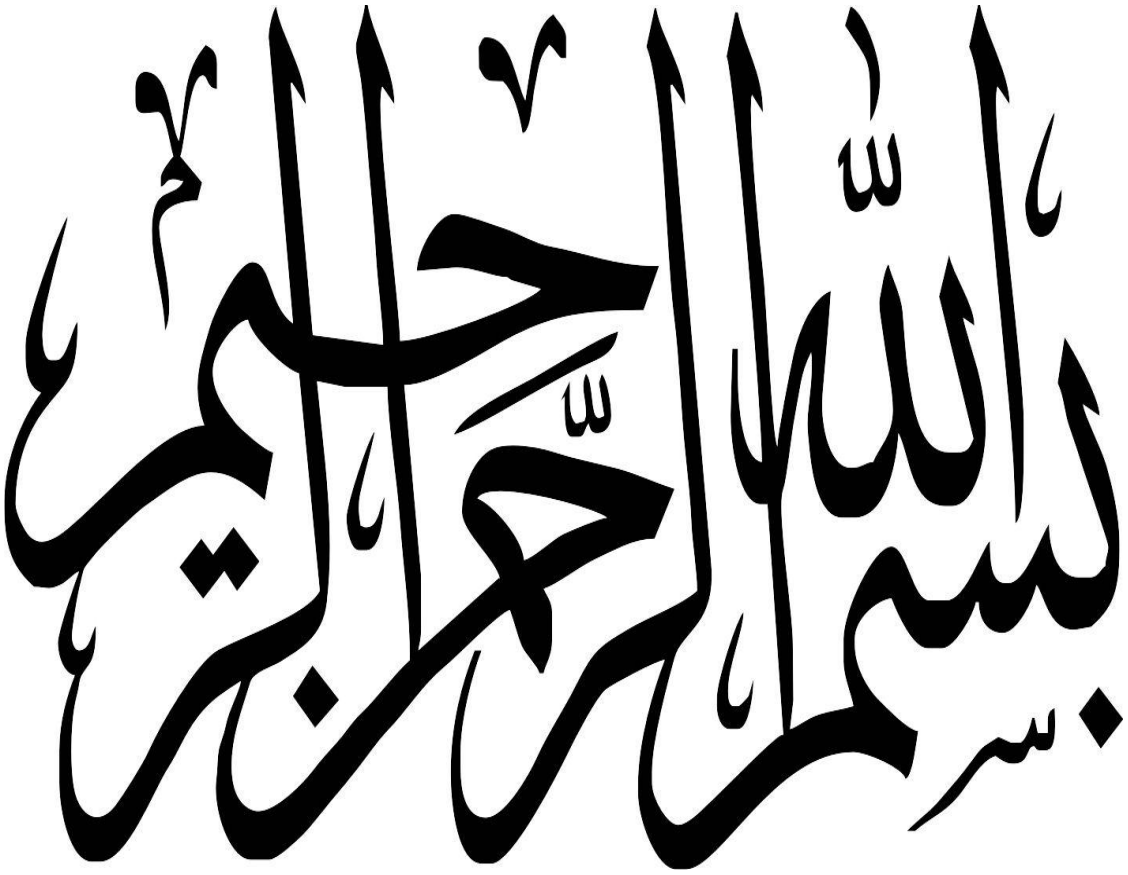
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم کشاورزی

گروه علوم خاک

(گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک)

عنوان:

بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز

از:

سولماز بی‌دست

استادان راهنما:

دکتر اکبر فرقانی **دکتر احمد فاخری‌فرد**

استاد مشاور:

مهندس محمدعلی حسن‌پوراقدم

بهمن ۱۳۹۲

شکر خدای را که لطف فرمود و بار دیگر فرصتی داد تا بتوانم از گنجینه‌ی علوم بیکرانش قطره‌ای برگیرم و زمینه را فراهم نمود تا در بهترین مسیر به کسب علم بپردازم.

به جاست تا در همین مجال کوتاه از راهنمایی‌های ارزنده و زحمات بی دریغ استادان بزرگوارم **جناب آقایان دکتر اکبر فرقانی و دکتر احمد فاخری فرد** که در تمام مراحل این تحقیق با وجود سختی‌ها، مشوق و حامی و راهنمای اینجانب بودند و در طول سال‌های تحصیل توفیق خدمت‌گذاریشان را داشتم صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم تا از **جناب آقای مهندس محمد علی حسن پور اقدم** که راهنمایی‌های ایشان گره‌گشای مشکلات تحقیقم بود، خالصانه تشکر کنم.

از جناب آقایان **دکتر محمود شعبان پور و دکتر رضا ابراهیمی** که علی رغم مشکلات، زحمت داوری این تحقیق را بر عهده گرفتند، نهایت تشکر را دارم.

همچنین از تمامی اساتیدم که طی سال‌های گذشته توفیق پیدا نمودم تا در کلاس درسشان حاضر شوم و از دریای علمشان بهره بگیرم، تشکر نموده و برای تمامی این سروران گرامی دوام توفیقاتشان آرزومندم.

از تمامی دوستان با محبتم که در طول دوران پر مشقت تحصیل، مشوق و یاری رسان اینجانب بودند با تمام وجود سپاس گزاری نموده و از درگاه ایزد منان موفقیت، شادی و سلامتی شان را خواهانم.

در نهایت از خانواده عزیزم که محیطی امن و آرام برایم فراهم نمودند تا بدون هیچ دغدغه ای به تحصیلم بپردازم و موجبات آن شدند تا با آسودگی خاطر به تحقیق بپردازم، نهایت تشکر را دارم و از خداوند منان شادکامی و سلامتی شان را آرزومندم.

