



دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، منابع طبیعی گیلان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره دوم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه آب‌های آبراهه‌های دشت همدان - بهار

* صفر معروفی^۱، امین ترنجیان^۲ و حمید زارع‌ابیان^۳

^۱ دانشیار گروه آبیاری، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری دانشگاه بوعلی‌سینا همدان،

^۳ استادیار گروه آبیاری، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان

تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۱۸

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از روش‌های متفاوت زمین آماری مانند کریجینگ، حداقل انحناء، فاصله معکوس، همسایگی طبیعی، چندجمله‌ای موضعی و توابع پایه شعاعی، تغییرات مکانی مقادیر هدایت الکتریکی و pH آب‌های خروجی از چشمه‌ها، قنات‌ها و یا نقاطی که محل تمرکز جریان‌های آب زیرزمینی در آبراهه‌های واقع در نواحی جنوب‌غربی و مرکزی دشت همدان- بهار بوده، مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور براساس تعداد ۱۰۸ نمونه آب که در طی مرداد ماه سال ۱۳۸۵ از زه‌آب‌های نقاط مختلف شبکه هیدروگرافی منطقه تهیه شد، مقادیر هدایت الکتریکی و pH آنها اندازه‌گیری گردید. معیار ارزیابی در این پژوهش مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و انحراف استاندارد عمومی با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل بود. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که روش‌های چندجمله‌ای موضعی و فاصله معکوس به‌ترتیب بهترین الگو برای تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های منطقه بودند. همچنین روش توابع پایه شعاعی به‌عنوان نامناسب‌ترین الگو در تخمین هدایت الکتریکی و pH شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: زمین آمار، چندجمله‌ای موضعی، فاصله معکوس، هدایت الکتریکی

* - مسئول مکاتبه: smarofi@yahoo.com

مقدمه

آب‌های سطحی از قبیل جریان‌های آبراهه‌ای، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها به روش‌های مختلف توسط انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند. از نظر مدیریتی بزرگ‌ترین انگیزه برای انجام مطالعات کیفیت آب، نیازهای کیفی آب و اثرات متقابل آن بر مصارف مختلف می‌باشد (حمیدیه‌اوری، ۲۰۰۱). امروزه توسعه بخش کشاورزی و عوامل مؤثر بر آن با توجه به روند رشد جمعیت در دنیا و افزایش نیاز غذایی بشر، مورد توجه پژوهشگران و دانشمندان بوده است. براساس گزارش سازمان خواروبار جهانی، بیش از ۴۰ درصد اراضی تحت کشت آبی ایران، تحت تأثیر شوری ثانویه می‌باشند. این امر توجه به کیفیت آب‌های سطحی و شوری آب آبیاری را در کشور بیشتر نمایان می‌سازد (خلیلی‌اقدم، ۲۰۰۵).

شوری آب آبیاری از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در اغلب نقاط جهان از جمله ایران می‌باشد. تحمل گیاهان نسبت به شوری نه تنها در گونه‌های مختلف گیاهی کاملاً متغیر است، بلکه در هر گیاه و تحت شرایط محیطی و دوره رشد نیز متفاوت می‌باشد (اسمیت و وسل، ۱۹۹۰). بنابراین شناسایی میزان شوری آب در مناطق مختلف و انتخاب محصولات مناسب و مقاوم با شوری در استفاده بهینه از اراضی زراعی و افزایش عملکرد محصولات در واحد سطح، مؤثر خواهد بود. هدایت الکتریکی^۱ بهترین شاخص برای بیان میزان شوری آب می‌باشد که به راحتی قابل اندازه‌گیری است.

pH که به آن در برخی از منابع اسیدیته نیز گفته می‌شود و خاصیت اسیدی و بازی بودن محیط را نشان می‌دهد، از نظر ریاضی عکس لگاریتم غلظت یون هیدروژن فعال (مولکول گرم در لیتر) می‌باشد و در بسیاری از فرآیندهای شیمیایی آب و خاک نقش مؤثری دارد. اگرچه pH آب آبیاری به دلیل خاصیت متعادل‌کنندگی خاک به عنوان یک معیار کیفی مورد بررسی قرار نمی‌گیرد، ولی در آبیاری قطره‌ای، pH نقش اساسی داشته و باید به‌طور جدی بررسی گردد. از آنجا که هدایت الکتریکی و pH آب‌های سطحی متغیری مکانی و زمانی بوده و اندازه‌گیری آن در نقاط مختلف، در دوره‌های زمانی کوتاه مدت مشکل می‌باشد و موجب صرف هزینه‌های زیادی می‌شود، بنابراین شناسایی و استفاده از ابزاری مناسب جهت پایش میزان هدایت الکتریکی و pH با نمونه‌برداری از نقاط محدودتر و درون‌یابی دقیق اطلاعات تهیه شده، ضروری است.

1- Electrical Conductivity

امروزه به منظور تخمین متغیرهای مکانی یک منطقه از روش‌های زمین آمار^۱ استفاده می‌گردد. تفاوت اصلی این روش با آمار کلاسیک^۲ این است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه آماری، مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی‌دهد. اما روش‌های زمین آماری، وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌نمایند. روش‌های مختلف زمین آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را نشان می‌دهند. به‌طور کلی می‌توان گفت زمین آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر مختلف آنها، فاصله و جهت قرار گرفتن آنها یک ارتباط فضایی وجود دارد (حسینی‌پاک، ۲۰۰۶).

