگین واریانس و نیم‌تغییرنما هر تابع تصادفی در سطح محدوده مورد نظر یکسان باشد، به آن ایستایی درجه اول می‌گویند. در صورتی که میانگین و واریانس تابع تصادفی در سطح محدوده یکسان باشد، ایستایی از نوع دوم خواهد بود که معمولاً این نوع ایستایی مصداق بیش‌تری در طبیعت دارد. البته روش‌های زمین آماری هم وجود دارند که امکان درون‌یابی داده‌های غیرایستا را ایجاد می‌کنند.

۳-۲-۱- مدل‌های نیم‌تغییرنما

پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی براساس رابطه (۳-۱)، یک مدل ریاضی به آن برآزش داده می‌شود. مدل‌های اصلی و پایه‌ای نیم‌تغییرنما به دو نوع تقسیم می‌شوند: آنهایی که به یک حد ثابت میل می‌کنند و آنهایی که دارای چنین شرایطی نیستند. مدل‌های نیم‌تغییرنمای نوع اول، اغلب با عنوان «مدل‌های انتقالی» شناخته می‌شود. برخی مدل‌های انتقالی به مقدار آستانه به صورت مماسی میل می‌کنند. در این مدل‌ها، دامنه معمولاً در فاصله ۹۵ درصد آستانه اختیار می‌شود. مدل‌های نیم‌تغییرنمای نوع دوم به یک مقدار ثابت نمی‌رسند و با افزایش میزان h همچنان افزایش می‌یابند. این مدل‌ها در صورت وجود روند^۱ یا عدم ایستایی پدیدار می‌شوند. مدل‌های نیم‌تغییرنما به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

- مدل اثر قطعه‌ای

بسیاری از مدل‌های نیم‌تغییرنما، در مبدا ناپیوستگی دارند. چنین ناپیوستگی را می‌توان با استفاده از یک مدل انتقالی ناپیوسته که در $h=0$ مقدار آن صفر است و در سایر موارد مقدار واحد را به خود اختصاص می‌دهد، شبیه‌سازی نمود. چنین مدلی را مدل اثر قطعه‌ای می‌نامند و معادله آن بدین صورت است:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & \text{if } h = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۲-۳)$$

در علوم زمین آمار، مدل اثر قطعه‌ای به عنوان یک مدل اصلی به کار نمی‌رود اما به عنوان یک مقدار ثابت C_0 در معادله نیم‌تغییرنما مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- مدل کروی

مدل کروی شاید رایج‌ترین مدل نیم‌تغییرنما باشد که معادله آن به این صورت است:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 & \text{if } h \leq a \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۳-۳)$$

که در اینجا a دامنه یا شعاع تاثیر می‌باشد (شکل ۳-۲). این مدل به ازای فواصل کم بین زوج نقاط یعنی در نزدیکی مبدا رفتار خطی دارد. اما در فاصله‌های بزرگ‌تر، شیب آن کاهش می‌یابد تا اینکه در شعاع a به مقدار آستانه برسد. در مدل کروی، مماس در مبدا در حدود دو سوم شعاع تاثیر با مقدار آستانه برخورد می‌کند.

- مدل نمایی

مدل نمایی یکی دیگر از مدل‌های انتقالی رایج است:

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \quad (۴-۳)$$

این مدل به‌طور جانبی به آستانه میل می‌کند. بنابراین شعاع تاثیر فاصله‌ای است که مقدار نیم‌تغییرنما به ۹۵ درصد آستانه رسیده باشد. همانند مدل کروی، مدل نمایی در فاصله‌های بسیار کوچک نزدیک به مبدا، به صورت خطی عمل می‌کند، اگرچه به سرعت افزایش می‌یابد و سپس به تدریج مسطح می‌گردد (شکل ۳-۲). در این مدل مماس در مبدا در فاصله حدود یک پنجم شعاع تاثیر، حد آستانه را قطع می‌کند.

- مدل گوسی

مدل گوسی، یک مدل انتقالی است که برای پدیده‌های پیوسته به کار می‌رود و معادله آن بدین صورت است:

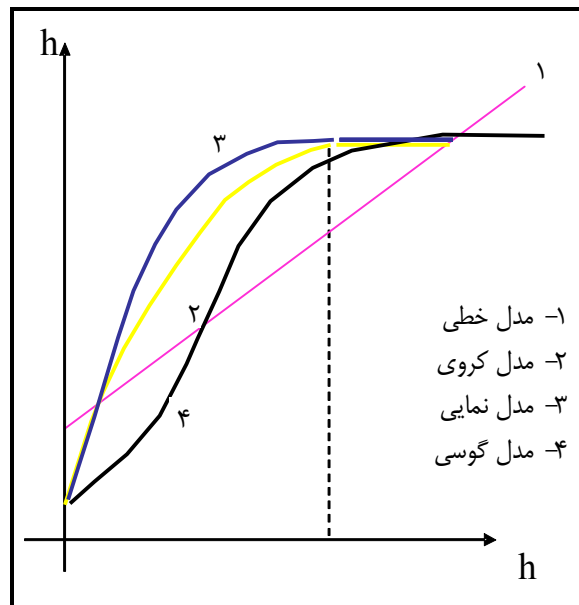
$$\gamma(h) = \left(1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right) \quad (۵-۳)$$

پارامتر a ، دامنه یا فاصله‌ای است که در آن آستانه به مقدار ۹۵ درصد خود رسیده باشد. مدل گوسی همانند مدل نمایی به‌طور جانبی به آستانه می‌رسد. ویژگی مشخص مدل گوسی، حرکت سهمی گونه آن در نزدیکی مبدا و یک نقطه عطف است (شکل ۳-۲).

- مدل خطی

مدل خطی یک مدل انتقالی به حساب نمی‌آید، زیرا فاقد آستانه می‌باشد (شکل ۳-۲). معادله آن به این صورت است:

$$\gamma(h) = |h| \quad (۶-۳)$$



شکل ۳-۲- نمایش انواع مدل‌های ریاضی تنوریک نیم‌تغییرنما

۳-۳- محاسبه و ترسیم نیم‌تغییرنما

تشریح محاسبه نیم‌تغییرنما در قالب یک مثال بیان می‌شود. توزیع نقاط مشاهده‌ای در شکل (۳-۳) و مقادیر مشاهده‌ای یک متغیر فرضی در جدول (۱-۳) ارائه شده است. در مرحله اول، ماتریس فاصله نقاط مطابق جدول (۲-۳) تعیین می‌شود.

در مرحله بعد با توجه به ماتریس فاصله بین نقاط، فاصله گام مکانی معادل ۱۰۰ متر انتخاب می‌شود. لذا زوج نقاط به صورت جدول (۳-۳) شناسایی شده و مقدار تغییرنا برای هر گام محاسبه می‌گردد (جدول ۳-۴). توجه شود که در ستون سمت راست جدول (۳-۴)، فاصله h برابر با میانگین فواصل جفت نقاط در هر گام مکانی است.

جدول ۳-۳ - زوج نقاط مورد استفاده در محاسبه نیم‌تغییرنا

جفت نقاط												گام مکانی (m)
9, 10	8, 9	7, 8	6, 10	5, 8	5, 7	4, 6	3, 4	2, 5	2, 3	1, 5	1, 2	100
			8, 10	7, 9	6, 9	4, 10	3, 9	3, 6	2, 4	1, 7	1, 3	200
4, 9	4, 8	3, 8	3, 7	3, 5	2, 10	2, 9	2, 7	2, 6	1, 9	1, 8	1, 4	300
								7, 10	6, 8	5, 9	5, 6	
					6, 7	5, 10	4, 7	4, 5	1, 10	1, 6		400

جدول ۳-۴ - محاسبه مقدار نیم‌تغییرنا در هر یک از گام‌های مکانی

مقدار نیم‌تغییرنا	محاسبه نیم‌تغییرنا $\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$	متوسط فاصله h(m)
4441.5	$(1/24)*((2-1)^2, (5-1)^2, (3-2)^2, (5-2)^2, (4-3)^2, (6-4)^2, (7-5)^2, (8-5)^2, (10-6)^2, (8-7)^2, (9-8)^2, (10-9)^2)$	100.0
6107.2	$(1/18)*((3-1)^2, (7-1)^2, (4-2)^2, (6-3)^2, (9-3)^2, (10-4)^2, (9-6)^2, (9-7)^2, (10-8)^2)$	186.9
10078.4	$1/32*((4-1)^2, (8-1)^2, (9-1)^2, (6-2)^2, (7-2)^2, (9-2)^2, (10-2)^2, (5-3)^2, (7-3)^2, (8-3)^2, (8-4)^2, (9-4)^2, (6-5)^2, (9-5)^2, (8-6)^2, (10-7)^2)$	252.9
12212.5	$(1/12)*((6-1)^2, (10-1)^2, (5-4)^2, (7-4)^2, (10-5)^2, (7-6)^2)$	331.0

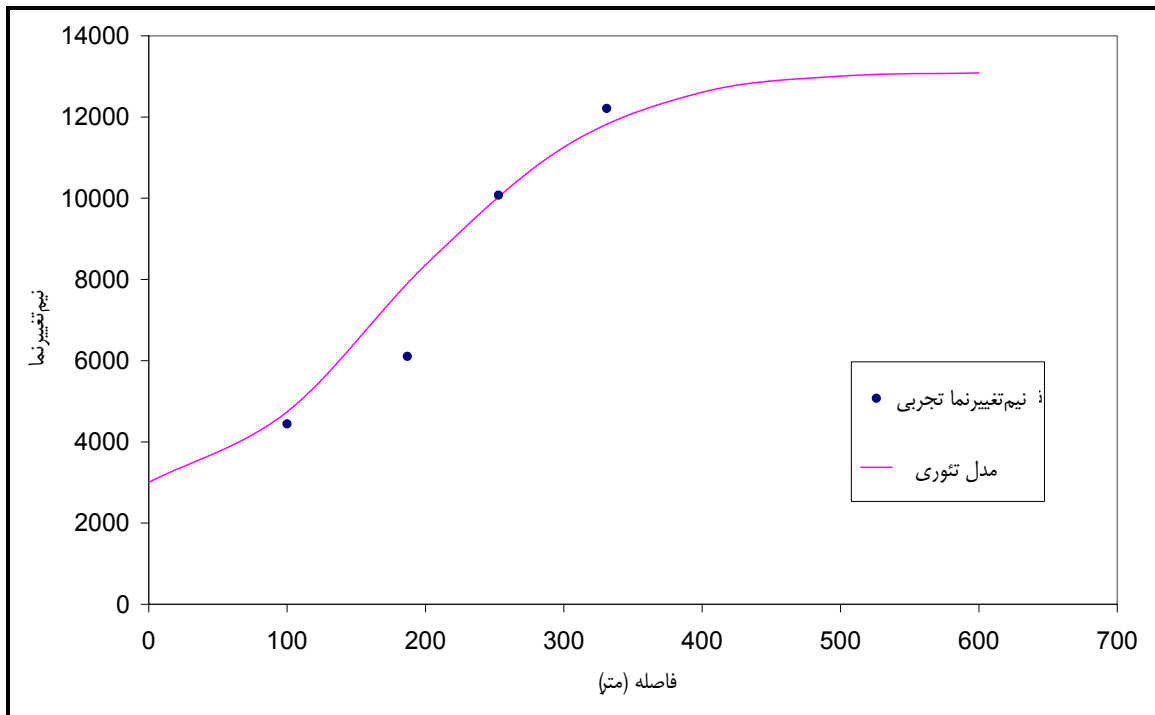
شکل (۳-۴) نمودار نیم‌تغییرنمای این مثال را نشان می‌دهد. برای برازش یک مدل تئوری به نیم‌تغییرنا با توجه به شیب نقاط در ابتدای منحنی، از مدل گوسی استفاده می‌شود. سپس پارامترهای C_0 ، آستانه و شعاع به صورت سعی و خطا برای بیش‌ترین تطبیق مدل گوسی با نقاط تعیین می‌گردند (شکل ۳-۴). پارامترهای مدل بهینه شده به این صورت می‌باشد: مقدار C_0 برابر ۳۰۰۰، مقدار آستانه برابر ۱۰۱۰۰ و مقدار شعاع تاثیر برابر ۲۳۰ متر می‌باشد. در عمل، برازش بهترین مدل و تعیین پارامترهای آن در قالب روش اعتبارسنجی تقاطعی انجام می‌گیرد که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود.

۳-۴ - چگونگی بهینه‌سازی پارامترهای نیم‌تغییرنا

۳-۴-۱ - انتخاب پارامترهای فاصله

دو پارامتر فاصله در استخراج نیم‌تغییرنا دخالت دارند. اول فاصله‌ی h مربوط به نمودار H - scatter است که معمولاً به عنوان lag spacing یا lag increment خوانده می‌شود. پارامتر دیگر تلورانس^۱ یا دامنه تغییرات h است که جفت نقاط می‌توانند در این فاصله قرار داشته باشند. به عبارت دیگر به محدوده مجاز هر راستا که نقاط واقع در این محدوده در جفت نقاط واقع در راستای مورد محاسبه نیم‌تغییرنا وارد می‌شود، تلورانس گفته می‌شود.

نقش انتخاب مقدار گام یا کوچک‌ترین واحد فاصله (lag) در به تصویر کشیدن واقعیت‌های ساختار مکانی یک کمیت، در یک محیط بسیار اهمیت دارد. الگوی نمونه‌برداری می‌تواند در انتخاب یک h منطقی کمک نماید اگر نمونه‌ها بر روی یک شبکه‌ی تقریباً منظم قرار داشته باشند، اندازه سلول شبکه معمولاً برای h مناسب می‌باشد. اگر نمونه‌برداری به صورت تصادفی باشد، می‌توان از یک h اولیه که تخمینی از متوسط فاصله بین نمونه‌های مجاور است، استفاده کرد. رایج‌ترین گزینه برای تلورانس، نصف h می‌باشد. همچنین در ساخت نیم‌تغییرنمای تجربی در مورد انتخاب Lag دو مورد را مورد توجه قرار می‌دهند: الف) برای هر نقطه نیم‌تغییرنما حداقل ۳۰ تا ۵۰ جفت نقطه توصیه می‌شود و ب) تعداد Lag ها ضرب در فاصله‌ی آنها (Lag size) حدوداً نصف حداکثر فاصله بین نقاط شود.



شکل ۳-۴ - نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل تئوری مثال

۳-۴-۲ - انتخاب مدل تئوریک نیم‌تغییرنما

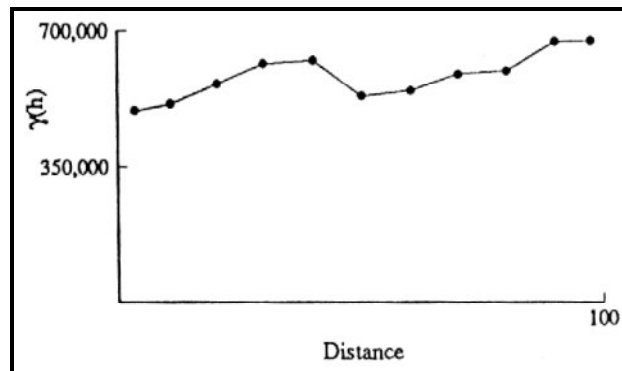
انتخاب هر یک از مدل‌های تئوریک نیم‌تغییرنما بستگی به حرکت نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیک مبدا دارد. اگر پدیده مورد نظر کاملاً پیوسته باشد، نیم‌تغییرنمای تجربی دارای حرکت سهمی گونه در نزدیک مبدا خواهد بود. در چنین شرایطی، معمولاً مدل گوسی مناسب است. اگر نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبدا حرکت خطی داشته باشد، هم مدل کروی و هم مدل نمایی مناسب خواهد بود. اغلب یکی از این مدل‌ها می‌تواند یک خط مستقیم از مبدا تا نقاط اولیه مدل نیم‌تغییرنما ایجاد کند. اگر یک خط مستقیم که از مبدا نقاط اولیه نیم‌تغییرنما را پوشش می‌دهد، آستانه را در فاصله یک پنجم دامنه قطع کند در این حالت مدل نمایی کاربرد بهتری نسبت به یک مدل کروی دارد. اگر این خط در حدود فاصله دوسوم دامنه را قطع کند، در این حالت مدل کروی ترجیح دارد. دامنه یا پارامتر a مدل‌های انتقالی، به راحتی از نقطه اوج نیم‌تغییرنمای تجربی انتخاب می‌شود. اثر قطعه‌ای نیز می‌تواند از رفتار اولیه نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی محور y شناسائی شود. با داشتن آستانه، تعیین سایر پارامترها از یک روش آزمون و خطا می‌تواند

انجام گیرد. به عبارت دیگر در انتخاب نیم‌تغییرنما باید از منحنی تتوریکی استفاده کرد که در مرحله پایانی درون‌یابی دقیق‌تری از متغیر مورد نظر ارائه کند.

۳-۵- چگونگی تشخیص وجود یا فقدان همبستگی مکانی داده‌ها و تفسیر نیم‌تغییرنما

۳-۵-۱- تشخیص پیوستگی مکانی

داده‌های مکانی که نیم‌تغییرنمای آن با افزایش فاصله به طور منظم افزایش می‌یابد و به مقدار آستانه می‌رسد، دارای همبستگی مکانی می‌باشند. به عنوان مثال در شکل (۳-۵) نیم‌تغییرنمای بدون راستای یک متغیر ترسیم شده است. این نیم‌تغییرنما تصویر مناسبی از پیوستگی مکانی متغیر را ارائه نمی‌دهد. هرچند که می‌توان افزایش نسبی مقادیر $\gamma(h)$ به ازای افزایش فاصله ملاحظه نمود، اما این افزایش کاملاً نامنظم و ناچیز می‌باشد.



شکل ۳-۵- نیم‌تغییرنمای بدون جهت از یک متغیر فرضی فاقد ساختار مکانی

از طرف دیگر میزان پیوستگی هر متغیر از رفتار نیم‌تغییرنما در نزدیکی مبدا مختصات مشخص می‌شود. شیب کم نیم‌تغییرنما در نزدیکی مبدا دلالت بر وجود پیوستگی متغیر مکانی دارد. رفتار سهمی‌گونه نیم‌تغییرنما در نزدیکی مبدا مختصات به طوری که نیم‌تغییرنما در مبدا دو بار مشتق‌پذیر باشد، نیز بیانگر پیوستگی مکانی بالا است. هرچه شیب نیم‌تغییرنما در مبدا مختصات بیش‌تر باشد ناپیوستگی متغیر مکانی در فضای توزیع بیش‌تر است.

بخش پرش نیم‌تغییرنما که قسمت میانی نیم‌تغییرنما می‌باشد، تا حدودی دلالت بر درجه همگنی و یا ناهمگنی محیط دارد. هر قدر شیب این قسمت از منحنی بیش‌تر باشد، محیط ناهمگن‌تر است و در فاصله کم‌تری به سقف می‌رسد. بدیهی است در این حالت، دامنه تاثیر کوچک‌تر و در نتیجه پیوستگی مکانی در فاصله کم‌تری وجود خواهد داشت. در نمونه‌برداری از چنین محیطی باید فواصل نمونه‌برداری را کوچک انتخاب کرد.

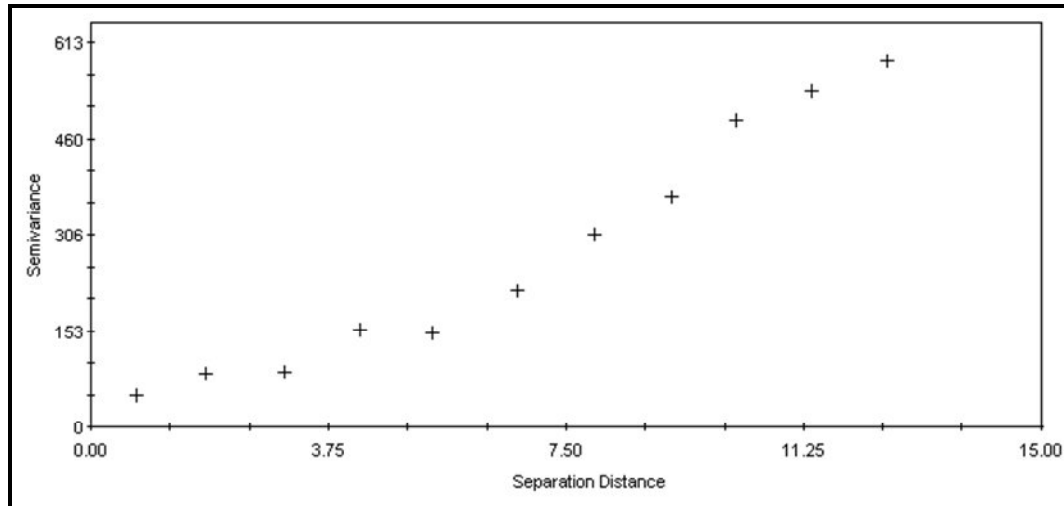
۳-۵-۲- تشخیص همسان‌گردی از نیم‌تغییرنما

علاوه بر تشخیص پیوستگی مکانی، اطلاعات بیش‌تری را می‌توان از نیم‌تغییرنما استخراج کرد که از آن جمله ناهمسان‌گردی متغیر مورد بررسی و همگنی تغییرات متغیر در منطقه مطالعاتی می‌باشد. همان‌طور که گفته شد نیم‌تغییرنما را می‌توان در راستاهای مختلف ترسیم کرد. در صورتی که در دامنه تاثیر و یا سقف نیم‌تغییرنما در جهات مختلف تفاوت وجود داشته باشد، اصطلاحاً به آن

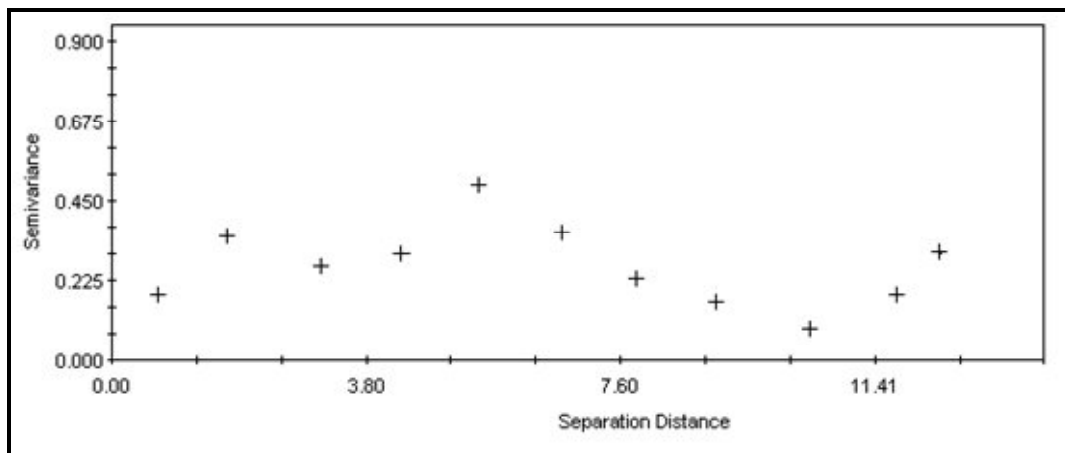
ناهمسان‌گردی^۱ اطلاق می‌شود. آنچه که باعث بروز این تغییرات می‌شود، ناهمگنی‌هایی است که در جهات مختلف وجود دارد. بنابراین با رسم نیم‌تغییرنما در امتدادهای مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر می‌توان به وجود ناهمسان‌گردی پی‌برد.

۳-۶- چگونگی بررسی ایستایی مکانی داده‌ها و تشخیص روند و تناوب مکانی متغیرها در منطقه

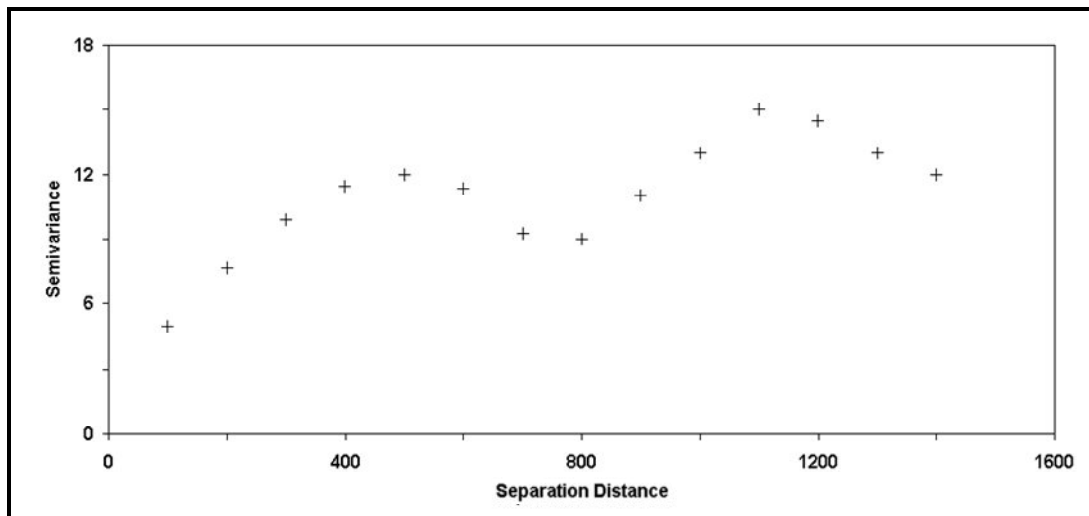
در داده‌های مکانی و روش‌های زمین آماری یکی از روش‌های تشخیص ایستایی داده‌ها آنالیز نیم‌تغییرنما می‌باشد. به این صورت که اگر نیم‌تغییرنما به سقف معینی نرسد و ثابت نگردد داده‌ها ایستایی ندارند. به عنوان مثال اگر نیم‌تغییرنما به آستانه معینی نرسید و دارای روند افزایشی بود، می‌تواند بیانگر روند در داده‌ها باشد (شکل ۳-۶ الف). گاهی ممکن است نیم‌تغییرنمای تجربی تناوبی عمل نموده و حالت موجی داشته باشد که این نیز می‌تواند ایجاد شبهه در ایستایی داده‌ها نماید (شکل ۳-۶ ب و ج). لذا با انجام آنالیز نیم‌تغییرنمایی می‌توان وجود ایستایی یا عدم آن را در داده‌ها مشخص نمود. البته در زمین آمار روش‌هایی وجود دارد که می‌توان روند و تناوب را ابتدا حذف نموده و به برآورد داده‌ها در نقاط مجهول پرداخت.



الف



ب



ج

شکل ۳-۶- نمایش چند نمونه نیم‌تغییرنا دارای روند و تناوب

انتخاب روش مناسب برای حذف روند و تناوب (در صورت وجود)

در زمین آمار برای ایستا نمودن داده‌های مختلف وجود دارد. پس از آنالیز نیم‌تغییرنا و تشخیص وجود روند در داده‌ها یکی از کارهایی که برای ایستا نمودن داده‌ها می‌توان انجام داد، تقسیم منطقه به واحدهای همگن می‌باشد. این عمل می‌تواند هنگامی صورت گیرد که منطقه وسیع بوده و تعداد داده‌ها نیز کافی باشد. به طوری که در هر واحد همگن تعداد نقطه کافی برای بررسی‌های مجدد و برآورد موجود باشد. برای این کار تهیه یک نمودار از موقعیت داده‌ها به همراه مقدار آنها می‌تواند راهگشا باشد. روش دیگری که وجود دارد، این است که روند از داده‌ها حذف شود. لذا معمولاً از توابع درجه یک تا n به عنوان مدل روند داده‌ها استفاده می‌شود و مقدار تابع روند از اصل داده‌ها حذف می‌شود. این عمل در روش کریجینگ عمومی^۱ استفاده می‌شود.

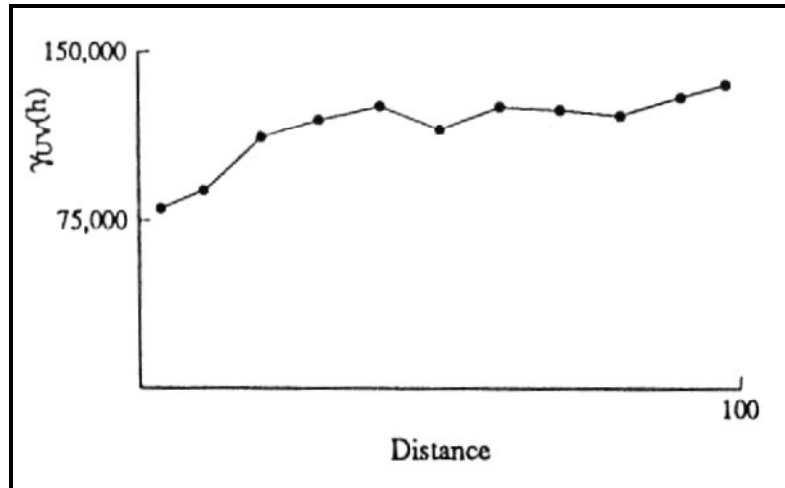
۳-۷- بررسی تاثیر متغیرهای کمکی در تغییرات مکانی داده‌ها

همان‌طور که در آمار کلاسیک روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان براساس همبستگی بین متغیرهای مختلف برای نقطه مجهول مقدار متغیر را برآورد نمود. لذا لازم است همانند نیم‌تغییرنا برای بررسی پیوستگی مکانی یک متغیر، نیم‌تغییرنمای متقابل^۲ به منظور توصیف و تشریح پیوستگی متقابل بین دو متغیر محاسبه و رسم شود. محاسبه نیم‌تغییرنمای متقابل به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma_{UV}(h) = \frac{1}{2n} \sum [U(x_i + h) - U(x_i)] \times [V(x_k + h) - V(x_k)] \quad (7-3)$$

که در آن، $\gamma_{UV}(h)$: نیم‌تغییر نمای متقابل بین دو متغیر U و V ، $U(x_i)$: متغیر اصلی در موقعیت x_i ، $V(x_k)$: متغیر کمکی در موقعیت x_k و n تعداد جفت نقاط می‌باشد.

در شکل (۷-۳) نمونه‌ای از نیم‌تغییرنمای متقابل برای دو متغیر فرضی U و V ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است نیم‌تغییرنما دارای روند بوده و همبستگی مکانی متقابل بین این دو متغیر وجود دارد.



شکل ۷-۳- نیم‌تغییرنمای متقابل متغیرهای U و V

پس از آنالیز نیم‌تغییرنما و تحلیل نتایج آن لازم است که روش‌های درون‌یابی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و روش مناسب انتخاب گردد. روش‌های مختلفی برای درون‌یابی متغیرها وجود دارد روش‌هایی مانند روش رگرسیون، روش عکس فاصله وزنی، روش توابع شعاع محور^۱ و کریجینگ. انتخاب اولیه روش‌ها می‌تواند براساس آنالیز نیم‌تغییرنما، هدف مطالعه، متغیر مورد نظر و روش‌های موجود باشد که در فصول بعدی مورد اشاره قرار می‌گیرد. تئوری روش‌ها و چگونگی عملکرد هر یک از روش‌ها در پیوست (۳) شرح داده شده است.

فصل ۴

نحوه ارزیابی و انتخاب روش مناسب

درون‌یابی

۴-۱ - نحوه انتخاب اولیه روش‌های درون‌یابی با توجه به نیم‌تغییرنمای تجربی، میزان همبستگی مکانی و فیزیک پدیده مورد بررسی

انتخاب روش درون‌یابی در درجه اول به طبیعت متغیر و تغییرات مکانی آن وابسته است، هرچند تحت تاثیر عوامل دیگری نیز می‌باشد. ارائه یک قانون صریح و عام برای انتخاب یک روش بسیار دشوار است. به عنوان مثال بسیاری از روش‌های درون‌یابی در منابع مختلف برای تخمین بارندگی منطقه‌ای به کار رفته‌اند. ساده‌ترین و عام‌ترین روش‌ها چند ضلعی تیسن و خطوط همباران هستند. خطوط همباران اغلب براساس یک درون‌یابی خطی ساده ترسیم می‌شود.

روش‌های آماری ابتدا به آزمون ساختار همبستگی مکانی داده‌ها، نظیر آنالیز نیم‌تغییرنما در روش کریجینگ نیاز دارند. معمولاً در تحلیل ساختار مکانی داده‌ها تعداد نقاط مشاهده‌ای نسبتاً زیادی مورد نیاز است که این موضوع کاربرد این روش‌ها را محدود می‌کند. از طرف دیگر با یک تراکم کافی شبکه ایستگاه‌ها، آنالیز همبستگی مکانی ممکن است زمان زیادی را به خود اختصاص دهد. استفاده از یک روش آماری برای تولید نقشه‌های متعدد مانند نقشه‌های بارندگی روزانه وقت گیر و نامطلوب است.

از دیگر ملاحظات برای انتخاب روش درون‌یابی، دقت اندازه‌گیری می‌باشد. باید در نظر داشت که حتی در یک نقطه نیز اندازه‌گیری بارندگی با دقت مناسب، به دشواری انجام می‌شود. در مورد بارندگی منطقه‌ای در نواحی کوهستانی، تخمین مکانی به علت تراکم کم ایستگاه‌ها، ثبت نامنظم، اثرات مهم اوروگرافیک، برف و غیره بسیار پیچیده‌تر می‌باشد.

با توجه به مطالب ذکر شده به طور کلی می‌توان برای انتخاب یک روش مناسب ابتدا با توجه به فیزیک پدیده و با آگاهی از تئوری روش‌ها چند روش مناسب را انتخاب نمود. پس از آنالیز نیم‌تغییرنما می‌توان انتخاب‌های اولیه را رد یا قبول نموده و سپس به کمک روش‌ها و معیارهای ارزیابی که در ذیل به آنها پرداخته شده است، از بین آنها روش مناسب‌تر را انتخاب نمود. در نهایت پس از تهیه توزیع مکانی متغیر مورد نظر با استفاده از روش انتخاب شده می‌توان تطابق مقادیر برآوردی را با واقعیت منطقه مورد بررسی بیش‌تر قرار داد.

۴-۱-۱ - چگونگی انتخاب یا حذف روش‌های مورد بررسی با توجه به فیزیک پدیده مورد نظر

همان‌طور که در بالا نیز اشاره شد، ماهیت متغیر تا حدی می‌تواند در انتخاب یک روش درون‌یابی کمک نماید. در مورد متغیرهایی که رفتارهای پیچیده‌ای دارند انتخاب روش باید با دقت بیش‌تری صورت گیرد. اما در مورد متغیرهایی که رفتار قانونمندتری دارند می‌توان انتخاب روش را با اطمینان بیش‌تری انجام داد. همچنین زمانی که تراکم ایستگاه‌ها پایین باشد و یا تهیه تعداد زیادی نقشه مورد نیاز باشد، از روش‌های درون‌یابی پیچیده ریاضی اجتناب می‌شود. مقیاس زمانی نیز می‌تواند بر روی توزیع مکانی بارندگی اثر داشته باشد. مقادیر ماهانه نسبت به مقادیر روزانه بارندگی همبستگی بیش‌تری نشان می‌دهند. بنابراین ممکن است روش مناسب درون‌یابی بارندگی ماهانه برای بارندگی روزانه دقیق نباشد.

از طرف دیگر در بسیاری بررسی‌های توزیع مکانی، روابط حاکم بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. در برخی مطالعات، صرفاً عامل ارتفاع به عنوان موثرترین عامل توزیع مکانی در نظر گرفته شده است. هر چند ممکن است ارتفاع در برخی مناطق به عنوان موثرترین عامل توزیع مکانی بارش شناخته شود، ولی در اغلب مناطق ایران حتی بارندگی

سالانه با ارتفاع رابطه همبستگی قوی ندارد. لذا به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های رگرسیون که از یک یا چند متغیر کمکی استفاده می‌کنند باید با توجه به خصوصیات منطقه صورت گیرد و نمی‌تواند برای همه مناطق صادق باشد.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، تغییرات دمای هوا (به ویژه میانگین‌های دما) با ارتفاع پدیده شناخته شده‌ای است و پیچیدگی‌های متغیر بارش را ندارد. نرمال‌های دمایی بر حسب عرض جغرافیایی نیز از استوا به قطب کاهش می‌یابد. عامل طول جغرافیایی نیز می‌تواند در تغییرات مکانی دما موثر باشد. لذا در مورد برآورد دما می‌توان از روش‌های ساده‌ای نظیر رگرسیون تک یا چند متغیره استفاده نمود. این رگرسیون می‌تواند چند متغیره باشد و طول و عرض جغرافیایی را نیز در نظر بگیرد. در مجموع ماهیت متغیر و پیچیدگی‌های حاکم بر آن می‌تواند تا اندازه‌ای در انتخاب اولیه روش برآورد توزیع مکانی یک متغیر اقلیمی راهگشا باشد.