سولماز بی دست

بهمن ماه ۱۳۹۲

فهرست مطالب

چکیده فارسی.....د
چکیده انگلیسی.....ذ
مقدمه.....۲

فصل اول: کلیات و بررسی منابع

۱-۱- اهمیت آب زیرزمینی.....۴
۱-۲- کیفیت آب زیرزمینی.....۴
۱-۳- تعریف زمین‌آمار.....۵
۱-۴- میان‌یابی.....۶
۱-۴-۱- تکنیک‌های میان‌یابی.....۶
۱-۴-۱-۱- کریجینگ.....۷
۱-۴-۱-۲- روش وزن‌دهی معکوس فاصله.....۸
۱-۵- نرم‌افزارهای زمین‌آماری.....۸
۱-۵-۱- نرم‌افزار +GS.....۹
۱-۵-۲- سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS).....۹
۱-۶- واریوگرام (نیم‌تغییرنما).....۱۰
۱-۶-۱- مشخصات واریوگرام.....۱۱
۱-۶-۱-۱- دامنه تأثیر.....۱۲
۱-۶-۱-۲- سقف یا آستانه واریوگرام.....۱۲
۱-۶-۱-۳- اثر قطعه‌ای.....۱۲
۱-۶-۱-۴- واریانس ساختاردار.....۱۳
۱-۶-۲- رفتار تغییرنما در نزدیکی مبدأ.....۱۳
۱-۶-۳- رفتار تغییرنما در بخش میانی.....۱۴
۱-۷- برازش مدل به واریوگرام تجربی.....۱۵
۱-۷-۱- مدل‌های بدون سقف.....۱۵
۱-۷-۱-۱- مدل خطی.....۱۵
۱-۷-۱-۲- مدل سهمی.....۱۶
۱-۷-۲- مدل‌های سقف‌دار.....۱۶
۱-۷-۲-۱- مدل کروی.....۱۶
۱-۷-۲-۲- مدل نمایی.....۱۷
۱-۷-۲-۳- مدل گوسی.....۱۷
۱-۸- تفسیر تغییرنما.....۱۸
۱-۸-۱- تغییرات همسانگرد و ناهمسانگرد.....۱۸

۱-۸-۲- اثر روند ۱۹
۱-۹- تحلیل خوشه‌ای ۲۰
۱-۱۰- مروری بر تحقیقات انجام شده ۲۰

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱- تشریح وضعیت عمومی منطقه ۳۰
۲-۱-۱- محدوده مطالعاتی تبریز ۳۰
۲-۱-۲- مورفولوژی دشت تبریز ۳۱
۲-۱-۳- منابع آب منطقه ۳۲
۲-۱-۳-۱- منابع آب سطحی ۳۲
۲-۱-۳-۲- منابع آب زیرزمینی ۳۲
۲-۱-۴- آب و هوا ۳۳
۲-۱-۵- آبخوان دشت تبریز ۳۳
۲-۱-۵-۱- لایه آبدار آزاد ۳۴
۲-۱-۵-۲- لایه آبدار زیری ۳۵
۲-۲- آزمایشات هیدروژئوشیمیایی ۳۵
۲-۳- جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها ۳۷
۲-۳-۱- جمع‌آوری داده‌های کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز ۳۷
۲-۳-۲- جمع‌آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز ۳۸
۲-۳-۳- جمع‌آوری داده‌های بارش ۳۸
۲-۳-۴- جمع‌آوری داده‌های چاه‌های بهره‌برداری آبخوان دشت تبریز ۳۹
۲-۳-۵- تکمیل داده‌های مفقود چاه‌ها ۴۰
۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری ۴۰
۲-۴-۱- آمار توصیفی ۴۰
۲-۴-۲- آزمون نرمال بودن داده‌ها ۴۱
۲-۴-۲-۱- چولگی ۴۱
۲-۴-۲-۲- کشیدگی ۴۱
۲-۵- آمار مکانی ۴۱
۲-۵-۱- تعیین داده‌های پرت ۴۲
۲-۵-۲- بررسی روند ۴۲
۲-۵-۳- واریوگرافی (مدل‌سازی تغییرات مکانی) ۴۳
۲-۵-۴- محاسبه تغییرنما و برازش مدل‌های تئوری بر آن ۴۳
۲-۵-۵- تخمین مکانی ۴۳
۲-۵-۵-۱- تخمین‌گر ۴۴
۲-۵-۶- اعتبارسنجی تخمین‌گرها ۴۶
۲-۵-۶-۱- میانگین قدر مطلق خطا ۴۶

۲-۵-۶-۲- میانگین انحراف خطا ۴۷
۲-۵-۶-۳- مجذور میانگین مربعات خطا ۴۷
۲-۵-۷- رسم نقشه‌های مکانی ۴۸
۲-۵-۷-۱- نقشه هم‌کیفیت، هم‌تراز ۴۸
۲-۵-۷-۲- نقشه‌های مصارف آب زیرزمینی ۴۹
۲-۶- تحلیل تغییرات مکانی و زمانی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی ۵۰
۲-۶-۱- پروفیل مکانی ۵۰
۲-۶-۲- معادله مکانی ۵۱
۲-۶-۳- بررسی تغییرات زمانی کیفیت، کمیت، مصرف از آب زیرزمینی و بارش ۵۱
۲-۷- خوشه‌بندی ۵۳
۲-۷-۱- تست S statistics ۵۴