نخستین تجربه‌ها جهت به‌کارگیری روش‌های زمین آماری به مفهوم امروزی آن در محاسبات تخمین ذخیره معدن در سال ۱۹۱۹ صورت گرفت، سپس در چند دهه بعد، کریج و ماترون با انتشار مقالاتی پایه‌های زمین آمار نوین را بنا نهادند (کریج، ۱۹۵۱؛ ماترون، ۱۹۶۲). در سال ۱۹۹۰ میلادی نتایج به‌دست آمده از تخمین سطح ایستابی با روش زمین آمار که برای بهینه کردن شبکه‌های پایش در کشور مراکش انجام شده بود، توسط بن‌جما و مارینو ارائه گردید. این نتایج بیانگر برتری روش‌های زمین آماری بر روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک بود (بن‌جما و مارینو، ۱۹۹۰).

در خصوص کیفیت آب آبیاری، لیو و همکاران با استفاده از روش‌های زمین آماری و GIS به ارزیابی خطرات ناشی از فلزات سنگین در مزارع برنج پرداختند (لیو و همکاران، ۲۰۰۶). فلیپو و همکاران در تحقیق دیگری با استفاده از روش‌های یاد شده و مدل‌های فیزیکی، آلودگی نترات آبخوان گرند مورین واقع در کشور فرانسه را مورد ارزیابی قرار دادند (فلیپو و همکاران، ۲۰۰۷). در ایران نیز از این روش‌ها در موارد مختلفی استفاده شده است. برای مثال در پژوهشی که توسط حسینی و همکاران انجام گرفت، دو پارامتر هدایت الکتریکی و سولفات موجود در آب زیرزمینی شهر مشهد با استفاده از روش کریجینگ تخمین زده شد (حسینی و همکاران، ۲۰۰۳). رضوانی برای تخمین انتقال فسفر در سیلاب خروجی از حوضه‌های آبخیز، با استفاده از مقادیر فسفر اندازه‌گیری شده در حوضه، از تخمین‌های زمین آماری استفاده کرد (رضوانی، ۱۹۹۶).

1- Geostatistics

2- Classic Statistics

در مطالعه دیگری که در استان‌های شمالی کشور انجام شد، تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ محاسبه گردید (شمس‌الدینی، ۱۹۹۹). همچنین میناقی از تخمین‌گرهای زمین‌آماری برای ایجاد شبکه بهینه پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت چمچمال استفاده کرد (میشاقی، ۲۰۰۳). در استان همدان که موضوع این تحقیق می‌باشد، گل‌محمدی و همکاران با استفاده از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی و به‌کارگیری روش‌های مختلف زمین‌آماری، تغییرات مکانی ضریب رواناب سالانه را بررسی نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که ضریب رواناب در این استان بین ۳/۵ و ۸۵ درصد تغییر کرده و روش کوکریجینگ عمومی با مدل دایره‌ای بهترین روش زمین‌آماری جهت تحلیل مکانی آن می‌باشد (گل‌محمدی و همکاران، ۲۰۰۹).

هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های موجود در شبکه آبراه‌های (جریان پایه) دشت همدان-بهار، براساس روش‌های زمین‌آماری به‌منظور دستیابی به یک الگوی صحیح درونیابی بوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محدوده مطالعاتی، نواحی جنوب غربی و مرکزی دشت همدان-بهار واقع در استان همدان می‌باشد. کل این دشت دارای مساحتی در حدود ۵۲۰ کیلومتر مربع است که بین عرض شمالی ۳۴°۴۹' تا ۳۵°۰۲' و طول شرقی ۴۸°۱۷' تا ۴۸°۳۳' قرار دارد. شیب عمومی منطقه، جنوب غربی-شمال شرقی است و بیش از بیست و چهار مسیل عمده که شامل آبراهه‌هایی با جریان فصلی و دائمی می‌باشند در این دشت جریان دارد. این آبراهه‌ها در قسمت مرکزی دشت به هم پیوند خورده و رودخانه اصلی حوضه، سیمینه‌رود را تشکیل می‌دهند. این رودخانه از ناحیه شمال شرقی حوضه خارج شده و در نهایت به رودخانه قره‌چای می‌ریزد. در شکل ۱، موقعیت این آبراهه‌ها نشان داده شده است.

نمونه‌برداری: برای انجام این تحقیق تعداد ۱۰۸ نمونه از آب‌های خروجی از چشمه، قنات و یا نقاطی که محل تمرکز جریان‌های آب زیرزمینی (زه‌آب‌ها) در مسیل‌ها و رودخانه‌های محدوده مورد مطالعه بوده است و جریان آبراهه‌ای به‌صورت زاینده (زه‌کش) در آنها جریان داشته، تهیه گردید. تعدادی از محل‌های مورد بررسی شامل مناطق عمه‌بلاغ، زیرآب، ساری‌گول، خیس‌دره، وهنان‌جایی، سربلاغی، باباتی‌مور و آبرومند بوده است. انتخاب این نقاط با توجه به بهره‌برداری آنها توسط کشاورزان و آسانی دسترسی به آنها صورت گرفت.

از نظر زمانی، نمونه‌برداری در طی مرداد ماه سال ۱۳۸۵ صورت گرفت. با توجه به این که بیشتر منابع مورد بررسی معمولاً در شرایط رطوبتی معمولی (سال نرمال) تا اواخر شهریورماه دارای جریان بوده و پس از آن دبی آنها به‌میزان قابل ملاحظه‌ای کم شده و در مواردی نیز خشک می‌گردد، از هر نقطه یک نمونه تهیه شد. در ضمن از منابع مورد بررسی، تعداد ۱۰ محل که جزو منابع تقریباً دائمی منطقه بودند، در شهریورماه نیز یک نمونه جهت مقایسه با ماه قبل تهیه شد ولی محاسبه‌های مربوطه فقط براساس ۱۰۸ اندازه‌گیری مرداد ماه صورت گرفت.