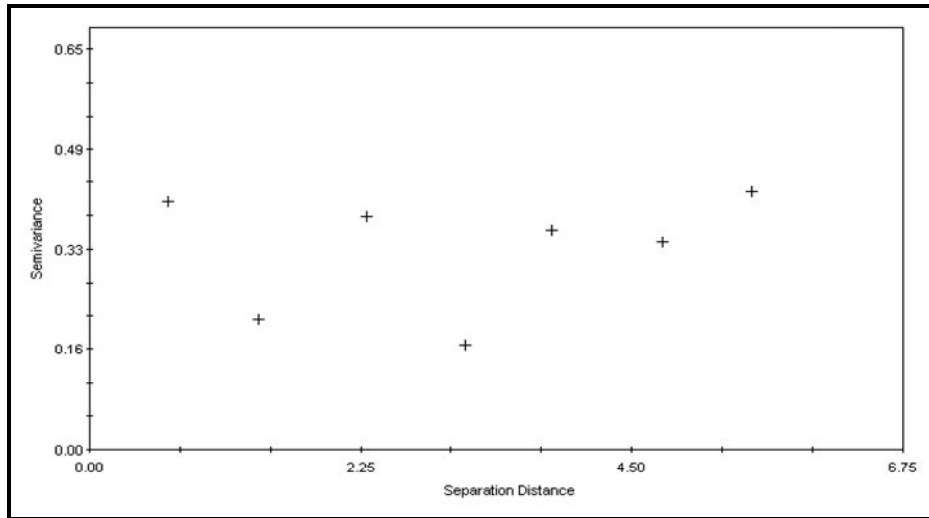
۴-۱-۲- چگونگی انتخاب یا حذف روش‌های درون‌یابی با توجه به تحلیل نیم‌تغییرنا و همبستگی مکانی داده‌ها

آنالیز نیم‌تغییرنا نیز می‌تواند در شناخت روش مناسب استفاده شود. با بررسی نیم‌تغییرنا می‌توان به وجود یا عدم وجود همبستگی مکانی داده‌ها و همچنین وجود روند در آنها پی برد. ممکن است همبستگی مکانی متغیر با استفاده از داده‌ها قابل شناسایی نباشد و لذا امکان استفاده از روش‌های آماری فراهم نیست. به عنوان مثال اگر در قسمتی از منطقه مقدار بارندگی صفر باشد و یا اینکه تعداد داده‌ها کم باشد، نیم‌تغییرنا نمی‌تواند همبستگی مکانی را به خوبی نشان دهد. در این حالت امکان استفاده از روش‌هایی نظیر کریجینگ وجود ندارد ولی می‌توان روش‌های دیگری نظیر اسپلاین‌ها و یا رگرسیون و یا روش‌های دیگر را مورد بررسی قرار داد.

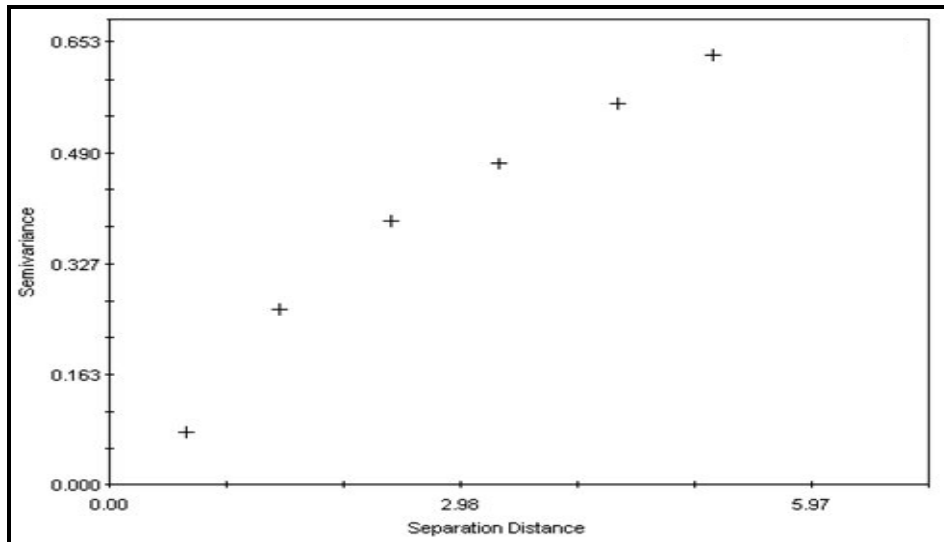
در صورت وجود روند، استفاده از برخی مشتقات روش کریجینگ که به حذف روند می‌پردازند نظیر کریجینگ عمومی و یا کریجینگ با ترند خارجی توصیه می‌گردد. در شکل (۴-۱) چند نمونه نیم‌تغییرنا ارائه شده است. در شکل (۴-۱ الف) نیم‌تغییرنا همبستگی مکانی خوبی را برای داده‌های بارندگی نشان نمی‌دهد، لذا استفاده از کریجینگ امکان‌پذیر نمی‌باشد. در شکل (۴-۱ ب) نیم‌تغییرنا به آستانه مشخصی نرسیده و دارای روند می‌باشد. لذا لازم است برای درون‌یابی از مشتقات روش کریجینگ استفاده گردد و یا اینکه با تقسیم منطقه به واحدهای همگن (در صورت امکان) داده‌ها ایستا گردند. از طرف دیگر اگر نیم‌تغییرنمای متقابل همبستگی با یک متغیر کمکی را اثبات نماید، می‌توان روش کوکریجینگ را به کار گرفت. در غیر این صورت روش‌های دیگری نظیر اسپلاین‌ها را می‌توان استفاده کرد.

۴-۲- معرفی معیارهای اعتبارسنجی روش‌های مختلف

روش‌های مختلفی برای اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آنها روش اعتبارسنجی تقاطعی^۱ می‌باشد. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای، که معمولاً تنها ابزار مقایسه می‌باشند، تخمین با به‌کارگیری روش درون‌یابی مورد نظر انجام می‌گیرد و سپس مقدار تخمین با مقدار مشاهده‌ای مقایسه می‌گردد. بدین ترتیب که در روش CV، یک نقطه به طور موقت حذف و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد. در پایان ستون مقادیر مشاهده‌ای و ستون مقادیر برآورد شده در قالب معیارهای مختلف خطا مقایسه می‌شود.



الف



ب

شکل ۴-۱ - چند نمونه از نیم تغییرنماهای تجربی برای داده‌های بارندگی الف - فاقد ساختار ب - دارای روند

معیارهای مختلفی برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده وجود دارد که در زیر چند نمونه از کاربردی‌ترین آنها معرفی می‌شود:
الف - میانگین قدر مطلق خطا^۱ به صورت زیر محاسبه می‌شود،

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (1-4)$$

که در آن:

$z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده متغیر در x_i ، $z(x_i)$: مقدار مشاهده‌ای متغیر در x_i ، n : تعداد نقاط با متغیر مشاهده‌ای.

معیار MAE هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر روش می‌باشد. مقدار این معیار همواره مثبت است.

ب- میانگین انحراف خطا^۱:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i)) \quad (۲-۴)$$

MBE در حقیقت اختلاف بین میانگین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی است و بیانگر انحراف از میانگین می‌باشد. این مقدار می‌تواند مثبت یا منفی باشد که نشان‌دهنده برآورد بیش (مثبت) و یا کم‌تر (منفی) از میانگین داده‌ها می‌باشد. این معیار نیز هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده اختلاف کم‌تر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. در شرایطی که MAE و MBE برابر صفر باشند، مدل درون‌یابی متغیر مورد نظر را به طور دقیق برآورد می‌کند.

ج- ریشه دوم میانگین مربع خطا^۲: این معیار به صورت زیر محاسبه شده و هر چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر خطای کم‌تر روش می‌باشد.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i))^2} \quad (۳-۴)$$

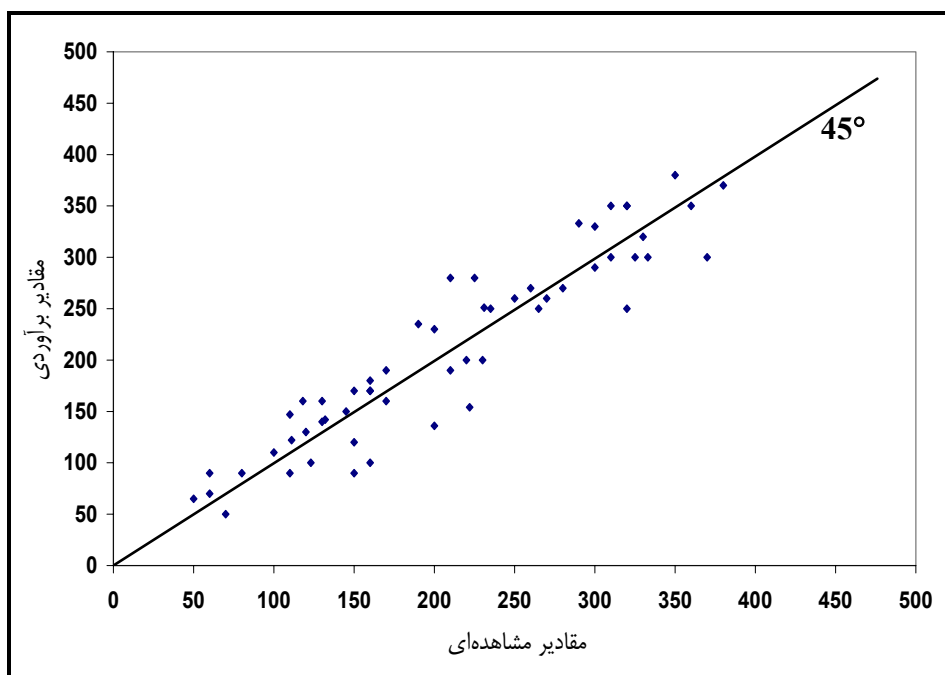
د- نمودار پراکنش مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی: در این نوع مقایسه نمودار مقادیر مشاهده‌ای در مقابل مقادیر برآوردی رسم می‌شود. هر چقدر پراکنش مقادیر به خط ۴۵ درجه نزدیک‌تر باشد نشانگر برآورد دقیق‌تر روش می‌باشد. اگر مقادیر مشاهده‌ای کاملاً برابر مقادیر برآوردی باشد، نقاط دقیقاً روی خط ۴۵ درجه قرار می‌گیرند. پراکندگی نقاط در اطراف این خط نشان‌دهنده تفاوت بیشتر مقادیر برآوردی با مشاهده‌ای می‌باشد. شکل (۲-۴) یک نمونه از این منحنی را نشان می‌دهد. برای کمی کردن این نمودار می‌توان ضریب همبستگی مقادیر مشاهده‌ای با برآوردی را محاسبه نمود و روش‌های مختلف را با هم مقایسه کرد. ولی این ضریب به تنهایی نمی‌تواند روش برتر را شناسایی نماید. از طرف دیگر اگر تجمع نقاط در زیر خط ۴۵ درجه باشد (و محور xها مقادیر مشاهده‌ای باشد) نشان‌دهنده این است که روش مقادیر را دست پایین برآورد نموده است. بالعکس، در صورتی که تجمع نقاط در بالای این خط باشد نشان‌دهنده برآورد دست بالای روش می‌باشد.

۴-۳- بهینه‌سازی پارامترهای روش درون‌یابی و بررسی اعتبار نتایج روش‌های مختلف

هر روش درون‌یابی پارامترهایی دارد که انتخاب این پارامترها روی مقادیر برآورد شده تأثیر زیادی دارد. لذا لازم است که ابتدا پارامترهای هر روش بهینه شود. پارامترهای بهینه هر روش درون‌یابی باید بهترین دقت را در برآورد ارائه نماید. بنابراین می‌توان در قالب روش اعتبارسنجی هر یک از پارامترها را تغییر داده و مناسب‌ترین آن (دارای کم‌ترین خطای برآورد) را شناسایی نمود. همچنین برای انتخاب یک روش درون‌یابی از بین روش‌های مختلف نیز لازم است روشی انتخاب گردد که خطای کم‌تری داشته باشد. با استفاده از روش اعتبارسنجی و یک معیار مناسب می‌توان روش‌های مختلف را مقایسه نمود و کم‌خطاترین روش را انتخاب کرد.

1- Mean Bias Error (MBE)

2- Root Mean Square Error (RMSE)



شکل ۴-۲- نمونه‌ای از نمودار مقادیر مشاهده‌ای در مقابل مقادیر برآورد شده با یک روش درون‌یابی

۴-۴ - چگونگی بررسی تطابق توزیع مکانی برآورد شده با فیزیک پدیده

معمولاً پس از انتخاب روشی که دارای کم‌ترین خطا می‌باشد، نقشه توزیع مکانی متغیر مورد نظر با روش انتخابی ترسیم می‌گردد. نقشه مورد نظر با دیدگاه کارشناسی نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، به این مفهوم که توزیع مکانی متغیر با فیزیک و خصوصیات آن همخوانی داشته باشد. به عنوان مثال در صورتی که توزیع مکانی دما و یا رطوبت نسبی و یا هر پارامتر دیگری که با ارتفاع ارتباط مستقیم دارد، مد نظر باشد، باید توزیع به دست آمده با نقشه ارتفاع منطقه تطابق مکانی داده شود. در مواردی ممکن است لازم باشد تاثیر دوری و نزدیکی به منبع رطوبت (مثل دریا) در توزیع به دست آمده حفظ شده باشد. همچنین تاثیر عواملی مثل روبه جبهه باران‌زا بودن و یا پشت به جبهه بودن و یا قرار گرفتن در دره و یا موقعیتی که ایجاد تغییر سریع در مقدار یک متغیر مثل بارندگی می‌نماید را مد نظر قرار داشت. همگن‌بندی مناطق یکی از راهکارهایی است که پس از شناسایی روند در روش‌های زمین‌آمار انجام می‌گیرد.

۴-۵ - چگونگی شناسایی مناطق با برآورد پایین^۱ و یا بالا^۲

برای این منظور ابتدا نقشه توزیع مکانی متغیر مورد نظر ترسیم می‌شود. سپس با استفاده از نقاط مشاهده‌ای و روی هم‌گذاری با این نقشه مناطقی که دارای برآوردی بیش‌تر یا کم‌تر از درصد خطای قابل قبول هستند، مشخص می‌شود. به عنوان مثال اگر نقطه مشاهده‌ای مقداری برابر ۲۰۰ واحد دارد و مقدار برآوردی حدود ۵۰ واحد است، این نشان دهنده برآورد کم‌تر از حد می‌باشد.

1- Under-estimate
2- Over-estimate

در صورتی که مقدار برآوردی به فرض ۳۰۰ واحد باشد در این صورت برآورد بیش از حد می‌باشد. لذا لازم است، برآورد مورد بازبینی قرار گیرد. این مساله بیش تر در مناطقی که تغییرات ارتفاعی شدیدی داشته و یا مواقعی که داده‌ها پراکنش مکانی و ارتفاعی مناسبی ندارند رخ می‌دهد. در مناطق مرتفع کشور ایستگاه‌های هواشناسی تنها تا ارتفاع مشخصی نصب شده‌اند، لذا هنگام برآورد باران در مناطق بالاتر از ایستگاه‌ها نمی‌توان دست پایین و یا دست بالا بودن برآورد را تعیین نمود.

۴-۶- چگونگی برآورد خطای تخمین

برآورد خطای تخمین در روش‌های مختلف متفاوت می‌باشد. یکی از مهم‌ترین نقاط قوت روش کریجینگ، توانایی آن در محاسبه‌ی واریانس تخمین و بنابراین توانایی تعیین سطح اعتماد تخمین می‌باشد. هر روش تخمین برای هر مورد معینی خطای مخصوص به خود را دارد. این خطا انعکاس دهنده‌ی اختلاف بین مقدار واقعی کمیت و مقدار تخمینی است. بنابراین به تفاضل مقدار واقعی از مقدار تخمینی، خطای تخمین گفته می‌شود. این تفاضل یک متغیر تصادفی است. واریانس تخمین که با نماد σ_E^2 نمایش داده می‌شود، نشانگر واریانس خطای بین مقدار حقیقی و مقدار تخمینی می‌باشد. مقدار این واریانس، با استفاده از مقادیر متوسط نیم‌تغییرنما، که خود از طریق توابع کمکی موجود قابل محاسبه هستند، به دست می‌آید. محاسبه‌ی واریانس تخمین به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \gamma_{0i} - \gamma_0 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \cdot \gamma_{ij} \quad (4-4)$$

که در آن، n : تعداد داده‌ها، λ_i : وزن داده در موقعیت i ، γ_0 : مقدار مدل نیم‌تغییرنما به ازای $h = 0$ ، γ_{0i} : مقدار مدل نیم‌تغییرنما بین i امین داده و نقطه موردنظر، γ_{ij} : مقدار مدل نیم‌تغییرنما بین داده‌های i و j . واریانس محاسبه شده تابع مشخصات نیم‌تغییرنما است که خود از مقادیر داده‌های مشاهده‌ای به دست می‌آید و لذا به طور غیرمستقیم با مقدار واقعی داده‌ها ارتباط دارد. مشخصاتی مانند فاصله نمونه‌ها تا نقطه تخمین و نحوه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری حول نقطه تخمین در ساختار مکانی و در نتیجه در تغییرنما منعکس می‌شود. از طرفی چون تغییرنما روی خطای تخمین موثر است، لذا این مشخصات روی خطای تخمین تاثیر می‌گذارند.

در سایر روش‌ها می‌توان برای به دست آوردن خطای تخمین اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی را محاسبه نمود. در صورتی که توزیع مکانی خطای تخمین مورد نیاز باشد، با یک روش ساده این مقدار اختلاف درون‌یابی می‌شود. ولی این نقشه به طور مطمئن خود دارای خطا می‌باشد و مقدار تقریبی را در سطح می‌دهد. درحالی که در مورد کریجینگ این مقدار دقیق تر می‌باشد. روشی که خطای تخمین کمتری داشته باشد دارای سطح اعتماد بزرگتری می‌باشد و به عبارت دیگر برآورد دقیق تری دارد.

۴-۷- نحوه انتخاب روش مناسب و پارامترهای آن براساس آزمون‌های معتبر

با توجه به مطالبی که گفته شد برای انتخاب یک روش در ابتدا از معیارهای ذکر شده نظیر مقدار MAE، MBE، همبستگی مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای و واریانس تخمین، یک روش مناسب انتخاب می‌شود. در مرحله بعد پس از رسم نقشه، باید توزیع مکانی متغیر مورد بررسی قرار گرفته تا با رفتار واقعی آن پارامتر در منطقه مورد نظر همخوانی داشته باشد.

۴-۸- چگونگی استخراج نقشه توزیع مکانی براساس روش انتخابی

پس از ارزیابی روش‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین روش، نقشه توزیع مکانی متغیر مورد نظر با یک نرم‌افزار استخراج می‌گردد. در کلیه نرم‌افزارها برای تهیه نقشه توزیع مکانی، یک شبکه تعریف می‌شود که برای هر یک از سلول‌های این شبکه مقدار متغیر با روش انتخابی تخمین زده می‌شود. در فصل بعدی نرم‌افزارهای موجود برای این امر تشریح شده است.

فصل ۵

معرفی و ارزیابی نرم افزارهای

درون یابی

۵-۱- کلیات

نرم‌افزارهای مختلفی برای ارزیابی همبستگی مکانی متغیرها و برآورد توزیع مکانی آنها وجود دارند. این نرم‌افزارها را می‌توان به صورت عمومی به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود. نرم‌افزارهای تخصصی زمین آماری که بیش‌تر به بررسی ساختار مکانی و انواع روش‌های کریجینگ می‌پردازد. از دیگر نرم‌افزارها می‌توان به نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی اشاره نمود که روش‌های مختلف درون‌یابی را شامل می‌شوند. در این فصل نرم‌افزارهای زمین آماری با امکان دسترسی آزاد^۱ معرفی می‌شود. سپس چگونگی کار با نرم‌افزارهایی که در مجموع کارایی بهتری دارند و به صورت گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرند، تشریح می‌شود. در جدول (۵-۱) مشخصات برخی از نرم‌افزارهای موجود برای تحلیل‌های زمین آماری و درون‌یابی ارائه شده است. همان‌طور که در جدول نیز مشخص است انواع مختلفی از نرم‌افزارها وجود دارند که قابلیت‌های متفاوتی داشته و روش‌های متفاوتی را نیز در بر می‌گیرند. استفاده از برخی از این نرم‌افزارها ساده و آسان و گاهی دارای پیچیدگی‌های خاصی بوده و یا نیاز به وجود سیستم عامل‌های خاص می‌باشد. نرم‌افزار GS+ به عنوان یک نرم‌افزار عمومی تحلیل مکانی که دارای کاربری آسان و سریع بوده و دسترسی به آن نیز امکان پذیر می‌باشد، انتخاب و در بندهای بعدی به تفصیل به آن پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه در اغلب موارد بعد از تحلیل توزیع مکانی داده‌ها لازم است که تحلیل‌های دیگری نیز بر روی نقشه‌ها انجام گیرد، به نرم‌افزارهای GIS که امکانات انجام تحلیل‌های زمین آماری را دارند نیز توجه خواهد شد. لذا در بحث‌های بعدی نرم‌افزار Arc/GIS که قابلیت‌های بسیاری از روش‌های زمین آماری را دارد و کار با آن نیز نسبتاً آسان است معرفی می‌شود. این نرم‌افزار توانمند برخلاف بقیه نرم‌افزارهای GIS امکان ارزیابی روش‌های درون‌یابی را نیز دارد.

لازم به ذکر است که نرم‌افزارهای تخصصی دیگری نظیر GSLIB وجود دارند اما به دو دلیل در این دستورالعمل از آن استفاده نشده است. فقط نسخه β این نرم‌افزار در دسترس بوده که به صورت ماهانه کار می‌کند و برای نصب مجدد آن لازم است، سیستم عامل مجدداً نصب شود، از طرف دیگر این نرم‌افزار تخصصی بوده و کاربر آن باید کاملاً به تئوری روش‌های زمین آماری و آمار کلاسیک مسلط باشد. این سطح آگاهی از تئوری‌های زمین آمار فراتر از محتویات این راهنما است. لذا استفاده مداوم از آن برای تهیه نقشه‌های توزیع مکانی کاربردی به نظر نمی‌رسد. ضمن آنکه کار با این نرم‌افزار نیز پیچیدگی‌های خاصی دارد که در مجموع در مقایسه با GS+ به کارگیری آن برای کارهای مهندسی و به تعداد زیاد توصیه نمی‌شود.

۵-۲- معرفی نرم‌افزار GS+

GS+ اولین برنامه آنالیز زمین آماری است که در سال ۱۹۸۸ برای کامپیوترهای شخصی ارائه شد. این نرم‌افزار به سرعت در سراسر جهان به عنوان یک برنامه زمین آماری منتخب کاربران تبدیل شد. این نرم‌افزار، اولین نرم‌افزار زمین آماری است که هم خواست‌های انعطاف‌پذیر یک متخصص و هم نیازهای ساده یک مبتدی را برآورده می‌سازد. این ویژگی شامل تمام اجزای آن، از آنالیز تغییرنما تا کریجینگ و ترسیم نقشه می‌شود.

نسخه 5.1.1 این نرم‌افزار در قالب شش مرحله اصلی زیر به کار گرفته می‌شود:

ورود داده‌ها در محیط GS+

- ۱- خصوصیات آماری داده‌های ورودی^۲
- ۲- استخراج نیم‌تغییرنما و آنالیز نیم‌تغییرنما^۳
- ۳- درون‌یابی و انتخاب روش تحلیل مکانی^۴
- ۴- ارزیابی روش‌ها و پارامترها^۵
- ۵- ترسیم نقشه^۶

نحوه استفاده از این نرم‌افزار به صورت مبسوط و با جزییات در پیوست (۴) ارائه شده است.

-
- 1- Import Data
 - 2- Summarize Data
 - 3- Semivariance Analysis
 - 4- Interpolation
 - 5- Cross Validation
 - 6- Mapping

جدول ۵-۱ - مشخصات چند نرم افزار موجود برای تحلیل های زمین آماری

توضیحات	قابلیت *													هدف	پایگاه اتصال به کامپیوتر	سال تولید	نرم افزار			
	G	3D	2D	Sm	CV	R	S	I	CK	UK	K-ED	BK	Ok					SK	V	St
			+					+					+		+		مدلسازی روش های زمین آماری چند متغیره	UNIX-Windows	1996	Agromet
این نرم افزار یک تخمین گر زمانی و مکانی است که با استفاده از تئوری (Bayesian Maximum Entropy) الگوریتمهای مشهور کریجینگ را با در نظر گرفتن شرایط محدود کننده همانند روند و hard data اجرا می نماید	+							+					+		+		تحلیل مکانی و زمانی - ماکزیمم بیضوی انتروپی	Matlab	2001-2005	BMElib 2.0
		+					+				+		+		+		مجموعه توابع کریجینگ (Matlab Kriging) (toolbox)	Matlab	1996	DACE
																	آموزش کریجینگ	Windows	2003-2004	E(z)-Kriging
این نرم افزار کوواریانس، همبستگی نگار و rodogram را نیز همانند نیم تغییرنا محاسبه و مدلسازی می نماید.	+	+						+				+					مجموعه توابع زمین آمار (Geostatistical toolbox)	Matlab	2000	Easy Krig 2.1
در این نرم افزار یک ارتباط دینامیکی بین جفت دادهها، هیستوگرام، نمودار پراکنش و نیم تغییرنا برقرار است. از دیگر قابلیت های آن می توان به تابع Voronoi و Polygons اشاره کرد.	+		+					+				+			+		توابع GIS همراه با توابع زمین آمار	Windows	2002-2005	ExploStat
			+													+	ایزار آتالیز داده های مکانی براساس داده های شبکه ای	Windows	2003-2004	GeoDa 0.9.5
قابلیت محاسبه و مدلسازی به صورت اتوماتیک و یا در تقابل با کاربر در این نرم افزار وجود دارد و همچنین نیم تغییرنا نسبی و madogram نیز در آن مورد بررسی قرار می گیرد			+						+			+					زمین آمار	Dos & UNIX	1989 & 1993	Geo-EAS
در این نرم افزار قابلیت محاسبه و مدلسازی نیم تغییرنا به صورت اتوماتیک و یا در تقابل با کاربر وجود دارد.			+														نرم افزار زمین آمار برای مدیریت افت (waste Management)	Dos	1990	GeoPack
در قسمت آتالیز آماری این نرم افزار امکان تبدیل داده ها به نرمال با روش Box-Cox وجود دارد.											+						مجموعه توابع زمین آمار (Geostatistical toolbox)	UNIX-Windows	1997-2006	GeoR 1.6
نیم تغییرنا، کوواریانس و madogram به صورت تقابل با کاربر صورت می گیرد.																	زمین آمار	Dos	1990	Geostatistical Toolbox 1.30
توابع موجود در این نرم افزار شامل رگرسیون عمومی شبکه عصبی و ضریب همسان گردی می باشد.			+														درون یابی مکانی	Windows	2005-2006	GRNN 2

ادامه جدول ۵-۱ - مشخصات چند نرم‌افزار موجود برای تحلیل‌های زمین آماری

توضیحات	قابلیت*													هدف	پایگاه اتصال به کامپیوتر	سال تولید	نرم‌افزار			
	قابلیت*																			
	G	3D	2D	Sm	CV	R	S	I	CK	UK	K-ED	BK	Ok					SK	V	St
	+	+	+	+	+			+		+	+	+	+	+	+	+	GSLIB	1992-1999	زمین آمار	UNIX-Windows
				+					+	+	+	+	+	+	+	+	Gstat 2.4.5	1996-2005	برنامه‌ای برای مدلسازی، پیش‌بینی و شبیه‌سازی زمین آمار	UNIX-Windows
این نرم‌افزار کواریانس، کروگرام و rodogram را نیز همانند نیم‌تغییرنما محاسبه و مدلسازی می‌نماید.	+	+	+					+				+	+	+	+	+	Matlab Kriging Toolbox 3	1998	مجموعه توابع زمین آمار براساس نرم‌افزار GSLIB	Matlab
در این نرم‌افزار nearest neighbor و neighborhood نیز وجود دارد.	+	+	+				+					+	+	+	+	+	SADA 4.1	2000-2004	تحلیل مکانی و GIS در assistance	Windows
	+	+	+					+				+	+	+	+	+	SAGA GIS 2.0	2003-2005	GIS با توابع زمین آمار	Windows
تنها از تابع کواریانس در این نرم‌افزار استفاده می‌گردد	+	+	+	+					+				+	+	+	+	S-GEMS 1.4	2001-2006	نرم‌افزاری برای مدلسازی سه بعدی زمین آمار	Linux-Windows
قابلیت محاسبه و مدلسازی نیم‌تغییرنما، madogram همبستگی نگار، کواریانس، نمودار پراکنش th، بر تابع پیوستگی، نیم‌تغییرنماهای جهت دار به صورت تقابل با کاربرد در این نرم‌افزار وجود دارد.																	Spherkit 1.0	1997	درون‌یابی مکانی با استفاده از هندسه کروی	UNIX-Fortran-C
																	Variowin 2.21	1996-1999	آنالیز و مدل کردن نیم‌تغییرنما	Windows
	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	ILWIS		کلیه تحلیل‌های مکانی	Windows
	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	Arcview		کلیه تحلیل‌های مکانی	Windows
																	GS+	1988	زمین آمار	Windows
جدیدترین و کاراترین نرم‌افزار GIS است	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	ARC GIS		کلیه تحلیل‌های مکانی	Windows
																	St		آنالیز آماری عمومی	St
																	V		ترسیم تغییرنما	V
																	SK		کرپچینگ ساده	SK
																	Ok		کرپچینگ معمولی	Ok
																	BK		پلاک کرپچینگ	BK
																	K-ED		کرپچینگ با روند خارجی	K-ED
																	UK		کرپچینگ عمومی	UK
																	CV		اعتبارسنجی تقاطعی	CV

۵-۳- معرفی نرم‌افزار Arc/GIS

Arc/GIS مهم‌ترین نسخه از سری محصولات سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی شرکت ESRI به عنوان یک GIS کامل، مدرن و قوی می‌باشد. نقطه قوت Arc/GIS این است که این نرم‌افزار، GIS را به قدر کافی کاربردی می‌نماید. بخش‌های جدید این نرم‌افزار ArcMap، ArcCatalog و ArcToolbox قابلیت‌های بسیاری را به همراه آورده‌اند. همچنین رابط کاربری جدید این نرم‌افزار یکی از قابلیت‌های ایجاد سهولت در کاربرد نرم‌افزار است.

دیگر نرم‌افزارهای GIS مانند ILWIS نیز قابلیت‌های درون‌یابی محدودی دارند، ولی به واسطه قابلیت‌های برجسته زیر، نرم‌افزار Arc/GIS جهت عملیات درون‌یابی در زمان تهیه این دستورالعمل معرفی می‌شود.

دارا بودن روش‌های درون‌یابی متعدد به ویژه زمین آماری

- ۱- کاربرد و مقبولیت گسترده در جهان
- ۲- آماده بودن بسیاری از داده‌های مکانی در این نرم‌افزار
- ۳- امکان یادگیری نسبتاً سریع نرم‌افزار
- ۴- امکان انجام تحلیل‌های زمین آماری در حد نرم‌افزارهای نسبتاً تخصصی
- ۵- امکان بهینه نمودن سریع پارامترهای مختلف روش‌های درون‌یابی
- ۶- امکان انجام ارزیابی متقاطع در نرم‌افزار و در نتیجه امکان مقایسه روش‌ها در داخل نرم‌افزار
- ۷- امکان انجام کلیه عملیات درون‌یابی تا مرحله ارائه نقشه نهایی.

در نرم‌افزار Arc/GIS دو Extension با عناوین تحلیل‌گر زمین آماری^۲ و تحلیل‌گر مکانی^۳ وجود دارد. به نوعی می‌توان تحلیل‌گر زمین آماری را مکمل تحلیل‌گر مکانی دانست. در ذیل به چند قابلیت عمده تحلیل‌گر زمین آماری در محیط Arc/GIS اشاره می‌شود که تحلیل‌گر مکانی فاقد این‌گونه توانایی‌ها می‌باشد:

- ۱- اکثر روش‌های درون‌یابی که در تحلیل‌گر مکانی وجود دارد، در تحلیل‌گر زمین آماری نیز در دسترس است با این تفاوت که تحلیل‌گر مکانی دارای روش‌های درون‌یابی مقدماتی^۴ است اما تحلیل‌گر زمین آماری روش‌های پیشرفته زمین آماری و قطعی (عددی) را نیز شامل می‌شود.
- ۲- تعداد بسیار زیادی از مدل‌ها و ابزار آماری در تحلیل‌گر زمین آماری وجود دارد که می‌توان با تغییر پارامترهای آنها به صورت دستی تاثیر هر یک از پارامترها را در استخراج بهترین نقشه مشاهده نمود. ولی تحلیل‌گر مکانی فاقد این‌گونه تحلیل‌های آماری بوده و لذا نمی‌توان پارامترهای مورد نیاز مخصوصاً در روش کریجینگ را تعیین نمود و تنها می‌توان آنها را به عنوان ورودی به نرم‌افزار وارد نمود.
- ۳- امکان تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی اکتشافی^۵
- ۴- قابلیت ارزیابی بهترین روش درون‌یابی با استفاده از معیارهای خطا

1- User Interface
 2- Geostatistical Analyst
 3- Spatial Analyst
 4- Rudimentary Interpolation Method
 5- Exploratory Spatial Data Analysis

۵- توانایی ارائه نقشه‌های ترسیمی در قالب خروجی‌های متفاوت

این قابلیت‌ها موجب گردید تا تحلیل‌گر زمین آماری در این راهنما مطرح شود که مراحل تحلیل‌های زمین آماری در این نرم‌افزار به طور کامل و با جزئیات در پیوست (۵) آمده است. مجدداً یادآوری می‌شود که نرم‌افزارهای انتخابی در این راهنما با توجه به نسخه‌های موجود بوده و ممکن است در آینده نسخه‌های متفاوت یا نرم‌افزارهای جدیدی در دسترس باشند که نیاز به بررسی آنها در آن زمان وجود خواهد داشت.

علاوه بر برنامه جانبی تحلیل‌گر زمین آماری Arc/GIS امکان استفاده از سایر روش‌های درون‌یابی مانند IDW، Spline، Kriging و تولید مدل ارتفاعی رقومی با روش TopoToRaster نیز وجود دارد. این روش‌ها به سادگی از بخش ArcTool Box نرم‌افزار در قسمت Spatial Analysis قابل استفاده می‌باشد. در استفاده از این روش‌ها در این بخش نرم‌افزار، امکان وارد کردن مرز محدوده (Mask) هم وجود دارد که در گزینه‌ی Environments هر روش درون‌یابی در قسمت Raster Analysis قابل دسترس می‌باشد.