فصل سوم: بحث و نتایج

۳-۱- پارامترهای توزیع فراوانی متغیرهای مورد مطالعه ۵۸
۳-۲- ارزیابی وجود روند ۶۱
۳-۳- بررسی همسانگردی ۶۷
۳-۴- تحلیل نیم‌تغییرنما ۶۷
۳-۵- ارزیابی صحت روش‌های میان‌یابی کریجینگ ساده و وزن‌دهی معکوس فاصله ۷۶
۳-۶- بررسی توزیع پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های توزیع مکانی ۷۸
۳-۷- معادله مکانی ۹۶
۳-۸- تحلیل خوشه‌ای ۱۰۷
۳-۹- تغییرات زمانی ۱۰۹
۳-۹-۱- تغییرات ماهانه تراز، مصارف و بارش ۱۱۶
۳-۱۰- نتیجه‌گیری کلی ۱۱۹
۳-۱۱- پیشنهادها ۱۲۰
منابع ۱۲۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱- روش‌های آزمایش پارامترهای هیدروژئوشیمیایی ۳۶
جدول ۳-۱- خلاصه آماری متغیرها در سال ۸۲ قبل از تبدیل ۵۹
جدول ۳-۲- خلاصه آماری متغیرها در سال ۹۱ قبل از تبدیل ۵۹
جدول ۳-۳- خلاصه آماری متغیرها در سال ۸۲ بعد از تبدیل ۶۰
جدول ۳-۴- خلاصه آماری متغیرها در سال ۹۱ بعد از تبدیل ۶۱
جدول ۳-۵- پارامترهای حاصل از برازش مدل‌های زمین‌آماری سال ۸۲ ..... ۶۹
جدول ۳-۶- پارامترهای حاصل از برازش مدل‌های زمین‌آماری سال ۹۱ ..... ۷۰
جدول ۳-۷- مقایسه صحت روش‌های میان‌یابی IDW و کریجینگ برای تخمین پارامترها سال ۸۲ ..... ۷۶
جدول ۳-۸- مقایسه صحت روش‌های میان‌یابی IDW و کریجینگ برای تخمین پارامترها سال ۹۱ ..... ۷۷
جدول ۳-۹- R^2 و RMSE بهترین مدل متغیرها ۹۶
جدول ۳-۱۰- پارامترهای معادلات مکانی ۱۰۳
جدول ۳-۱۱- پارامترهای معادلات مکا نی ۱۰۴
جدول ۳-۱۲- پارامترهای معادلات مکانی ۱۰۵
جدول ۳-۱۳- پارامترهای معادله مکانی کلراید در سال ۸۲ ..... ۱۰۶
جدول ۳-۱۴- پارامترهای معادله مکانی کلراید در سال ۹۱ ..... ۱۰۶
جدول ۳-۱۵- پارامترهای معادله مکانی مصارف در سال ۸۲ ..... ۱۰۷
جدول ۳-۱۶- خلاصه آماری خوشه‌ها ۱۰۸
جدول ۳-۱۷- نتایج آزمون S statistics ۱۰۸
جدول ۳-۱۸- پارامترهای معادله بارش-تراز ۱۱۸
جدول ۳-۱۹- پارامترهای معادله مصارف-تراز ۱۱۸
جدول ۳-۲۰- پارامترهای معادله مصارف، بارش و تراز ۱۱۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- نمایی از یک نیم‌تغییرنما ۱۱
شکل ۱-۲- رفتار تغییرنما درنزدیکی مبدأ ۱۴
شکل ۱-۳- رفتار تغییرنما در بخش میانی ۱۴
شکل ۱-۴- مدل خطی (۱)، مدل کروی (۲)، مدل نمایی (۳) و مدل گوسی (۴) ۱۸
شکل ۲-۱- موقعیت محدوده مطالعاتی تبریز ۳۱
شکل ۲-۲- مرز لایه‌های آبدار در آبخوان دشت تبریز ۳۵
شکل ۲-۳- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری ۳۶
شکل ۲-۴- موقعیت جغرافیایی چاه‌های انتخابی کیفی ۳۷
شکل ۲-۵- موقعیت جغرافیایی چاه‌های پیزومتری ۳۸
شکل ۲-۶- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنج ۳۹
شکل ۲-۷- موقعیت جغرافیایی چاه‌های بهره‌برداری ۴۰
شکل ۲-۸- آبخوان شبکه‌بندی شده ۵۰
شکل ۲-۹- موقعیت خط رسم شده در سطح آبخوان ۵۱
شکل ۲-۱۰- شبکه تیسن چاه‌های انتخابی کیفی ۵۱
شکل ۲-۱۱- شبکه تیسن چاه‌های پیزومتری ۵۳
شکل ۲-۱۲- شبکه تیسن چاه‌های بهره برداری ۵۲
شکل ۲-۱۳- شبکه تیسن ایستگاه‌های باران‌سنج ۵۳
شکل ۳-۱- نقشه روند خطی متغیر تراز در سطح آبخوان ۶۲
شکل ۳-۲- نقشه روند خطی متغیر کلسیم در سطح آبخوان ۶۰
شکل ۳-۳- نقشه روند خطی متغیر کلراید در سطح آبخوان ۶۳
شکل ۳-۴- نقشه روند خطی متغیر هدایت الکتریکی در سطح آبخوان ۶۰
شکل ۳-۵- نقشه روند خطی متغیر بیکربنات در سطح آبخوان ۶۳
شکل ۳-۶- نقشه روند خطی متغیر پتاسیم در سطح آبخوان ۶۱
شکل ۳-۷- نقشه روند خطی متغیر منیزیم در سطح آبخوان ۶۴
شکل ۳-۸- نقشه روند خطی متغیر pH در سطح آبخوان ۶۱
شکل ۳-۹- نقشه روند خطی متغیر نسبت جذب سدیم در سطح آبخوان ۶۴
شکل ۳-۱۰- روند متغیر کلسیم در دو محور X و Y ۶۲
شکل ۳-۱۱- روند متغیر کلراید در دو محور X و Y ۶۲
شکل ۳-۱۲- روند متغیر هدایت الکتریکی در دو محور X و Y ۶۲
شکل ۳-۱۳- روند متغیر بیکربنات در دو محور X و Y ۶۵
شکل ۳-۱۴- روند متغیر پتاسیم در دو محور X و Y ۶۳
شکل ۳-۱۵- روند متغیر منیزیم در دو محور X و Y ۶۶
شکل ۳-۱۶- روند متغیر pH در دو محور X و Y ۶۳
شکل ۳-۱۷- روند متغیر SAR در دو محور X و Y ۶۶