در شکل ۲، موقعیت نقاط نمونه‌برداری آورده شده است. آب‌های مورد مطالعه اگرچه در شبکه هیدروگرافی و مسیل‌های منطقه جریان داشتند و از این نظر جزو آب‌های سطحی محسوب می‌شوند، ولی از نظر منشاء در عمل جزو منابع آب زیرزمینی (جریان پایه) منطقه بوده و بیشتر توسط کشاورزان با ایجاد آب‌بند و یا استخرهای کوچک، ذخیره‌سازی شده و مورد بهره‌برداری قرار داشتند.

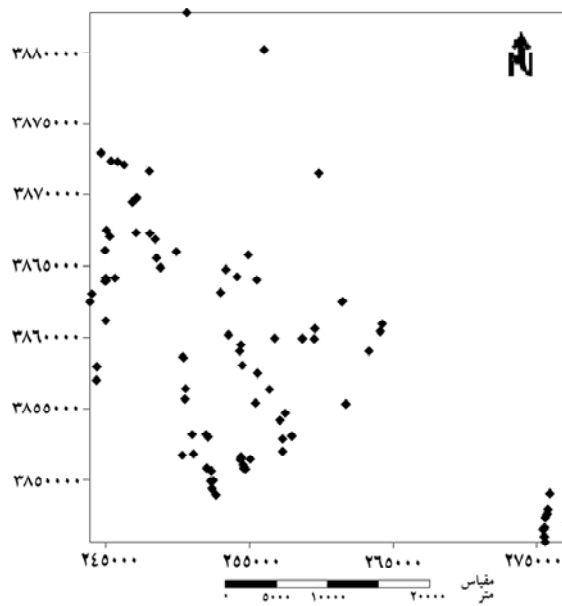
قبل از تهیه هر نمونه، ظروف پلی‌اتیلن ۱ لیتری که به این منظور در نظر گرفته شده بود، شسته و به‌طور کامل خشک گردید. هدایت الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه EC سنج مدل ۷۱۲ متروهم^۱ ساخت کشور سوئیس اندازه‌گیری گردید. pH نیز از طریق دستگاه pH سنج الکتریکی مدل ۷۴۴ متروهم، به روش الکترومتری تعیین شد. برای این کار ابتدا دستگاه با محلول بافر ۴ و ۷ واسنجی شده و سپس اندازه‌گیری صورت گرفت.

قبل از انجام محاسبه‌های زمین آماری، بررسی‌های متداول آماری از قبیل تست نرمال بودن بر روی داده‌ها صورت گرفت. کلیه محاسبه‌های زمین آماری در محیط نرم‌افزار Surfer 8 انجام شد.

1- Metrohm



شکل ۱- وضعیت شبکه آبراه‌های منطقه مورد مطالعه (مقیاس ۱: ۵۰۰۰۰۰).



شکل ۲- وضعیت پراکنش نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه.

روش‌های میان‌یابی^۱: در این تحقیق روش‌های مختلف میان‌یابی به منظور بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و pH آب‌های خروجی از چشمه‌ها و قنوات بخشی از دشت همدان- بهار مورد استفاده قرار گرفت. در این روش‌ها، مقادیر برآوردی از مجموع حاصل ضرب یک ضریب وزنی^۲ در مقادیر نقاط مشاهده‌ای به دست می‌آید. معادله کلی روش‌های مختلف میان‌یابی به صورت ذیل است:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

که در آن: $Z^*(x_i)$ مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i و λ_i وزن پارامتر اندازه‌گیری شده Z در نقطه x_i می‌باشد که بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد می‌باشد. تفاوت عمده این روش‌ها در برآورد عامل وزنی یاد شده است. روش‌های به کار برده شده در این پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

روش کریجینگ^۳: این روش دارای الگوریتم‌های مختلفی است که رابطه‌های کلی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$P(u) = \sum_{i=1}^N w_a(u)P(u) + \left[1 - \sum_{a=1}^N w_a(u)P(u) \right] m \quad (2)$$

$$\sum_{B=1}^N w_a(u)C(u_B - u_a) = C(u - u_a) \quad (3)$$

که در آن: m میانگین متغیر تصادفی، P متغیر تصادفی محاسبه شده، P متغیر تصادفی واقعی، W وزن‌های مربوطه و C کواریانس بین دو نقطه می‌باشند (اسحاق و سریوستاوا، ۱۹۸۹).

این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی است و بهترین تخمین‌گر نااریب می‌باشد که علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید (کیتانیدیس، ۱۹۹۳). شرط نااریب بودن در سایر روش‌های تخمین، نظیر روش چندجمله‌ای و معکوس فاصله نیز اعمال می‌شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین نااریب بودن، واریانس تخمین نیز کمترین می‌باشد. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز ارائه می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد آن می‌توان قسمت‌هایی که در آنجا خطا زیاد بوده و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است را مشخص نمود (گل محمدی، ۲۰۰۶).

- 1- Interpolation
- 2- Weighted Coefficient
- 3- Kriging Method

در این تحقیق از روش کریجینگ با توابع (مدل‌های) کروی^۱، درجه دوم^۲، اثر قطعه‌ای^۳، لگاریتمی^۴، خطی^۵، گوسین^۶، نمایی^۷ و موجی^۸ استفاده شد.