فصل ۶

مطالعه موردی

۶-۱- کلیات

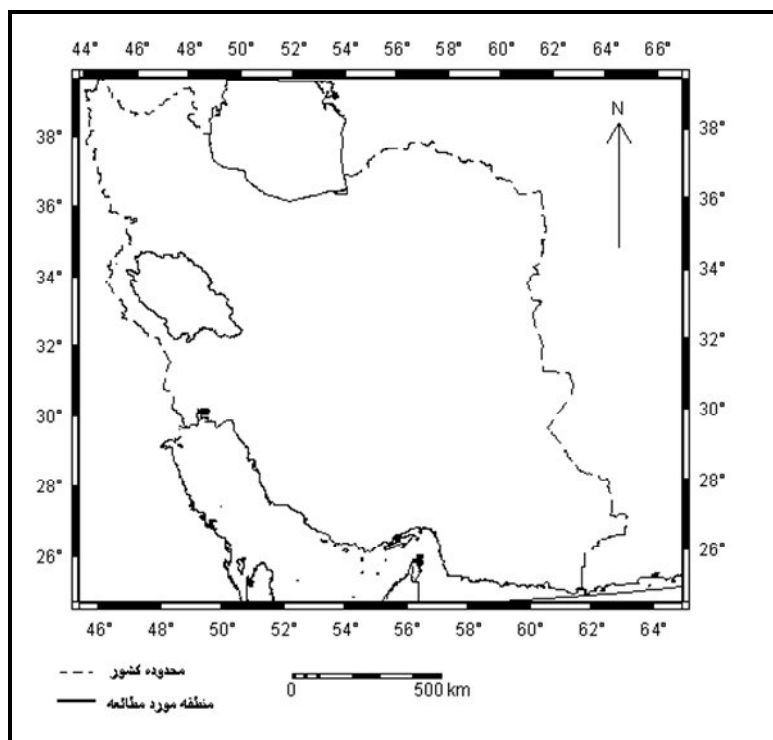
با انجام مطالعه موردی در این بخش مراحل انجام درون‌یابی به صورت گام به گام ارائه می‌شود. این مطالعه موردی شامل تمامی مراحل درون‌یابی از بررسی‌های مقدماتی داده‌ها تا انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی و رسم نقشه می‌باشد. برای انجام مطالعه موردی از تحلیل‌گر زمین آماری نرم‌افزار Arc/GIS استفاده می‌شود. منطقه مورد مطالعه حوضه کرخه در جنوب غرب ایران می‌باشد که در شکل (۶-۱) موقعیت آن نشان داده شده است. هدف تهیه نقشه توزیع مکانی بارندگی سالانه برای این منطقه با استفاده از مناسب‌ترین روش درون‌یابی می‌باشد. براساس مطالب بخش‌های پیشین برای انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد، لازم است مراحل زیر انجام گیرد:

- ۱- بررسی آمار توصیفی داده‌ها
- ۲- شناخت کلی و بررسی وضعیت پدیده مورد نظر در منطقه و موقعیت توپوگرافیکی منطقه
- ۳- بررسی همبستگی پارامتر مورد نظر با عوامل محیطی
- ۴- انتخاب اولیه روش‌های درون‌یابی با توجه به فیزیک پدیده، تعداد نقاط مشاهده‌ای در دسترس، هدف، زمان اجرای روش و توجیه اقتصادی
- ۵- بررسی پراکنش داده‌ها از لحاظ تراکم
- ۶- بررسی توزیع فراوانی داده‌ها
- ۷- آنالیز نیم‌تغییرنما و بهینه‌سازی پارامترهای نیم‌تغییرنمای تجربی
- ۸- برازش مدل مناسب به نیم‌تغییرنمای تجربی
- ۹- ارزیابی نیم‌تغییرنمای متقابل بین بارندگی و متغیر کمکی و برازش مدل مناسب به آن
- ۱۰- ارزیابی متقاطع روش کریجینگ و کوکریجینگ و استخراج مقدار خطای هر روش
- ۱۱- بهینه‌سازی پارامترهای روش IDW با کمک روش ارزیابی متقاطع و استخراج مقدار خطای این روش با پارامترهای بهینه
- ۱۲- بهینه‌سازی پارامترهای روش‌های مختلف RBF با کمک روش ارزیابی متقاطع و انتخاب یک روش از بین روش‌های گروه
- ۱۳- مقایسه خطای هر یک از روش‌ها و انتخاب اولیه روشی که دارای کم‌ترین مقدار خطا می‌باشد.
- ۱۴- مقایسه نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای هر یک از روش‌ها به منظور تایید یا تغییر روش انتخابی
- ۱۵- رسم نقشه توزیع مکانی با استفاده از روش انتخابی
- ۱۶- بررسی مقادیر برآورد شده با توجه به وضعیت منطقه

۶-۲- مراحل انجام مطالعه موردی

در ابتدا شناسایی و حذف نقاط پرت، آزمون همگنی و سایر آنالیزهای آماده‌سازی داده‌ها انجام گرفته و سری داده‌ها نهایی می‌گردد. جدول (۶-۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده و مقدار بارندگی سالانه در هر یک از ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۶-۲) نیز پراکنش ایستگاه‌ها را در منطقه نشان می‌دهد. تا حد ممکن باید در خارج از مرز منطقه نیز ایستگاه‌هایی انتخاب گردد. این امر باعث می‌شود که در مرز حوضه برون‌یابی انجام نگیرد و خطا در محدوده حوضه افزایش نیابد. با بررسی شکل (۶-۳) که طبقات ارتفاعی منطقه

را نشان می‌دهد، می‌توان تاثیر ارتفاع بر بارندگی را مشاهده نمود. برای شناخت بیش‌تر بارندگی مشخصات آماری داده‌ها استخراج گردید. جدول (۲-۶) آماره‌های توصیفی بارندگی سالانه در منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است میانگین بارندگی حدود ۵۰۴ میلی‌متر و با انحراف معیار ۱۸۴ میلی‌متر می‌باشد. ضریب تغییرات مکانی بارندگی نیز برابر ۳۶/۴ درصد بوده که نشان‌دهنده تغییرات نسبتاً کم بارندگی سالانه در سطح می‌باشد. از طرف دیگر مقدار چولگی نشان می‌دهد که داده‌ها دارای چولگی به راست بوده و لذا فراوانی مقادیر کم بیش‌تر می‌باشد (شکل ۵-۶). بررسی طبقات ارتفاعی منطقه (شکل ۳-۶) و ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که ارتفاع منطقه بین ۱۵۰ متر تا ۳۹۹۵ متر می‌باشد درحالی‌که ایستگاه‌ها تا ارتفاع ۲۶۴۰ متری قرار دارند. لذا بخشی از ارتفاعات منطقه فاقد ایستگاه بوده و به ناچار در بعد ارتفاع برون‌یابی بارندگی صورت می‌گیرد. لذا بعد از تهیه نقشه توزیع مکانی لازم است این ارتفاعات با دقت بیش‌تری بررسی گردد به‌نحوی که منطقه در این محدوده دچار برآورد بیش‌تر یا کم‌تر از حد نشده باشد.



شکل ۶-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران

جدول ۶-۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه موردی

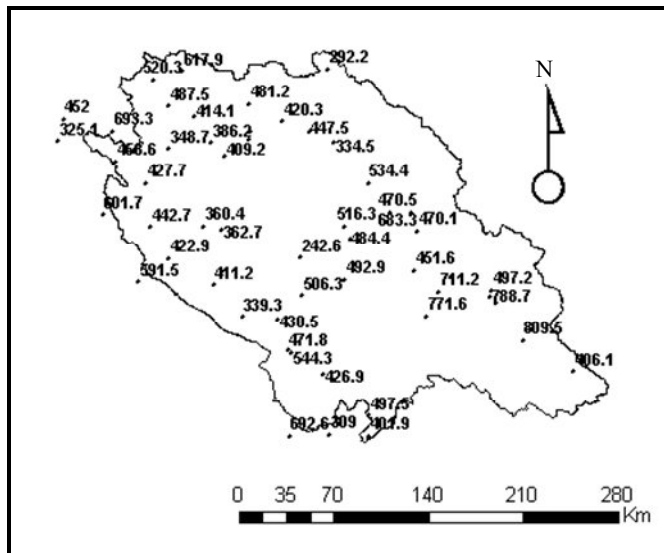
کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع - متر	بارندگی سالانه - میلی‌متر
۲۱۱۲۵	کارخانه قندیستون	۴۷/۴۵۰	۳۴/۴۰۰	۱۲۸۰	۵۸۸/۳
۲۱۵۳۴	وراینه	۴۸/۴۰۰	۳۴/۰۸۳	۱۸۰۰	۵۳۴/۴
۲۱۱۲۷	پل چپر	۴۷/۴۳۳	۳۴/۳۵۰	۱۲۸۰	۴۰۹/۵
۲۱۱۰۹	فیروزآباد (بشار)	۴۸/۱۱۷	۳۴/۳۵۰	۱۴۵۰	۳۳۴/۵
۲۱۱۱۳	آران	۴۷/۹۱۷	۳۴/۴۱۷	۱۴۴۰	۴۴۷/۵
۲۱۱۱۷	صحنه	۴۷/۷۰۰	۳۴/۴۸۳	۱۴۰۰	۴۲۰/۳
۲۱۱۱۱	آقاجان بلاغی	۴۸/۰۵۰	۳۴/۸۳۳	۱۷۱۰	۲۹۲/۲
۲۱۱۴۳	قره‌باغستان	۴۷/۲۵۰	۳۴/۲۳۳	۱۲۳۰	۴۰۹/۲
۲۱۱۲۹	ماهیدشت	۴۶/۸۰۰	۳۴/۲۶۷	۱۳۶۰	۳۴۸/۷

ادامه جدول ۶-۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه موردی

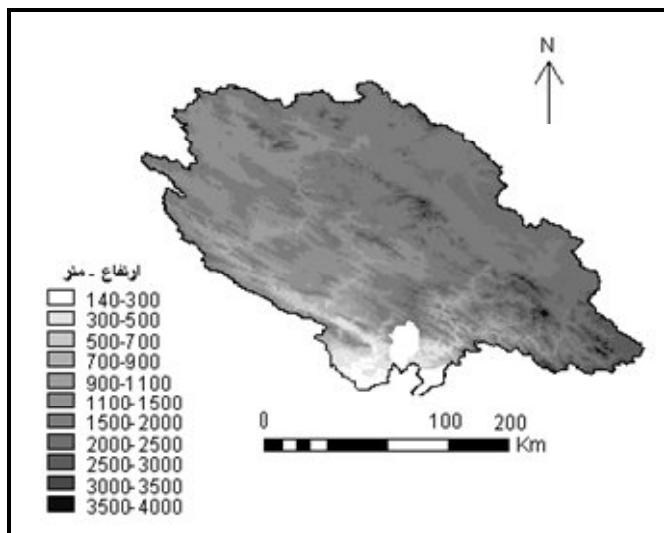
بارندگی سالانه - میلی متر	ارتفاع - متر	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه	کد ایستگاه
۳۸۶/۲	۱۲۶۰	۳۴/۳۱۷	۴۷/۱۳۳	پل کهنه	۲۱۱۴۱
۴۱۴/۱	۱۳۰۰	۳۴/۴۸۳	۴۷/۰۰۰	حجت آباد	۲۱۱۳۹
۴۸۷/۵	۱۲۹۰	۳۴/۵۵۰	۴۶/۷۸۳	دوآب مرگ	۲۱۱۳۳
۵۲۰/۳	۱۳۲۰	۳۴/۷۱۷	۴۶/۶۵۰	چشمه روانسر	۲۱۳۹۳
۳۰۹/۰	۹۰	۳۲/۴۱۷	۴۸/۱۵۰	پای پل	۲۱۱۹۱
۴۲۶/۹	۳۰۰	۳۲/۸۱۷	۴۸/۰۸۳	پل زال	۲۱۱۸۹
۵۴۴/۳	۳۵۰	۳۲/۹۵۰	۴۷/۸۳۳	چم گز	۲۱۱۸۷
۴۷۱/۸	۳۵۰	۳۲/۹۶۷	۴۷/۸۰۰	جلوگیر	۲۱۱۸۵
۴۱۱/۲	۸۸۰	۳۳/۳۸۳	۴۷/۲۰۰	تنگ سیاب	۲۱۱۶۳
۴۳۰/۵	۶۵۰	۳۳/۱۶۷	۴۷/۷۱۷	پل دختر	۲۱۱۸۳
۵۰۶/۳	۸۲۰	۳۳/۳۳۳	۴۷/۹۰۰	آفرینه	۲۱۱۷۷
۴۹۲/۹	۱۱۴۰	۳۳/۴۵۰	۴۸/۲۳۳	چم انجیر	۲۱۱۷۵
۴۵۱/۶	۱۷۷۰	۳۳/۵۱۷	۴۸/۷۸۳	دهنو	۲۱۱۶۷
۲۴۲/۶	۱۰۰۰	۳۳/۵۸۳	۴۷/۸۸۳	پل کشکان	۲۱۱۷۳
۴۸۴/۴	۱۵۲۰	۳۳/۷۱۷	۴۸/۲۶۷	کاکارضا	۲۱۱۶۹
۵۱۶/۳	۱۵۲۰	۳۳/۸۰۰	۴۸/۲۱۷	سراب سیدعلی	۲۱۱۷۱
۲۵۳/۳	۲۰	۳۱/۵۰۰	۴۸/۴۳۳	حمیدیه	۲۱۱۹۹
۲۲۷/۶	۴۰	۳۱/۸۳۳	۴۸/۳۸۳	عبدل خان	۲۱۱۹۳
۵۹۱/۵	۱۳۰	۳۳/۳۸۳	۴۶/۶۰۰	ارکواز ملکشاهی	۲۱۵۲۶
۶۹۲/۶	۱۷۴	۳۲/۴۰۰	۴۷/۸۳۳	دشت عباس	۲۱۵۶۶
۵۷۹/۳	۱۰۰۰	۳۵/۰۶۷	۴۶/۶۰۰	پلنگان (سیروان)	۲۱۰۳۱
۶۹۳/۳	۱۵۵۰	۳۴/۳۶۷	۴۶/۳۵۰	توتشامی (گهواره)	۲۱۰۵۱
۳۲۵/۱	۷۲۰	۳۴/۲۸۳	۴۵/۹۱۷	پل شاه	۲۱۰۶۷
۶۰۱/۷	۱۱۸۰	۳۳/۸۱۷	۴۶/۳۰۰	ایوان	۲۱۰۸۱
۴۸۱/۲	۱۳۵۰	۳۴/۵۸۳	۴۷/۴۳۳	میانراهان	۲۱۱۲۱
۳۶۲/۷	۹۷۰	۳۳/۷۵۰	۴۷/۲۵۰	هولیلان (سیمره)	۲۱۱۴۷
۳۶۰/۴	۹۵۰	۳۳/۷۶۷	۴۷/۱۰۰	هولیلان (جزمان)	۲۱۱۴۹
۴۵۸/۶	۱۳۸۰	۳۴/۱۶۷	۴۶/۳۸۳	خسروآباد (کردن)	۲۱۱۵۳
۴۲۷/۷	۱۳۲۰	۳۴/۰۳۳	۴۶/۶۳۳	کله چوب (چمراوند)	۲۱۱۵۵
۴۴۲/۷	۹۵۰	۳۳/۷۵۰	۴۶/۶۸۳	دارتوت	۲۱۱۵۷
۴۲۲/۹	۷۷۰	۳۳/۵۵۰	۴۶/۸۳۳	ورگج	۲۱۱۶۱
۴۲۶/۱	۱۳۹۰	۳۵/۰۱۷	۴۶/۹۶۷	تونل رمشت	۲۱۳۳۷
۴۵۲/۰	۷۰۰	۳۴/۴۳۳	۴۵/۹۵۰	محکی (حبیبوند)	۲۱۳۵۱
۳۳۹/۳	۵۳۰	۳۳/۱۸۳	۴۷/۴۳۳	نظرآباد (سیمره)	۲۱۴۱۱
۶۱۷/۹	۱۴۱۸	۳۴/۷۸۳	۴۶/۸۸۳	هواشناسی ورمهنگ	۲۱۶۴۲
۷۳۱/۶	۲۰۸۰	۳۳/۳۱۷	۴۹/۴۳۳	کمندان	۲۱۲۷۳
۷۸۸/۷	۱۹۴۰	۳۳/۳۵۰	۴۹/۳۸۳	دره تخت	۲۱۲۷۵
۴۹۷/۲	۱۸۳۰	۳۳/۴۰۰	۴۹/۴۰۰	چم زمان	۲۱۲۷۱
۶۸۵/۱	۱۴۰۰	۳۳/۴۸۳	۴۹/۰۶۷	درود	۲۱۲۶۷
۶۸۳/۳	۲۰۰۰	۳۳/۹۰۰	۴۸/۵۸۳	ونائی	۲۱۲۵۹
۴۹۷/۵	۵۲۵	۳۲/۵۵۰	۴۸/۴۵۰	سد دز	۲۱۱۴۴
۹۳۸/۳	۴۴۰	۳۲/۸۱۷	۴۸/۷۶۷	تله رنگ	۲۱۲۹۵
۱۱۹۶/۰	۶۰۰	۳۲/۹۳۳	۴۸/۷۶۷	تنگ پنج	۲۱۲۹۳
۷۷۱/۶	۹۷۰	۳۳/۲۱۷	۴۸/۸۸۳	سپیددشت	۲۱۲۸۵
۹۸۱/۳	۷۷۰	۳۳/۱۳۳	۴۸/۶۳۳	کشور	۲۱۲۸۹
۷۱۱/۲	۱۲۹۰	۳۳/۳۸۳	۴۸/۹۸۳	چم چیت	۲۱۲۸۱

ادامه جدول ۶-۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه موردی

کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع - متر	بارندگی سالانه - میلی‌متر
۲۱۳۰۳	هرمله	۴۸/۵۵۰	۳۱/۹۵۰	۳۸	۲۴۲/۷
۲۱۱۹۵	شوش‌دانیال	۴۸/۲۵۰	۳۲/۲۰۰	۷۲	۳۲۹/۶
۲۱۱۲۴	بروجرد	۴۸/۷۵۰	۳۳/۹۰۰	۱۶۰۰	۴۷۰/۵
۲۱۱۶۶	هفت تپه	۴۸/۵۱۷	۳۲/۰۶۷	۶۰	۲۸۳/۷
۲۱۲۶۱	رحیم‌آباد (سیلاخور)	۴۸/۸۰۰	۳۳/۷۸۳	۱۴۹۰	۴۷۰/۱
۲۱۲۹۸	سد تنظیمی دزفول	۴۸/۴۵۰	۳۲/۴۱۷	۱۴۲	۴۰۱/۹
۲۱۴۰۰	کاظم آباد	۴۹/۶۸۳	۳۳/۱۳۳	۲۰۰۰	۶۰۸/۲
۲۱۴۰۴	فریدونشهر	۵۰/۴۱۷	۳۲/۹۶۷	۲۶۴۰	۶۱۷/۹
۲۱۴۴۹	چرخ فلک	۵۰/۰۵۰	۳۲/۸۶۷	۲۴۹۰	۴۰۶/۱
۲۱۹۶۸	قلیان (سکانه)	۴۹/۶۵۰	۳۳/۰۶۷	۱۳۳۰	۸۰۹/۵



شکل ۶-۲- موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی منطقه و مقادیر بارندگی سالانه در آنها



شکل ۶-۳- نقشه طبقات ارتفاعی حوضه کرخه

جدول ۶-۲- آماره‌های توصیفی بارندگی سالانه در منطقه (به میلی‌متر)

۵۰۴/۰	میانگین	
۴۷۰/۱	میانه	
۲۲۷/۶	مد	
۱۸۳/۶	انحراف معیار	
۳۳۷۰۲/۳	واریانس	
۳۶/۴	درصد ضریب تغییرات	
۱/۳	چولگی	
۲/۶	کشیدگی	
۲۲۷/۶	حداقل	
۱۱۹۶/۰	حداکثر	
۴۰۴/۰	۲۵	چندک‌ها
۴۷۰/۱	۵۰	
۵۹۶/۶	۷۵	

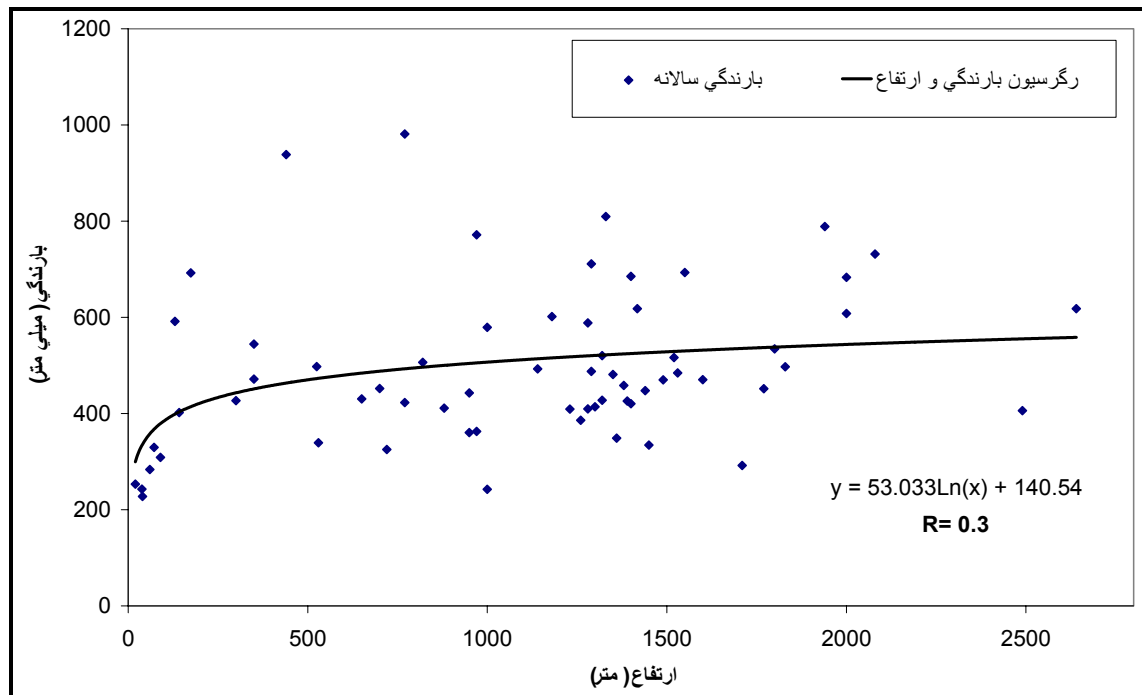
با توجه به وضعیت تغییرات بارندگی به نظر می‌رسد که استفاده از روش‌های ساده درون‌یابی نمی‌تواند گویای تغییرات مکانی بارندگی باشد. از طرف دیگر استفاده از روش گرادیان بارندگی با توجه به اینکه ایستگاه‌ها عمدتاً در ارتفاع پایین قرار دارند، نمی‌تواند برآورد درستی را ارائه نماید. لذا از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، IDW و RBFها استفاده می‌شود هر چند برای مقایسه روش گرادیان نیز محاسبه می‌شود.

برای بررسی معادله رگرسیون بارندگی با ارتفاع، ابتدا ضریب همبستگی بارندگی و ارتفاع در منطقه استخراج شد. مقدار این ضریب برابر ۰/۳ می‌باشد که نشان دهنده همبستگی ضعیفی می‌باشد. شکل (۶-۴) نمودار بارندگی و ارتفاع و معادله رگرسیون بارندگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است بارندگی و ارتفاع دارای تغییرات نسبتاً زیادی می‌باشد. مقادیر RMSE و MBE این روش به ترتیب برابر ۱۷۳/۷ و ۱۱/۱- میلی‌متر می‌باشد.

اکنون می‌توان توزیع داده‌ها را بررسی نمود و در صورت نرمال نبودن، داده‌ها را با یکی از تبدیلات به توزیع نرمال نزدیک کرد. هیستوگرام و نمودار q-q (به پیوست ۲) مراجعه شود) بارندگی قبل و بعد از تبدیل لگاریتم در شکل (۶-۵) نشان می‌دهد که داده‌ها دارای چولگی بوده ولی بعد از تبدیل لگاریتمی به نرمال نزدیک‌تر شده و چولگی کاهش یافته است. در مرحله بعد می‌توان وجود روند در داده‌ها را نیز بررسی نمود، هرچند که وجود روند در نیم‌تغییرنما نیز قابل تشخیص می‌باشد.

در صورتی که همبستگی مکانی بین بارندگی و ارتفاع وجود داشته باشد روش کوکریجینگ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، هرچند که با توجه به همبستگی ضعیف بارندگی و ارتفاع به نظر می‌رسد این روش نتواند دقت برآورد را افزایش دهد.

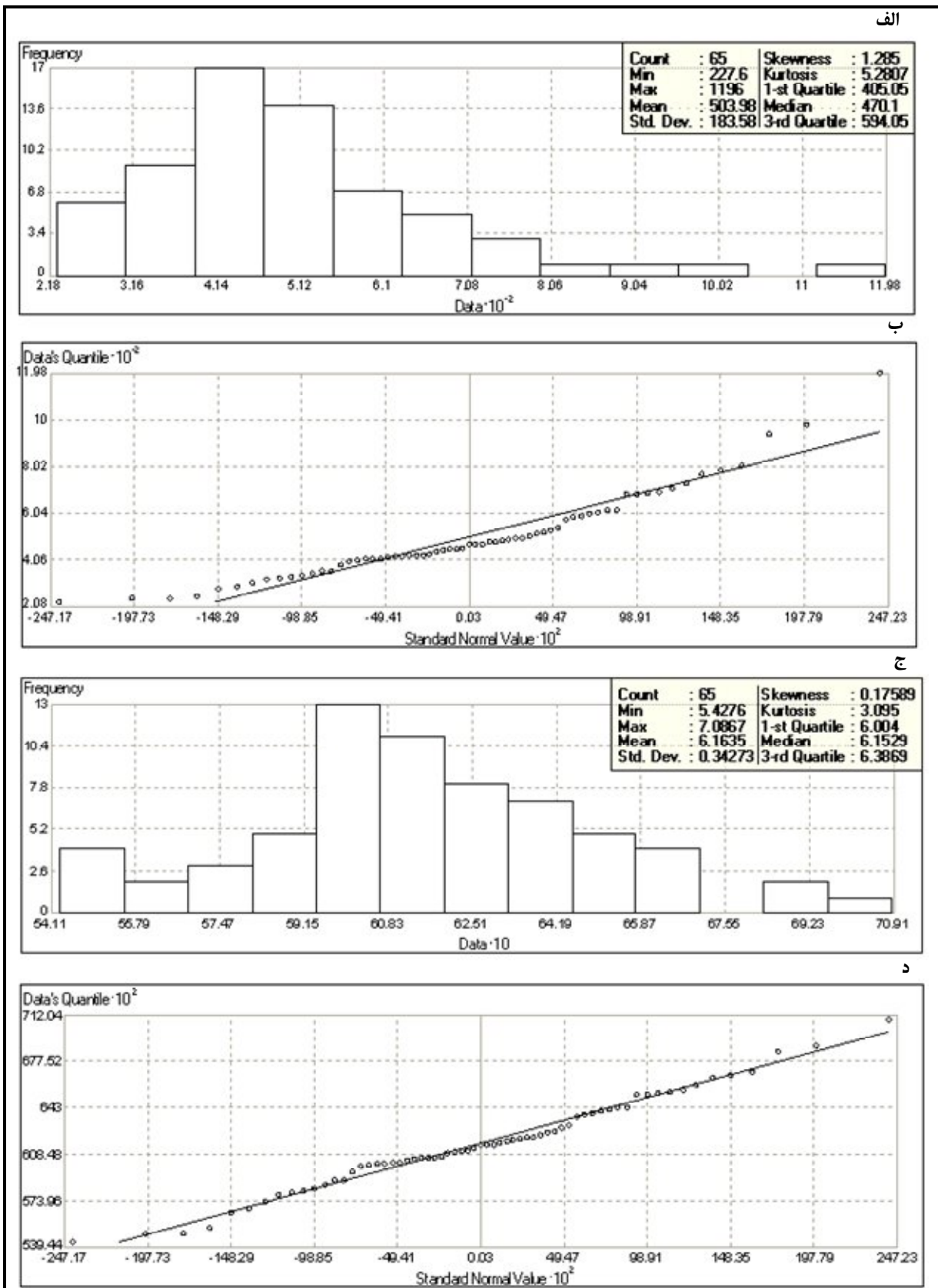
پس از تحلیل‌های اولیه، اکنون می‌توان نیم‌تغییرنما را محاسبه و ترسیم نمود. شکل (۶-۶) نیم‌تغییرنمای بدون جهت را برای بارندگی سالانه در منطقه نشان می‌دهد. گام مکانی^۱ در نرم‌افزار Arc/GIS متوسط فاصله بین نقاط در نظر گرفته می‌شود که می‌توان آن را کم یا زیاد نمود. افزایش مقدار گام موجب از دست دادن اطلاعات و کاهش مقدار گام نیز اطلاعات غیر قابل مصرف و گاهی گیج‌کننده‌ای را تولید می‌کند که به بهبود نتایج نمی‌انجامد. لذا انتخاب فاصله گام مناسب مهم می‌باشد. معمولاً متوسط فاصله نقاط در نمونه‌برداری‌های نامنظم مناسب می‌باشد. در این مطالعه مطابق شکل (۶-۶) مقدار ۳۴۴۶۵ متر به عنوان گام انتخاب می‌شود.



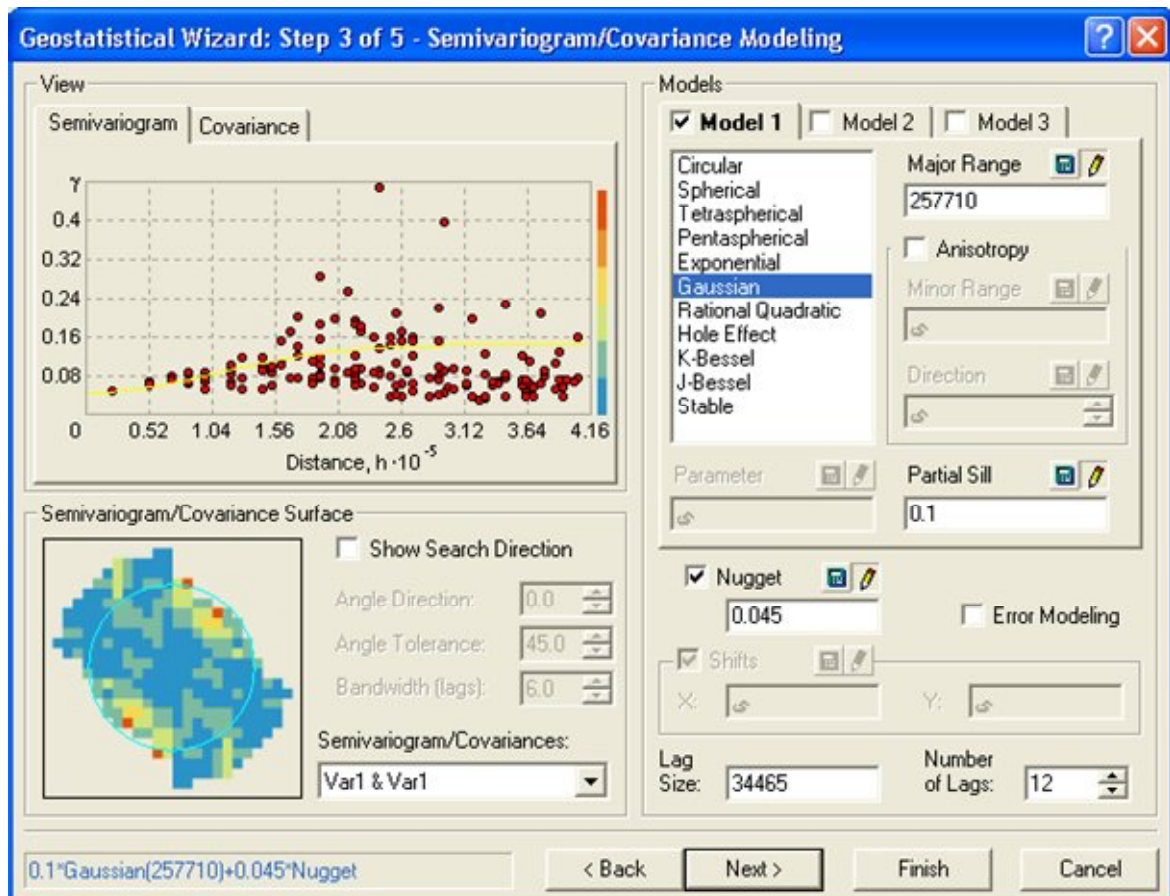
شکل ۶-۴- نمودار تغییرات بارندگی و ارتفاع و معادله گرادیان بارندگی

در مرحله بعد می‌توان همسان‌گردی را مورد بررسی قرار داد. شکل (۶-۷) سطح نیم‌تغییرنما و راستای ناهمسان‌گردی را نشان می‌دهد. با توجه به رویه نیم‌تغییرنما که در راستای جنوب غربی - شمال شرقی مقدار شعاع همبستگی بیش‌تر بوده و در این راستا ناهمسان‌گردی وجود دارد. برای برآورد توزیع مکانی با توجه به هدف، نوع و امتداد پراکنش متغیر می‌توان از نیم‌تغییرنمای بدون جهت و یا نیم‌تغییرنما در راستای مشخصی استفاده نمود. در مورد برآورد بارندگی در سطح منطقه از نیم‌تغییرنمای بدون راستا به عنوان متوسط نیم‌تغییرنمای راستاهای مختلف، استفاده شد. در صورتی که لازم باشد برآورد در جهت راستای مشخصی صورت گیرد (به عنوان مثال برآورد یک پارامتر در راستای باد غالب منطقه)، نیم‌تغییرنما را در آن راستا رسم و مدل را به نیم‌تغییرنمای همان راستا برازش داده و برآورد توزیع مکانی در آن راستا انجام می‌گیرد. در غیر این صورت نیم‌تغییرنمای تئوری به نیم‌تغییرنمای بدون جهت برازش داده می‌شود.

برای انتخاب مناسب‌ترین مدل برازش داده به نیم‌تغییرنمای تجربی، می‌توان از طریق اعتبارسنجی مقاطع، مدل‌های مختلف را مورد ارزیابی قرار داد. به این صورت که مدل‌های مختلف با پارامترهای متفاوت انتخاب و هر یک از مدل‌ها که پس از اجرای روش کریجینگ دارای خطای برآورد کم‌تری بود به عنوان مدل نیم‌تغییرنما انتخاب می‌شود.



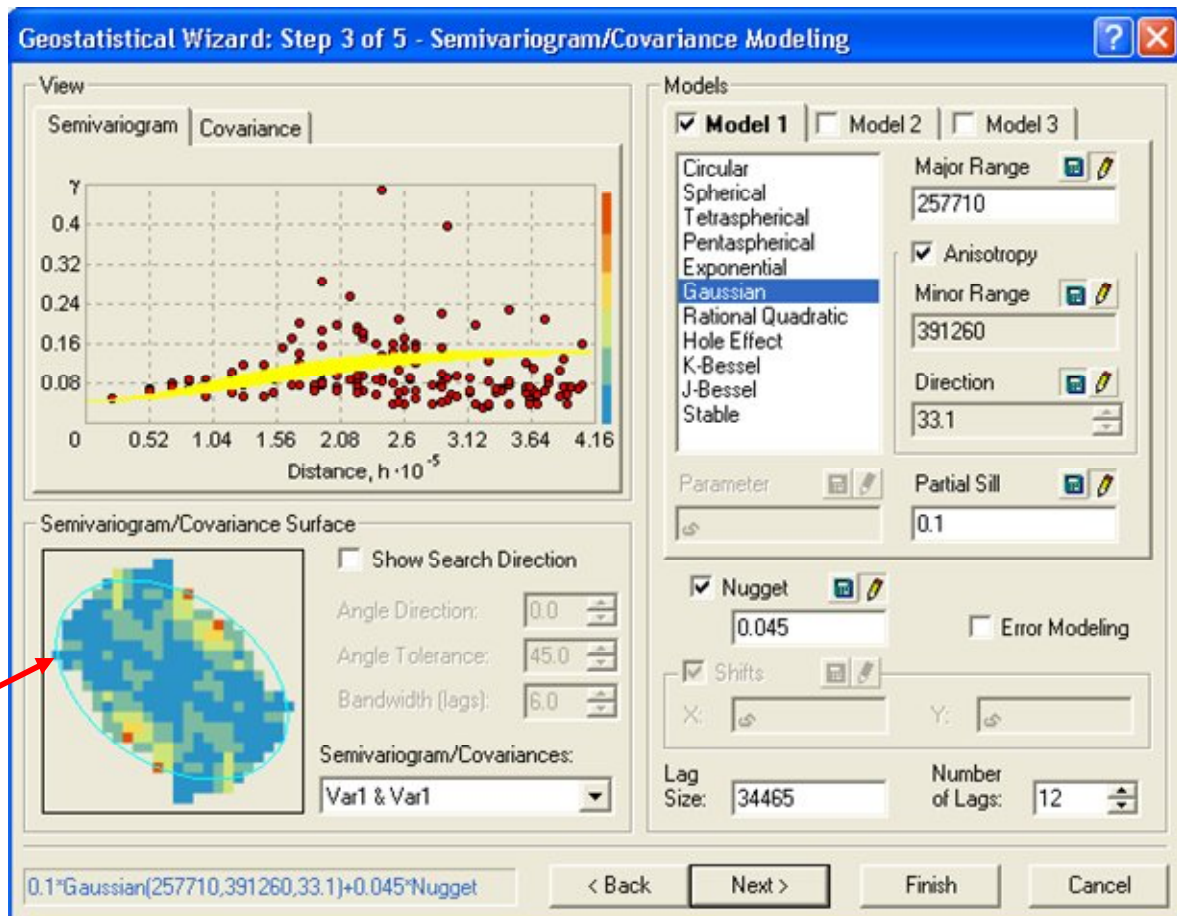
شکل ۶-۵- نمودار هیستوگرام و q-q بارندگی سالانه در محیط Arc/GIS: الف- هیستوگرام بارندگی قبل از تبدیل ب- نمودار q-q بارندگی قبل از تبدیل ج- هیستوگرام بارندگی پس از تبدیل لگاریتمی د- q-q مقادیر لگاریتم بارندگی



شکل ۶-۶- نمودار و مشخصات نیم تغییرنمای بدون جهت در نرم افزار ARC/GIS.