شکل ۳-۱۸- روند متغیر تراز در دو محور X و Y ۶۷
شکل ۳-۱۹- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به کلسیم (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۱
شکل ۳-۲۰- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به کلراید (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۱
شکل ۳-۲۱- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به هدایت الکتریکی (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۲
شکل ۳-۲۲- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به بیکربنات (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۲
شکل ۳-۲۳- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به پتاسیم (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۳
شکل ۳-۲۴- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به تراز (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۳
شکل ۳-۲۵- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به منیزیم (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۴
شکل ۳-۲۶- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به pH (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۴
شکل ۳-۲۷- نمودار نیم‌تغییرنمای مربوط به نسبت جذب سدیم (الف) سال ۸۲ و (ب) سال ۹۱ ..... ۷۵
شکل ۳-۲۸- نقشه پراکنش کلسیم در سال ۸۲ ..... ۷۹
شکل ۳-۲۹- نقشه پراکنش کلسیم در سال ۹۱ ..... ۷۹
شکل ۳-۳۰- پروفیل مکانی کلسیم ۸۰
شکل ۳-۳۱- نقشه پراکنش کلراید در سال ۸۲ ..... ۸۱
شکل ۳-۳۲- نقشه پراکنش کلراید در سال ۹۱ ..... ۸۱
شکل ۳-۳۳- پروفیل مکانی کلراید ۸۲
شکل ۳-۳۴- نقشه پراکنش هدایت الکتریکی در سال ۸۲ ..... ۸۳
شکل ۳-۳۵- نقشه پراکنش هدایت الکتریکی در سال ۹۱ ..... ۸۳
شکل ۳-۳۶- پروفیل مکانی هدایت الکتریکی ۸۴
شکل ۳-۳۷- نقشه پراکنش بیکربنات در سال ۸۲ ..... ۸۵
شکل ۳-۳۸- نقشه پراکنش بیکربنات در سال ۹۱ ..... ۸۵
شکل ۳-۳۹- پروفیل مکانی بیکربنات ۸۶
شکل ۳-۴۰- نقشه پراکنش پتاسیم در سال ۸۲ ..... ۸۷
شکل ۳-۴۱- نقشه پراکنش پتاسیم در سال ۹۱ ..... ۸۷
شکل ۳-۴۲- پروفیل مکانی پتاسیم ۸۸
شکل ۳-۴۳- نقشه پراکنش منیزیم در سال ۸۲ ..... ۸۸
شکل ۳-۴۴- نقشه پراکنش منیزیم در سال ۹۱ ..... ۸۹
شکل ۳-۴۵- پروفیل مکانی منیزیم ۸۹
شکل ۳-۴۶- نقشه پراکنش pH در سال ۸۲ ..... ۹۰
شکل ۳-۴۷- نقشه پراکنش pH در سال ۹۱ ..... ۹۰
شکل ۳-۴۸- پروفیل مکانی pH ۹۱
شکل ۳-۴۹- نقشه پراکنش نسبت جذب سدیم در سال ۸۲ ..... ۹۲
شکل ۳-۵۰- نقشه پراکنش نسبت جذب سدیم در سال ۹۱ ..... ۹۲
شکل ۳-۵۱- پروفیل مکانی نسبت جذب سدیم ۹۳
شکل ۳-۵۲- نقشه پراکنش مصارف در سال ۸۲ ..... ۹۳

شکل ۳-۵۳- نقشه پراکنش مصارف در سال۸۶ ..... ۹۴
شکل ۳-۵۴- پروفیل مکانی مصارف ۹۴
شکل ۳-۵۵- نقشه پراکنش تراز در سال۸۲ ..... ۹۵
شکل ۳-۵۶- نقشه پراکنش تراز در سال ۹۱ ..... ۹۵
شکل ۳-۵۷- پروفیل مکانی تراز آب زیرزمینی ۹۶
شکل ۳-۵۸- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی کلسیم در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۹۸
شکل ۳-۵۹- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی کلراید در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۹۸
شکل ۳-۶۰- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی هدایت الکتریکی در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۹۹
شکل ۳-۶۱- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی بیکربنات در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۹۹
شکل ۳-۶۲- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی پتاسیم در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۱۰۰
شکل ۳-۶۳- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی تراز در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۱۰۰
شکل ۳-۶۴- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی منیزیم در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۱۰۱
شکل ۳-۶۵- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی pH در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۱۰۱
شکل ۳-۶۶- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی نسبت جذب سدیم در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۱۰۲
شکل ۳-۶۷- منحنی‌های برازش داده شده به پروفیل‌های مکانی مصارف در سال ۸۲ و ۹۱ ..... ۱۰۲
شکل ۳-۶۸- نمودار شاخه درختی داده‌های EC محدوده مورد مطالعه به روش تحلیل خوشه‌ای ۱۰۷
شکل ۳-۶۹- نقشه مناطق همگن از نظر EC ۱۰۹
شکل ۳-۷۰- نمودار میانگین کلسیم سال (۹۱-۸۲) ۱۱۰
شکل ۳-۷۱- نمودار میانگین کلراید سال (۹۱-۸۲) ۱۱۰
شکل ۳-۷۲- نمودار میانگین هدایت الکتریکی سال (۹۱-۸۲) ۱۱۱
شکل ۳-۷۳- نمودار میانگین بیکربنات سال (۹۱-۸۲) ۱۱۲
شکل ۳-۷۴- نمودار میانگین پتاسیم سال (۹۱-۸۲) ۱۱۲
شکل ۳-۷۵- نمودار میانگین تراز سال (۹۱-۸۲) ۱۱۳
شکل ۳-۷۶- نمودار میانگین منیزیم سال (۹۱-۸۲) ۱۱۴
شکل ۳-۷۷- نمودار میانگین pH سال (۹۱-۸۲) ۱۱۴
شکل ۳-۷۸- نمودار میانگین نسبت جذب سدیم سال (۹۱-۸۲) ۱۱۵
شکل ۳-۷۹- نمودار میانگین مصارف سال (۸۶-۸۲) ۱۱۶
شکل ۳-۸۰- نمودار میانگین بارش سال (۹۰-۸۲) ۱۱۶
شکل ۳-۸۱- تغییرات ماهانه‌ی تراز، مصارف و بارش ۱۱۷
شکل ۳-۸۲- کورلوگرام تقاطعی مصارف و تراز ۱۱۷
شکل ۳-۸۳- کورلوگرام تقاطعی بارش و تراز ۱۱۸