روش معکوس فاصله^۹: معکوس فاصله یک روش درونیابی با وزن‌دهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند. هنگامی که گره شبکه برآورد می‌گردد، وزن‌های تخصیص داده شده نقاط به مقادیر کوچکی تقسیم گردیده به طوری که مجموع همه وزن‌های تخصیص داده شده نقاط، برابر ۱ می‌باشد. زمانی که یک نقطه بر گره شبکه منطبق شود، فاصله این نقطه تا گره برابر با صفر بوده، بنابراین در این حالت وزن تخصیص داده شده به نقطه یاد شده برابر ۱ و وزن سایر نقاط اطراف گره برابر با صفر می‌باشد (فرانک، ۱۹۸۲). این روش بر این فرضیه استوار است که با افزایش فاصله داده‌ها، تأثیر داده‌ها بر یکدیگر نیز کم‌رنگ‌تر می‌شود. بنابراین ضریب وزنی با فاصله، رابطه معکوسی دارد. رابطه‌های مربوطه به شرح ذیل می‌باشند:

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (4)$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \sigma^2} \quad (5)$$

که در آن، h_{ij} : اختلاف فاصله مؤثر بین گره شبکه (j) و نقطه همسایگی گره (i)، \hat{Z}_j : مقدار تخمین زده شده پارامتر Z ، Z_j : مقدار واقعی پارامتر Z در همسایگی گره، d_{ij} : فاصله بین گره شبکه (j) و نقطه همسایگی گره (i)، β : توان وزن داده شده، σ : ضریب هموارکننده می‌باشند (دیویس، ۱۹۸۶).

-
- 1- Spherical
 - 2- Quadratic
 - 3- Nugget Effect
 - 4- Logarithmic
 - 5- Linear
 - 6- Gaussian
 - 7- Exponential
 - 8- Wave
 - 9- Inverse Distance Method

روش همسایگی طبیعی^۱: سیسون (۱۹۸۱) روش مناسبی را از ترکیب دو روش پلیگون تیسن^۲ و مثلث بندی^۳ به دست آورد و این روش را همسایگی طبیعی نامید (سیسون، ۱۹۸۱). رابطه وزن دهی روش همسایگی طبیعی به صورت زیر می باشد:

$$\lambda_i = \frac{A_i}{\sum_{k=1}^N A_k} \quad (6)$$

رابطه بالا به این معنی است که اگر نقطه X_i دارای یک همسایگی طبیعی بوده به طوری که در داخل شبکه قرار گیرد، سطح A_i دارای مقدار بوده و در نتیجه X_i دارای وزن خواهد بود و اگر X_i هیچ سطح مشترکی با نقاط قرائت شده نداشته باشد، مقدار λ_i (وزن X_i) برابر صفر می گردد (وبستر و اولویه، ۲۰۰۱).

روش حداقل انحناء^۴: این روش شاید در ترسیم توپوگرافی دقت زیادی نداشته باشد، اما در میان یابی متغیرهای غیرارتفاعی از این روش می توان استفاده نمود (بریجس، ۱۹۷۴). در این روش ابتدا مدل رگرسیونی حداقل مربعات با اطلاعات موجود برازش داده می شود. سپس مقادیر مدل رگرسیونی از مقادیر اطلاعات محلی کم شده و الگوریتم روش حداقل انحناء برای میان یابی مقادیر باقی مانده با استفاده از گره های شبکه مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش از معادله دیفرانسیلی اصلاح شده استفاده می گردد.

چند جمله ای موضعی^۵: این روش حداقل مجذورات متناسب را بین گره های شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به عنوان وزن گره تخصیص می دهد. در این روش براساس ضرایب تخصیص داده شده، با به دست آوردن رابطه درجه اول، دوم و یا سوم بین مقادیر X ، Y و Z و حداقل سازی اطلاعات محاسبه شده، درون یابی صورت می گیرد.

$$\sum_{i=1}^N w_i [F(x_i, y_i) - Z_i]^2 = \text{Minimize} \quad (7)$$

روش توابع پایه شعاعی^۶: از جمله روش های درون یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده ای عبور می کند. از خصوصیات این روش که حالتی از شبکه عصبی مصنوعی می باشد، این

-
- 1- Natural Neighbour Method
 - 2- Tehiessen Polygon Method
 - 3- Triangulation Method
 - 4- Minimum Curvature Method
 - 5- Local Polynomial Method
 - 6- Radial Basis Function Method

است که مقادیر بیشتر از حداکثر مشاهده‌ای و یا کمتر از حداقل مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. در روش معکوس فاصله نیز سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌نماید اما این روش هیچ‌گاه مقادیر بیشتر از حداکثر و کمتر از حداقل داده‌های مشاهده‌ای را تخمین نمی‌زند. روش توابع پایه شعاعی براساس پنج تابع مختلف درونیابی اطلاعات را انجام می‌دهد که هسته اصلی توابع، مجموع مقادیر مجذورات $(h^2 + R^2)$ می‌باشد. مقادیر R و h به ترتیب فاکتور هموارکننده^۱ و ترسیم ناهمسان‌گرد^۲ مرتبط با فاصله نقطه تا گره می‌باشد (کارلسون و فولی، ۱۹۹۱).

در این پژوهش از روش توابع پایه شعاعی با توابع مکعب طبیعی^۳، چندربعی معکوس^۴، چندلگاریتمی^۵، چندربعی^۶ و نواری کم ضخامت^۷ استفاده شد.