جدول ۶-۳- نتایج بررسی مدل‌های مختلف

مدل	نوع مدل	شعاع همبستگی (متر)	آستانه (میلی‌متر مربع)	C_0 (میلی‌متر مربع)	RMSE (میلی‌متر)	Mean of Error
مدل ۱	کروی	۳۰۸۵۲۰	۰/۱۳	۰/۰۳	۱۱۵/۱	۳/۳
مدل ۲	گوسی	۲۵۷۷۱۰	۰/۱	۰/۰۴	۱۱۴	۲/۲
مدل ۳	نمایی	۴۹۸۵۲۰	۰/۱	۰/۰۳	۱۱۴/۷	۱/۹

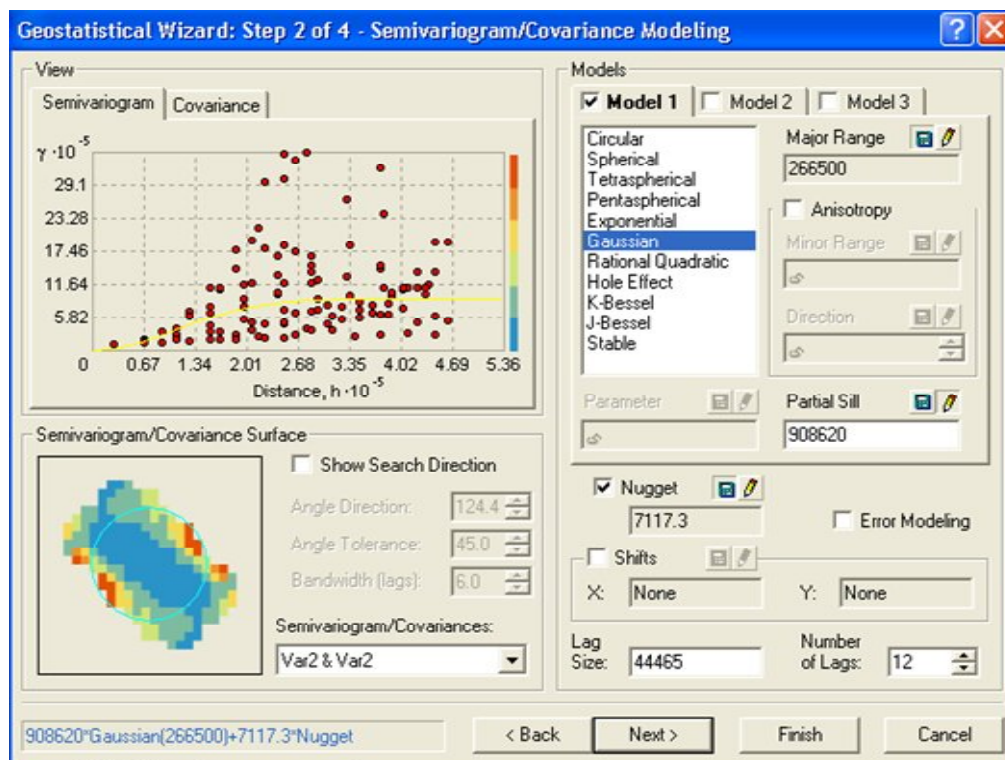


شکل ۶-۷- نمودار سطح واریوگرام و راستای ناهمسان گردی داده‌های بارندگی سالانه در منطقه

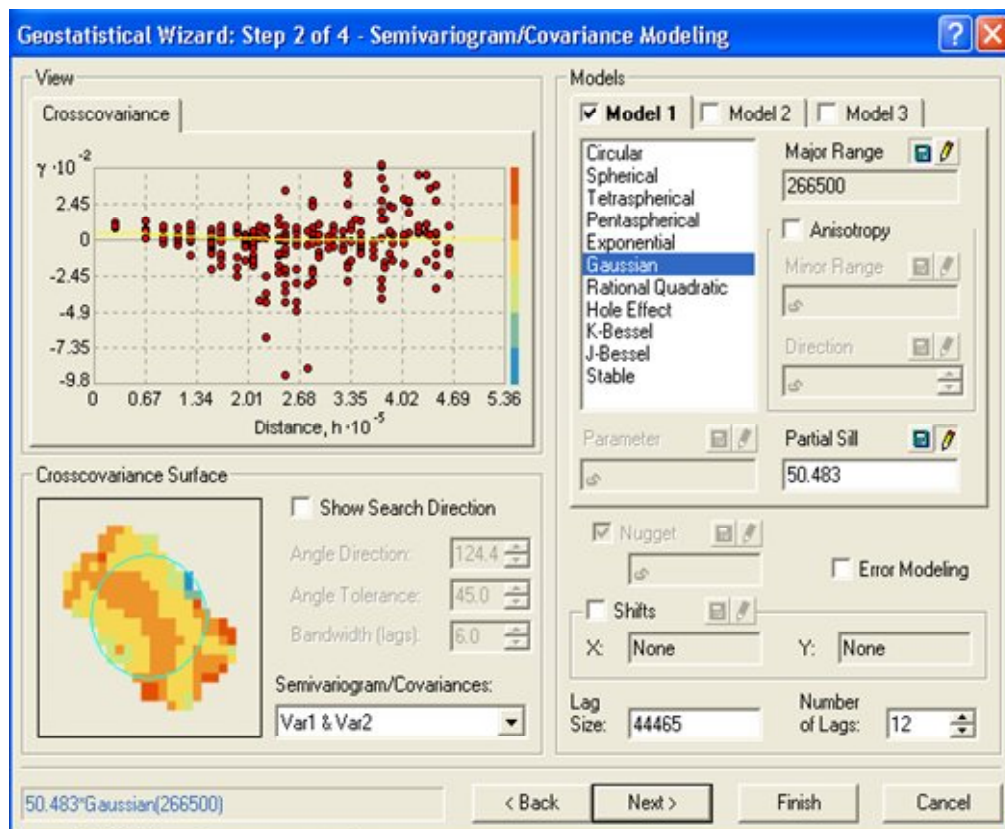
نتایج بررسی مدل‌های مختلف در جدول (۳-۶) نشان می‌دهد که مدل گوسی دارای خطای کمتری می‌باشد. لذا مدل بهینه مدل شماره ۲ است و از این مدل برای انجام روش کریجینگ استفاده می‌شود. روش کریجینگ معمولی برای برآورد بارندگی سالانه در منطقه تا اندازه‌ای دارای MBE و RMSE برابر ۲/۲ و ۱۱۴ می‌باشد (جدول ۳-۶). همان‌طور که در شکل (۶-۶) نیز مشخص است بارندگی سالانه در منطقه دارای همبستگی مکانی بوده و فاقد روند مشخصی نیز می‌باشد. در صورتی که نیم‌تغییرنمای داده‌ها به سقف ثابتی نرسید و افزایش یافته و یا حالت سینوسی پیدا نماید، نشان دهنده وجود روند در داده‌ها است که در این صورت باید از روش یونیورسال کریجینگ استفاده نمود.

برای اجرای روش کوکریجینگ لازم است علاوه بر رسم نیم‌تغییرنمای تجربی متغیر اصلی، نیم‌تغییرنمای متغیر کمکی و نیم‌تغییرنمای متقابل متغیر اصلی و متغیر کمکی نیز ترسیم گردند و به آنها نیز مدل تئوری برازش داده شود. شکل (۶-۸) نیم‌تغییرنمای ارتفاع و نیم‌تغییرنمای متقابل بارندگی و ارتفاع و مدل‌های بهینه برازش داده شده به آن را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۶-۸ ب) نیز مشخص است نیم‌تغییرنمای متقابل بارش و ارتفاع همبستگی مکانی خوبی را نشان نمی‌دهند. لذا امکان مدل کردن نیم‌تغییرنمای تجربی متقابل و انجام روش کوکریجینگ وجود ندارد.

الف



ب

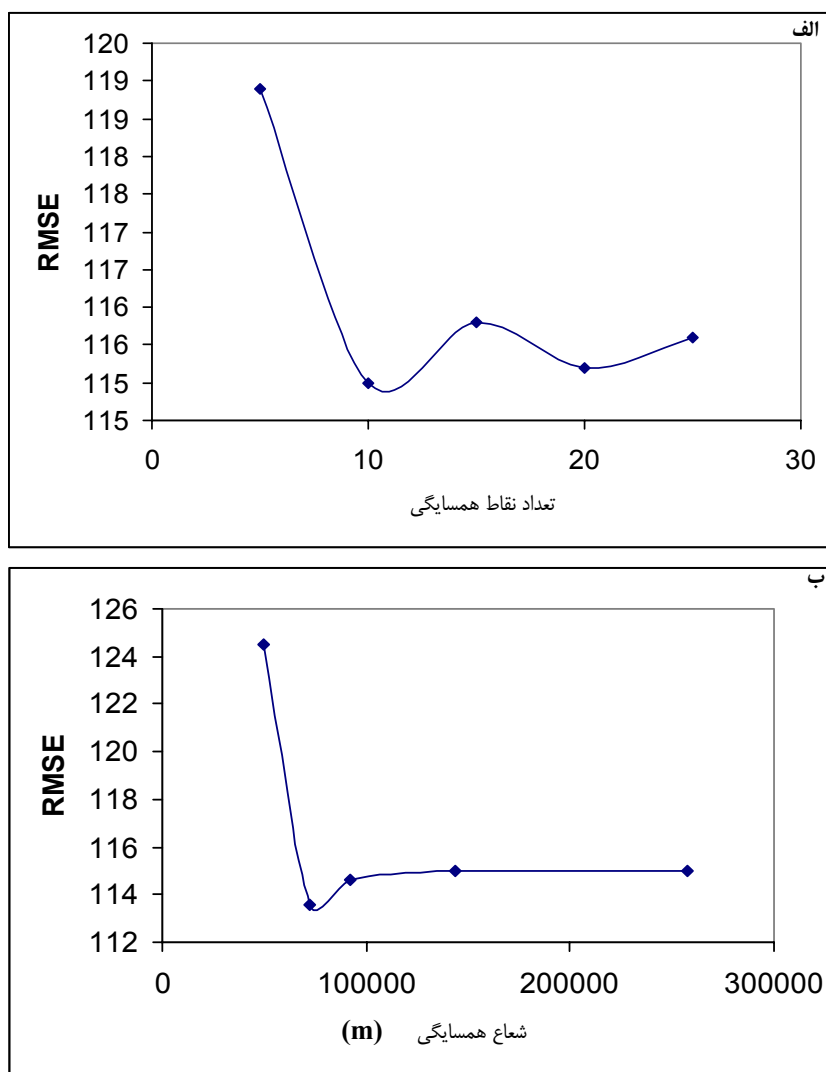


شکل ۶-۸- الف- نیم تغییرنمای ارتفاع در منطقه ب- نیم تغییرنمای متقابل ارتفاع و بارندگی

برای اجرای روش IDW لازم است که چند پارامتر بهینه شوند. این پارامترها شامل توان فاصله، تعداد نقاط همسایگی و شعاع همسایگی می‌باشد. نرم‌افزار Arc/GIS توان فاصله را بهینه می‌نماید. برای بارندگی سالانه در منطقه توان بهینه برابر ۱/۱ می‌باشد. در مرحله بعد تعداد نقاط همسایگی با استفاده از روش اعتبارسنجی تقاطعی استخراج می‌شود. در انتها با رسم یک نمودار (محور Xها تعداد نقاط و محور Yها مقدار خطا) می‌توان تعداد بهینه نقاط همسایگی را تعیین نمود. در مورد شعاع همسایگی نیز می‌توان به همین صورت عمل نمود. نمودار بررسی تعداد نقاط و شعاع همسایگی در شکل (۶-۹) نشان می‌دهد که روش IDW با تعداد نقاط ۱۰ و شعاع حدود ۷۲۱۰۰ متر کم‌ترین خطا را در برآورد بارندگی سالانه ایجاد می‌نماید. MBE و RMSE روش IDW به ترتیب برابر ۱/۵ و ۱۱۳/۶ میلی‌متر می‌باشد.

در مرحله بعد، از بین روش‌های RBF بهترین روش با پارامترهای بهینه آن انتخاب می‌شوند. خوشبختانه در نرم‌افزار Arc/GIS پارامترهای هر روش بهینه می‌گردند. در صورتی که این قابلیت وجود نداشته باشد، باید با استفاده از روش اعتبارسنجی تقاطعی پارامترهای هر روش بهینه شود. در این روش مهم‌ترین پارامتری که باید بهینه شوند، پارامتر هموار سازی می‌باشد. نتایج ارزیابی روش‌های مختلف RBF برای بارندگی سالانه در حوضه کرخه در جدول (۶-۴) نشان می‌دهد که روش Spline with Tension دارای خطای کم‌تری می‌باشد.

نتایج بررسی روش‌های مختلف در جدول (۶-۵) نشان می‌دهد، روش اسپلاین در بین همه روش‌ها دارای کم‌ترین خطای برآورد می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد که این روش مناسب‌تر از بقیه باشد. برای مقایسه بهتر، نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای هر روش نیز استخراج گردید (اشکال ۶-۱۰ تا ۶-۱۲). همان‌طور که در شکلها نیز مشخص است مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای در کلیه روش‌ها به هم شبیه بوده و همبستگی مشابهی دارند. لذا با توجه به مقادیر خطا و با استفاده از روش اسپلاین توزیع مکانی بارندگی سالانه در حوضه کرخه برآورد شد (شکل ۶-۱۳). برای بررسی بیش‌تر برآورد انجام شده، نقشه بارندگی با نقشه مدل رقومی ارتفاعی مقایسه می‌گردد. همان‌طور که در شکل (۶-۲) مشخص است بارندگی برآورد شده با توپوگرافی منطقه و همچنین مقدار بارندگی در ایستگاه‌ها تقریباً همخوانی دارد. بررسی بارندگی برآورد شده در ارتفاعات بالای ۲۷۰۰ متر (شکل ۶-۱۴) نشان می‌دهد که برونمایی با توجه به مقدار بارندگی در ایستگاه‌های اطراف تقریباً مناسب انجام شده است. به عنوان مثال در قسمت‌های مرتفع (بالای ۲۷۰۰ متر) شمال غربی حوضه بارندگی بین ۴۳۰ تا ۴۹۰ میلی‌متر ولی در همین ارتفاعات در قسمت‌های جنوب شرقی منطقه بارندگی بین ۶۴۰ تا ۷۹۰ میلی‌متر برآورد شده است. مقایسه مقادیر بارندگی مشاهده شده در این مناطق نشان می‌دهد که بارندگی در قسمت‌های شمال غربی بین ۳۸۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر و در قسمت‌های جنوب شرقی بین ۴۵۰ تا ۸۱۰ میلی‌متر می‌باشد. این نشان می‌دهد که در قسمت‌های جنوب غربی مقادیر، اندکی کم‌تر از حد برآورد شده‌اند، ولی به طور کلی نقشه قابل قبول می‌باشد. برای بررسی بیش‌تر وضعیت برون‌یابی داده‌ها می‌توان از روشی که ثقفیان و همکاران (۱۳۸۴) برای برآورد خطای برون‌یابی مقادیر بارندگی استفاده نمودند، بهره گرفت. از طرف دیگر حداکثر بارندگی در نقشه در نزدیکی جنوب شرقی منطقه اتفاق افتاده است که با توجه به مقدار داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها (شکل ۶-۲) به نظر می‌آید، مناسب برآورد شده است.



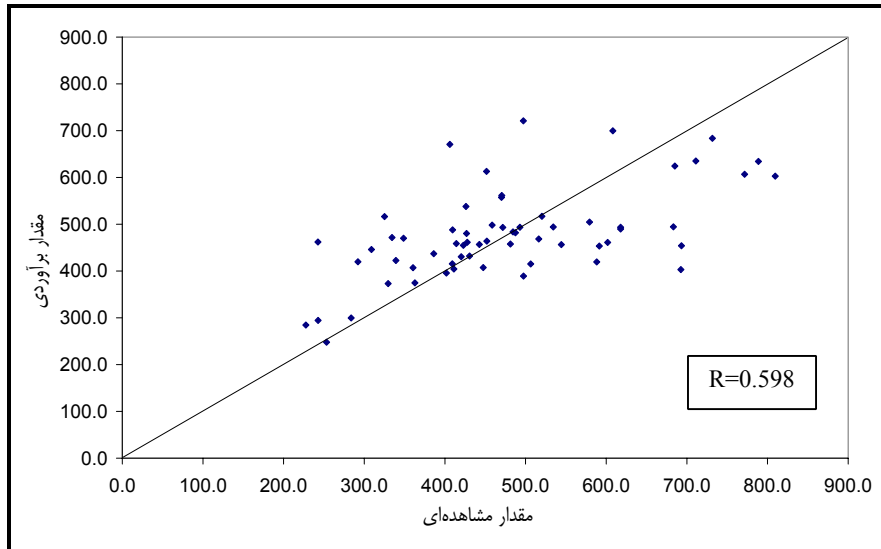
شکل ۶-۹- بهینه‌سازی شعاع و تعداد نقاط همسایگی در روش IDW الف- تعداد نقاط همسایگی ب- شعاع همسایگی

جدول ۶-۴- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف RBF

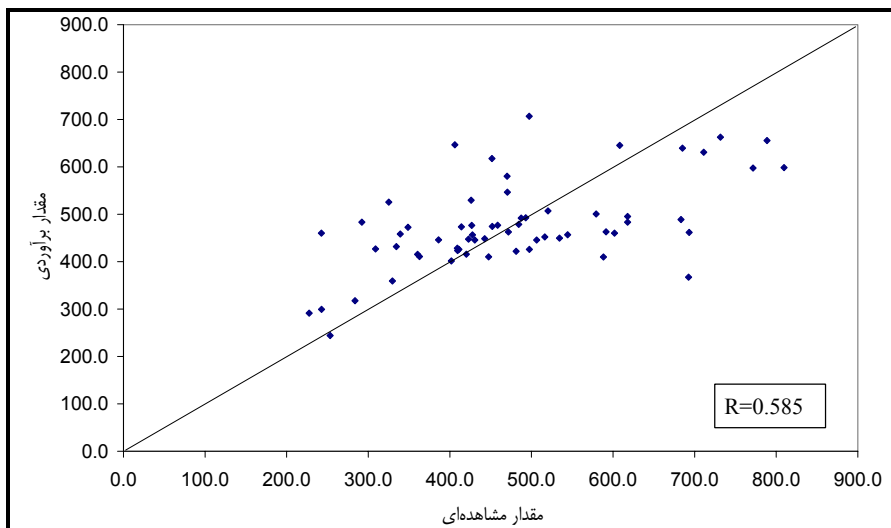
روش	مقدار بهینه پارامتر هموارساز	MBE	RMSE
Regularized spline	۰/۰۰۲۵	۰/۴	۱۱۳/۷
Spline with tension	۰/۰۰۳۶	۰/۱	۱۱۳/۱
Multiquadric	۰/۰	۱/۷	۱۲۲/۷
Inverse multiquadric	۴۶۷۸/۵	۷/۹	۱۱۸
Thin plate spline	۱/۱ * ۱۰ ^{۱۱}	-۵/۶	۱۶۴/۲

جدول ۶-۵- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی

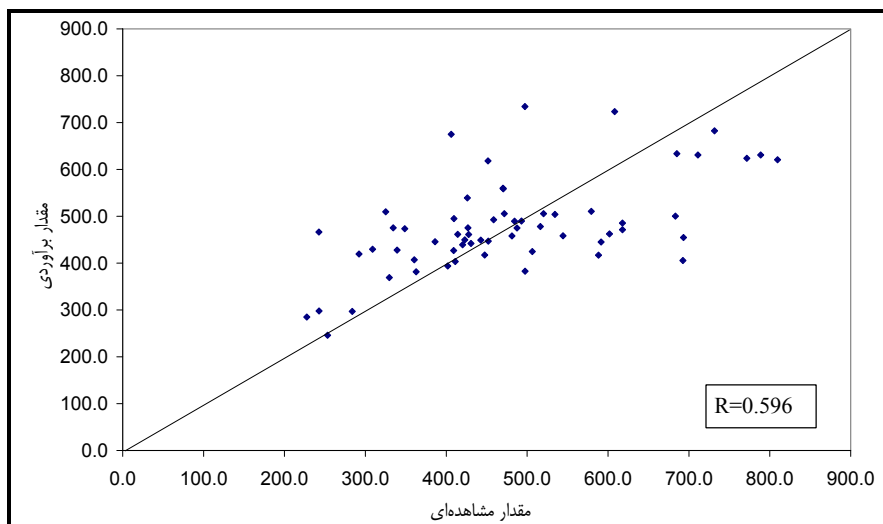
روش	MBE (mm)	RMSE (mm)
کریجینگ	۲/۲	۱۱۴
کو کریجینگ	غیر قابل انجام	غیر قابل انجام
Spline with tension	۰/۱	۱۱۳/۱
IDW با توان ۱/۱	۱/۵	۱۱۳/۶
گردابان	۱۱/۱	۱۷۳/۷



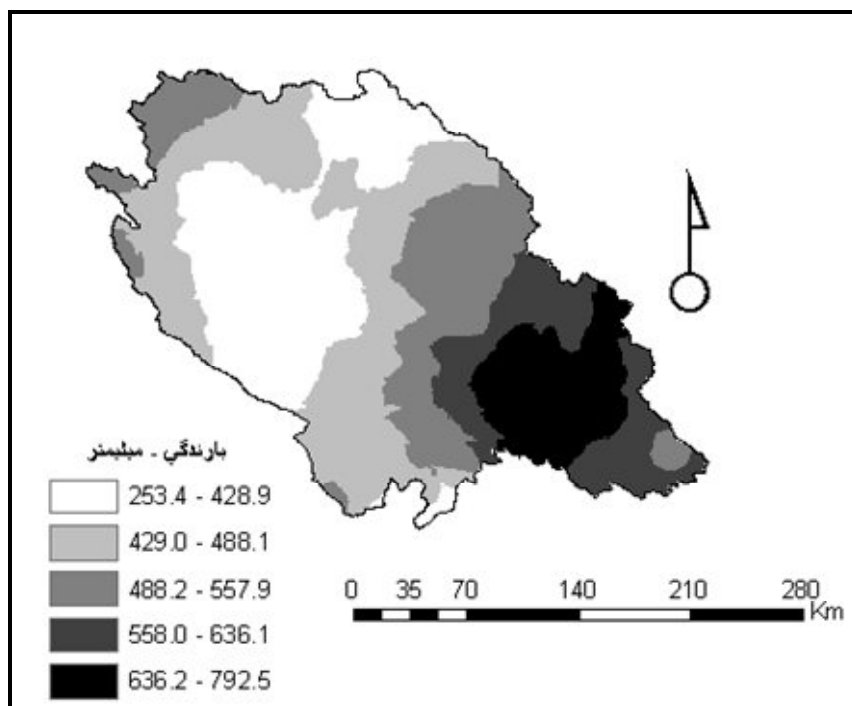
شکل ۶-۱۰- نمودار مقادیر برآوردی با روش اسپلاین در مقابل مقادیر مشاهده‌ای (به میلی‌متر)



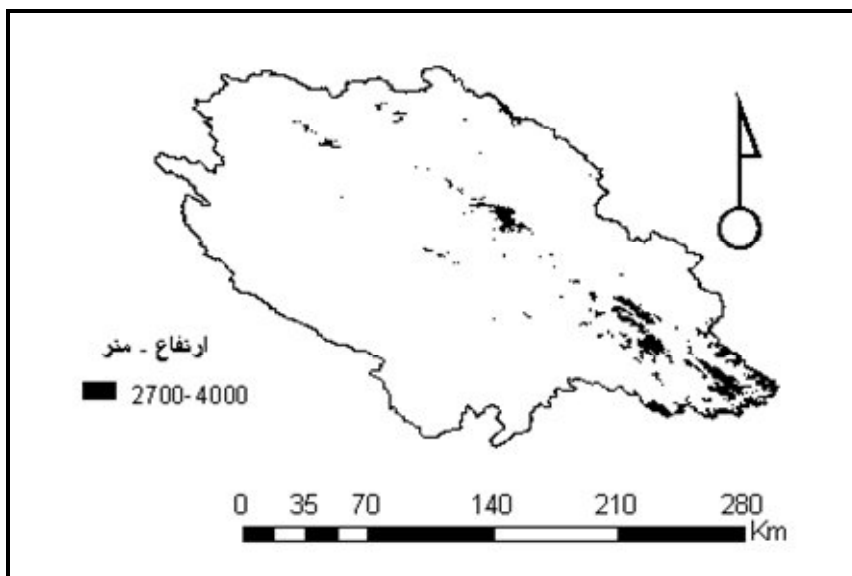
شکل ۶-۱۱- نمودار مقادیر برآوردی با روش کریجینگ در مقابل مقادیر مشاهده‌ای (به میلی‌متر)



شکل ۶-۱۲- نمودار مقادیر برآوردی با روش IDW در مقابل مقادیر مشاهده‌ای (به میلی‌متر)



شکل ۶-۱۳- نقشه توزیع مکانی بارندگی سالانه در حوزه کرخه با روش اسپلاین



شکل ۶-۱۴- نقشه توزیع مکانی ارتفاع بالای ۲۷۰۰ متر در منطقه

پیوست ۱

سوابق کاربرد روش‌های درونیابی

پ. ۱-۱- تاریخچه

استخراج توزیع مکانی بسیاری از پارامترها از جمله عوامل هواشناسی که در نقاط اندازه‌گیری می‌شوند، در اغلب مطالعات منابع آب مورد نیاز است. روش‌های مختلفی برای این منظور به کار گرفته شده است. به عنوان مثال می‌توان به روش‌های کلاسیک نظیر چند ضلعی‌های تیسن، معادلات رگرسیون و روش مثلث‌بندی در برآورد توزیع مکانی بارش اشاره نمود. اگر چه محاسبات این روش‌ها سریع و آسان است ولی معایب و اشکالات آنها گاهی منجر به ارائه نتایج غیرقابل قبول و با دقت کم می‌شوند. استفاده از تخمین‌گرهای غیرپارامتری نظیر روش‌های (TPSS)^۱ و انواع روش‌های میانگین متحرک وزنی^۲ هم اکنون متداول هستند. همچنین روش‌های پارامتری زمین آماری نظیر کریجینگ نیز به کار گرفته می‌شوند.

به دنبال روند تکامل روش‌های آماری در تخمین ذخایر معدنی به ویژه براساس پژوهش‌های محققینی از قبیل سیشل و کریگ، ماترون پژوهشگر فرانسوی با انتشار مقاله‌ای در سال ۱۹۶۲ پایه‌های زمین آمار را بنا نهاد. اگر چه عمده زمینه‌های رشد و توسعه زمین آمار در مساله تخمین ذخایر معدنی بوده است ولی در زمینه ژئوشیمی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، مکانیک سنگ، تخمین مخازن نفت، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و منابع آب نیز تحقیقات کاربردی جامعی انجام شده است. امروزه استفاده از روش‌های درون‌یابی در بسیاری از علوم زمین کاربرد دارد. رواج استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به استفاده گسترده‌تر از این روش‌ها کمک کرده است، زیرا امکان استفاده از این روش‌ها در بسیاری از نرم‌افزارهای GIS وجود دارد و می‌توان با استفاده از این روش‌ها و با دقت مناسب نقشه‌های خطوط هم‌ارزش را ترسیم نمود. در ادامه به برخی کاربردهای روش‌های درون‌یابی در هواشناسی که موضوع بحث این راهنما است، اشاره می‌شود.

پ. ۱-۲- کاربرد روش‌های درون‌یابی در هواشناسی

سوابق بی‌شماری در زمینه برآورد توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی با استفاده از روش‌های زمین آماری گزارش شده است. تابیوس^۳ و سالاس^۴ (۱۹۸۵) برای برآورد توزیع بارش در یک منطقه آمریکا، روش‌های تیسن، عکس فاصله، مجذور عکس فاصله، عکس وزنی فاصله، چند جمله‌ای درجه دو و کریجینگ را مقایسه کردند. تکنیک اعتبارسنجی متقاطع نشان داد که روش کریجینگ مناسب‌ترین روش برای برازش مکانی بارندگی سالانه بوده است.

برآورد بارندگی سالانه با استفاده از روش‌های کریجینگ فاقد روند^۵، کوکریجینگ و کریجینگ، توسط فیلیپس^۶ و همکاران (۱۹۹۲) در حوضه‌ی ویلمت در غرب ایالت اورگان انجام شد. براساس نتایج این مطالعه، روش‌های کریجینگ رون‌دار و کوکریجینگ در مقایسه با روش کریجینگ مناسب‌تر تشخیص داده شدند. همچنین این محققین با ترسیم نقشه‌ی بارندگی و تطابق آن با سیمای توپوگرافی منطقه به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ، بیش از دو روش دیگر با منطقه تطابق دارد.

1- Thin Plate Smoothing Splines

2- Weighted Moving Average یا WMA

3- Tabios

4- Salas

5- Deterended Kriging

6- Phillips

لیبل^۱ و همکاران (۱۹۸۷) در یک مطالعه‌ی موردی در سونس فرانسه برای تعیین دقت برآورد مکانی بارش‌های ۱، ۲، ۴، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته، روش‌های برازش صفحه‌های اسپلاین، چندضلعی تیسن و کریجینگ را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ نسبت به روش‌های دیگر از دقت بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

بال^۲ و همکاران (۱۹۹۸) برای تخمین توزیع مکانی شدت بارندگی روزانه در حومه‌ی غربی شهر سیدنی، روش‌های تیسن، عکس فاصله، توابع اسپلاین و چند جمله‌ای را در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند. روش اسپلاین دقیق‌ترین روش و روش چندضلعی تیسن نامناسب‌ترین روش معرفی شد.

مقایسه بین چند روش کریجینگ، نزدیک‌ترین همسایگی، عکس مجذور فاصله و روش گرادیان همراه با عکس مجذور فاصله (GIDS)^۳ توسط نالدرد^۴ و وین^۵ (۱۹۹۸) به منظور بررسی توزیع مکانی بارندگی و دمای ماهانه در جنگل‌های شمال کانادا گزارش شد. نتایج به دست آمده نشان داد که روش GIDS، برای دمای ماهانه و بارندگی ماهانه از سایر روش‌ها مناسب‌تر است. همچنین ایشان با مقایسه‌ی روش‌های GIDS و کریجینگ، روش GIDS را از نظر کاربرد و عدم نیاز به رسم مدل‌های نیم‌تغییرنگار ساده‌تر تشخیص دادند.

آبتیو^۶ و همکاران (۱۹۹۳) در آنالیز مکانی بارندگی ماهانه در جنوب فلوریدا، روش‌های تیسن، عکس فاصله، چندجمله‌ای درجه دو، کریجینگ عمومی، کریجینگ معمولی و بهینه^۷ را مورد آزمون قرار دادند و روش‌های چندجمله‌ای، کریجینگ معمولی و بهینه را جز مناسب‌ترین روش‌های برآورد بارندگی ماهانه در آن منطقه معرفی کردند.

حویسی^۸ و همکاران (۱۹۹۲) بارندگی متوسط سالانه را در منطقه‌ای شامل کوه‌های یوکا واقع در جنوب نوادا و جنوب شرقی کالیفرنیا برآورد کردند. آنها روش‌های عکس فاصله، عکس مجذور فاصله، عکس مکعب فاصله، کریجینگ، همبستگی خطی، همبستگی خطی لگاریتمی، متوسط همسایگی و کوکریجینگ را بررسی نمودند. به علت این که در منطقه مطالعاتی همبستگی بارندگی و ارتفاع قوی بود، روش‌هایی مانند کوکریجینگ که از ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده می‌کنند، برتری نشان دادند.

گارن^۹ و همکاران (۱۹۹۴) روش کریجینگ رونددار را برای برآورد متوسط منطقه‌ای بارندگی روزانه در حوضه‌ی رینولدز کریک استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ به دلیل وزن‌دهی متفاوت، در مقایسه با روش‌های با وزن یکسان، دقت برآورد را بالا می‌برد. آنها نشان دادند که با تقسیم منطقه، خطا افزایش نمی‌یابد. پرودهوم^{۱۰} و رید^{۱۱} (۱۹۹۹) برای یافتن یک روش ساده ترسیم نقشه‌ی حداکثر بارش روزانه در نواحی کوهستانی اسکاتلند، روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ اصلاح شده^{۱۲} را انتخاب نمودند. روش کریجینگ اصلاح شده برای ترسیم نقشه‌ی نهایی انتخاب شد.

-
- 1- Lable
 - 2- Ball
 - 3- Gradian Plus Inverse Distance Squared
 - 4- Nalder
 - 5- Wein
 - 6- Abtew
 - 7- Optimal
 - 8- Hevesi
 - 9- Garen
 - 10- Prudhomme
 - 11- Reed
 - 12- Modified Kriging

مقایسه‌ی بین روش‌های TPSS و GIDS برای درون‌یابی مکانی دما و بارندگی ماهانه و سالانه در غرب و شرق کانادا، توسط پرایس^۱ و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد. در مجموع روش TPSS در اغلب ماه‌ها نتیجه مناسب‌تری ارائه داد، اما کاربرد روش GIDS ساده‌تر تشخیص داده شد.

درکس^۲ و همکاران (۱۹۹۸) برای برآورد متوسط بارندگی در جزیره‌ی نورفولک استرالیا، چهار روش کریجینگ، عکس‌فاصله، تیسن و میانگین ایستگاه‌ها را مورد مقایسه قرار دادند. براساس نتایج این مطالعه، کریجینگ از نظر دقت ضعیف‌تر از سه روش دیگر بود و مناسب‌ترین روش، روش عکس‌فاصله معرفی شد.

پونیاوردنا^۳ و کولاسیری^۴ (۱۹۹۸) مطالعاتی را در زمینه‌ی برآورد بارندگی در نواحی خشک سریلانکا انجام دادند که مدل همبستگی مکانی بارندگی در این مطالعه از نوع نمایی به‌دست آمد. آنها با بررسی و مقایسه‌ی روش‌های عکس‌فاصله و میانگین ایستگاه‌ها با مدل نمایی اظهار داشتند که مدل نمایی مزیتی بر روش‌های ساده‌ی استفاده شده ندارد.

گوارتز^۵ (۲۰۰۰) سه الگوریتم زمین‌آماری را برای پیش‌بینی مکانی بارندگی بررسی کرد. روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ، برای بارندگی و دمای سالانه ۳۶ ایستگاه کلیماتولوژی در یک ناحیه با وسعت ۵۰۰۰ کیلومتر مربع در پرتغال بررسی شد. برای مقایسه سه روش کریجینگ با روش‌های رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن، عکس‌فاصله، عکس‌مجدور فاصله و کریجینگ معمولی از تکنیک اعتبارسنجی متقاطع استفاده شد. دو روش عکس‌مجدور فاصله و تیسن بیش‌ترین خطا را در برآورد بارندگی داشتند. در مجموع روش‌های چند متغیره زمین‌آماری و در رأس آنها روش کریجینگ ساده با تغییر دادن میانگین محلی و کریجینگ با روند خارجی بهترین روش‌ها بودند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ معمولی هنگامی که ضریب همبستگی بارندگی و ارتفاع نسبتاً بالا باشد، از روش همبستگی خطی نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

لینچ^۶ (۲۰۰۱) روش‌های تبدیل بارندگی روزانه نقطه‌ای به منطقه‌ای را در آفریقای جنوبی بررسی کرد و بین روش‌های عکس‌وزنی فاصله، کریجینگ و اسپلین، روش عکس‌وزنی فاصله را توصیه نمود.

کستیون^۷ و هوتچینسون^۸ (۲۰۰۱) برای پایش تغییرات و نوسانات اقلیمی و مدل‌سازی توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی در مقیاس قاره‌ای و منطقه‌ای، مطالعاتی را در قاره‌ی اقیانوسیه انجام دادند. آنها با استفاده از روش TPSS برای داده‌های دما و فشار ماهانه شبکه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی برای دوره‌های ژانویه ۱۹۵۲ تا دسامبر ۱۹۹۰ به این نتیجه رسیدند که تغییر قابل توجهی در اقلیم قاره‌ی اقیانوسیه در دوره‌ی مورد بحث دیده می‌شود.

همچنین کونکا^۹ و مارتینز^{۱۰} (۱۹۹۲) تاثیر ارتفاع بر تبخیر - تعرق منطقه‌ای با استفاده از روش‌های زمین‌آماری، برای رژیم‌های مختلف اقلیمی اردن را گزارش کردند. آنها علاوه بر محاسبه و رسم تغییرنا برای هر کدام از پارامترهای تبخیر - تعرق و ارتفاع،

1- Price
2- Dirks
3- Punyawordena
4- Kulasiri
5- Goovaerts
6- Lynch
7- Kesteven
8- Hutchinson
9-Cuenca
10- Martinez

تغییرنمای متقابل تبخیر - تعرق و ارتفاع را برآورد و مدل کروی را برای آن انتخاب کردند. به کارگیری روش‌های کریجینگ و کو کریجینگ نشان داد که مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین تبخیر - تعرق برای هر دو روش یکسان بود. ولی خطوط میزان در روش کوکریجینگ اثر ارتفاع و نواحی آب و هوایی را منعکس می‌کرد.

جفری^۱ و همکاران (۲۰۰۱) آمار بارندگی را از سال ۱۸۹۰ و آمار سایر متغیرهای اقلیمی را از ۱۹۵۷ در ۴۶۰۰ ایستگاه سراسر استرالیا بررسی کردند. آنها در نهایت از روش TPSS برای درون‌یابی متغیرهای اقلیمی روزانه و از روش کریجینگ معمولی برای درون‌یابی بارندگی ماهانه و روزانه در یک شبکه‌ی منظم ۰/۰۵ درجه‌ای استفاده کردند.

رحیمی (۱۳۷۹) کاربرد روش‌های زمین آماری را در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد برای برآورد بارندگی ماهانه و سالانه روش TPSS با توان ۲ و با متغیر کمکی ارتفاع روش مناسبی می‌باشد.

ثقفیان و همکاران (۲۰۰۳) چند روش درون‌یابی تیسن، میانگین متحرک وزنی، رویه متحرک^۲، رویه چندجمله‌ای^۳ و کریجینگ را برای بارندگی فراگیر روز ۱۶ اسفند ۱۳۶۹ در جنوب غرب ایران و با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی (۴۷ ایستگاه) آزمون کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش میانگین متحرک وزنی با توان ۳ بیش‌ترین دقت را برای بارندگی آن روز ارائه می‌کند. ثقفیان و همکاران (۱۳۸۴) اثر تراکم ایستگاه و تفکیک منطقه‌ای در برآورد توزیع مکانی بارندگی روزانه را بر روی بارندگی جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که در مجموع روش TPSS مناسب‌تر می‌باشد. ولی با توجه به نزدیک بودن دقت روش‌ها انتخاب نهایی روش مناسب به هدف و زمان محاسبه وابسته شد.

رحیمی و مهدیان (۱۳۸۳) نیز توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه دریای خزر را بررسی کردند. نتایج آنها بیانگر برتری روش TPSS برای هر دو مقیاس روزانه و ماهانه بود.

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که روش‌های درون‌یابی بسته به نوع متغیر و همچنین ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، تراکم نقاط اندازه‌گیری و نحوه آرایش آنها دقت متفاوتی را ارائه می‌کنند و نمی‌توان نتایج یک منطقه را به منطقه‌ای دیگر تعمیم داد. لذا لازم است که برای هر منطقه و هر متغیر، بررسی‌های ارائه شده در این دستورالعمل انجام گرفته تا یک روش مناسب برای منطقه مورد نظر و پارامتر مورد بررسی حاصل شود.