چکیده

بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز

سولماز بی‌دست

اکثر مناطق ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارند و به دلیل خشکسالی‌های اخیر و هم‌چنین به دلیل کیفیت بهتر آب‌های زیرزمینی (آلودگی کم‌تر) برای مصارف آشامیدنی، برداشت بی‌رویه از این آب‌ها بیش‌تر شده است. در آبخوان‌هایی که با بهره‌برداری بیش از حد مواجه می‌باشند، داشتن یک تخمین جامع، دقیق و قابل اعتماد از سطح آب زیرزمینی و هم‌چنین کیفیت آن به‌شدت مورد نیاز می‌باشد. برای دست‌یابی به چنین پارامترهایی روش‌های مختلفی به کار برده شده است. لذا در این پژوهش مطالعه و بررسی تغییرات مکانی و زمانی برخی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی ۴۷ حلقه چاه انتخابی کیفی و تراز آب زیرزمینی ۵۸ حلقه چاه پیزومتری موجود در آبخوان دشت تبریز مربوط به ۱۰ سال دوره‌ی آماری (۱۳۹۱-۱۳۸۲) ارائه شده است. ابتدا صحت روش‌های کریجینگ ساده (SK) و وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) بررسی و نقشه‌های هم‌کیفیت هدایت الکتریکی، کلسیم، کلراید، بیکربنات، پتاسیم، منیزیم، نسبت جذب سدیم، pH و نقشه‌های هم‌تراز در سطح آبخوان رسم شد. نتایج ارزیابی متقاطع نشان دهنده‌ی صحت بیش‌تر روش کریجینگ ساده برای تخمین متغیرهای کیفی و روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای درون‌یابی تراز آب زیرزمینی بود. تفسیر و تحلیل مکانی متغیرها با استفاده از نقشه‌های هم‌کیفیت، هم‌تراز و پروفیل‌های مکانی صورت گرفت؛ نتایج نشان داد بیش‌ترین تجمع اکثر متغیرهای کیفی مربوط به جنوب‌غرب و شمال‌شرق حوضه می‌باشد. هم‌چنین روش ward یکی از روش‌های تحلیل آماری چند متغیره‌ی آنالیز خوشه‌ای برای پهنه‌بندی کیفی آبخوان براساس هدایت الکتریکی و تحلیل توزیع مکانی آن به‌منظور تعیین مناطق همگن بکار گرفته شد؛ خروجی روش ward دو خوشه بود. آزمون S statistics برای آزمون همگنی یا غیر همگنی خوشه‌ها یا مناطق تفکیک‌شده استفاده شد. نتایج آزمون حاکی از همگنی دو گروه بود، بدین‌ترتیب نقشه‌ی مناطق همگن تهیه گردید. در ادامه تغییرات سالانه متغیرها بررسی شد. برطبق نتایج، اکثر متغیرهای کیفی آب در طول ۱۰ سال دوره‌ی آماری دارای روند افزایشی بودند ولی تراز آب زیرزمینی کاهش یافته است. در نهایت رابطه رگرسیون غیرخطی برای داده‌های ماهانه‌ی بارش، مصرف از آب زیرزمینی و تراز بدست آمد.

کلید واژه‌ها: آزمون S statistics، ارزیابی متقاطع، تحلیل خوشه‌ای، رگرسیون غیر خطی، کریجینگ

Abstract

Investigation of spatial and temporal variations of groundwater quality and quantity of Tabriz plain aquifers

Solmaz Bidast

The most part of Iran is located in arid and semi-arid regions. Due to the recent drought periods, the use of groundwater for drinking purposes has been increased because of their better quality. An integrated and reliable prediction of water table and groundwater quality is necessary in the overused aquifers. In order to obtain such parameters different methods have been used. Therefore this study surveyed the spatial and temporal variations of water quality variables based on 47 selected wells and groundwater level based on 58 pizometric wells in Tabriz plain aquifer in the statistical period of 10 years (1382-1391). First the accuracy of the simple kriging (SK) and inverse distance weighting methods investigated and the isoquality maps for electrical conductivity, calcium, chloride, bicarbonate, potassium, magnesium, pH, SAR and isolevel maps were plotted over the aquifer. Cross validation results indicated the accuracy of simple kriging in groundwater quality variables prediction and the accuracy of inverse distance weighting method in groundwater level interpolation. Spatial interpreting took place by using isoquality, isolevel maps and spatial profiles; results showed that the majority of quality variables were aggregated on South West and North East of aquifer. Also **ward** method as a multivariate statistical cluster analysis procedure was applied for regionalization of EC over the aquifer and to analysis the spatially distribution of it in order to determine the homogeneous regions; two clusters was the outcome of ward method application. S statistics test procedure was used to test the homogeneity or non-homogeneity of separated clusters or regions. Results revealed the homogeneity of the two groups, so the map of homogenous regions was prepared. The annually changes in the variables were investigated, and according to the results, the majority of variables have incremental routing during the 10 years of statistical period but groundwater level has decreased. Finally nonlinear regression for monthly data of precipitation, use of groundwater and level was achieved.