معیار ارزیابی: به منظور مقایسه روش‌های استفاده شده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین روش زمین آمار، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل^۸ استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. همچنین با استفاده از مدل‌های به دست آمده، در تعدادی از نقاطی که اندازه‌گیری وجود داشت، مقادیر تخمینی محاسبه گردید.

معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی وجود دارد، که می‌توان به ریشه دوم میانگین مربع خطا^۹ (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی^{۱۰} (GSD) اشاره کرد. معادلات مربوطه به قرار زیر هستند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (۸)$$

- 1- Smoothing Factor
- 2- Anisotropically Rescaled Factor
- 3- Natural Cubic
- 4- Inverse Multiquadric
- 5- Multilog
- 6- Multiquadric
- 7- Thin Plate Spline
- 8- Cross Validation
- 9- Root Mean Squared Error
- 10- General Standard Deviation

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x)} \quad (9)$$

که در آنها: n تعداد نقاط مشاهده‌ای، $\bar{Z}(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای، $Z^*(x_i)$ مقدار برآوردی در نقطه i ام و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i ام می‌باشد.

نتایج و بحث

در این پژوهش تغییرات مکانی مقادیر هدایت الکتریکی و pH، زه آب‌های آبراهه‌ای محدوده وسیعی (بیش از ۷۰ درصد سطح) از دشت همدان- بهار، براساس ۱۰۸ نمونه تهیه شده در مرداد ماه سال ۱۳۸۵ مورد بررسی قرار گرفت. در ضمن از منابع یاد شده، تعداد ده محل که جزو منابع تقریباً دائمی منطقه بودند، در شهریور ماه همان سال نیز یک نمونه تهیه گردید. مقایسه نتایج بیانگر تغییرات غیرمعنی‌دار هدایت الکتریکی و pH در طی ماه‌های مرداد و شهریور سال ۱۳۸۵ مناطق ده‌گانه بود. اگرچه این امر نبود تغییرات در زمانی خیلی کوتاه‌مدت را نشان می‌دهد، ولی به‌منظور بررسی دقیق تغییرات زمانی باید در طی ماه‌ها و فصل‌های چند سال آبی مشاهدات مربوطه صورت گیرد.

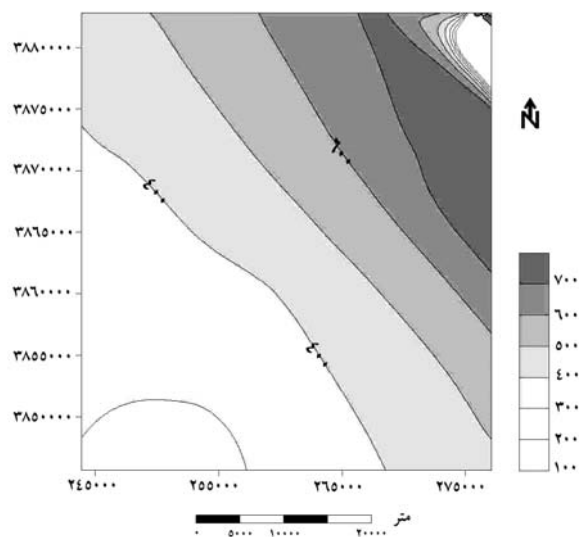
به‌منظور بررسی تغییرات مکانی که از اهداف اصلی این پژوهش بوده، قبل از انجام هر گونه محاسبه‌ای، ابتدا تست نرمال بودن بر روی جامعه داده‌ها صورت گرفت که نتایج مربوطه بیانگر وضعیت نرمال بودن آنها بود. سپس با استفاده از روش‌های مختلف زمین آماری که در قسمت مواد و روش‌ها ذکر گردید (کریجینگ، توابع پایه شعاعی، حداقل انحناء، چندجمله‌ای موضعی، همسایگی نزدیک و فاصله معکوس با مدل‌ها مختلف) دقت درون‌یابی مقادیر مورد نظر، بررسی گردید. نتایج ارزیابی درون‌یابی مقادیر هدایت الکتریکی و pH، در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

این نتایج نشان می‌دهند که به‌ترتیب روش چندجمله‌ای موضعی درجه یک و دو، بهترین روش‌ها برای تخمین هدایت الکتریکی زه آب‌های آبراهه‌ای این دشت می‌باشند. روش‌های فاصله معکوس، همسایگی طبیعی، حداقل انحناء و کریجینگ در تخمین هدایت الکتریکی آب‌های یاد شده، دارای خطای به نسبت یکسانی بوده و تفاوت معنی‌داری ندارند. در این تحقیق خطای بسیار زیاد در روش توابع پایه شعاعی نسبت به سایر روش‌ها قابل‌توجه بوده و این روش را از روش‌ها متمایز می‌نماید.

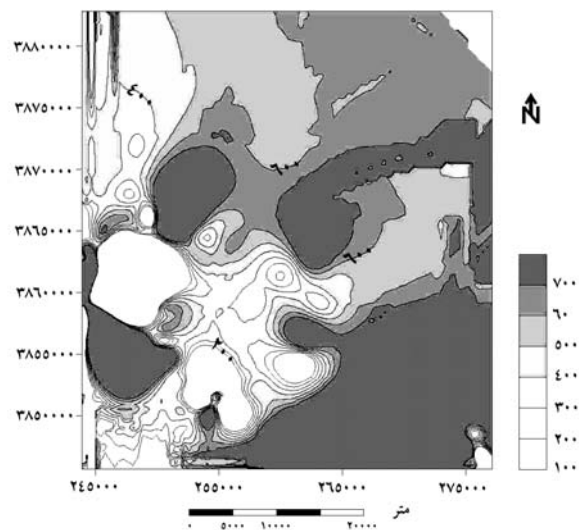
مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ تفاوت نتایج حاصل از درون‌یابی هدایت الکتریکی زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار را توسط روش چندجمله‌ای موضعی درجه یک، به‌عنوان بهترین و توابع پایه شعاعی با تابع چندربعی را به‌عنوان نامناسب‌ترین روش درون‌یابی، نمایان می‌سازد.