پیوست ۲

آنالیزهای آماری

در این پیوست برخی تحلیل‌های آماری توصیفی داده‌ها ارائه شده است. یکی از کاربردی‌ترین ابزارهای آمار توصیفی، آماره‌ها می‌باشند.

پ. ۲-۱- آماره‌ها

آماره‌ها در سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: معیارهای موقعیت، معیارهای پراکنش و معیارهای شکل.

پ. ۲-۱-۱- معیارهای موقعیت عبارتند از:

الف- میانگین: میانگین، m ، شناسه متوسط حسابی مقادیر داده‌ها می‌باشد:

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (۱)$$

که در آن n تعداد داده‌ها و x_1, \dots, x_n مقادیر داده‌ها می‌باشند.

ب- میانه: اگر داده‌ها به صورت صعودی مرتب شوند، میانه نقطه وسط مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. نیمی از مقادیر زیر مقدار میانه و نیم دیگر بالای آن قرار می‌گیرند. زمانی که داده‌ها مرتب شده‌اند خواهیم داشت: $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$. در این صورت میانه از طریق یکی از دو معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$M = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}} & \text{اگر } n \text{ فرد باشد} \\ \left(\frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2} \right) \div 2 & \text{اگر } n \text{ زوج باشد} \end{cases} \quad (۲)$$

میانه به آسانی از طریق نمودار احتمال قابل قرائت است. در صورتی که محور y فراوانی تجمعی را نشان دهد، میانه مقدار x متناظر احتمال ۵۰٪ محور y می‌باشد.

میانه و میانگین، معیارهای موقعیت مرکز توزیع می‌باشند. میانگین به تغییرات نامنظم مقادیر بالای داده‌ها حساس می‌باشد.

ج- مد: مد مقداری است که بیش‌ترین فراوانی را در مجموعه داده‌ها دارا می‌باشد. در هیستوگرام فراوانی محدوده‌ای که دارای بلندترین ستون باشد موقعیت مد را تعیین می‌کند. یکی از اشکالات مد این است که ممکن است نسبت به تغییر دقت مقادیر داده‌ها (اعداد اعشاری یا اعداد مهم) حساس باشد. به همین علت مد آماره مفیدی به‌خصوص برای مجموعه داده‌هایی که دارای ارقام اعشاری می‌باشند نخواهد بود. در این مورد زمانی که که ما در مورد مد صحبت می‌کنیم، معمولاً منظور ما مقادیر تقریبی است که از بلندترین ستون هیستوگرام فراوانی انتخاب می‌شود.

پ. ۲-۱-۲- معیارهای پراکنش عبارتند از:

الف- واریانس: واریانس (σ^2) توسط فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 \quad (۳)$$

بنابراین واریانس میانگین مربع اختلاف مقادیر مشاهده‌ای نسبت به میانگین آنها می‌باشد. از آنجایی که واریانس شامل مربع اختلافات است بنابراین به مقادیر بالا حساسیت نشان می‌دهد.

ب- انحراف معیار: انحراف معیار (σ) ریشه دوم واریانس می‌باشد. معمولاً از این آماره به جای واریانس استفاده می‌شود، چون واحد آن همانند خود متغیر است.

ج- فاصله کوانتایل: یکی از معیارهای مفید پراکنش، فاصله کوانتایل می‌باشد. IQR یا فاصله کوانتایل اختلاف بین چارک بالا و پایین می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (4)$$

برخلاف واریانس و انحراف معیار، فاصله چارکی به عنوان شاخصی برای مرکز توزیع استفاده نمی‌شود و زمانی مطرح می‌شود که تعدادی مقادیر بالا به صورت نامنظم و بی‌قاعده تاثیر زیادی بر میانگین داشته باشد.

د- ضریب تغییرات: ضریب تغییرات (CV) آماره‌ای است که برای توزیع متغیرهایی که تمام مقادیر آن مثبت و دارای ضریب چولگی مثبت باشد، استفاده می‌گردد. اگرچه می‌توان از این پارامتر برای انواع دیگری از توزیع‌ها نیز استفاده کرد. این آماره به صورت نسبت انحراف معیار و میانگین تعریف می‌شود:

$$CV = \frac{\sigma}{m} \quad (5)$$

ضریب تغییرات بیش‌تر از یک بیانگر وجود داده‌های پرت بالا می‌باشد که می‌تواند تاثیر معنی داری بر روی تخمین‌های نهایی داشته باشد.

پ. ۱-۲-۳- معیارهای شکل عبارتند از:

الف- ضریب چولگی: یکی از خصوصیات هیستوگرام فراوانی که توسط آماره‌های قبلی بیان نمی‌شود، تقارن آن می‌باشد. بیش‌ترین آماره مورد استفاده برای بیان تقارن، کمیتی است که ضریب چولگی نامیده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^3}{\sigma^3} \quad (6)$$

صورت کسر متوسط مکعب اختلاف بین مقادیر داده‌ها و میانگین آنها می‌باشد و مخرج کسر مکعب انحراف معیار است. ضریب چولگی از مقادیر بالای پرت بیش‌تر از میانگین و واریانس تاثیر می‌پذیرد. یک مقدار زیاد می‌تواند تاثیری بسیار زیادی بر ضریب چولگی بگذارد، زیرا تفاضل مقدار داده و میانگین به توان سه می‌رسد. گاهی اوقات بزرگی ضریب چولگی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، اما تنها علامت آن می‌تواند بیانگر تقارن باشد. هیستوگرام فراوانی با چولگی مثبت دارای یک دنباله طولانی از مقادیر بالا به سمت راست است که در آن میانه کوچک‌تر از میانگین می‌باشد. اگر یک دنباله بلند از مقادیر کم داده‌ها به سمت چپ وجود داشته باشد و میانه نیز بزرگ‌تر از میانگین باشد هیستوگرام دارای چولگی منفی خواهد بود. اگر چولگی نزدیک به صفر باشد، هیستوگرام تقریباً متقارن است و میانه نزدیک به میانگین است.

ب- کشیدگی: در مقایسه دو جامعه ممکن است شاخص‌های مرکزی، پراکندگی، ضریب تغییرات و چولگی یکسان باشد، ولی شکل توزیع یکسان نباشد. لذا برای پوشش دادن به این موضوع از شاخص کشیدگی استفاده می‌شود که از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$K = \frac{\sum N_i (X_i - \bar{X})^4}{\frac{N}{S^4}} - 3 \quad (7)$$

مقدار K بین +۱ و -۱ تغییر می‌کند. اگر مقدار آن صفر باشد، کشیدگی توزیع مورد نظر با توزیع نرمال برابر خواهد بود. در شرایطی که مقدار کشیدگی از صفر بیش‌تر باشد، منحنی توزیع جامعه از منحنی نرمال کشیده‌تر است. در صورتی که کشیدگی منفی باشد، منحنی جامعه از منحنی نرمال پایین‌تر خواهد بود.

پ. ۲-۲- آمار توصیفی دو متغیره

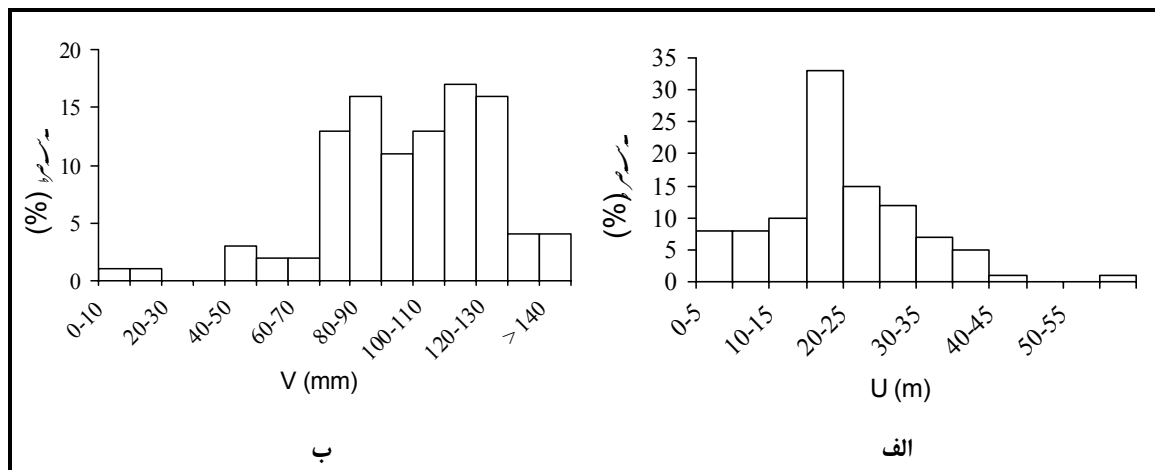
اگر یک مجموعه داده‌های چند متغیره به صورت منفرد تحلیل گردد، اطلاعات اندکی به دست خواهد آمد. یکی از مهم‌ترین خصوصیات داده‌های علوم زمین ارتباط و وابستگی‌های موجود بین متغیرهای مختلف می‌باشد که می‌تواند در تخمین بهتر یکی از متغیرها در نقاط مجهول مفید واقع شود. روش‌های بیان ارتباط بین دو متغیر شامل موارد ذیل می‌باشد.

الف- مقایسه دو توزیع

در بحث و بررسی داده‌های علوم زمین اغلب نیاز به مقایسه دو توزیع می‌باشد. ارائه هیستوگرام توزیع‌ها به تنهایی با چندین آماره توصیفی تفاوت‌های کلی را آشکار خواهد ساخت. متأسفانه اگر دو توزیع بسیار به یکدیگر شبیه باشند، این روش تفاوت‌های اندک ولی قابل توجه را نشان نخواهد داد. هیستوگرام‌های مقادیر متغیرهای فرضی V و U در شکل (پ. ۲-۱) و پارامترهای آماری آنها نیز در جدول (پ. ۲-۱) ارائه شده است. تفاوت‌های نسبتاً زیادی بین توزیع‌های این دو متغیر وجود دارد. توزیع متغیر U دارای چولگی مثبت ولی متغیر V دارای یک توزیع با چولگی منفی می‌باشد. همچنین مقادیر V معمولاً بزرگ‌تر از مقادیر U با مقدار میانگینی که بیش از ۵ برابر میانگین متغیر U است می‌باشد. میانه و انحراف معیار متغیر V نیز همانند میانگین آن بزرگ‌تر از انحراف معیار متغیر U می‌باشد.

جدول پ. ۲-۱- پارامترهای آماری متغیرهای V و U شکل (پ ۲-۱)

آماره	V	U
n	۱۰۰	۱۰۰
m	۶/۹۷	۱/۱۹
σ	۲/۲۶	۸۱/۹
CV	۲۷/۰	۵۱/۰
min	۰/۰	۰/۰
Q ₁	۳/۸۱	۰/۱۴
M	۵/۱۰۰	۰/۱۸
Q ₃	۸/۱۱۶	۰/۲۵
max	۰/۱۴۵	۰/۵۵



شکل پ.۲-۱-الف- هیستوگرام ۱۰۰ نمونه از متغیر U -ب- هیستوگرام ۱۰۰ نمونه از متغیر V

برای مقایسه چشمی بین دو توزیع می‌توان از گرافی به نام نمودار q-q استفاده کرد. این گراف معمولاً زمانی کاربرد دارد که دلایل کافی دال بر شباهت دو توزیع وجود داشته باشد. یک نمودار q-q گرافی است که در آن کوانتیل‌های دو توزیع در مقابل هم ترسیم می‌گردند. یک نمودار q-q برای دو توزیع کاملاً متشابه به صورت یک خط راست $y=x$ خواهد بود. برای توزیع‌هایی که بسیار به هم شبیه هستند انحراف کمی از خط $y=x$ در نمودار q-q وجود دارد که بیانگر اختلاف آنها می‌باشد. اگر نمودار q-q دو توزیع یک خط راست غیر از خط $y=x$ باشد، این دو توزیع دارای شکل یکسانی می‌باشند اما ممکن است موقعیت و پراکنش آنها با یکدیگر تفاوت داشته باشد.

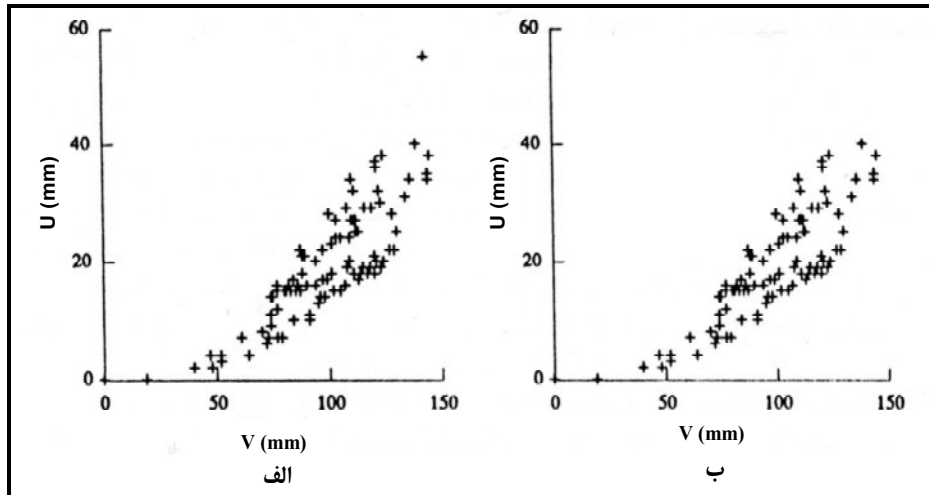
ب- دیاگرام‌های پراکنش

دیاگرام پراکنش^۱ رایج‌ترین نمایش از داده‌های دو متغیر می‌باشد. این دیاگرام یک گراف x-y است که محور x متناظر با مقادیر یک متغیر و محور y نیز متناظر با مقادیر متغیر دیگر است. مقادیر ۱۰۰ جفت از متغیرهای U-V در یک نمودار پراکنش در شکل (پ.۲-۲-الف) نشان داده شده است. هر چند که مقداری پراکنده‌گی در ابر نقاط وجود دارد اما مقادیر پایین‌تر متغیر V ارتباط بهتری با مقادیر بالای متغیر U نشان می‌دهند و مقادیر بزرگ‌تر نیز از ویژگی مشابهی پیروی می‌کنند. علاوه بر این در صورت مشاهده وابستگی مناسب بین دو متغیر، یک دیاگرام پراکنش می‌تواند در به تصویر کشیدن داده‌های پرت هم مفید باشد (شکل پ.۲-۲-ب). در اولین مرحله از مطالعات پیوستگی مکانی داده‌ها، کنترل و حذف داده‌های پرت ضروری می‌باشد. زیرا موفقیت هر یک از روش‌های تخمین به داده‌های مطمئن بستگی دارد. حتی بعد از اینکه داده‌ها اصلاح شدند، تعدادی از مقادیر پرت ممکن است تاثیر زیادی را روی تخمین داشته باشد. دیاگرام پراکنش می‌تواند هم در مرحله آزمون اعتبار داده‌های اولیه و هم در تفسیر نتایج بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

ج- همبستگی

به‌طور کلی در نمودار پراکنش می‌توان سه الگو را مشاهده کرد: متغیرها یا همبستگی مثبت دارند یا همبستگی منفی و یا دارای هیچ‌گونه همبستگی نمی‌باشند. دو متغیر در صورتی همبستگی مثبت خواهند داشت که مقادیر بالای یک متغیر با مقادیر بالای متغیر

دیگر مرتبط باشند و مقادیر کوچک نیز به صورت مشابه چنین رفتاری داشته باشند. در صخره‌های متخلخل، تخلخل و نفوذ نوعی همبستگی مثبت دارند.



شکل ۲-۲-الف- نمودار پراکنش ۱۰۰ نمونه از متغیر U ب- نمودار پراکنش ۱۰۰ نمونه از متغیر V

دو متغیر دارای همبستگی منفی هستند اگر مقادیر بالای متغیری تمایل به برقراری ارتباط با مقادیر کوچک‌تر متغیر دیگر دارند. الگوی دیگر این است که دو متغیر هیچ‌گونه ارتباطی با یکدیگر نداشته و تغییرات مقادیر یک متغیر هیچ‌گونه ارتباطی با تغییر مقادیر متغیر دیگر نداشته باشد. در این حالت گفته می‌شود که متغیرها مستقل هستند.

ضریب همبستگی ρ رایج‌ترین آماره ای است برای خلاصه کردن ارتباط بین دو متغیر به کار می‌رود و به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (۸)$$

که در آن n تعداد داده‌ها، x_1, x_2, \dots, x_n مقادیر داده‌های اولین متغیر، m_x میانگین آنها و σ_x انحراف معیار می‌باشد. y_1, y_2, \dots, y_n مقادیر متغیر دوم، m_y میانگین آنها و σ_y انحراف معیار می‌باشد. صورت معادله (۷) کواریانس نامیده می‌شود:

$$C_{XY} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y) \quad (۹)$$

از طرف دیگر کواریانس نیز به عنوان خلاصه آماره نمودار پراکنش استفاده می‌شود. کواریانس بین دو متغیر به بزرگی مقادیر داده‌ها بستگی دارد. مقدار ρ شاخص مناسبی است برای اینکه نشان دهد تغییرات یک متغیر تا چه حد قابل بیان یا پیش‌بینی از روی تغییرات یک متغیر دیگر می‌باشد. اگر قدر مطلق ρ کوچک باشد، آنگاه مقادیر معلوم یک متغیر چندان در پیش‌بینی متغیر دیگر کمک نخواهد کرد.

پیوست ۳

روش‌های درونیابی

پ.۳-۱- کلیات

برآورد تغییرات مکانی عوامل هواشناسی در بسیاری از مطالعات منابع آب اجتناب‌ناپذیر است. ولی به دلیل عدم امکان پوشش کامل منطقه توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برآورد عامل مورد نظر برای مناطق بین ایستگاه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. برآورد تغییرات مکانی عوامل هواشناسی بدون توجه به چگونگی انتخاب روش‌های مناسب می‌تواند از عوامل مهم ایجاد خطا در مطالعات باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد توزیع مکانی بارندگی و سایر عوامل هواشناسی وجود دارد. از جمله روش‌های کلاسیک معمول می‌توان به روش میانگین حسابی، تیسن، هیپسومتریک و خطوط هم باران اشاره نمود. اگر چه محاسبات این روش‌ها سریع و آسان است ولی معایب و اشکالات آنها گاهی منجر به ارائه نتایج غیر قابل قبول و با دقت کم می‌شوند. از معایب این روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در روش میانگین حسابی، موقعیت ایستگاه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و بنابراین نحوه‌ی پراکنش نقاط با مقادیر معلوم در اطراف نقطه‌ی مجهول در نظر گرفته نمی‌شود. در این حالت وقتی که تغییرات بارندگی در منطقه زیاد و تراکم شبکه‌ی باران‌سنجی پایین باشد، میانگین محاسبه شده قابل اعتماد نخواهد بود. ضمن آن که نقشه توزیع مکانی بارندگی نیز در این روش به دست نمی‌آید. در روش تیسن نیز تمامی وزن به نمونه مرکزی داده می‌شود. در این روش با توجه به تقسیم منطقه به وسیله عمود منصف‌ها، تغییرات بارندگی بین دو ایستگاه دارای یک ناپیوستگی است و در نتیجه برای اغلب مناطق نظیر مناطق کوهستانی نمی‌تواند دقت زیادی داشته باشد. اشکالات موجود در روش‌های ساده، استفاده از تخمینگرهای آماری غیر پارامتری نظیر روش‌های (TPSS)^۱ و (IDW)^۲ را مطرح می‌نماید. همچنین استفاده از روش‌های پارامتری زمین آمار نظیر کریجینگ^۳ نیز باید در نظر گرفته شود. در ادامه مهم‌ترین روش‌های معمول در درون‌یابی عوامل هواشناسی ارائه می‌گردد.

پ.۳-۲- روش چندضلعی تیسن

در این روش ایستگاه‌های موجود در منطقه توسط خطوطی به هم متصل می‌شوند. سپس عمودمنصف‌های این خطوط رسم می‌شوند. از اتصال این عمودمنصف‌ها چندضلعی‌هایی اطراف هر ایستگاه به وجود می‌آید. فرض بر این است که شرایط هر ایستگاه واقع در این چندضلعی نماینده وضعیت کلی این چندضلعی می‌باشد. بنابراین مقدار بارش هر ایستگاه معرف مقدار بارش آن چندضلعی می‌باشد.

پ.۳-۳- روش رگرسیون

در روش رگرسیون مناسب‌ترین تابع به نقاط مشاهده‌ای براساس کم‌ترین مربع انحراف برازش داده می‌شود. در مورد بارندگی و درجه حرارت، رگرسیون تک یا چند متغیره با ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی بیش‌ترین کاربرد را دارد.

1- Thin Plate Smoothing Splines
2- Inverse Distance Weighting
3 - Kriging

پ.۳-۴- روش عکس فاصله وزنی^۱

از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی، روش عکس فاصله وزنی می‌باشد. در این روش وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول براساس فاصله‌ی بین نقاط معلوم و نقطه مجهول محاسبه می‌شود. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شوند، به‌طوری‌که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه‌ی مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طول یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. معادله‌ی زیر چگونگی محاسبه‌ی اوزان در این روش را نشان می‌دهد:

$$\lambda_i = \left(\frac{D_0}{D_i} \right)^\alpha - 1 \quad (1)$$

که در آن: λ_i : وزن نقطه نمونه i ام، D_i : فاصله بین نقطه نمونه i ام و نقطه مجهول، α : توان وزن‌دهی و D_0 : شعاع همسایگی می‌باشد. انتخاب توان در روش IDW می‌تواند توسط روش اعتبارسنجی تقاطعی صورت گیرد. نکته‌ای که در این روش وجود دارد این است که به نقاط دارای فاصله‌ی یکسان از نقطه‌ی مورد تخمین، وزن یکسان داده می‌شود و موقعیت و آرایش آنها در نظر گرفته نمی‌شود.

پ.۳-۵- روش توابع شعاع محور^۲

این روش می‌تواند روی داده‌های نوپزداری که به‌طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند اعمال شده و یک درون‌یابی چند متغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. این روش تاکنون توسط محققین به منظور درون‌یابی پارامترهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است و تجربیات نشان می‌دهد که می‌تواند نتایج خوبی در کاربرد های مختلف ایجاد کند.

در این روش یک تابع $f(x,y)$ را می‌یابد که این تابع نه تنها از تمامی داده‌های موجود می‌گذرد، بلکه مقدار یک تابع انحنای^۳ را که میزان هموار بودن تابع $f(x,y)$ را می‌سنجد را نیز کمینه می‌کند.

به عبارت دیگر، روش تابع شعاع محور تابعی را می‌یابد که مشابه یک ورقه فلزی نازک است که به‌طور همواری خم شده است و مقید به گذشتن از تمامی داده‌ها می‌باشد.

در روش تابع شعاع محور تابعی که میزان تابع انحنای آن مینیمم می‌شود به شکل عمومی زیر می‌باشد و تفاوت روش‌های تابع شعاع محور مختلف در نحوه تعریف تابع E در رابطه (۲) می‌باشد.

$$f(x,y) = \sum_{j=1}^n a_j E(\|x - x_j, y - y_j\|) + b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (2)$$

به‌طوری‌که $\| \cdot \|$ بیانگر طول بردار، x و y متغیرهای مکانی، (x_j, y_j) مختصات مکانی j امین نقطه مشاهده‌ای پارامتر Z_j و E یک RBF می‌باشد. a_j, b_0, b_1, b_2 ضرایبی هستند که باید تعیین شوند تا تابع f به‌طور صریح مشخص شود. البته ابتدا باید تابع RBF E را نیز مشخص کنیم.

توابع RBF انواع مختلفی دارد که می‌توان از آنها در درون‌یابی استفاده نمود. چند نمونه از کاربردی‌ترین این توابع در زیر معرفی شده‌اند:

$$\text{Thin Plate Splines} = \left[(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + \log \left((x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + \lambda \right) \right]$$

1 - Inverse Distance Weighting (IDW)
2 - Radial Basis Functions (RBF)
3 - Bending Function

$$\text{Natural Cubic Spline} = \left[(x - x_j)^2 + (y - y_j)\lambda + \right]^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{Multiquadratic} = \sqrt{\left[(x - x_j)^2 + (y - y_j)\lambda \right] +}$$

$$\text{Inverse Multiquadratic} = \frac{1}{\sqrt{\left[(x - x_j)^2 + (y - y_j)\lambda \right] +}}$$

پس از انتخاب تابع RBF، b_0, b_1, b_2 و a_j به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = (B^t A^{-1} B)^{-1} B^t A^{-1} \bar{Z} \quad \bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_n \end{bmatrix} = A^{-1} (\bar{Z} - B \bar{b}) \quad (3)$$

که در روابط فوق:

$$\bar{Z} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_n \end{bmatrix}_{n,1} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix}_{n,3} \quad A = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \dots & E_{1n} \\ E_{21} & E_{22} & \dots & E_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ E_{n1} & E_{n2} & \dots & E_{nn} \end{bmatrix}_{n,n} \quad (4)$$

که در ماتریس A ، E_{ij} به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E_{ij} = E(x_i - x_j, y_i - y_j)$$

که E همان تابع RBF انتخاب شده می‌باشد.

در روابط فوق پارامتر λ ، ضریب همواری^۱ نامیده می‌شود و بایستی توسط کاربر معین گردد. این ضریب به منظور ایجاد قابلیت همواری تابع درون‌یاب (f) به روابط RBF اضافه گردیده است. می‌توان با استفاده از روش اعتبارسنجی متقاطع مقدار λ را بهینه نمود.

پ.۳-۶- روش کریجینگ

شرط استفاده از این تخمین‌گر این است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیراین صورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا این که با تبدیل‌های مناسب توزیع متغیر را به نرمال تبدیل کرد. کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است و عاری از خطای سیستماتیک می‌باشد. همچنین واریانس تخمین در آن نیز حداقل می‌باشد. بنابراین:

$$E \left[Z(x_i) - Z^*(x_i) \right] = 0 \quad (5)$$

که در آن $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده‌ی متغیر در نقطه i ام با مختصات معلوم، $Z^*(x_i)$: مقدار تخمینی در همان نقطه i ام و E :

امید ریاضی است.

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$E[Z(x_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)] = 0 \quad (۶)$$

که در آن λ_i وزن داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد. با انجام عملیات ریاضی که در اینجا برای رعایت اختصار نمی‌آید، خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (۷)$$

بنابراین شرط ناریبی کریدجینگ بیانگر آن است که مجموع ضرایب وزنی تخمین باید مساوی واحد باشد. شرط دیگر در روش

کریدجینگ اینست که واریانس تخمین باید حداقل باشد. اعمال این شرط به حل معادله ماتریسی زیر منتهی می‌شود:

$$AX = B \Rightarrow X = A^{-1}.B \quad (۸)$$

که در آن: A ماتریس γ_{ij} (مقدار مدل نیم‌تغییرنا بین نمونه‌های i و j)، B : ماتریس γ_{0i} (مقدار مدل نیم‌تغییرنا بین نقطه مجهول

و نقاط نمونه i)، X : ماتریس ضرایب λ_i (وزن نمونه i ام برای تخمین نقطه مجهول).

پ.۳-۷- روش کوکریدجینگ

همان‌طور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان با روش کوکریدجینگ که براساس

همبستگی بین متغیر اصلی و یک متغیر کمکی استوار است به تخمین متغیر اصلی پرداخت. معادله کوکریدجینگ به شرح زیر می‌باشد:

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \sum_{k=1}^n \lambda_k U(x_k) \quad (۹)$$

که در آن λ_i : وزن مربوط به متغیر Z در موقعیت x_i ، λ_k : وزن مربوط به متغیر کمکی U در موقعیت x_k ، مقدار

مشاهده‌ای متغیر کمکی در موقعیت x_k

محاسبه نیم‌تغییر نمای متقابل^۱ برای محاسبه اوزان به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma_{zy}(h) = \frac{1}{2} n [Z(x_i + h) - Z(x_i)] \times [Y(x_k + h) - Y(x_k)] \quad (۱۰)$$

که در آن $\gamma_{zy}(h)$: نیم‌تغییر نمای متقابل بین متغیر Z و Y ، $Z(x_i)$: متغیر مشاهده شده، $Y(x_k)$: متغیر کمکی می‌باشند.

معادلات کریدجینگ با اعمال شرایط ناریب بودن و حداقل شدن واریانس تخمین به صورت زیر می‌باشد:

$$\sum \lambda_i(z) \cdot \gamma_{ij}(z) + \sum \lambda_k(y) \cdot \gamma_{ik}(zy) + \mu_1 = \gamma_{i0}(z)$$

$$\sum \lambda_i(z) \cdot \gamma_{ik}(zy) + \sum \lambda_k(y) \cdot \gamma_k(y) + \mu_2 = \gamma_{k0}(z) \quad (۱۱)$$

و با فرض‌های:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^k \lambda_k = 0$$

که در آن: $\lambda_i(Z)$: اوزان مربوط به متغیر $z(x_i)$, $\lambda_k(Y)$: اوزان مربوط به متغیر $y(x_k)$, $\gamma_{ij}(Z)$: تغییرنمای بین نقاط مشاهده شده‌ای متغیر Z , $\gamma_{ik}(Y)$: تغییرنمای بین نقاط مشاهده‌ای متغیر Y , $\gamma_{ik}(ZY)$: تغییرنمای متقابل بین Z و Y , $\gamma_{i0}(ZY)$: تغییرنمای بین نقطه‌ی مورد تخمین و نقاط مشاهده‌ای متغیر Z , $\gamma_{k0}(Y)$: تغییرنمای بین نقطه‌ی مورد تخمین و نقاط مشاهده‌ای متغیر Y و μ_1, μ_2 : ضرایب لاگرانژ می‌باشند.

پ.۳-۸- روش کریجینگ عمومی^۱

این روش هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در داده‌ها روند وجود داشته باشد. بدین معنی که نیم‌تغییرنا متغیر مکانی به یک آستانه مشخصی نرسیده و با افزایش مقدار فاصله افزایش یابد. در این حالت از تخمینگرهای غیرخطی نظیر کریجینگ عمومی استفاده می‌شوند. بدین صورت که ابتدا روند موجود در داده‌ها شناسایی گردیده و از داده‌ها حذف می‌شوند تخمین براساس باقیمانده داده‌ها که بدون روند می‌باشند انجام می‌گیرد. در انتها مقادیر روند حذف شده با مقادیر برآوردی جمع می‌شود. معمولاً برآورد روند با چندجمله‌ای‌ها صورت می‌گیرد.

پ.۳-۹- رویه روند^۲

رویه روند، چند جمله‌ای‌هایی با توان‌های مختلف هستند که از بین نقاط عبور می‌کنند. هر چه توان معادله بالاتر باشد رویه هموارتر^۳ می‌گردد. لذا توان‌های بالا می‌تواند فاصله نقاط با رویه برازش داده را افزایش داده و خطای روش را بالا ببرد. معادله رویه با روش‌هایی نظیر کم‌ترین مربع^۴ به مختصات نقاط و مقادیر آن برازش داده می‌شود.

1- Universal Kriging
2- Trend Surface
3- Smoothing
4- Least Square

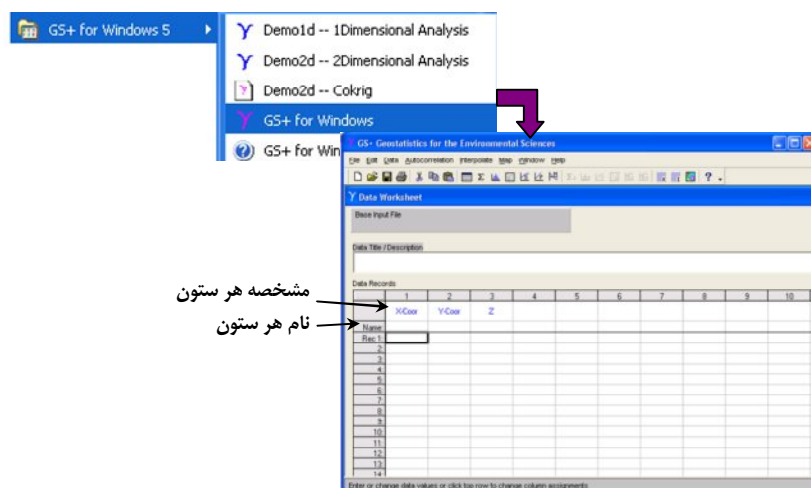
پیوست ۴

نحوه استفاده از نرم افزار GS⁺

در این پیوست گام‌های شش‌گانه استفاده از نرم‌افزار تشریح می‌شوند.

گام اول: ورود داده‌ها در محیط GS+ (Import data)

با نصب GS+ آیکون‌های موجود در شکل زیر قابل اجرا می‌باشند که از آن میان، فایل اجرایی مورد نظر GS+ for windows است. با انتخاب این گزینه وارد محیط اصلی این نرم‌افزار شامل منوی اصلی و پنجره داده‌ها^۱ خواهیم شد (شکل پ.۴-۱).



شکل پ.۴-۱- محیط اصلی GS+

پنجره داده‌های GS+ همانند صفحه گسترده Excel در قالب سطر و ستون بوده و محدودیتی در تعداد سلول‌ها وجود ندارد. همچنین امکان هرگونه ویرایشی نیز در این محیط وجود دارد.

– فایل ورودی متغیر مورد بررسی، باید شامل موقعیت مکانی هر داده (X,Y) و مقادیر اندازه‌گیری متناظر با آن (Z) و در صورت لزوم مقادیر متغیر کمکی (Z2) باشد. این اطلاعات می‌تواند یا به صورت مستقیم در پنجره داده‌های GS+ در سلول‌ها وارد گردد و یا از طریق فرمت‌های مختلف (مانند Access Excel Spreadsheet و text) در محیط GS+ فراخوانی شود.

– با کلیک بر روی شماره هر ستون، پنجره Field (Column) Assignment ظاهر می‌شود که در آن می‌توان مشخصه هر ستون را تعیین نمود. این مشخصه می‌تواند یکی از موارد زیر باشد:

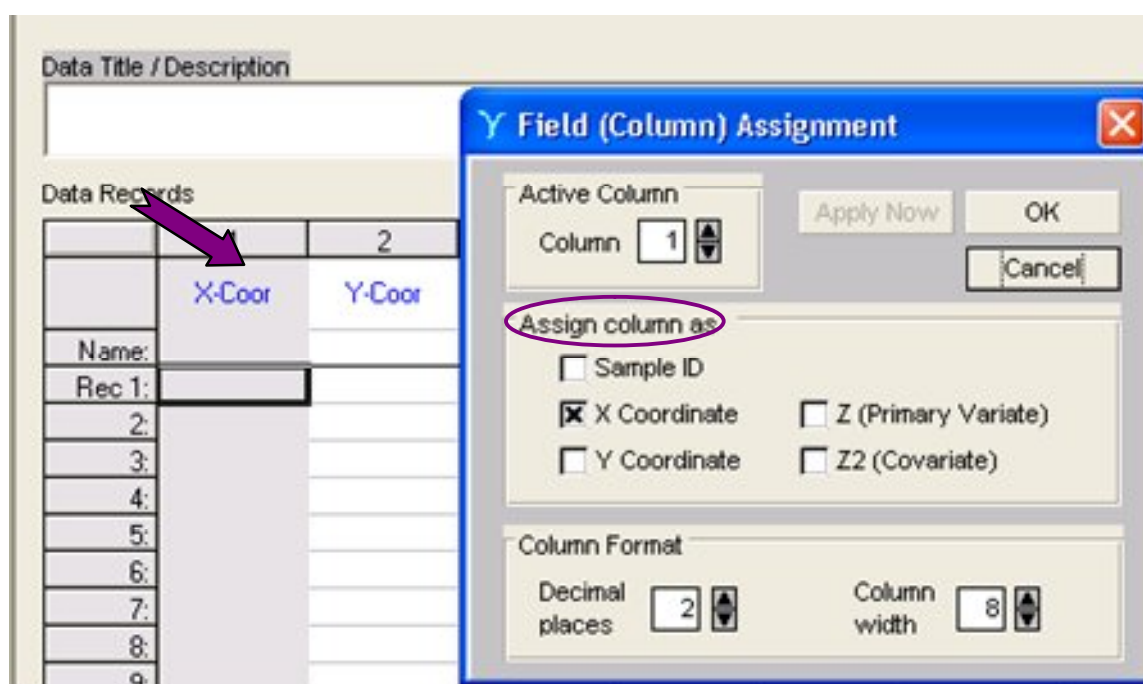
- مشخصه داده‌های مورد بررسی^۲: در این ستون اطلاعاتی همچون نام ایستگاه وارد می‌شود.
- طول جغرافیایی^۳: در این ستون طول جغرافیایی نمونه‌ها وارد می‌شود.
- عرض جغرافیایی^۴: عرض جغرافیایی نمونه‌ها در این ستون وارد می‌شود.
- متغیر اولیه^۵: مقادیر متغیر مورد بررسی متناظر با نقاطی که مختصات جغرافیایی آنها در دو ستون قبل وارد شد، در این قسمت لحاظ می‌شود.

-
- 1- Worksheet Data
 - 2- Sample ID
 - 3- X Coordinate
 - 4- Y Coordinate
 - 5- Z Primary Variate

• متغیر کمکی^۱: در صورتی که از روش کوکریجینگ در تحلیل مکانی استفاده شود، معرفی متغیر کمکی الزامی است. با وارد نمودن مقادیر این متغیر در یک ستون و با انتخاب گزینه Z2، این ستون به عنوان یک متغیر کمکی برای نرم‌افزار تعریف خواهد شد.