Key words: Cluster analysis, Cross validation, Kriging, Nonlinear regression, S statistics test

مقدمه

آب که از اولین و مهم‌ترین نیازهای حیاتی هر موجود زنده و انسان می‌باشد؛ با توجه به روند افزایش جمعیت در قرن‌های اخیر برای جوامع بشری به یکی از مهم‌ترین منابع تجدید شدنی در طبیعت تبدیل شده است. وجود این ماده‌ی حیاتی برای کشورهایی که در کمربند بیابانی قرار داشته و متوسط بارش‌های جوی آنها از متوسط جهانی کم‌تر است اهمیت مضاعف می‌یابد.

در کشور ایران، منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب مورد نیاز برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. کشاورزی با اختصاص سهم ۹۵ درصدی و برداشت بیش از ۸۰ درصد آن از منابع آب زیرزمینی نقش عمده‌ای در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌ها دارد [احمدی و صدق‌آمیز، ۲۰۰۷].

پی بردن به تغییرات مکانی و زمانی مقادیر کمی و کیفی آب زیرزمینی می‌تواند در توسعه استراتژی‌های منابع آب بسیار مهم باشد. در آبخوان‌هایی که با بهره‌برداری بیش از حد مواجه می‌باشند، داشتن یک تخمین جامع، دقیق و قابل اعتماد از سطح آب زیر زمینی و همچنین کیفیت آن به شدت مورد نیاز می‌باشد برای دست‌یابی به چنین پارامترهایی روش‌های مختلفی به کار برده شده است. انتخاب و دقت روش‌های مناسب پهنه‌بندی و تهیه‌ی نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی در آن بستگی دارد و انتخاب صحیح آنها گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آب منطقه بشمار می‌رود [شعبانی، ۱۳۸۷]. از جمله روش‌های به‌کار رفته برای این کار می‌توان به روش‌هایی از جمله زمین‌آمار، شبکه عصبی مصنوعی و... اشاره کرد. زمین‌آمار شاخه‌ای از آمار است که در آن مختصات مربوط به جامعه تحت بررسی و به‌تبع آن ساختار مکانی داده‌های مربوطه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. اساس این شاخه از آمار بر تعریف و توسعه روابط متغیر ناحیه‌ای بنا گردیده است [حسنی‌پاک، ۱۳۸۶]. این علم، شاخه‌ای از علم کاربردی است که قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرها-ی آماری به‌منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در مکانی که نمونه‌برداری نشده است، با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. در این زمینه تحقیقات فراوانی در سطح جهان و ایران صورت گرفته است. ولی در اکثر مطالعات تغییرات مکانی و زمانی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی یکجا مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. در مورد آبخوان دشت تبریز نیز مطالعه‌ای در این زمینه صورت نگرفته است. لذا تحقیق حاضر به‌منظور تحلیل مکانی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی آبخوان دشت تبریز با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و معین با اهداف تهیه‌ی نقشه‌های هم‌کیفیت، هم‌تراز و پروفیل‌های مکانی صورت گرفت. تحلیل زمانی نیز به‌منظور پی بردن به تغییرات سالانه‌ی متغیرهای کیفی و تراز و هم‌چنین تعیین ارتباط بین مصارف، بارش و تراز آب زیرزمینی انجام گرفت.

فصل اول:

بررسی منابع

۱ فصل اول: کلیات و بررسی منابع

۱-۱- اهمیت آب زیرزمینی

حفظ اکوسیتم‌ها برای بقای بشر و سایر موجودات زنده در گرو آب است که این آب به لحاظ کیفی می‌بایست دارای ویژگی-های کیفی و معیارهایی مشخص باشد و اگر تأمین چنین آبی امکان‌پذیر نباشد، این فعالیت‌ها بی‌اثر می‌باشد [علیزاده، ۱۳۷۷]. محاسبه منابع آب جهانی نشان می‌دهد که منابع زیرزمینی چیزی در حدود ۰/۶ درصد از کل منابع آب، ۶۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر قابل دسترس را به خود اختصاص می‌دهد [موسوی، ۱۳۷۷]. آب زیرزمینی به آن بخش از آب‌های زیرسطحی گفته می‌شود که منطقه اشباع خاک را اشغال می‌کند.

آب‌های زیرزمینی بر خلاف آب‌های سطحی، تحت تأثیر سریع آلودگی‌های سطحی و تأثیر سریع تغییر دما و تغییر بارندگی-های فصلی قرار نمی‌گیرند، لذا برای مصارف متعدد آب، منبع مطمئن‌تری می‌باشند. هم‌چنین آب‌های زیرزمینی در مسیری که برای پیوستن به سفره آب‌های زیرزمینی طی می‌کند، از لایه‌های متعدد خاک عبور می‌کند و همین به نوعی تصفیه طبیعی آب را منجر می‌شود [موسوی، ۱۳۷۷].

۱-۲- کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب زیرزمینی به ترکیب شیمیایی زمینی که آب در آن جریان دارد مخصوصاً به وضع زمین‌شناسی پوسته زمین مربوط است و مشخص‌کننده میزان مواد شیمیایی و بیولوژیکی، رسوبات و درجه حرارت بوده و در تعیین آب مناسب جهت مصارف معین (شهری، کشاورزی، صنعتی) اهمیت بسزایی دارد [هنرمند ابراهیمی، ۱۳۷۹]. ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی می-تواند متأثر از ترکیبات تشکیل‌دهنده لایه‌های زیرزمینی در تماس با آب و درجه حرارت اعماق زیاد زمین باشد.

از پارامترهای مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی عبارتند از کلسیم، منیزیم، سدیم، کربنات و بیکربنات، سولفات، کلراید، سختی آب، اسیدی و قلیائی آب، مواد محلول، هدایت الکتریکی را می‌توان نام برد.