جدول ۱- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آمار در تخمین هدایت الکتریکی زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار.

خطای روش ارزیابی متقابل		مدل	روش
GSD	RMSE		
۰/۲۷	۱۰۴/۸۵	کروی	کریجینگ
۰/۲۷	۱۰۴/۸۵	درجه دوم	
۰/۲۷	۱۰۴/۸۵	اثر قطعه‌ای	
۰/۲۶	۹۹/۳۳	لگاریتمی	
۰/۲۷	۱۰۲/۹	خطی	
۰/۲۷	۱۰۴/۸۵	گوسین	
۰/۲۷	۱۰۴/۸۳	نمایی	
۰/۲۷	۱۰۵/۹۵	موجی	
۰/۲۶	۹۸/۴۴	توان ۱	
۰/۲۶	۱۰۰/۱۸	توان ۲	
۰/۲۷	۱۰۰/۷۷	توان ۳	
۰/۲۶	۱۰۰/۳۳	توان ۰/۴	
۰/۲۷	۱۰۴/۶۹	توان ۰/۵	حداقل انحناء
۰/۲۷	۱۰۴/۱۹	توان ۰/۶	
۱/۴۳	۵۴۱/۸۴	مکعب طبیعی	
۲/۴۴	۹۲۴/۲۲	چندربعی	توابع پایه شعاعی
۱/۷۷	۶۷۲/۰۸	چند لگاریتمی	
۱/۵۶	۵۹۴/۱۳۵	چندربعی معکوس	
۰/۹۹	۳۷۷/۶۷	نواری کم ضخامت	
۰/۲۴	۸۹/۵۲	درجه ۱	
۰/۲۵	۹۴/۶۴	درجه ۲	چندجمله‌ای موضعی
۰/۳۱	۱۱۶/۶۵	درجه ۳	
۰/۲۸	۱۰۵/۴	-	همسایگی طبیعی



شکل ۳- توزیع مکانی هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر) زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار با استفاده از روش چندجمله‌ای موضعی درجه یک.



شکل ۴- توزیع مکانی هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر) زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار با استفاده از روش توابع پایه شعاعی با تابع چندریعی.

بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس^۱، هدایت الکتریکی کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر در کلاس آب‌های کم‌شور و بین ۲۵۰ و ۷۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر در کلاس آب‌های با شوری متوسط هستند. نتایج به‌دست آمده از تخمین هدایت الکتریکی زه‌آب‌های آبراهه‌ای در دشت همدان-بهار، توسط روش چندجمله‌ای موضعی درجه اول، نشان می‌دهد که قسمت عمده‌ای از زه‌آب‌های آبراهه‌ای این دشت دارای شوری متوسط و بخش اندکی دارای شوری کم می‌باشد. به‌طورکلی می‌توان گفت کیفیت این آب‌ها از نظر شوری در حد مناسبی می‌باشد.

شکل ۳، نشان می‌دهد که تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب‌های آبراهه‌ای این دشت با تغییرات توپوگرافی انطباق کامل داشته و از سوی ارتفاعات جنوب‌غربی و غربی به طرف مرکز دشت، با افزایش زمین‌های زراعی و در نتیجه افزایش فعالیت‌های کشاورزی، میزان شوری آب‌های آبراهه‌ای که ناشی از زه‌کشی سفره می‌باشند، افزایش می‌یابد. این امر در قسمت شمال شرقی محدوده مطالعاتی، در منطقه خروجی حوضه آبریز این دشت در مقایسه با ارتفاعات نزدیک به آن نیز دیده می‌شود. در این ناحیه یک گرادیان به نسبت شدید در میزان هدایت الکتریکی زه‌آب‌ها، بین محور رودخانه سیمینه‌رود و ارتفاعات مشرف به آن وجود دارد و میزان شوری از طرف رودخانه به سمت ارتفاعات، به شدت کاهش می‌یابد.

نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی pH در جدول ۲ نمایش داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که به‌ترتیب، روش فاصله معکوس با توان یک و دو، بهترین روش برای تخمین pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای منطقه می‌باشد. پس از روش یاد شده، به‌ترتیب روش‌های چندجمله‌ای موضعی، همسایگی طبیعی، حداقل انحناء و کریجینگ در تخمین pH این آب‌ها دارای خطای کمتری بودند.

مقایسه شکل‌های ۵ و ۶ تفاوت نتایج به‌دست آمده از درون‌یابی pH توسط روش فاصله معکوس با توان یک را به‌عنوان بهترین روش و درون‌یابی با استفاده از روش توابع پایه شعاعی با تابع مکعب طبیعی را به‌عنوان نامناسب‌ترین روش نمایان می‌سازد. روش فاصله معکوس با توان یک نشان می‌دهد که قسمت عمده‌ای از زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان-بهار دارای pH متوسط بین ۷ تا ۸ می‌باشد.