به‌جای این که روی هر ستون کلیک کنیم، می‌توان در قسمت Active Column این پنجره هر ستون را انتخاب کرده و سپس مشخصه مربوطه را نیز تعیین کنیم (شکل پ.۴-۲). امکان تغییر فرمت ستون‌ها نیز وجود دارد. با تعیین مشخصه هر ستون و کلیک OK این پنجره بسته خواهد شد.

می‌توان ستون‌های متعددی را به عنوان داده‌های اصلی و یا کمکی وارد نمود. اما در هر بار اجرای برنامه تنها باید یکی از آنها را به عنوان Z و Z2 انتخاب نمود تا محاسبات براساس آنها صورت پذیرد.

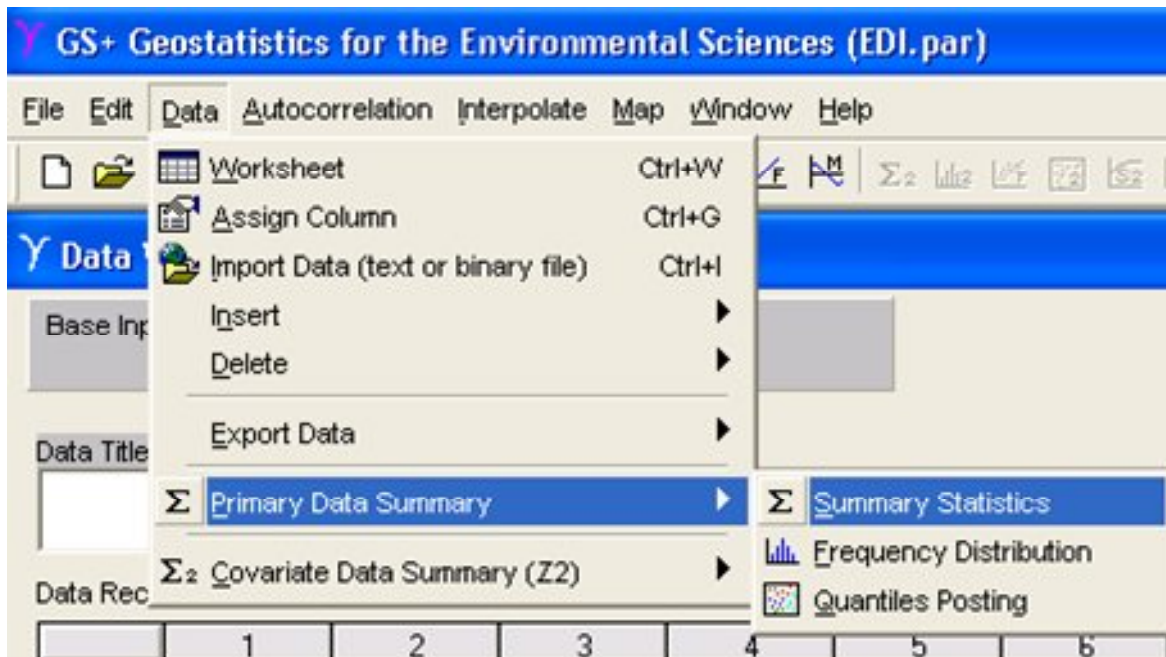


شکل پ.۴-۲- تعیین مشخصات ستون‌ها

گام دوم: تعیین خصوصیات آماری داده‌های ورودی

دانستن اطلاعاتی از وضعیت کیفی داده‌ها بر آنالیز زمین آماری آنها تقدم دارد. مراحل کار در این گام به شرح زیر است:

۱- از طریق مسیر Data > Primary Data Summary > Data > Covariate از طریق مسیر Data Summary خصوصیات آماری متغیر کمکی مشخص می‌گردد (شکل پ.۴-۳). مراحل بعدی برای هر دو متغیر یکسان می‌باشد.

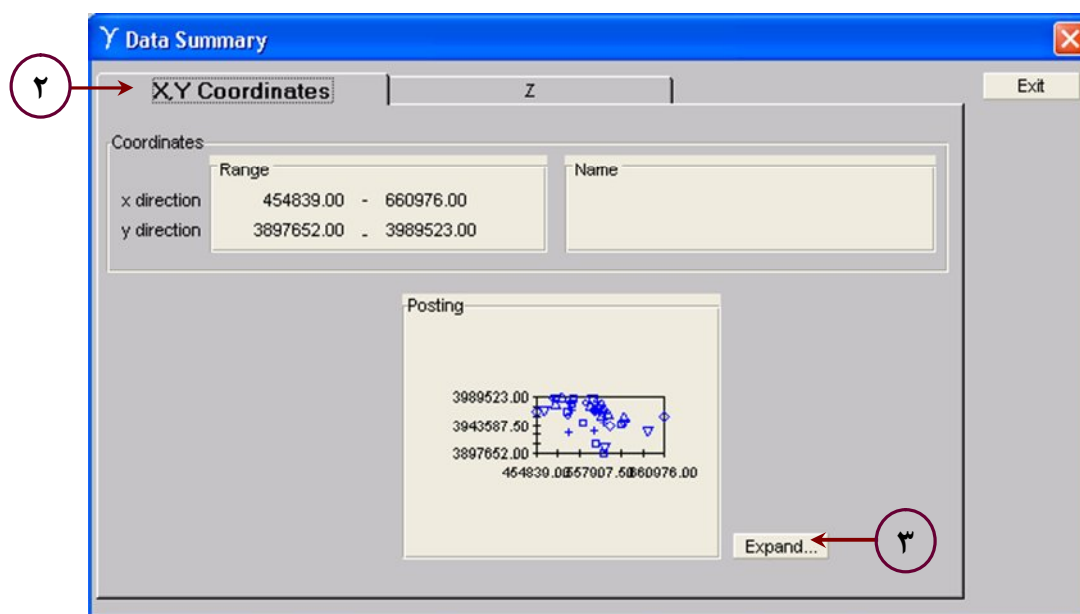


شکل پ.۴-۳- مسیر تعیین خصوصیات آماری

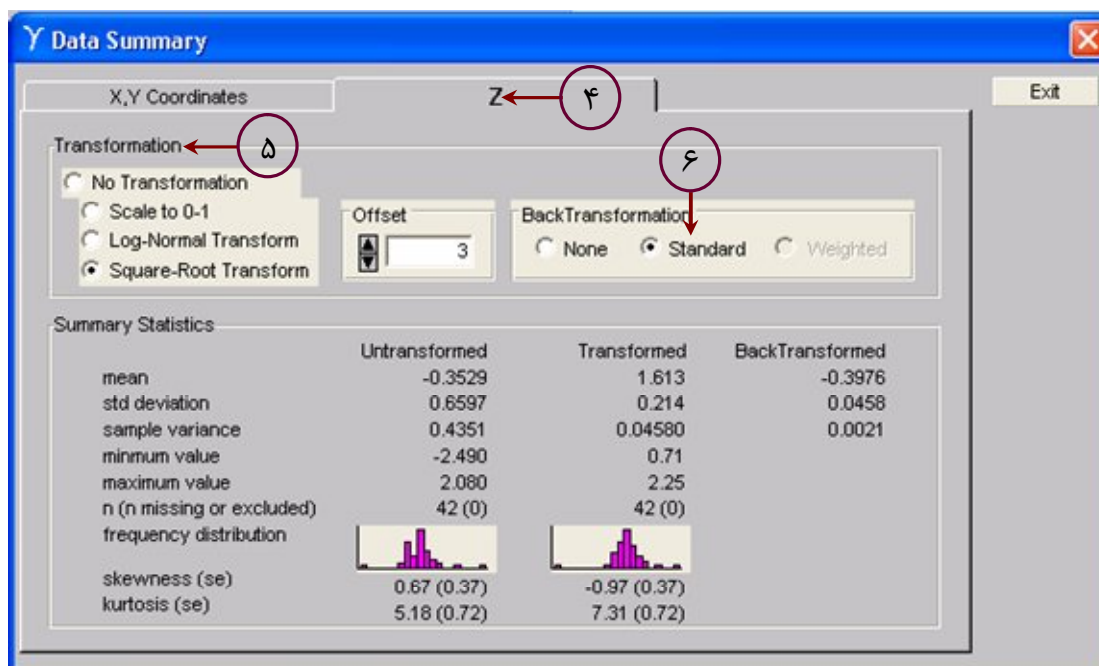
- ۲- با انتخاب Summery Statistics، پنجره Data summary (شکل پ.۴-۴) ظاهر می شود که کاربر در قسمت اول آن (X, Y Coordinates) می تواند جانمایی^۱ داده های ورودی را در صفحه X و Y مشاهده نماید.
- ۳- با کلیک بر روی Expand پنجره ای تحت عنوان Coordinate Posting باز می شود که شامل نمودار بوده و کاربر می تواند تغییرات مورد نظر خود را در فرمت نمودار اعمال نماید. در قسمت اول از این پنجره نقشه ای از موقعیت داده ها و مقادیر متناظر آنها نشان داده می شود. این قابلیت وجود دارد که مقادیر داده ها در غالب چارک ها، صدک ها و یا هر نوع توزیع دیگری نمایش داده شود.
- ۴- GS+ در قسمت دوم پنجره Data summary (Z) برخی خصوصیات آماری نظیر میانگین، انحراف معیار، چولگی، توزیع فراوانی و احتمالاتی را ارائه می دهد.
- ۵- اگر توزیع داده ها از توزیع نرمال تبعیت نکند، امکان تبدیل آن به توزیع نرمال توسط روش های ریشه گیری و لگاریتم گیری در قسمت Transformation وجود دارد.
- ۶- برای برگردان تغییرات مرحله قبل از قسمت Back Transformation باید حالت استاندارد را انتخاب نمود.

گام سوم: استخراج نیم تغییرنما و آنالیز نیم تغییرنما

در این مرحله آنالیز مکانی داده ها براساس نیم تغییرنما صورت می پذیرد. بدین منظور مراحل کار در نرم افزار GS+ مطابق زیر می باشد:

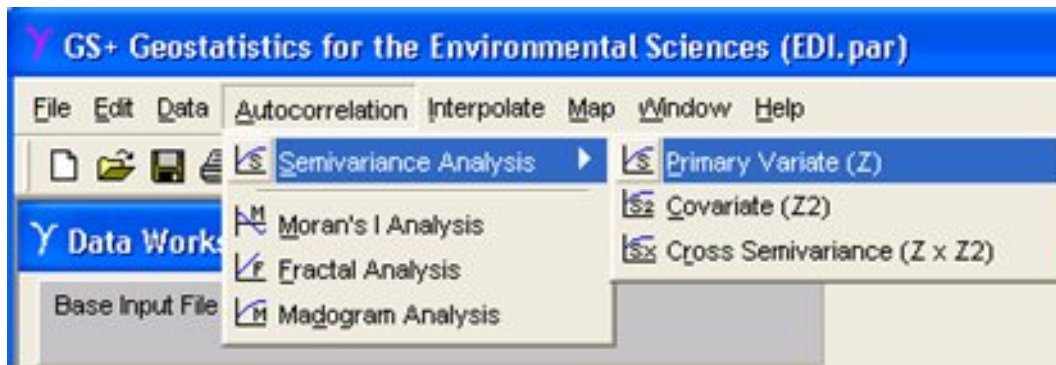


شکل پ.۴-۴- جانمایی داده‌ها در قسمت اول پنجره Data summary



شکل پ.۴-۵- خصوصیات آماری متغیر مورد بررسی در قسمت دوم پنجره Data summary

۱- از طریق منوی اصلی و انتخاب Semivariance Analysis کاربر با سه گزینه مواجه است (شکل پ.۴-۶). در صورت انتخاب Primary Variate (Z) می‌توان آنالیز نیم‌تغییرنما را براساس متغیر اصلی انجام داد. در شرایطی که از متغیر کمکی در تحلیل مکانی استفاده می‌شود از طریق Covariate (Z2) نیم‌تغییرنمای متغیر کمکی قابل بررسی است و سپس باید نیم‌تغییرنمای متقابل متغیرهای اصلی و کمکی را با انتخاب گزینه Cross semivariance ترسیم و بهترین مدل قابل برازش بر آن را انتخاب نمود. با انتخاب هر یک از گزینه‌های فوق مراحل مشابهی تا انتها طی خواهد شد که در ادامه مراحل کار تنها برای متغیر اصلی ذکر شده است.



شکل پ.۴-۶- مسیر ترسیم نیم تغییرنا

۲- در پنجره Semivariance Analysis- Primary Variate (Z) (شکل پ.۴-۷) با کلیک بر روی Calculate کاربر می تواند نیم تغییرنمای غیرهمسانگرد^۱ و همچنین نیم تغییرنمای همسانگرد^۲ را برای چهار راستای اصلی (صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) در کنار هم مشاهده کند. بدین ترتیب می توان به سهولت وجود همبستگی داده ها در راستاهای مختلف و همچنین همسان گردی را تشخیص داد.

۳- در قسمتی از پنجره فوق می توان با تغییر در فاصله گامها (Active Lag) و اندازه کلاسه های مجزا (size of individual lag classes) تاثیرات هر یک از آنها را فوراً در تغییرنا مشاهده کرد. اندازه کلاس ها می تواند به صورت یکنواخت و یا غیریکنواخت تنظیم شود.

۴- نرم افزار GS+ چهار نیم تغییرنمای همسانگرد براساس زاویه درج شده در قسمت Principal Axis و با فواصل ۴۵ درجه نمایش خواهد داد. مقدار اولیه برای پارامتر فوق صفر است لذا نمودارها را براساس چهار راستای اصلی محاسبه می کند. با تغییر این زاویه می توان تغییرنماهای همسان گردی را برای زاویه های دیگری نیز مشاهده کرد. مقدار فرض شده برای تولورانس زاویه ۲۲/۵ درجه می باشد که می توان آن را در قسمت Offset Tolerance تغییر داد.

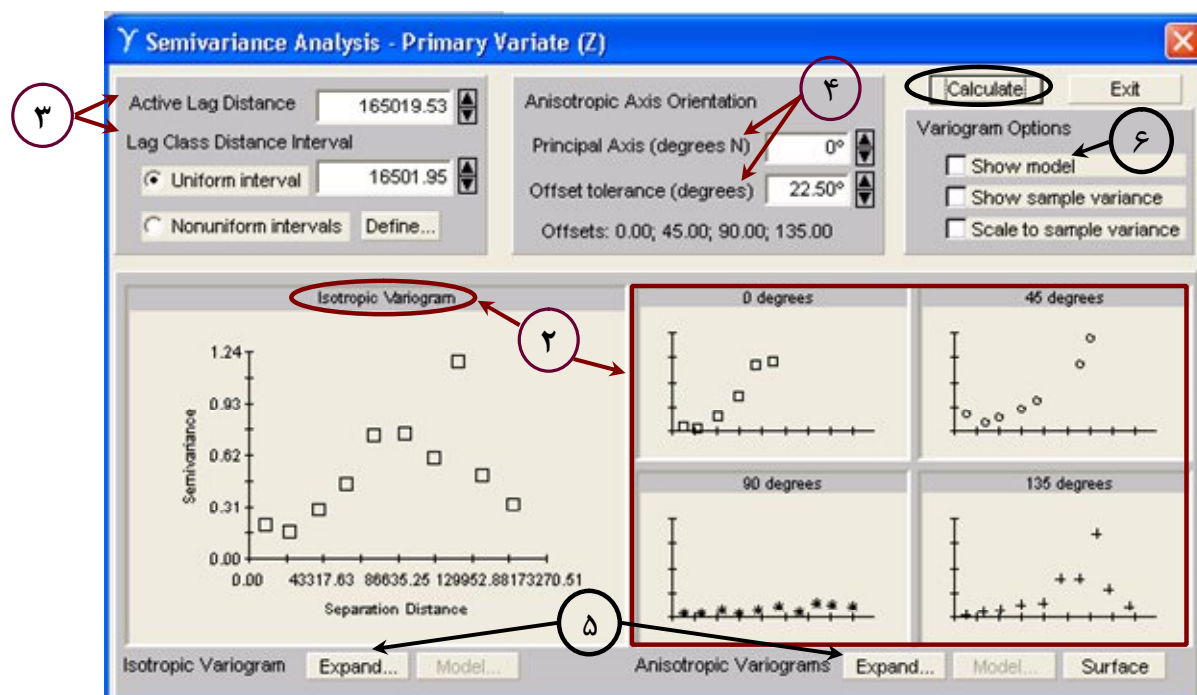
۵- هر تغییر نما را می توان با کلیک بر روی Expand به صورت مجزا در پنجره دیگری بررسی نمود. در این قسمت اطلاعات نقاط تشکیل دهنده این نیم تغییرنا مانند تعداد جفت نقاط موجود در هر گام، مقادیر آنها و فاصله ای که نسبت بهم قرار گرفته اند، در اختیار کاربر قرار می گیرد. در صورتی که یک داده با سایر داده های دیگر در یک فاصله معین همبستگی نداشته باشد، به صورت یک نقطه پرت در تغییرنا ظاهر می شود. این قسمت امکان تشخیص نقاط پرت را به کاربر می دهد. امکان تهیه پرینت از گراف ها و مقادیر نیز در این قسمت وجود دارد (شکل پ.۴-۸).

۶- با انتخاب Show model در قسمت Variogram Options یک مدل تئوریک به صورت اتوماتیک بر نیم تغییرنمای تجربی برازش داده می شود. این مدل می تواند نقطه شروع مناسبی برای بهینه کردن پارامترها و رسیدن به مناسب ترین مدل تغییر نما به شمار آید.

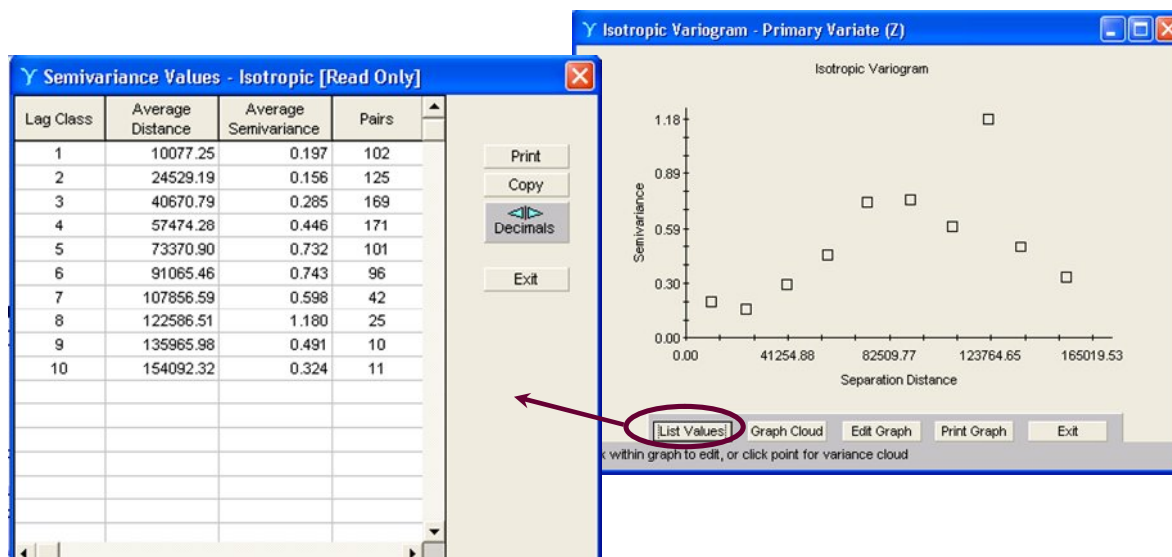
لازم به ذکر است در هر یک از مراحل فوق با تغییر در هر یک پارامترهای مختلف باید Calculate را کلیک نمود تا تغییرات اعمال شود.

1- Isotropic Variogram
2- Anisotropic

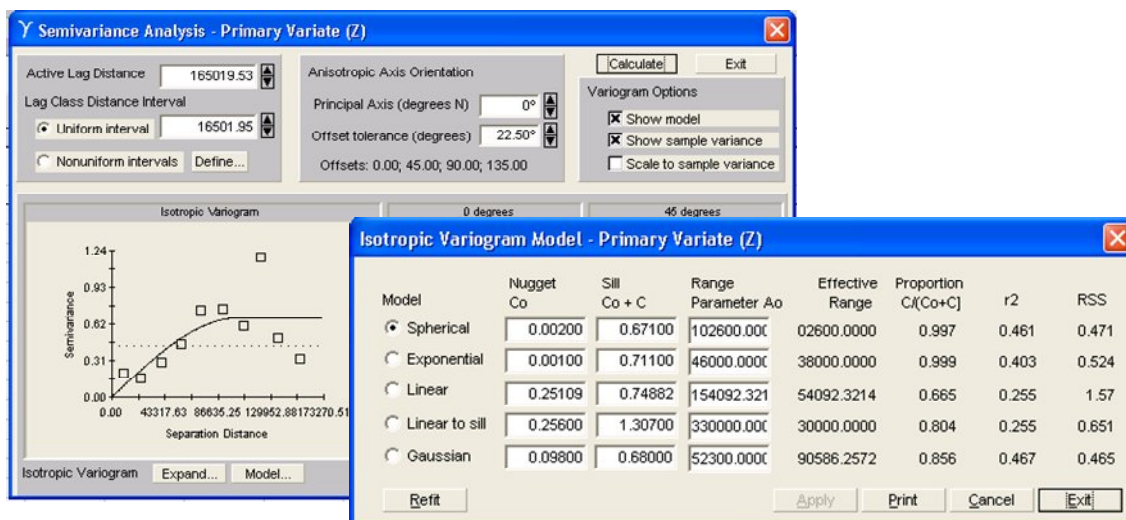
۷- پس از ترسیم مدل، اکنون Model فعال شده که با کلیک بر روی آن پنجره‌ای که در آن امکان انتخاب ۵ نوع مدل مختلف برای کاربر وجود دارد، ظاهر می‌گردد (شکل پ. ۴-۹). با انتخاب هر یک از آنها و براساس پارامترهای Sill، Range و Nugget می‌توان مدل‌های مختلفی را به نیم‌تغییرنمای تجربی داده‌ها برازش داد.



شکل پ. ۴-۷- پنجره آنالیز نیم‌تغییرنما برای متغیر اصلی



شکل پ. ۴-۸- نیم‌تغییرنما و مشخصات نقاط تشکیل دهنده آن



شکل پ.۴-۹- انتخاب مدل های مختلف و تغییر پارامترهای Sill، Nugget و Range

گام چهارم: درون یابی و انتخاب روش تحلیل مکانی

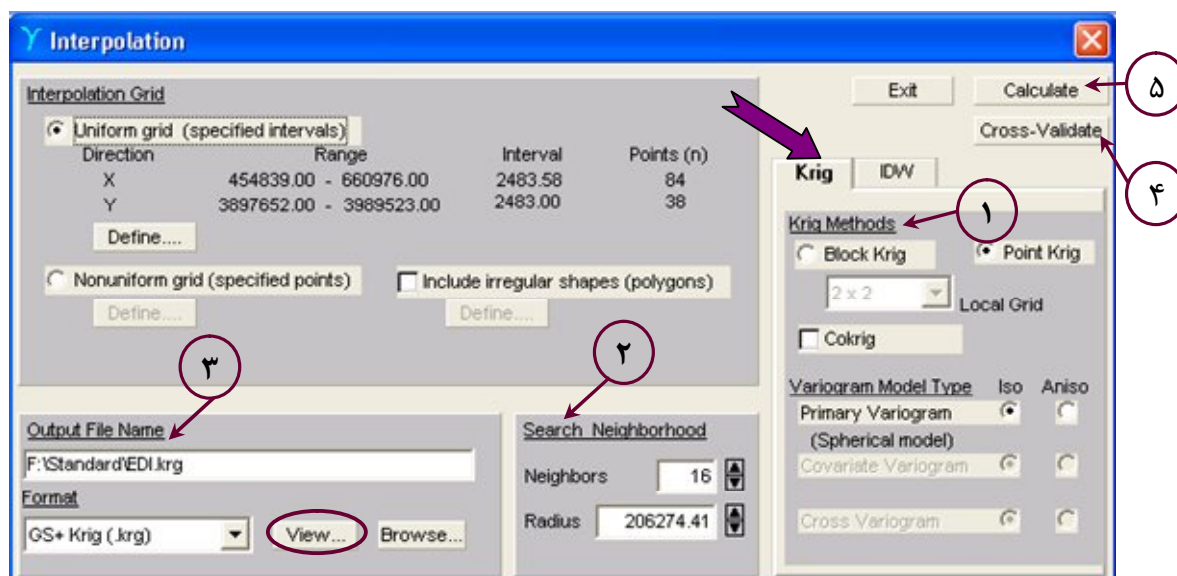
دو نوع روش تحلیل مکانی توسط نرم افزار GS+ قابل اجرا است: کریجینگ و عکس وزنی فاصله. (IDW) کریجینگ براساس خودهمبستگی که توسط نیم تغییرنا محاسبه می شود، درون یابی بهینه ای از نقاط در سراسر یک حوزه سه بعدی (مختصات و متغیر) ارائه می دهد. روش IDW یک درون یابی کلاسیک از نقاط براساس وزن دهی به نزدیک ترین نقاط همسایگی ارائه می دهد. برای انتخاب هر یک از روش های فوق مطابق شکل (پ.۴-۱۰) نشان داده شده، در منوی اصلی Interpolate را کلیک نموده و سپس روش مورد نظر را انتخاب می کنیم. در ادامه مراحل بعدی بر حسب این دو روش بیان شده است که در اشکال (پ.۴-۱۱) و (پ.۴-۱۳) نیز به صورت شماتیک ملاحظه می شود.



شکل پ.۴-۱۰- مسیر انتخاب روش درون یابی

روش تحلیل گر کریجینگ

۱- در پنجره کریجینگ امکان ترسیم نقشه توسط روش های Block Kriging و Point Kriging و همچنین Co-Kriging وجود دارد. در قسمت Krig Methods می توان هر یک از روش های فوق را انتخاب نمود. مدل نیم تغییرنا برای روش منتخب به صورت اتوماتیک از مرحله قبل وارد خواهد شد.



شکل پ.۴-۱۱- مراحل محاسباتی روش کریجینگ

- ۲- تحلیل مکانی در انواع روش کریجینگ براساس مدل منتخب نیم‌تغییرنا و تعداد نقاط همسایگی و شعاع تاثیر که از مدل نیم‌تغییرنا استخراج می‌شود، صورت می‌گیرد. در قسمت Search Neighborhood دو پارامتر تعداد نقاط همسایگی و شعاع تاثیر وارد می‌گردد. مقدار اولیه تعداد نقاط ۱۶ می‌باشد.
- ۳- مسیر ذخیره و نام فایل خروجی و همچنین نوع فرمت آن را نیز در این پنجره می‌توان تعیین نمود.
- ۴- با کلیک بر روی Cross-Validation می‌توان میزان خطای روش انتخابی را محاسبه نمود. این مرحله در گام پنجم مفصل تشریح می‌گردد.
- ۵- با کلیک بر روی Calculation تحلیل مکانی داده‌ها براساس روش انتخابی صورت می‌پذیرد و فایل خروجی آن در مسیر تعیین شده مرحله ۳ ذخیره خواهد شد. مشاهده نقشه خروجی در این گام میسر نمی‌باشد اما از طریق View می‌توان فایل Grid نقشه تولید شده را مشاهده نمود. یک نمونه از فایل Grid در شکل (پ.۴-۱۲) نشان داده شده است.

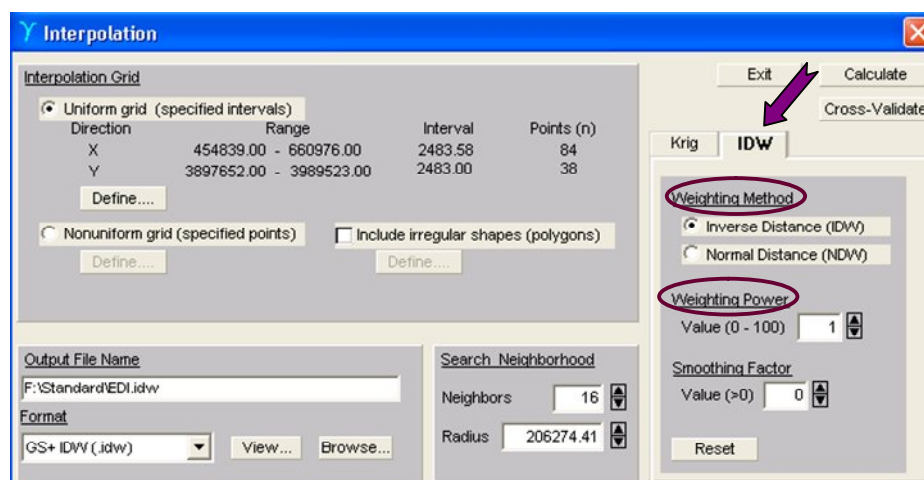
X-Coordinate	Y-Coordinate	Z-Estimate	EstStdDev	n
454839.00	3897652.00	-0.336	0.937	16
454839.00	3900135.00	-0.312	0.928	16
454839.00	3902618.00	-0.288	0.918	16
454839.00	3905101.00	-0.264	0.907	16
454839.00	3907584.00	-0.239	0.895	16
454839.00	3910067.00	-0.214	0.882	16
454839.00	3912550.00	-0.208	0.869	16
454839.00	3915033.00	-0.182	0.855	16

شکل پ.۴-۱۲- یک نمونه فایل Grid

روش درونیابی عکس فاصله وزنی

در روش IDW می بایست دو پارامتر تعداد نقاط همسایگی و توان بهینه گردد. از آنجایی که بسیاری از مراحل محاسباتی در این روش مانند روش کریجینگ است لذا مراحل به اختصار بیان شده است

- ۱- انتخاب نوع روش وزن دهی در قسمت Weighting Method
- ۲- وارد نمودن توان مورد نظر در قسمت Weighting Power
- ۳- همانند روش کریجینگ در قسمت Search Neighborhood تعداد نقاط همسایگی و شعاع تاثیر وارد می گردد.
- ۴- تعیین نام فایل خروجی، مسیر ذخیره آن و نوع فرمت آن
- ۵- محاسبه میزان دقت روش از طریق Cross-Validation
- ۶- کلیک Calculation به منظور ترسیم نقشه و ذخیره آن در مسیر مرحله ۴

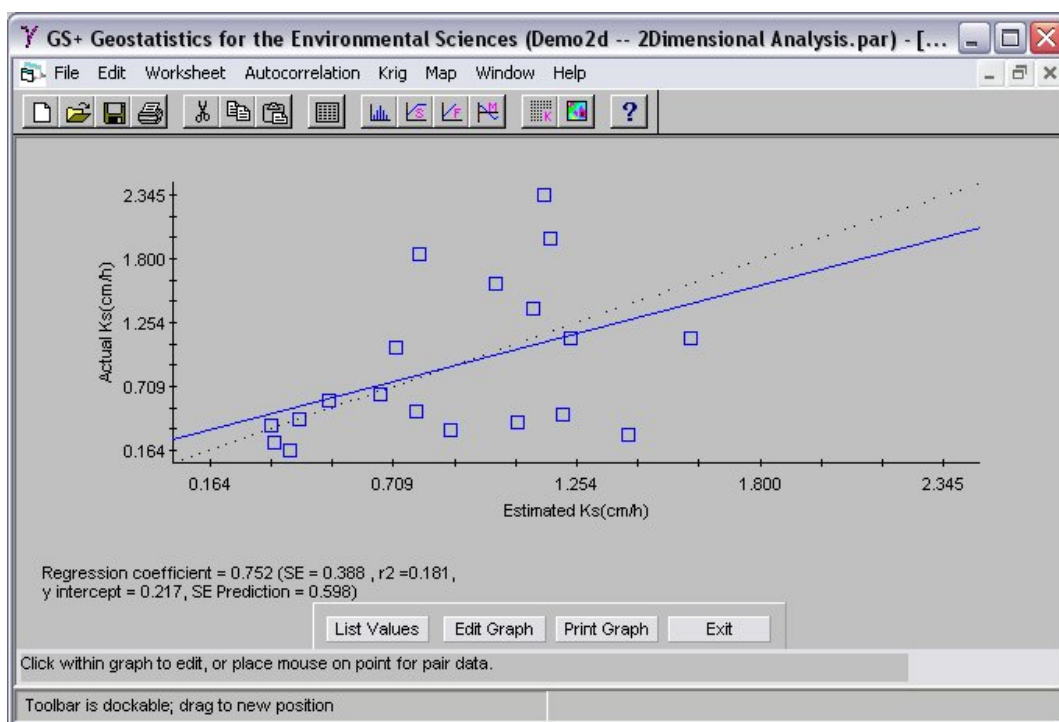


شکل پ.۴-۱۳- پنجره روش درونیابی عکس فاصله وزنی IDW در نرم افزار GS+

گام پنجم: ارزیابی روش ها و پارامترها

یکی از ویژگی های نرم افزار GS+ قابلیت انجام Cross Validation می باشد که آیکون مربوطه در پنجره روش های تحلیل مکانی قرار دارد.

با کلیک بر روی Cross Validation در گام قبل نمودار شکل (پ.۴-۱۴) ظاهر می شود که در آن مقادیر تخمینی (پس از حذف نقطه) در مقابل مقادیر واقعی ترسیم شده اند. با کلیک بر روی List Values جدولی از مقادیر برآورده شده نقاط به همراه مقادیر واقعی توسط نرم افزار ارائه می شوند. از طریق آیکون Copy امکان انتقال این جدول به نرم افزارهای دیگر وجود دارد. در این زمان می توان با محاسبه هر یک از معیارهای خطا، روش ها و یا پارامترها را مورد ارزیابی قرار داد.



شکل پ.۴-۱۴ - پنجره مربوط به Cross Validation

گام ششم: ترسیم نقشه

توسط آیکون Map در منوی اصلی می‌توان نقشه ترسیمی توسط روش‌ها را مشاهده کرد. در شکل (پ.۴-۱۵) این مسیر نشان داده شده است. از آنجایی که این نرم‌افزار در ارائه نقشه نهایی از توانایی بالایی همچون نرم‌افزارهای GIS برخوردار نیست لذا می‌توان فایل Grid آن را در قالب یک فایل ASCII در نرم‌افزارهای دیگری وارد نمود و سپس نقشه نهایی را ترسیم کرد.

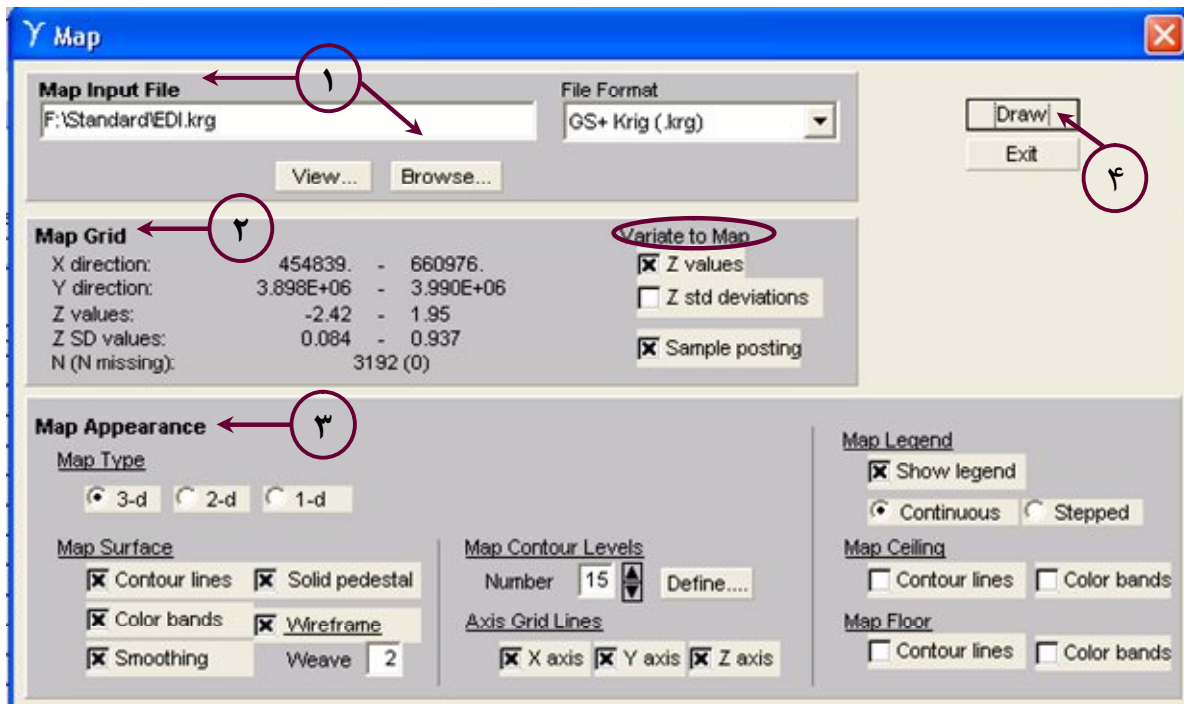


شکل پ.۴-۱۵ - مسیر ترسیم نقشه

در ادامه مرحله‌ای که در پنجره Map برای مشاهده نقشه طی می‌گردد، ذکر شده است (شکل پ.۴-۱۶).
از طریق Browse فایل مورد نظر انتخاب می‌گردد. در این قسمت نیز امکان مشاهده فایل Grid از طریق View وجود دارد.
۷- در قسمت Map Grid امکان تهیه و مشاهده دو نوع نقشه وجود دارد:

- نقشه مقادیر متغیر مورد بررسی^۱
- نقشه خطای تخمین^۲

- در هر یک از دو نقشه با انتخاب Sample posting داده‌های ورودی بر روی نقشه قرار خواهد گرفت.
- ۸- در قسمت Map Appearance قابلیت‌های مختلفی برای نمایش نقشه خروجی وجود دارد که عبارت اند از: امکان ترسیم نقشه ۲ بعدی، ۳ بعدی با فواصل مختلف خطوط تراز، تعریف فواصل خطوط تراز توسط کاربر، اضافه کردن خطوط تراز و یا باندها در رو یا زیر نقشه سه بعدی
- ۹- کلیک بر روی Draw برای نمایش نقشه



شکل پ.۴-۱۶- مراحل کار در پنجره Map

- ۱۰- با کلیک بر روی Draw پنجره‌ای با عنوان Map Image که حاوی نقشه مورد نظر است، ظاهر می‌گردد. در این قسمت می‌توان نمایش نقشه را به صورت ۳ بعدی (3-d) در قسمت Map Appearance از پنجره مرحله قبل (Map)، و به صورت دو بعدی (2-d) انتخاب و مشاهده نمود.
- ۱۱- در قسمت Mouse Action با انتخاب هر یک از گزینه‌ها و با نگه داشتن موس بر روی نقشه امکان چرخش، حرکت، بزرگ و کوچک کردن نقشه وجود دارد. برای برگشت به حالت اولیه می‌توان Reset را کلیک نمود. موقعیت هر نقطه روی نقشه که موس روی آن قرار دارد با مقدار متغیر متناظر با آن نقطه در قسمت Mouse Location مشخص است. برای ویرایش نقشه خروجی می‌توان از طریق Edit Graph و سپس در پنجره Graph Setting تغییرات مورد نظر را اعمال نمود.