تنزل کیفیت آب‌های زیرزمینی یکی از اثرات مهم استفاده بی‌رویه از آن می‌باشد. این امر به دلیل افت سطح ایستابی و تغلیظ آب به وسیله مواد قابل حل در آن و هم‌چنین نفوذ آلودگی‌های صنعتی و کشاورزی به سفره به وجود می‌آید که سبب خسارات هنگفت به کشاورزی، سازه‌های آبی و خاک‌هایی که از این نوع آب‌ها تغذیه می‌شوند، خواهد شد. با توجه به مطالب

فوق‌الذکر بدیهی است که پس از طی سالیان مصرف غیرعلمی و بی‌رویه آب در کشاورزی و مصارف انسانی، کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی را که نسبت به آب‌های سطحی بسیار گسترده‌تر مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، تهدید می‌کند و ادامه آن موجب به هم ریختن بافت خاک زراعی و نهایتاً کاهش محصولات کشاورزی و تنزل کیفیت این محصول می‌گردد [چیت‌سازان، ۱۳۷۵]. لذا بررسی و کنترل کیفیت منابع آب زیرزمینی، نه‌تنها اهمیتی کم‌تر از کنترل کمیت و بیلان سفره‌ها ندارد بلکه در دشت‌هایی که دارای هزاران چاه حفر شده مجاز و غیر مجاز بوده و سالیانه میلیون‌ها متر مکعب آب از دل آنها استخراج می‌گردد؛ این بررسی‌ها اهمیت ویژه‌ای می‌یابند. امروزه به‌طور وسیعی از روش‌های مختلف زمین‌آماری برای پیش‌بینی تغییرات مکانی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی استفاده می‌شود.

۱-۳- تعریف زمین‌آمار

جمع‌آوری داده برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز کشاورزی دقیق با توجه به افزایش هزینه‌های تجزیه آزمایشگاهی بسیار گران تمام می‌شود. توسعه تکنیک‌های مدرن نظیر زمین‌آمار این مشکل را تا حد زیادی حل کرده است و می‌توان با داشتن داده‌های کم‌تر نقشه‌هایی با دقت منطقی تهیه نمود [Burgess and Webster, 1980]. زمین‌آمار به مفهوم اروپایی آن شاخه‌ای از آمار است که در آن مختصات مربوط به جامعه تحت بررسی، و به‌تبع آن ساختار مکانی داده‌های مربوطه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد [حسنی‌پاک، ۱۳۸۶].

زمین‌آمار قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد ویژگی‌های مورد نظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد [Goovarets, 1997]. تحلیل نتایج در آمار کلاسیک مبنی بر مستقل بودن نمونه‌ها از همدیگر است و بنابراین، وجود یک نمونه هیچ‌گونه اطلاعی در مورد نمونه بعدی به‌دست نمی‌دهد اما در زمین‌آمار، نمونه‌ها مستقل از یکدیگر در نظر گرفته نمی‌شوند بلکه نمونه‌های مجاور تا فاصله معینی بطور مکانی به هم وابستگی دارند و می‌توان وابستگی بین نمونه‌ها را به صورت مدل ریاضی که تغییرنما نامیده می‌شود، ارائه کرد [Einax and Soldt, 1999].

مزیت استفاده از زمین‌آمار برخلاف آمار کلاسیک این است که در زمین‌آمار علاوه بر مطالعه مقدار پارامتر مورد نظر، امکان تجزیه و تحلیل موقعیت مکانی و محاسبه خطای تخمین نیز فراهم می‌شود. در زمین‌آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار فضایی (ارتباط بین مقادیر پارامتر با فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها) بین داده‌ها پرداخته شده و سپس در صورت

وجود ساختار فضایی تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد [حسنی‌پاک، ۱۳۷۷].

۱-۴- میان‌یابی

داده‌های نقطه‌ای داده‌هایی هستند که در مکان یا مکان‌های معینی اندازه‌گیری می‌شوند. به‌منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و مطالعه الگوهای مکانی، داده‌های نقطه‌ای طی فرآیند درون‌یابی به سطح تعمیم می‌یابند. میان‌یابی مکانی فرآیندی است که در آن با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط معلوم، مقادیر نقاط مجهول تخمین زده می‌شود.

۱-۴-۱- تکنیک‌های میان‌یابی

تکنیک‌های میان‌یابی به دو شیوه کلی انجام می‌شود، روش اول جبری یا قطعی نامیده می‌شود که در این شیوه میان‌یابی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن‌دهی معکوس فاصله[1]) یا درجه هموارسازی (تابع پایه شعاعی[2]) انجام می‌شود. روش دوم میان‌یابی زمین‌آماری که کریجینگ نامیده می‌شود و بر اساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده می‌باشد. تکنیک‌های میان‌یابی زمین‌آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری شده را مدنظر قرار داده و تخمین را بر اساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد [قهرودی تالی، ۱۳۸۴].

قبل از انتخاب روش مناسب میان‌یابی لازم است، ابتدا شناخت کلی از داده‌های مکانی کسب شود. شناخت رفتار داده‌های مکانی می‌تواند در دو مرحله شامل بررسی‌های آماری داده‌ها و هم‌چنین بررسی عوامل مؤثر بر متغیر مورد نظر صورت گیرد. اطلاع داشتن از این عوامل می‌تواند در انتخاب روش و تفسیر نتایج کمک مؤثری نماید [محمدی، ۱۳۸۵].