1- Willcox

صفر معروفی و همکاران

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آمار در تخمین pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار.

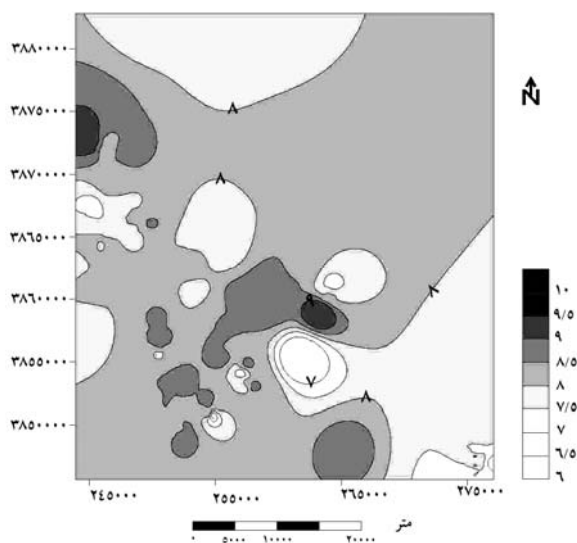
خطای روش ارزیابی متقابل		مدل	روش	
GSD	RMSE			
۰/۰۶	۰/۶۲	کروی	کریجینگ	
۰/۰۷	۰/۶۲	درجه دوم		
۰/۰۷	۰/۶۲	اثر قطعه‌ای		
۰/۰۷	۰/۵۹	لگاریتمی		
۰/۰۶	۰/۵۴	خطی		
۰/۰۷	۰/۶۲	گوسین		
۰/۰۷	۰/۶۲	نمایی		
۰/۰۷	۰/۶۲	موجی		
۰/۰۶	۰/۵۰	توان ۱		
۰/۰۶	۰/۵۰	توان ۲		فاصله معکوس
۰/۰۶	۰/۵۲	توان ۳	حداقل انحناء	
۰/۲۷	۲/۲۲	توان ۴		
۰/۳۸	۳/۱۳	توان ۵		
۰/۵۲	۴/۲۰	توان ۶		
۰/۶۴	۵/۲۳	مکعب طبیعی		
۰/۳۹	۳/۱۶	چندریعی		
۰/۳۷	۳/۰۶	چند لگاریتمی		توابع پایه شعاعی
۰/۲۲	۱/۸۱	چندریعی معکوس		
۰/۳۴	۲/۸۱	نواری کم ضخامت		
۰/۰۶	۰/۵۴	درجه ۱		چندجمله‌ای موضعی
۰/۰۷	۰/۵۸	درجه ۲		
۰/۳۷	۲/۹۹	درجه ۳		
۰/۰۶	۰/۵۳	-	همسایگی طبیعی	

با استناد به مباحث یاد شده، به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به شرح زیر قابل ارایه است:
 ۱- در تخمین هدایت الکتریکی روش چندجمله‌ای موضعی درجه یک و دو و همچنین در تخمین pH روش فاصله معکوس با توان‌های یک و دو نسبت به بقیه روش‌ها نتایج بهتری را ارایه می‌دهند.

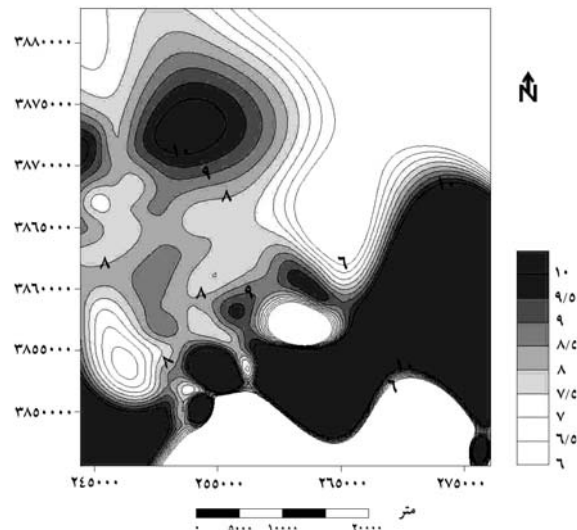
همچنین در بین روش‌های مختلف، روش توابع پایه شعاعی بیشترین خطا را در تخمین دو پارامتر هدایت الکتریکی و pH در محدوده مورد مطالعه دارا می‌باشد.

۲- بررسی نتایج به‌دست آمده از درون‌یابی pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش فاصله معکوس نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از این آب‌ها دارای pH بین ۷ تا ۸ بوده که این امر کیفیت مناسب آب را از این نظر نشان می‌دهد.

۳- نتایج به‌دست آمده از درون‌یابی هدایت الکتریکی زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار انطباق خوبی با تغییرات ژئومورفولوژی و توپوگرافی منطقه داشته و از جهت‌های جنوب‌غربی، غرب و شمال‌شرقی به طرف مرکز دشت، با افزایش زمین‌های زراعی و انجام فعالیت‌های بیشتر کشاورزی، میزان شوری آب‌های آبراهه‌ها که ناشی از زه‌کشی سفره است، بیشتر می‌گردد. در هر صورت قسمت عمده‌ای از زه‌آب‌های آبراهه‌ای منطقه، دارای شوری متوسط و بخش اندکی نیز دارای شوری کم بوده و با در نظر گرفتن شرایط خاک و الگوی کشت مناسب، می‌توان از این منابع آب جهت آبیاری استفاده نمود.



شکل ۵- توزیع مکانی pH زه‌آب‌های آبراهه‌ای دشت همدان- بهار با استفاده از روش فاصله معکوس با توان یک.