پیوست ۵

تحلیل‌گر زمین آماری در نرم‌افزار

ArcGIS

تحلیل‌گر زمین آماری یک Extension جدید در نرم‌افزار ArcGIS است که در نرم‌افزارهای ArcView، ArcEditor، ArcInfo قابل استفاده می‌باشد. این Extension یک محیط پویا و دینامیک به همراه ابزارهای مختلف به منظور کشف همبستگی داده‌های مکانی، تشخیص داده‌های پرت، ارزیابی خطا در مدل‌های پیش‌بینی، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و ایجاد نقشه مطلوب و بهینه را در اختیار کاربر قرار دهد. این تحلیل‌گر توانایی ارائه نقشه‌های متفاوتی نظیر نقشه‌های پیش‌بینی^۱، خطای پیش‌بینی^۲، احتمالاتی^۳، چارک^۴ و مانند آنها را دارد. نقشه‌های خروجی می‌تواند در قالب شبکه سلولی^۵، خطوط تراز^۶، filled contours و hillshades و یا به صورت ترکیبی از موارد فوق ارائه گردد.

– مراحل کار در منوی تحلیل‌گر زمین آماری

مدول Geostatistical analyse به عنوان یک Extension باید به صورت جداگانه در محیط ArcGIS وارد شود. بدین منظور ابتدا مسیر Tools > Extensions را در محیط ArcMap انتخاب نموده و با کلیک روی Close این پنجره را می‌بندیم. سپس از طریق مسیر Tools > Customize > Toolbars مجدداً این مدول را انتخاب نموده که در این صورت با بستن این پنجره مدول Geostatistical analyse در جعبه ابزار صفحه نمایش اصلی ArcMap ظاهر خواهد شد. این آیکون شامل دو قسمت Explore Data و Geostatistical Wizard می‌باشد که در بخش‌های بعدی بیش‌تر تشریح می‌گردد.

ایجاد یک سطح درون‌یابی بهینه در تحلیل‌گر زمین آماری براساس چهار مرحله اصلی صورت می‌پذیرد:

- ارائه و نمایش داده‌ها^۷
- تجزیه و تحلیل داده‌ها^۸
- برازش مدل‌ها^۹
- ارزیابی روش‌ها^{۱۰}

– ارائه و نمایش داده‌ها

این گام اولین مرحله در ارزیابی و اعتبار داده‌ها است. با تصویر کردن اطلاعاتی از جمله ارتفاعها، رودها، و لایه‌های دیگر به همراه لایه نقطه‌ای متغیر مورد بررسی می‌توان عوامل خارجی را که ممکن است در توزیع داده‌ها نقشی داشته باشند، استخراج نمود.

• گام اول: ورود داده‌ها در محیط ArcMap

داده‌های مورد نظر جهت استفاده در تحلیل‌گر زمین آماری باید در قالب یک لایه^{۱۱} از نوع نقطه‌ای^{۱۲} و با فرمت Shape در محیط ArcMap وارد گردد. لازم به ذکر است که این Shapefile می‌تواند دارای توصیف‌های^{۱۳} مختلفی از نقاط اندازه‌گیری

-
- 1- Prediction
 - 2- Error Predictions
 - 3- Probability
 - 4- Quantile
 - 5- Grids
 - 6- Contour
 - 7- Represent the data
 - 8- Explore the data
 - 9- Fit a model
 - 10- Perform diagnostics
 - 11- Layer
 - 12- Point
 - 13- Attribute

نظیر بارندگی و یا مقادیر دما در ماه‌ها و یا روزهای مختلف باشد. لذا باید دقت نمود که براساس کدام یک از ویژگی‌ها محاسبات صورت می‌پذیرد.

• گام دوم: تجزیه و تحلیل داده‌ها

محیط Explore Data به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در این نرم‌افزار تعبیه شده است. ابزارهای مختلفی جهت تعیین تابع توزیع داده‌ها، روند، همبستگی داده‌ها و همچنین جستجوی نقاط پرت در این قسمت وجود دارد که می‌تواند در تشخیص روش درون‌یابی مناسب برای داده‌ها بسیار موثر باشند.

ارائه نتایج در محیط Explore Data به صورت انتخابی و آنی می‌باشد. داده‌های انتخاب شده در این قسمت در محیط ArcMap به صورت خودکار انتخاب می‌شود که این قابلیت توانایی بی نظیری را در تجزیه و تحلیل داده‌ها در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در ادامه ابزارهایی که کاربرد بیش‌تری دارند تشریح شده است.

• گام سوم: ارزیابی توزیع داده‌ها

روش‌های درون‌یابی معمولاً در صورتی که داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند، نتایج بهتری ارائه می‌کنند. یکی از ابزارهای موجود در تحلیل‌گر زمین‌آماری برای تشخیص توزیع داده‌ها هیستوگرام می‌باشد. برای ترسیم هیستوگرام داده‌های مورد نظر و بررسی توزیع آن بدین ترتیب عمل می‌کنیم:

- ۱- از طریق منوی Geostatistical analyse و انتخاب Explore Data منویی از ابزارهای آماری ظاهر می‌گردد که هیستوگرام اولین آن می‌باشد. با کلیک بر روی آن هیستوگرام داده‌ها نمایش داده می‌شود (شکل پ. ۵-۱).
- ۲- در قسمت Layer باید نام لایه‌ای که مد نظر می‌باشد از لیستی که در کنار نوار مربوطه ظاهر خواهد شد، انتخاب شود.
- ۳- در قسمت Attribute نیز باید ویژگی مورد نظر از لایه انتخابی در مرحله ۲ و براساس لیست ارائه شده در کنار نوار انتخاب شود.
- ۴- تعداد ستون‌های هیستوگرام را می‌توان در قسمت Bars تغییر داد.
- ۵- خصوصیات آماری ویژگی مورد نظر نظیر میانگین، میانه، حداقل، حداکثر و غیره نیز در این قسمت ارائه می‌گردد که می‌توان برای بررسی شرایط نرمال بودن از دو پارامتر Skewness و Kurtosis استفاده نمود.
- ۶- در صورت غیر نرمال بودن توزیع داده‌ها، نرم‌افزار دو تبدیل log و Box-Cox را در قسمت Transformation برای تبدیل توزیع داده‌ها به توزیع نرمال را در اختیار کاربر قرار داده است.
- ۷- با کلیک بر روی Add to Layout می‌توان از این هیستوگرام در نقشه خروجی استفاده نمود و یا از آن پرینت گرفت.



شکل پ. ۵- ۱- مسیر ترسیم هیستوگرام

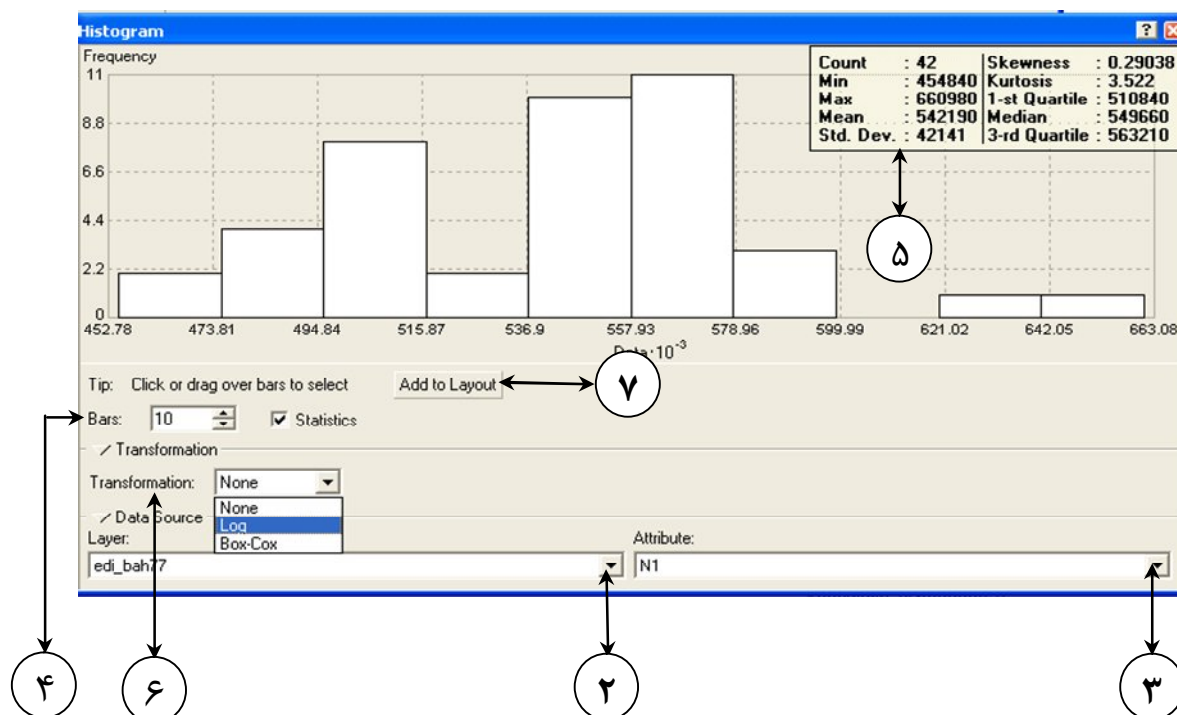
کلیه مراحل فوق در شکل (پ.۵-۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در صورت انتخاب هر یک از ستون‌های هیستوگرام، در محیط اصلی ArcMap که در آن داده‌ها به صورت مجموعه‌ای از نقاط نمایش داده می‌شوند، نقاطی که مقادیر آنها در دامنه اعداد ستون انتخاب شده قرار می‌گیرند، مشخص خواهد شد. این قابلیت می‌تواند برای کاربر مفید باشد.

در منوی Explore Data ابزار دیگری نیز با عنوان نمودار QQ نرمال^۱ برای بررسی توزیع داده‌ها وجود دارد. براساس مسیر Geostatistical analyse > Explore Data > Normal QQPlot از آنجایی که موارد ۲، ۳، ۶ و ۷ از قسمت هیستوگرام برای این نمودار نیز صادق می‌باشد، از تشریح بیش‌تر این گزینه صرفه نظر شد. شکل (پ.۵-۳) نمودار QQ نرمال ویژگی N1 از لایه انتخابی را نشان می‌دهد.

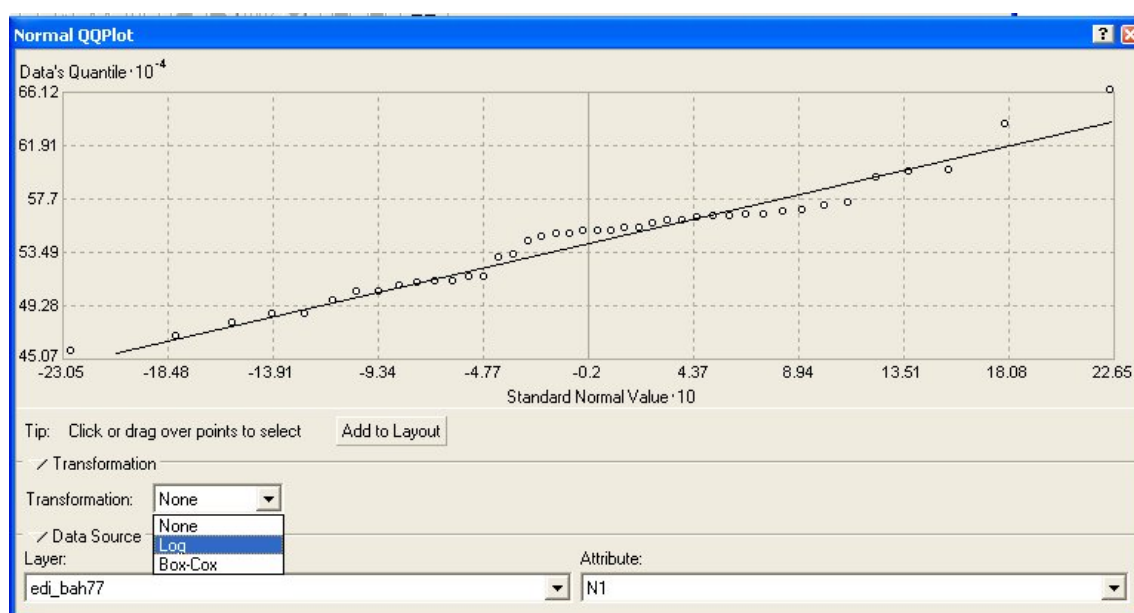
• گام چهارم: بررسی روند

روند به عنوان یک جزء غیرتصادفی و قطعی در داده‌ها می‌تواند توسط برخی از فرمول‌های ریاضی در محاسبات مربوط به تحلیل مکانی در نظر گرفته شود. به عنوان مثال یک شیب ملایم را می‌توان توسط یک صفحه و یک دره را می‌توان با یک چند جمله‌ای درجه دو به شکل U جایگزین کرد. ابزار بررسی روند^۲ یک نمودار سه بعدی از داده‌ها و رگرسیونی از آنها را در صفحات XZ و YZ براساس ویژگی مورد بررسی ترسیم می‌نماید که بر این اساس می‌توان روند را در راستاهای X و Y نشان داد. در این نمودار می‌توان هرگونه روند بزرگ مقیاس را مشاهده نمود که در صورت لزوم کاربر می‌تواند قبل از ادامه محاسبات آن را حذف نماید.

1- Normal QQPlot
2- Trend Analysis



شکل پ.۵-۲- مراحل کار در ابزار هیستوگرام



شکل پ.۵-۳- نمونه‌ای از یک نمودار QQ نرمال

- ۱- از جعبه ابزار منوی Explore Data.Geostatistical analyse را انتخاب و سپس از پنجره باز شده، ابزار بررسی روند را کلیک نموده تا نمودار سه بعدی شکل (پ.۵-۳) ظاهر گردد.
- ۲- همانند مرحله ۲ هیستوگرام باید دقت کرد تا لایه مورد نظر در این قسمت Layer انتخاب شود.
- ۳- محاسبات در این نمودار براساس ویژگی مورد نظر (Attribute) از لایه انتخابی صورت می‌گیرد.
- ۴- در قسمت Graph Options می‌توان نمودار را به دلخواه تغییر داد.

۵- با چرخاندن نوارهای تعبیه شده در این قسمت می‌توان نمودار را از زوایای مختلفی مشاهده نمود.

۶- از این گراف نیز می‌توان از طریق Add to Layout خروجی تهیه کرد.

در گراف ترسیم شده هر میله عمودی نماینده موقعیت داده‌های نمونه‌برداری است که ارتفاع هر میله بیانگر کمیت متغیر اندازه‌گیری در این نقاط می‌باشد. این نقاط بر روی صفحات عمودی شرقی- غربی و شمالی- جنوبی تصویر شده و سپس بهترین خط (چند جمله‌ای) قابل برازش بر این نقاط ترسیم می‌شود. در صورتی که این خط مسطح و ثابت باشد بیانگر عدم وجود روند در راستای مورد بررسی می‌باشد. در شکل (پ.۵-۴) خط روند راستای شرقی- غربی و شمال- جنوبی که در صفحات XZ و YZ ترسیم می‌گردد، نشان داده شده است.

• گام پنجم: نیم‌تغییرنما

ابر نقاط نیم‌تغییرنما/ کوواریانس امکان بررسی همبستگی مکانی بین داده‌های اندازه‌گیری شده را می‌دهد. در همبستگی مکانی فرض بر این است که نقاطی که به یکدیگر نزدیک‌تر هستند دارای مقادیر مشابهی می‌باشند. برای محاسبه و رسم تغییرنما مراحل زیر باید انجام گیرد.

۱- انتخاب Geostatistical analyst > Explore Data از مسیر semivariogram/Covariance Cloud

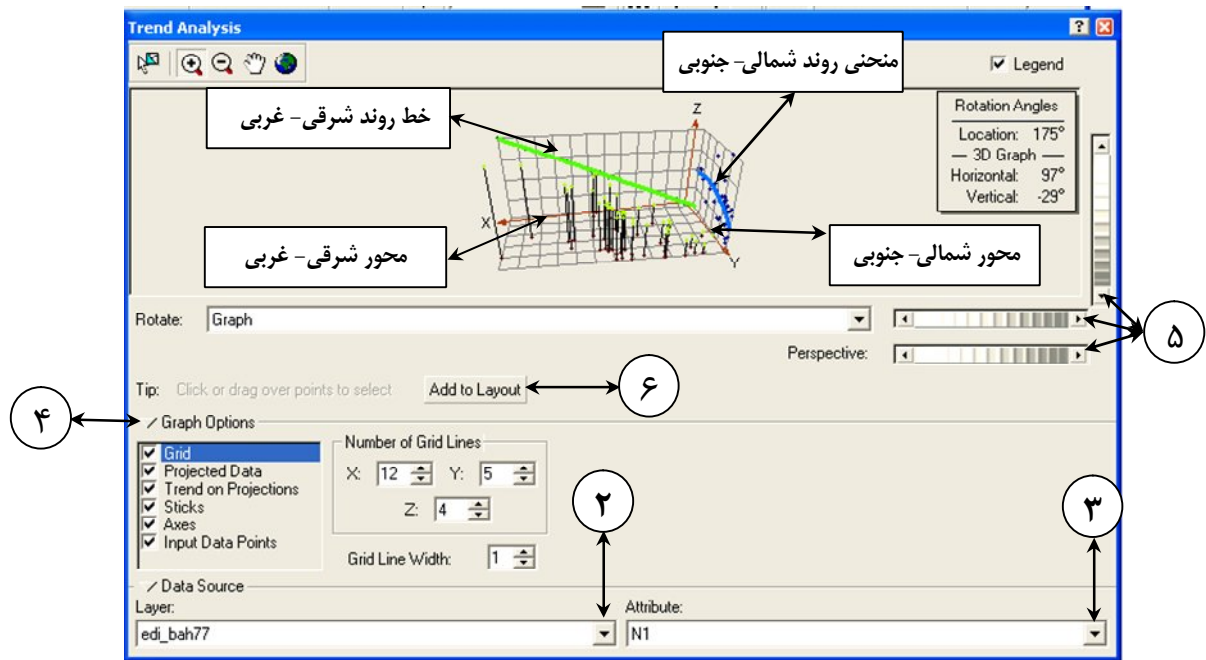
۲- انتخاب لایه مورد نظر از لیست انتهای نوار Layer

۳- انتخاب ویژگی مورد بررسی از لایه فوق براساس لیست انتهای نوار Attribute

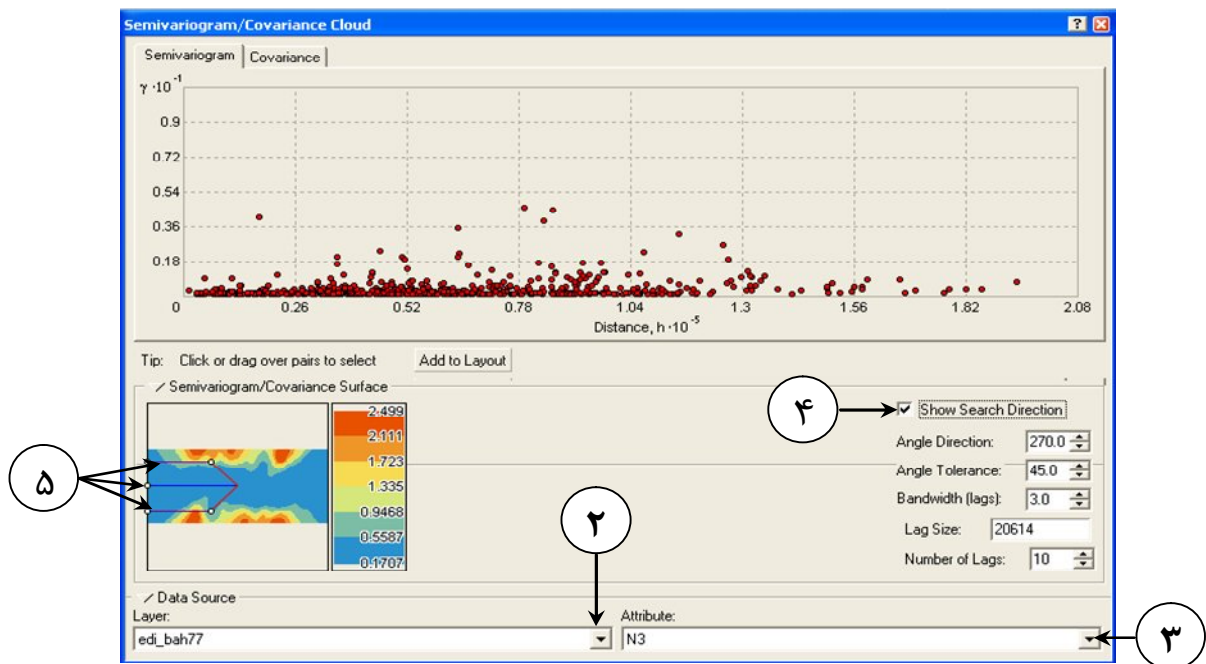
۴- Show Search direction را کلیک کنید

۵- روی هر یک از نشانه‌گرهای راستا کلیک کنید. با نگه داشتن کلیک می‌توانید زوایا را تغییر دهید. با تغییر زاویه، ابر نقاط نیم‌تغییرنما نیز تغییر خواهد کرد. نشانگر هر زاویه را که نشان دهد مشخص خواهد شد که چه جفت نقاطی در تغییرنما شرکت می‌کنند. به عنوان مثال در راستای شرقی- غربی تنها نقاطی که در راستای شرقی و یا غربی یکدیگر واقع شده‌اند می‌توانند با یکدیگر جفت شده و در ابر نقاط نیم‌تغییرنما شرکت کنند. این قابلیت به کاربر اجازه خواهد داد جفت نقاطی که در شرایط مطلوبی از نظر همبستگی مکانی نیستند، حذف شود و تنها به بررسی نقاط که تحت تاثیر راستا هستند، پرداخته شود. در شکل (پ.۵-۵) مراحل فوق نشان داده شده است.

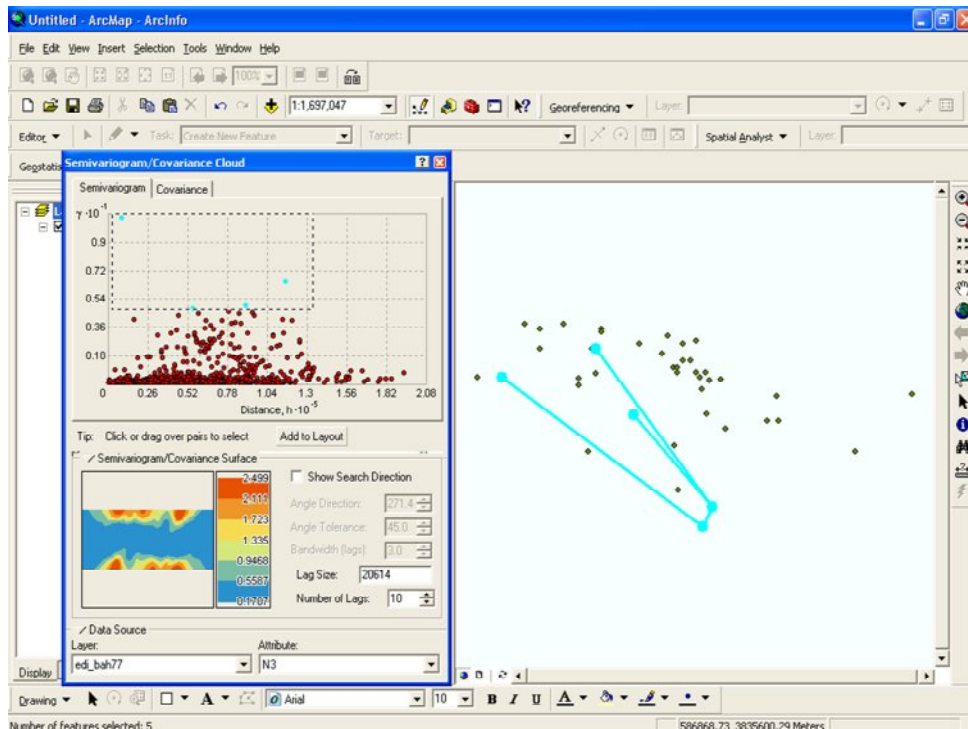
۶- روی نمودار کلیک کرده و در حین فشار دکمه چپ موس آن را روی نمودار حرکت دهید. با این عمل می‌توان محدوده‌ای را روی نمودار انتخاب کرد که شامل یک و یا چند نقطه باشد. در این صورت زوج نقطه‌ای (نقاطی) که مقادیر انتخابی را در نیم‌تغییرنما به وجود آورده‌اند، در محیط اصلی ArcMap مشخص خواهد شد. زوج نقطه (نقاط) مذکور توسط خط به یکدیگر متصل می‌باشند (شکل پ.۵-۶). در صورتی که در کلیه مراحل فوق بخواهید نقاط را از حالت انتخاب^۱ خارج کنید در منوی اصلی مسیر selection>clear selection feature را طی کنید تا نقاط و عوارض انتخابی از این حالت خارج شوند (شکل پ.۵-۷).



شکل پ.۵-۴- ابزار بررسی روند



شکل پ.۵-۵- ابزار نیم تغییرنما/کوواریانس



شکل پ.۵-۶- زوج نقاط در نیم تغییرنا و محیط نمایش ArcMap



شکل پ.۵-۷- حذف حالت انتخاب

– بررسی روش‌های درونیابی

بعد از اینکه کاربر داده‌های مورد نظر را در محیط ArcGIS وارد نمود و سپس در Explore Data آنها را از لحاظ خصوصیات آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار داد، تحلیل‌گر زمین آماری در قسمت Wizard محیطی را جهت تسریع نمودن مراحل تحلیل مکانی

در اختیار وی قرار خواهد داد. این محیط گسترده شامل روش‌های متفاوت درون‌یابی جهت ایجاد سطوح و نقشه‌های مورد نظر می‌باشد که می‌توان به دو گروه اصلی قطعی^۱ و زمین آماری^۲، تقسیم نمود. چهار روش معکوس وزنی فاصله، چند جمله‌ای فراگیر^۳، چندجمله‌ای موضعی^۴ و توابع شعاعی جزء روش‌های قطعی تحلیل‌گر زمین آماری می‌باشند. در تحلیل‌گر زمین آماری قابلیت ترسیم نقشه با استفاده از انواع مختلف کریجینگ و کوکریجینگ وجود دارد. در این گروه از روش‌های درون‌یابی بر خلاف روش‌های قطعی می‌توان خروجی‌های متفاوتی را استخراج نمود. در جدول (پ.۵-۱) الگوریتم‌های مختلف این دو روش و انواع سطوح خروجی از هر یک از آنها را نشان می‌دهد.

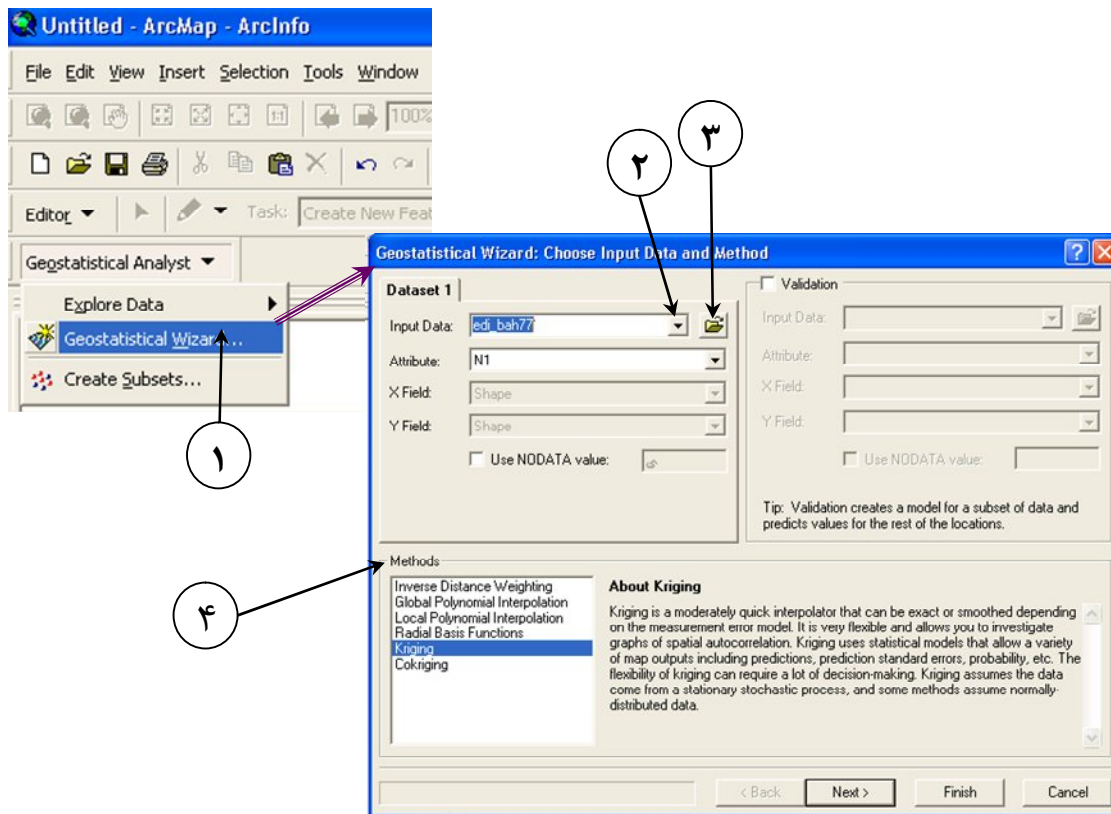
• گام ششم: انتخاب داده‌های ورودی و روش درون‌یابی

۱- در جعبه ابزار منوی Geostatistical analyse را انتخاب و سپس Geostatistical Wizard را کلیک نموده تا پنجره Choose Input Data and Method باز گردد (شکل پ.۵-۸).

جدول پ.۵-۱- انواع روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و نقشه‌های قابل استخراج از آنها

خطاهای استاندارد شاخص‌ها ^۹	نقشه احتمالاتی ^۸	نقشه چارک ^۷	خطاهای پیش‌بینی استاندارد ^۶ (عدم قطعیت)	پیش‌بینی ^۵	کریجینگ و کوکریجینگ
	X	X	X	X	معمولی
	X	X	X	X	عمومی
	X	X	X	X	ساده ^{۱۰}
X	X				شاخص ^{۱۱}
X	X				احتمالاتی ^{۱۲}
X	X		X	X	Disjunctive

- 1- Deterministic
- 2- Geostatistical
- 3- Global Polynomial
- 4- Local Polynomial
- 5- Predictions
- 6- Prediction Standard Errors
- 7- Quantile maps
- 8- Probability maps
- 9- Standard Errors of Indicators
- 10- Simple
- 11- Indicator
- 12- Probability



شکل پ.۵-۸- مراحل گام ششم برای انتخاب داده ورودی

۲- در قسمت Input Data روی انتهای نوار کلیک کرده تا لایه مورد نظر از لیست ظاهر شده انتخاب شود.

۳- در قسمت Attribute نیز همانند مرحله قبل عمل شود تا متغیر مورد بررسی از لایه فوق در این نوار ظاهر گردد.

۴- در منوی Methods روش مورد نظر را انتخاب نموده و با کلیک Next وارد مرحله بعد می‌شویم.

پنجره‌ای که در این زمان باز می‌شود بسته به روش انتخابی متغیر خواهد بود. در صورتی که یکی از روش‌های قطعی درون‌یابی انتخاب شود، دو مرحله میانی تا استخراج نقشه نهایی وجود دارد. اما در روش‌های زمین آماری استخراج نقشه شامل چهار مرحله خواهد بود. لذا ادامه مراحل فوق در گام ترسیم نقشه در بخش‌های جداگانه بسته به روش انتخابی در ذیل تشریح شده است. لازم به ذکر است که مرحله آخر در تمام روش‌ها Cross Validation بوده که برای جلوگیری از تکرار آن در بخش اجرای واسنجی ذکر می‌گردد. در ادامه، از میان روش‌های قطعی دو روش IDW و RBF که بیش‌ترین کاربرد را دارند که تشریح خواهند شد.

• گام هفتم: تعیین پارامترهای روش‌های مختلف درون‌یابی

الف- مراحل تهیه نقشه با روش‌های قطعی درون‌یابی

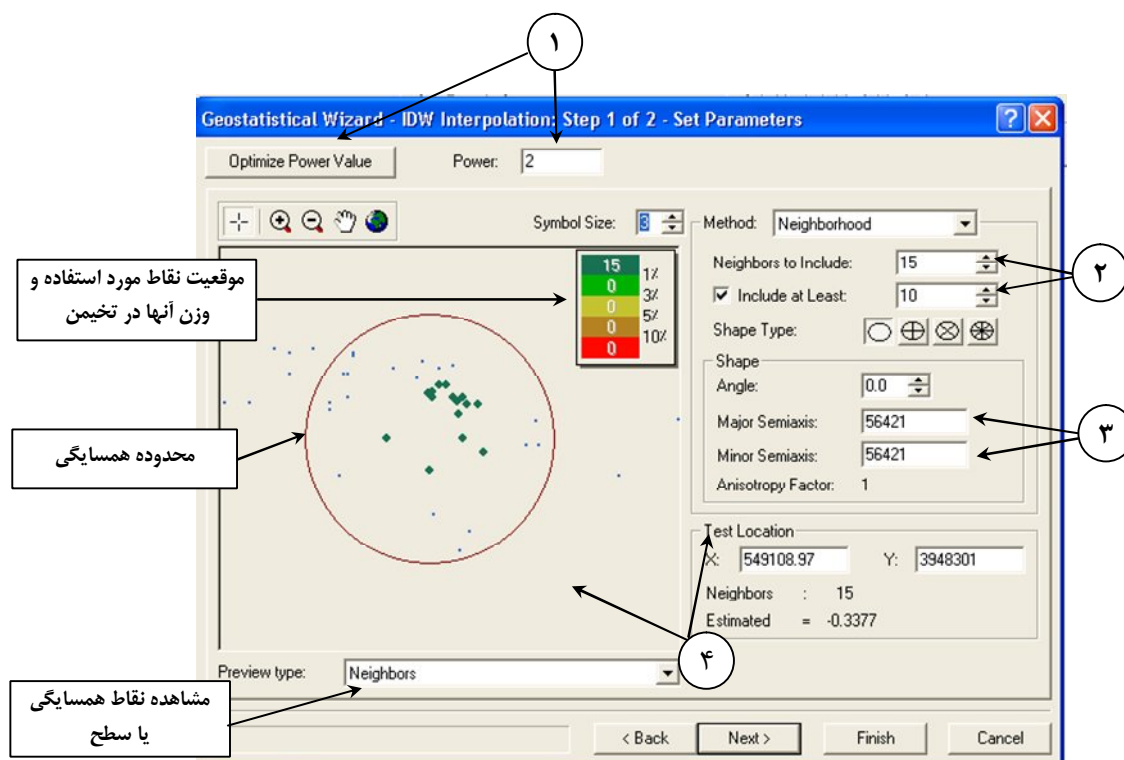
در صورت انتخاب روش‌های قطعی با کلیک Next پنجره Choose Input Data and Method مرحله بعدی با عنوان Set Parameter

ظاهر خواهد شد. پارامترهای روش IDW شامل توان، تعداد نقاط همسایگی و شعاع همسایگی می‌باشد (شکل پ.۵-۹).