روش‌های زمین‌آماری از ابزارهای مفید برای آنالیز داده‌های پیوسته از نظر زمانی و مکانی می‌باشد. روش‌های میان‌یابی با استفاده از زمین‌آمار دارای برخی مزایا در مقایسه با روش‌های معمول میان‌یابی مانند میانگین متحرک وزنی[3] یا چندجمله‌ای موضعی[4] می‌باشند. علم زمین‌آمار از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها قادر به تهیه نقشه‌های کمی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد و این روش‌ها امکان کمی نمودن توزیع مکانی پارامترها را فراهم می‌کنند [Boisson and *et al.*, 1999].

---

[1]-Inverse Distance Weightening
[2]- Radial Basis Function [RBF]
[3]- Weighted Moving Average
[4]- Local Polynomial

نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که روش بهینه و مناسب جهت برآورد و تخمین داده‌ها بسته به متغیر می‌تواند متفاوت باشد و پارامترهای زیادی در انتخاب بهترین و بهینه‌ترین روش تخمین مؤثر هستند. ناهمگن بودن منطقه از لحاظ تعداد متغیرها و وسعت محدوده مورد مطالعه، فواصل نمونه‌ها و وجود روند[5] می‌تواند در انتخاب نوع روش تخمین تأثیرگذار باشد.

رایج‌ترین روش‌های میان‌یابی استفاده شده در کشاورزی، روش وزن‌دهی معکوس فاصله و کریجینگ است [Kravchenkoand Bullock, 1997].

روش‌های مختلفی برای برآورد داده‌های مکانی وجود دارد که از معمول‌ترین این روش‌ها می‌توان به میانگین حسابی، روش تیسن[6]، گرادیان و روش هیپسومتریک[7] اشاره نمود [حسینی و همکاران، ۱۹۹۳]. اگر چه محاسبات این روش‌ها سریع و آسان است ولی دارای معایبی نیز می‌باشد که گاهی منجر به ارائه نتایج غیرقابل قبول و با دقت کم می‌گردند. کوروین و همکاران (۱۹۹۲) اشاره نموده‌اند که اشکالات روش‌های ذکر شده، ضرورت استفاده از روش‌های زمین‌آماری را مطرح می‌نماید.

اختلاف بین روش‌های متعددی که برای برآورد تغییرات زمانی و یا مکانی استفاده می‌شود، در محاسبه فاکتور وزنی است که به نقاط مشاهده شده در اطراف نقطه مورد نظر داده می‌شود [Walter and McBratney, 2001]. با آن که عوامل و علل تغییرات در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد ولی درک منابع ایجاد تغییرات ما را در مدیریت بهتر یاری می‌کند. با تمام دانشی که بشر از طبیعت و محیط دارد هیچ‌وقت نمی‌تواند درک کاملی از علل و منابع تغییرات متغیرها ارائه نماید ولی با این وجود بشر سعی می‌کند درک خود را از محیط گسترش دهد.

۱-۴-۱-۱- کریجینگ

از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ به‌عنوان یک روش تخمین (میان‌یابی) این است که ساختار فضایی نقاط را در فرآیند تخمین مورد توجه قرار داده و به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز می‌توان محاسبه نمود [حسنی‌پاک، ۱۳۷۷]. کریجینگ در واقع تکنیک میان‌یابی یک متغیر در نواحی نمونه‌برداری نشده به کمک مقادیر متغیر در نقاط یا بلوک‌های مجاور و وزن‌های تعیین شده توسط مدل نیم‌تغییرنما می‌باشد [Webster and Oliver, 2000] و به‌عنوان بهترین تخمین‌گر نااریب[8] شناخته است [Theodossiu and Latinopoulos, 2006]. از بین روش‌های مختلفی که برای میان‌یابی استفاده می‌شود روش

5- Trend
6- Tehiessen
7- Hypsometric
8- Best Linear Unbiased Estimator

کریجینگ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و به استناد کریسای(۱۹۹۱) این روش به عنوان بهترین روش میان‌یابی در نقاط فاقد آمار در مناطق همگن می‌تواند عمل نماید.

۱-۴-۱-۲- روش وزن‌دهی معکوس فاصله

از مهم‌ترین روش‌های دیگر برای میان‌یابی، روش وزن‌دهی معکوس فاصله می‌باشد. در این روش وزن نقـاط نمونـه بـر روی نقطه مجهول براساس فاصله‌ی بین نقاط معلوم و نقطه مجهول محاسبه می‌شود. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شوند، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه‌ی مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طـول یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند [محمدی، ۱۳۸۵].

۱-۵- نرم‌افزارهای زمین‌آماری

نرم‌افزارهای مختلفی برای ارزیابی همبستگی مکانی متغیرها و برآورد توزیع مکانی آنها وجود دارد. این نرم‌افزارها را می‌توان به صورت عمومی به دو دسته کلی تقسیم بندی نمود:

- نرم‌افزارهای تخصصی زمین‌آماری 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 میان‌یابی را شامل می‌گردند.

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. برای محاسبات روش‌های زمین‌آماری می‌توان از نرم‌افزارهایی نظیر GSLIB، GEOEAS، Variowin،+GS استفاده نمود که هر کدام از آنها امکانات متفاوتی دارند. در بسیاری از مواقع برای تحلیل مکانی اطلاعات به نقشه‌های رقومی و مختصات‌دار منطقه نیاز خواهد بود و بدین جهت تلفیق روش‌های زمین‌آماری با سامانه اطلاعات جغرافیایی قابلیت بیش‌تری را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. از جمله این نرم‌افزارها می‌توان به Idrisi،ArcView،ArcGIS و Ilwise اشاره نمود. 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 نرم افزارهای GIS نیز که امکانات انجام تحلیل‌های زمین‌آماری دارند توجه بیش‌تر خواهد بود. لذا نرم‌افزار ArcGIS که قابلیت‌های بسیاری از روش‌های زمین‌آماری را دارد مورد توجه می‌باشد. این نرم‌افزار توانمند بر خلاف بقیه نرم‌افزارها امکان ارزیابی روش-