شکل ۶- توزیع مکانی pH زه آب های آبراه های دشت همدان- بهار با استفاده از روش توابع پایه شعاعی با تابع مکعب طبیعی.

منابع

1. Ben Jemaa, F., and Marino, M.A. 1990. Optimal network design for groundwater quality and quantity parameters. P 11-20, Volume of Poster Papers. International Conference on Calibration and Reliability in Groundwater Modelling, Hague, Netherlands.
2. Briggs, I.C. 1974. Machine contouring minimum curvature. *Geophysics*, 39: 34-39.
3. Carlson, R.E., and Foley, T.A. 1991. The Parameter R2 in Multiquadric Interpolation, *Computers Math. Appl.* 21: 29-42.
4. Davis, J.C. 1986. *Statistics and data analysis in geology*, John Wiley and Sons, New York, 646p.
5. Franke, R. 1982. Scattered data interpolation: test of some methods. *Mathematics of Computations*, 33: 181-200.
6. Flipo, N., Jeanne, N., Poulin, M., Even, S., and Ledoux, E. 2007. Assessment of nitrate pollution in the Grand Morin aquifers (France): Combined use of geostatistics and physically based modeling. *Environmental Pollution*, 146: 241-256.
7. Golmohammadi, G. 2006. Estimation of spatial distribution of runoff coefficient in Hamedan province using geostatistical methods. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Irrigation and Drainage department. Bu-Ali Sina University, 116p. (In Persian).
8. Golmohammadi, G., Marofi, S., and Mohammadi, K. 2009. Regionalisation of runoff coefficient in Hamedan Province using Geostatistical Methods and GIS, *Journal of Sciences and Agriculture Technologies and Natural Resources*, 46: 1-15. (In Persian).

9. Hamidiye-ahari, N. 2001. Comprehensive management model and qualitative control of surface water. M.Sc. Thesis. Faculty of Civil. University of Sciences and Technology, 86p. (In Persian).
10. Hoseini, S.M., Ghahreman, B., and Asgari, H. 2003. Sulphate in Mashhad groundwater using kriging method. Estimation of electrical conductivity. P 151-160, In: Mostofinejad, D., Asghari, K., and Chamani, M.R. (eds.), Proceeding of the 6th International Conference on Civil Engineering (ICCE), Arkan, Isfahan, (In Persian).
11. Hassanipak, A.A. 2006. Geostatistics. Tehran University, 330p. (In Persian).
12. Issaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. Oxford, 489p.
13. Khlili-aghdam, N. 2005. Investigation of effect of irrigation water with low quality on agricultural characteristics, yield and yield components of two genotypes of bread wheat. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture Sciences. Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resource, 88p. (In Persian).
14. Krige, D.G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 52: 119-139.
15. Kitanidis, P.K. 1993. Geostatistics. In: Maidment, D.R. (ed), Handbook of Hydrology, McGraw-Hill Press, New York, 20: 39. 1-20.
16. Liu, X., Wu, J., and Xu, J. 2006. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. Environmental Pollution, 141: 257-264.
17. Matheron, G. 1962. Using of Applied Geostatistics. Volume 1. Report of Geostatistical Research Unite, No. 14, Technip. Paris.
18. Messaghi, F. 2003. Development of geostatistic-artificial neural network algorithm in order to obtain the rainfall spatial distribution. M.Sc. thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat-Modares University, 132p. (In Persian).
19. Rezvani, S. 1996. Application of ANSWERS model for estimating of phosphorus transfer in basin exited floodwater by measured phosphorus amounts in basin and estimated amounts using geostatistical methods. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shiraz University, 286p. (In Persian).
20. Shamsaldini, A. 1999. Rainfall regional variation using kriging at the Northern provinces. M.Sc. Seminar. Faculty of Agriculture. Shiraz University, 69p. (In Persian).
21. Sibson, R. 1981. A brief description of natural neighbor interpolation. Interpreting Multivariate Data. John Wiley and Sons Press, New York, Pp: 21-36.
22. Smith, W.H.F., and Wesel, P. 1990. Gridding with continuous curvature splines in tension. Geophysics, 55: 293-305.
23. Webster, R., and Oliver, M.A. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists, John. Wiley and Sons Press, New York, 255p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(2), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain

***S. Marofi¹, A. Toranjeyan² and H. Zare Abyaneh³**

¹Associate Prof., Dept. of Irrigation, Bu-Ali Sina University, ²M.Sc. Student Dept. of Irrigation, Bu-Ali Sina University, ³Assistant Prof., Dept. of Irrigation, Bu-Ali Sina University

Abstract

In this research, the spatial distribution of electrical conductivity and pH of springs, ghanats and the base flow concentration places on the streams of central and south-west and central parts of the Hamedan-Bahar plain were evaluated. using different geostatistical methods such as Kriging, Minimum Curvature, Inverse Distance, Natural Neighbor, Local Polynomial and Radial Basis Functions, 108 water samples of different sites of the plain's hydrographical network were sampled during July 2005 and EC and pH values were measured for each sample. The performance criteria for evaluating the used methods were Root Mean Square Error and General Standard Deviation along with the Cross Validation method. The results showed that Local Polynomial and Inverse Distance were the best methods to estimate EC and pH, respectively. Radial Basis Functions were also found as the most unsuitable method for estimating EC and pH.

Keywords: Electrical conductivity, Geostatistics, Inverse Distance, Local Polynomial

*- Corresponding Author; Email: smarofi@yahoo.com