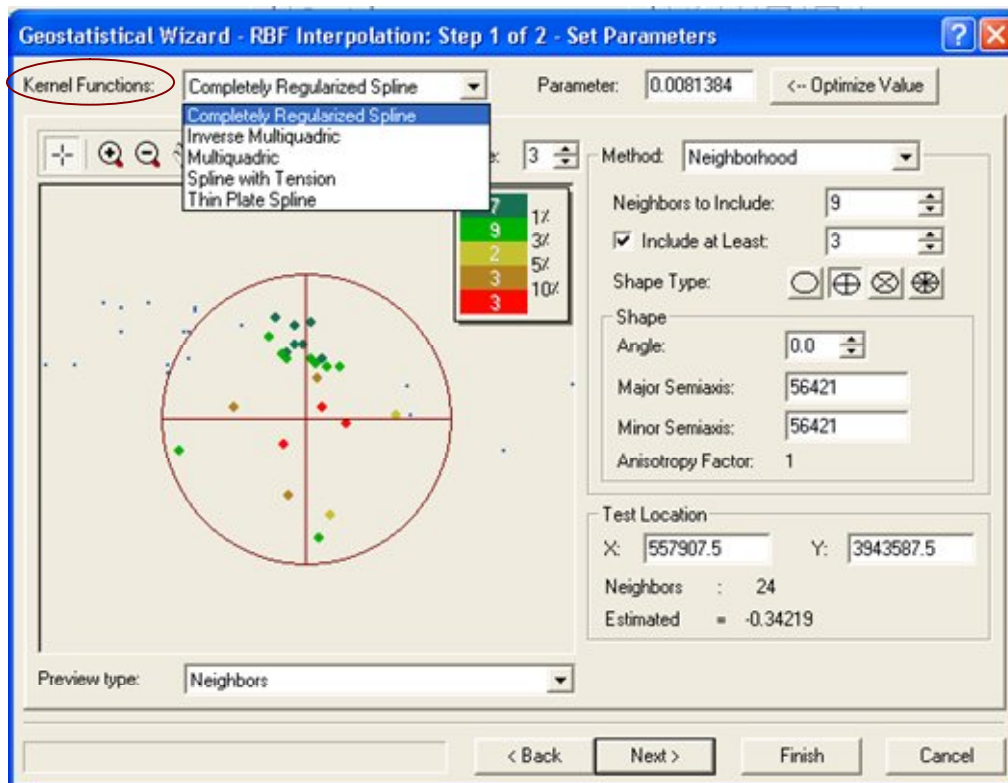
۱- توان مورد نظر را می‌توان در قسمت Power وارد نمود. همچنین با کلیک بر روی Optimize Power Value نیز

امکان محاسبه توان بهینه توسط خود نرم‌افزار وجود دارد.

- ۲- تعداد نقاط همسایگی برای محاسبه مقادیر مجهول در قسمت Neighbors to include وارد می‌گردد که در قسمت ذیل آن در صورت فعال بودن Include at Least، می‌توان حداقل تعداد نقاط را جهت تخمین وارد نماییم.
- ۳- شکل محدوده همسایگی نیز به صورت دایره یا بیضی می‌تواند در Shape مشخص و شعاع آن تغییر داده می‌شود. در قسمت Angle می‌توان تاثیرات راستا را در محاسبات وارد نمود. شعاع و زاویه همبستگی مکانی پارامترهایی هستند که از نیم‌تغییرنما در قسمت Explore Data مشخص می‌شود.
- ۴- در صورت کلیک روی هر نقطه از صفحه نمایش نقاط مختصات نقطه کلیک شده و مقدار تخمینی آن در قسمت Test Location نشان داده می‌شود. در این زمان مرکز دایره (بیضی) محدوده همسایگی به نقطه فوق منتقل خواهد شد. با کلیک Next مرحله بعدی یعنی Cross Validation فعال خواهد شد که در آن روش IDW با پارامترهای تعیین شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مرحله بعداً مفصل تشریح خواهد شد.
- در صورت انتخاب روش RBF، ابتدا یکی از توابع لیست انتهای نوار Kernel Function با کلیک (شکل پ. ۵-۱۰) انتخاب می‌شود. سپس سایر مراحل همانند مراحل روش IDW می‌باشد.



شکل پ. ۵-۹- روش IDW و پارامترهای آن

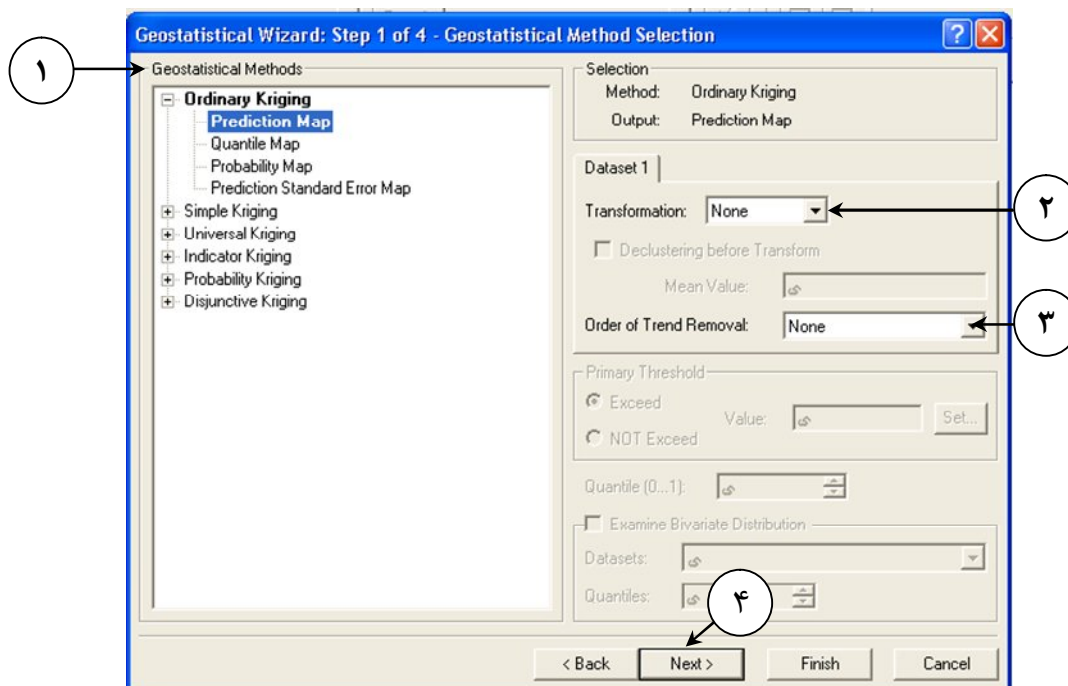


شکل پ.۵-۱۰- روش RBF

ب- مراحل تهیه نقشه در روش‌های زمین آماری

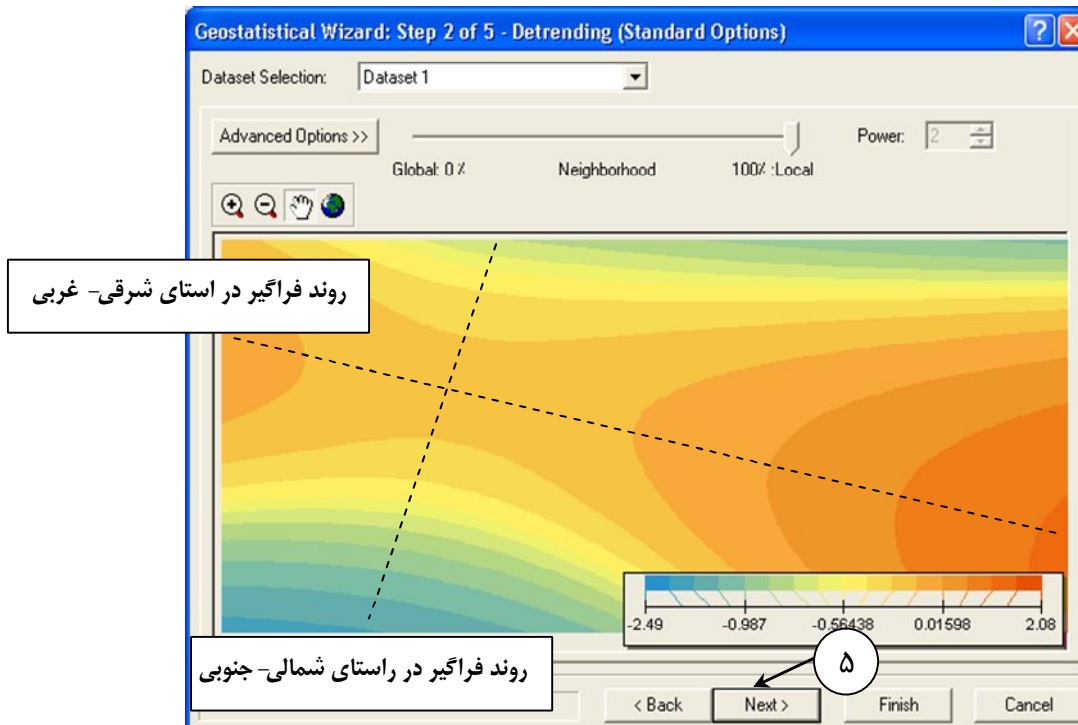
امکان انتخاب دو روش کریجینگ و کوکریجینگ در این قسمت وجود دارد که مراحل هر دو روش مشابه بوده با این تفاوت که مراحل زیر برای روش کریجینگ برای یک متغیر انجام می‌گیرد اما در کوکریجینگ برای دو یا سه متغیر صورت می‌پذیرد. در صورت انتخاب روش کریجینگ در قسمت Choose Input Data and Method ادامه مسیر به شرح زیر خواهد بود (شکل پ.۵-۱۱):

- ۱- با ظاهر شدن پنجره Geostatistical Method Selection در قسمت Geostatistical Methods امکان انتخاب هر یک از انواع روش‌های کریجینگ با خروجی‌های مختلف مطابق جدول (پ.۵-۱) وجود دارد.
- ۲- در این مرحله در صورت غیر نرمال بودن توزیع داده‌ها می‌توان یکی از روش \log و Box-Cox موجود در قسمت Dataset1_Transformation را برای تبدیل توزیع داده‌ها به توزیع نرمال انتخاب نمود.
- ۳- در قسمت Dataset1_Order of Trend Removal پنجره Geostatistical Method Selection می‌بایست در صورت وجود روند مرتبه آن وارد گردد تا تحلیل‌گر زمین آماری محاسبات را با حذف آن انجام داده و در پایان درون‌یابی مقدار روند را مجدداً به نتایج اضافه نماید.



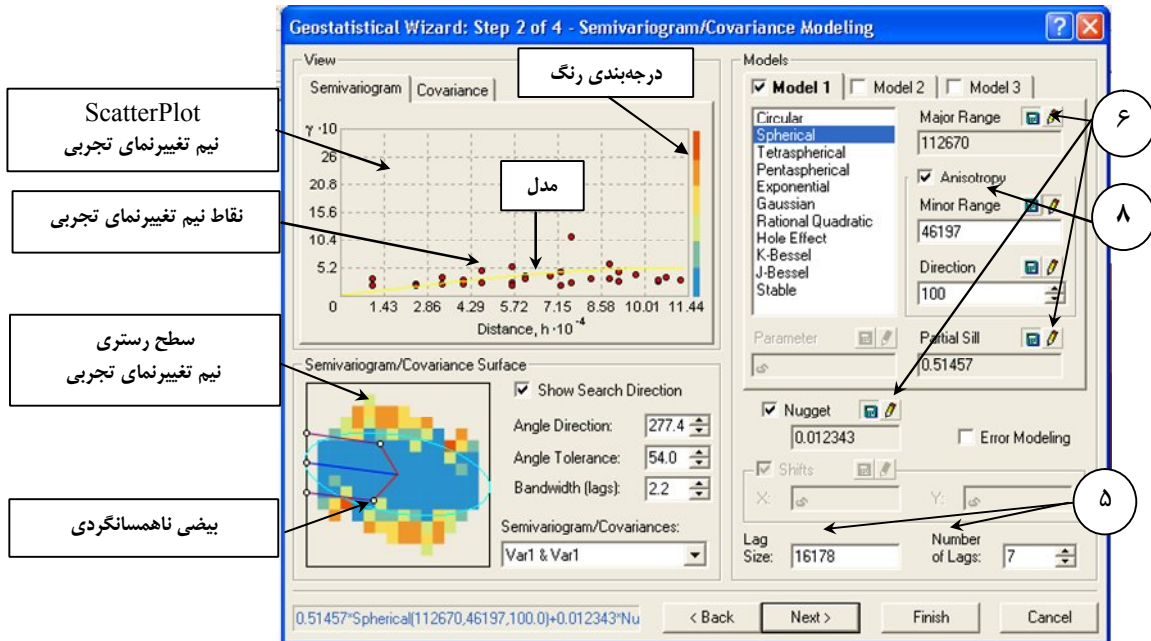
شکل پ.۵-۱۱- مراحل انجام روش کریجینگ

- ۴- در صورت وجود روند مرحله بعد جداسازی روند^۱ می‌باشد. در تحلیل‌گر زمین آماری فرض می‌شود که مجموعه داده‌ها دارای یک روند فراگیر می‌باشند. در شکل (پ.۵-۱۲) نشان می‌دهد که راستای شمالی-جنوبی دارای تغییرات سریع بوده که روند این تغییرات در راستای شرقی-غربی تدریجی می‌باشد.
- ۵- با کلیک Next پنجره‌ای با عنوان Semivariogram/Covariance Modeling جهت برازش بهترین مدل ریاضی بر نیم‌تغییرنمای تجربی ظاهر خواهد شد. در این قسمت امکان مشاهده مقادیر نیم‌تغییرنما هم به صورت نمودار پراکنش (Scatterplot) و هم به صورت شبکه رستری وجود دارد (شکل پ.۵-۱۳). تحلیل‌گر زمین آماری مدل کروی را برای تمام راستاها به عنوان پیش فرض در نظر گرفته و پارامترهای آن را نیز برای یک Lag Size مشخص می‌نماید. در صورت عدم پذیرش پیش فرض، امکان تغییر نوع مدل و پارامترهای آن وجود دارد و حتی می‌توان براساس سه مدل مختلف نیز محاسبات را انجام داد.
- ۶- پارامترهای مدل نظیر دامنه و آستانه با کلیک بر روی آیکون  تغییر داده می‌شود تا به بیش‌ترین برازش با نقاط دست یافت.
- ۷- با فعال نمودن آیکون Show Search Direction راستایی که بیش‌ترین همبستگی مکانی را داراست مشخص می‌شود.
- ۸- بیضی آبی رنگ با فعال کردن آیکون Anisotropy و وارد کردن راستا و دامنه کوچک‌تر تغییر خواهد کرد. در بیضی Anisotropy راستا و محدوده همبستگی مکانی مشخص می‌شود.
- ۹- در این مرحله تعداد نقاط همسایگی تعیین می‌شود (شکل پ.۵-۱۴).

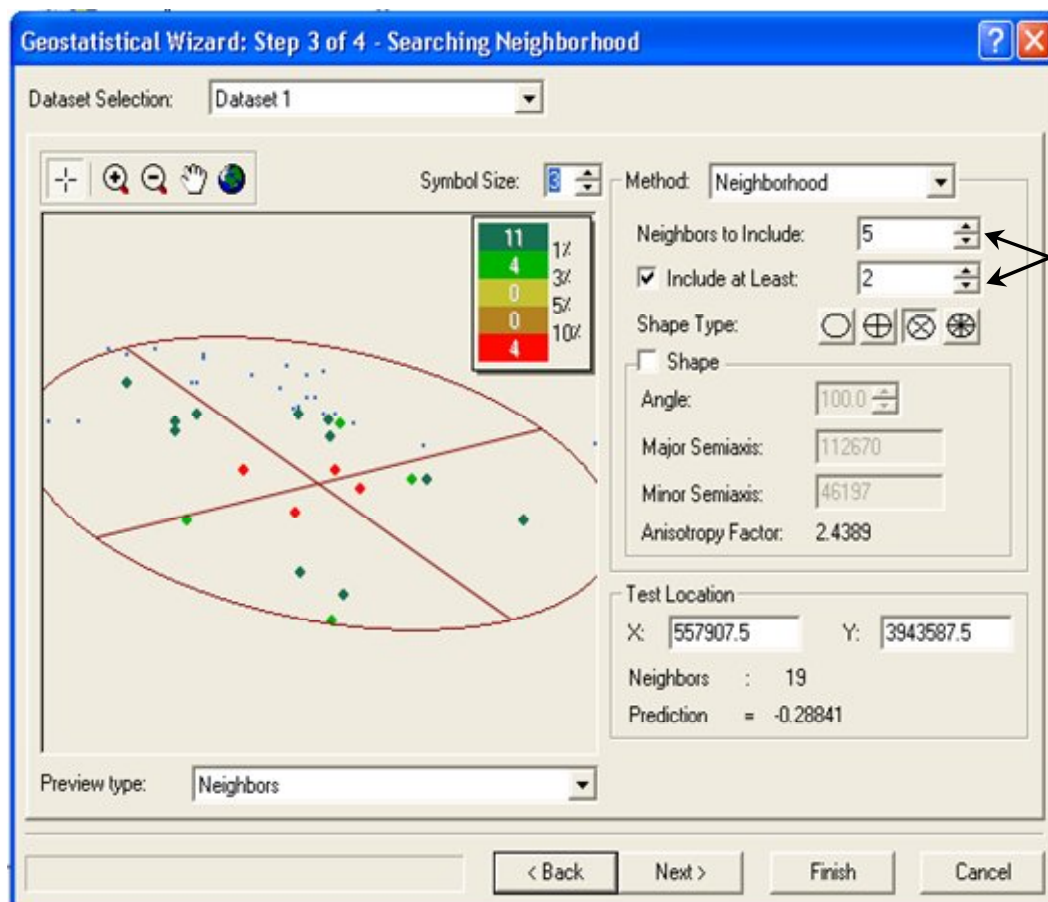


شکل پ.۵-۱۲- بررسی راستای روند

در صورت انتخاب روش کوکریجینگ مراحل فوق باید براساس چندین متغیر تکرار گردد. در شکل (پ.۵-۱۵) بخش‌هایی که از طریق آنها متغیرها انتخاب شده و سپس بررسی‌ها بر روی پارامترهای مربوطه صورت می‌گیرد، مشخص شده است.



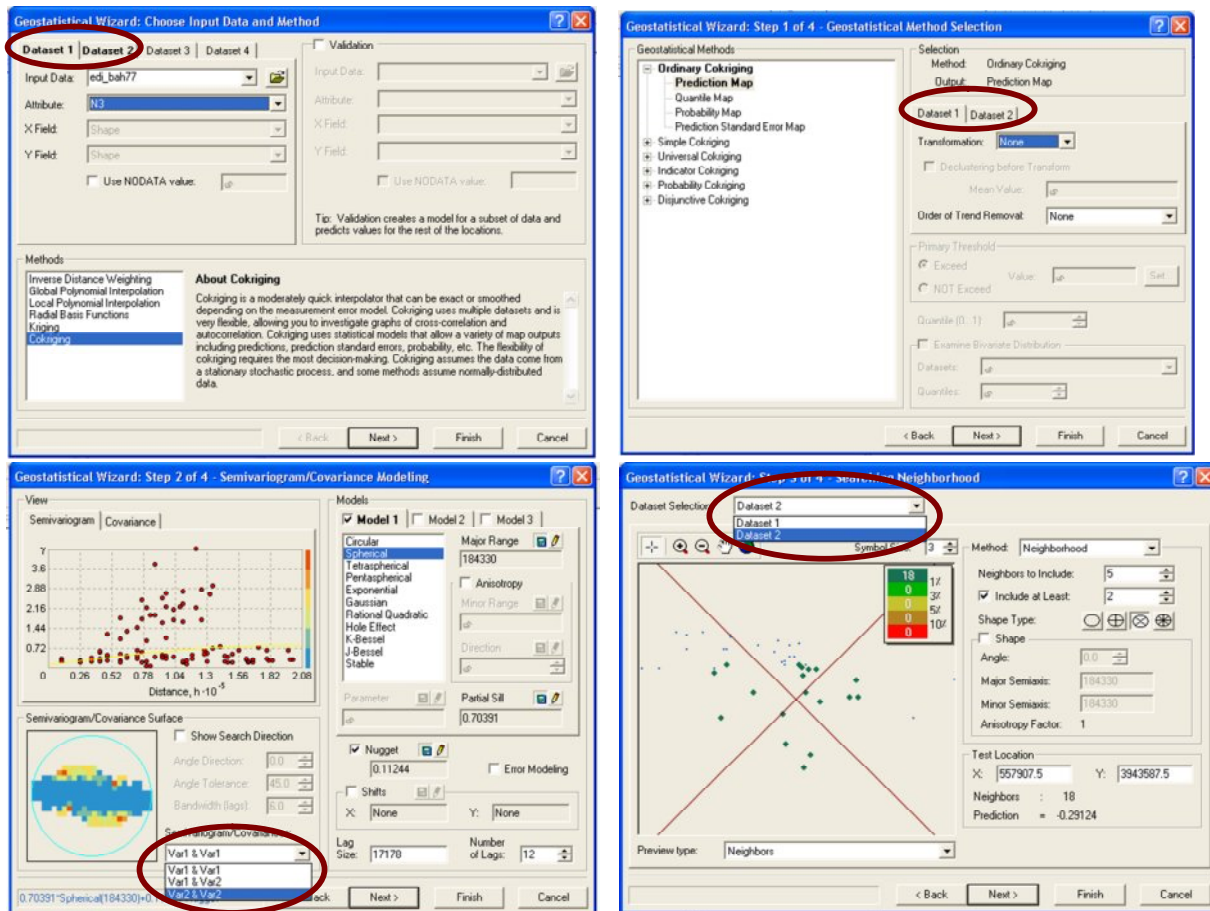
شکل پ.۵-۱۳- نحوه برازش مدل تئوریک به نیم تغییرنمای تجربی



شکل پ.۵-۱۴- محل انتخاب تعداد نقاط همسایگی

- اعتباریابی متقاطع

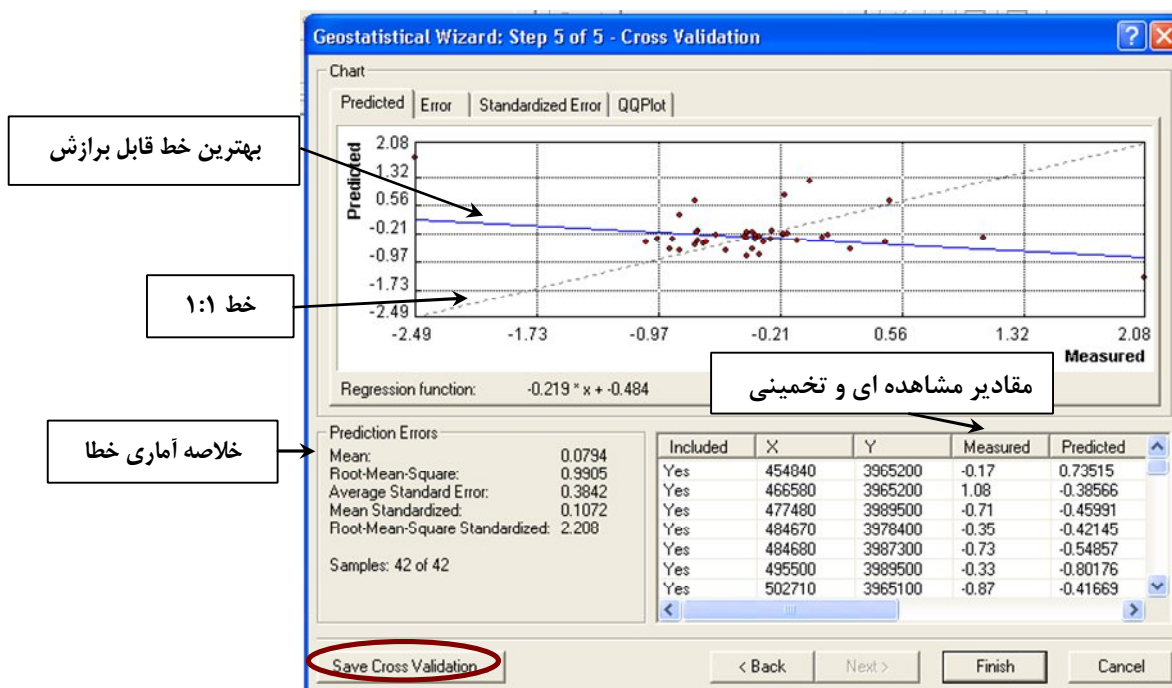
آخرین مرحله در ایجاد نقشه خروجی شامل ارزیابی روش، مدل و پارامترهای مربوطه می‌باشد که در بخش بعدی مفصل بیان خواهد شد. Cross Validation در پاسخ به این سوال که مدل مورد استفاده در برآورد نقاط مجهول تا چه میزان موفق عمل کرده، تنها گزینه‌ای است که توسط تحلیل‌گر زمین آماری در اختیار کاربر گذاشته شده است. از این طریق می‌توان عملکرد چندین مدل و یا پارامترهای مختلف از یک مدل را ارزیابی نمود.



شکل پ.۵-۱۵- نحوه انجام روش کوکریجینگ

در این پنجره نمودار پراکنش نقاطی ارائه می‌گردد که در آن محور X ها مقادیر مشاهده‌ای و محور Y مقادیر تخمینی متناظر را نشان می‌دهد (شکل پ.۵-۱۶). هر چه این نقاط به خط ۱:۱ نزدیک تر باشند دقت مدل مورد بررسی در تخمین بالاتر می‌باشد. در کنار نمایش این نقاط در اطراف خط ۱:۱، برخی از معیارهای آماری نیز برای بررسی عملکرد مدل در قسمت Prediction Errors ارائه می‌شود. Prediction Errors یا خطای تخمین از اختلاف بین مقادیر تخمینی و مقادیر مشاهده‌ای به دست می‌آید. برای اینکه یک مدل دقت خوبی را در تخمین داشته باشد متوسط خطا^۱ نزدیک صفر و ریشه متوسط مجذور خطا^۲ باید تا حد امکان کوچک باشد (این آماره در مقایسه مدل‌های مختلف مفید می‌باشد). همچنین در حالت ایده آل ریشه میانگین مربع خطای استاندارد^۳ آن نزدیک به یک محاسبه می‌شود. پنجره Cross Validation علاوه بر نمایش نمودار پراکنش نقاط، نمودار خطا، خطای استاندارد و QQ را برای هر نقطه ارائه می‌دهد (شکل پ.۵-۱۶).

- 1- Mean
- 2- Root – Mean- Square
- 3- Root – Mean- Square- Standardized



شکل پ.۵-۱۶- نمایش نتایج اجرای cross validation

• گام هشتم: اندازه‌گیری خطا

با کلیک بر روی Save Cross Validation جدول مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای با فرمت dbf در مسیر مورد نظر ذخیره خواهد شد.

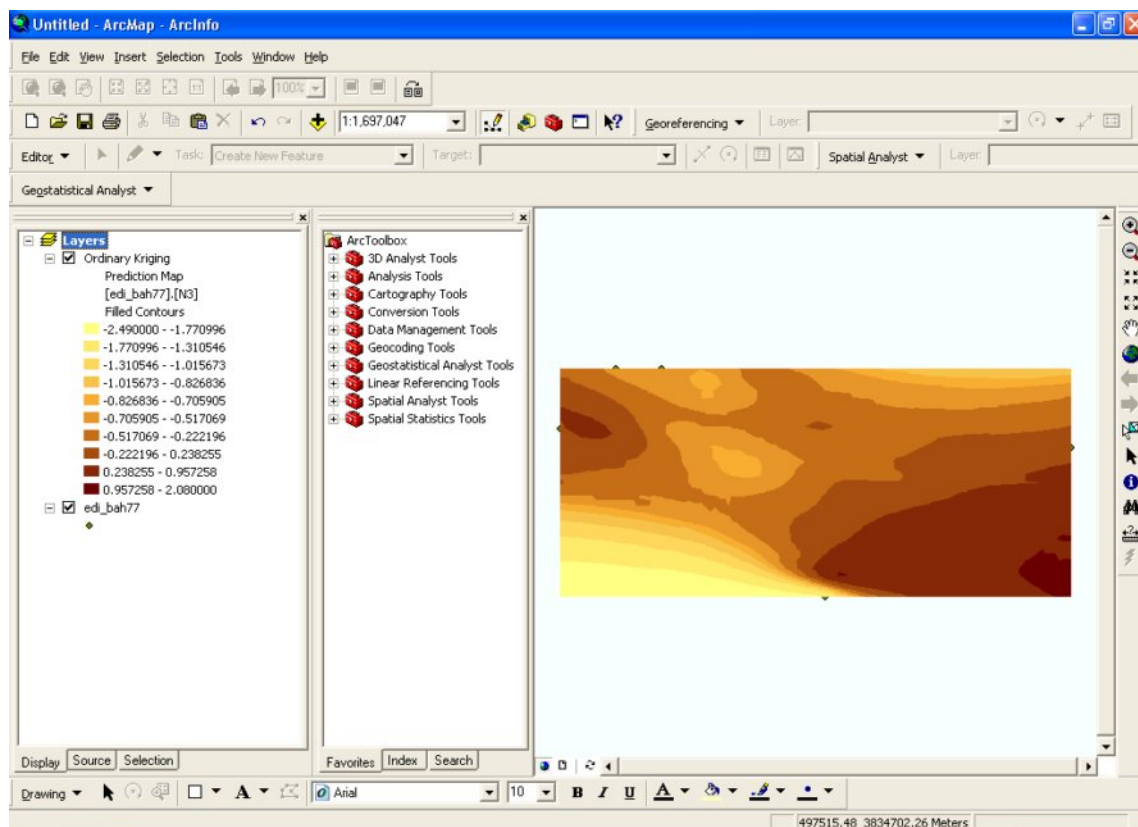
• گام نهم: خصوصیات روش انتخابی

در این قسمت با کلیک کردن بر روی آیکن finish، خصوصیات مدل انتخابی، به صورت خلاصه ارائه می‌گردد.

• گام دهم: استخراج نقشه

با کلیک Ok بر روی صفحه خلاصه اطلاعات روش انتخابی (گام نهم)، نقشه تخمینی به عنوان یک لایه در محیط ArcMap

ظاهر خواهد شد (شکل پ.۵-۱۷).



شکل پ.۵-۱۷- نقشه تولید شده با استفاده از روش انتخابی

منابع و مراجع

- ۱- تقفیان، بهرام. سیما رحیمی بندرآبادی، حمید طاهری و جعفر غیومیان. ۱۳۸۴. اثر تراکم ایستگاه و تفکیک منطقه ای در برآورد توزیع مکانی بارندگی روزانه (مطالعه موردی بر روی بارندگی جنوب غرب ایران). نشریه استقلال، شماره ۱، جلد اول، ۷۵-۵۹.
- ۲- حسنی پاک، علی اصغر. ۱۳۷۷. زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- خلیلی، علی. ۱۳۷۵. تغییرات سه بعدی میانگین های سالانه درازمدت دمای هوا در گستره ایران. نیوار، شماره ۳۲.
- ۴- رحیمی بندرآبادی، سیما. ۱۳۷۹. بررسی کاربرد روش های ژئواستاتستیک در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. ص ۱۵۰.
- ۵- رحیمی بندرآبادی، سیما و محمد حسین مهدیان. ۱۳۸۳. بررسی روش های توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه دریای خزر. نشریه پژوهش و سازندگی، جهاد کشاورزی، شماره ۶۸.
- ۶- علیجانی، بهلول. ۱۳۶۶. رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه با سیستمهای هوایی سطح بالا. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴، ۱۴۴-۱۲۵.
- ۷- علیجانی، بهلول. ۱۳۷۵. آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور چاپ دوم.
- ۸- علیزاده، امین. ۱۳۷۳. گرم شدن جهانی و پیامدهای هیدرولوژیک. نیوار، شماره ۲۲، تابستان، ۱۸-۹.
- ۹- غیور، ح و مسعودیان، الف. ۱۳۷۵. بررسی نظام تغییرات مجموع بارش سالانه در ایران. زمین نگار، شماره ۲۹.
- ۱۰- موحد دانش، علی اصغر. ۱۳۷۳. هیدرولوژی آب های سطح ایران، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه ها.
- ۱۱- نیرومند، ح. ۱۳۷۸، تحلیل آماری چند متغیره کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 12- Abtew, W., J. Obeysekera and G. Shih. 1993. Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida. *Water Resources Bulletin*. 29(2): 179-188.
- 13- Ball, J.E. and K.C. Luk. 1998. Modeling Spatial Variability of Rainfall over a Catchments. *ASCE. Journal of Hydrologic Engineering*. 3 (2): 122-130.
- 14- Dirks. K. N., J.E. Hay, C. D. Stow and D. Harris. 1998. High-Resolution Studies of Rainfall on Norflok Island. Part II: Interpolation of Rainfall Data. *Journal of Hydrology*, 208(3-4): 187-193.
- 15- Everitt, B., 1993. *Cluster Analysis*, third ed. Halsted Press, New York.
- 16- Garen, D.C., Johnson, G.L and C.L. Hansen. 1994. Mean Areal Precipitation For Daily Hydrologic Model in Mountainous Regions, *Water Resources Bulletin*. 30 (3): 481-490.
- 17- Goovaerts, P. 2000. Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation of Rainfall. *Journal of Hydrology*. 228(1-2):113-129.
- 18- Hengl, T. 2006. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9): 1283-1298.
- 19- Hevesi, J.A., J.D. Istok and A.L. Flint. 1992. Precipitation Estimation in Mountainous Terrain Using Multivariate Geostatistics. Part I: Structural Analysis. *Journal of Applied Meteorology*. 31 : 661-676.
- 20- Hohn, M.E. 1999. *Geostatistics and Petroleum Geology*. Kluwer Academic Publishers.
- 21- Hutchinson, M.F. 1990. *Splina and LAPPNT*. Center for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Coanberra, Australia.
- 22- Isaaks, E.H. and R.M. Srivastava. 1989. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press. P 561.

- 23- Jeffrey. S.J., J.O. Carter, K.B. Moodie and A.R. Beswick. 2001. Using Spatial Interpolation to Construct a Comprehensive Archive of Australian Climate Data. *Environmental Modelling and Software*, 16(4): 309-330.
- 24- Kaufman,L.,Rousseeuw,P.,1990.Finding Groups in Data:An Introduction to Cluster Analysis.Wiley,New York.Klemes,V.,2000.Tall tales about tails of hydrological distribution-I.Journal of Hydrologic Engineering ASCE 5 (3),227-231.
- 25- Kestevn. J. and M.F. Hutchinson. 2001. Spatial Modeling of Climate Variable on a Continental Scale. Center for Resource and Environmental Studies Institute of Advanced Studies. Australian National University.
- 26- Label, T., G. Bastin, C. Obled and J.D. Creutin. 1987. on the Accuracy of Areal Rainfall Estimation: A Case Study. *Water Resources Research*. 23(11) : 2123-2134.
- 27- Lynch. S.D. 2001. Converting Point Estimates of Daily Rainfall onto a Rectangular Grid. Department of Agricultural Engineering. University of Natal. South Africa. Lynch2@aqua.cwr.ac.za.
- 28- Martinez, A.and R.H. Cuenca. 1992. Influence of Elevation on Regionnal Evapotraspiration Using Multivariate Geostatistics For Various Climatic Regimes In Oregon. *Journal of Hydrology*. 136(1/4): 353-380.
- 29- Nalder, J.A. and R.W. Wein. 1998. Spatial Interpolation of Climate Normal: Test of a New Method. *Canadian Boreal Forest. Agri-Forest*. 94(4): 211-225.
- 30- Phillips, D.L., J. Dolph and D. Marks. 1992. A Comparison of Geostatistical Procedure for Spatial Analysis of Precipitation in Mountainous Terrain. *Agriculture and Forest Meteorology*. 58 : 119-141.
- 31- Price, D.T., D.W. Mckenny, I.A. Nedler, M.F. Hutchinson and J.L. Kesteven. 2000. A Comparison of Two Statistical Methods for Interpolation. *Canadian of Monthly Mean Climate Data. Agriculture and Forest*. 101(2-3): 81-94.
- 32- Pruhomme, C. and D.W. Reed. 1999. Mapping Extreme Rainfall in Mountainous Region Using Geostatistical Techniques. *International Journal of Climatology*. 19(2): 1337-1356.
- 33- Punyawordena, B.V. R., and D. Kulasiri. 1998. Spatial Interpolation of Rainfall in The Dry Zone of Sri Lanka. *Journal of The National Science Council of Sri Lanka*. 26(3): 247-262.
- 34- Saghafian, B., M. Tajrishy, N. Jalali and H. Taheri Shahraini. Modeling of Spatial Variability of Daily Rainfall in Southwest of Iran. *Iranica Scientia*. 10(2): 164-174.
- 35- Tabios, G.Q. and J.D. Salas. 1985 A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Analysis Precipitation. *Water Resources Bulletin*. (21)3: 365-380.

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision

Guideline of Spatial Distribution of Climatological Factors Using Point Data

No. 585

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Engineering and Technical
Criteria for Water and Wastewater

<http://seso.moe.org.ir>

2012

این نشریه

برآورد تغییرات مکانی عوامل هواشناسی در بسیاری از مطالعات هواشناسی و منابع آب اجتناب‌ناپذیر است. ولی به دلیل عدم امکان پوشش منطقه توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برآورد عامل مورد نظر برای مناطق بین ایستگاه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. روش‌های مختلفی برای برآورد توزیع مکانی بارندگی و سایر عوامل هواشناسی وجود دارد که در این راهنما به آن پرداخته شده است و این راهنما با هدف ارائه نحوه برآورد توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی با استفاده از روش‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین آنها تهیه شده است.