

## پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی با استفاده از روش‌های مختلف زمین آمار

### (مطالعه موردی منطقه شاوور)

محمد سلاخ پور\*<sup>۱</sup>، عباس ملکی<sup>۲</sup> و علی مختاران<sup>۳</sup>

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

(۲) استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

(۳) دکترای آبیاری و زهکشی - موسسه جهاد نصر.

\* نویسنده مسئول: msalakhpoor@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۴

### چکیده

در مطالعات طرح‌های آبیاری و زهکشی برای زهکش‌های زیرزمینی، ضرورت دارد اطلاعات حاصل از نمونه برداری نقطه‌ای به سطح شبکه تعمیم داده شود. لذا بر اساس داده‌های چاهک‌های مشاهده‌ای موجود، وضعیت داده‌های هدایت هیدرولیکی (K) در مناطق مجاور برآورد شود. در این تحقیق بر اساس داده‌های ۴۹ عدد چاهک مشاهده‌ای احداث شده در دشت شاوور در استان خوزستان، داده‌های نقطه‌ای به روش چاهک (ارنست)، به سطح شبکه تعمیم داده شد و سپس با استفاده از روش‌های علمی شامل انواع روش کریجینگ، تیسن و میان‌یابی وزنی، میزان دقت روش‌های مختلف درونیابی با هم مقایسه شد. با توجه به مختصات موقعیت جغرافیایی چاهک‌های مشاهده‌ای، نقشه رقومی ضریب آبگذری محدوده مطالعاتی، با استفاده از نرم افزار Civil 3D، تهیه شد. سپس مراحل مدلسازی فضایی در محیط نرم افزاری Arc Gis و ArcMap انجام شد. به جهت مقایسه با سایر روش‌های آماری از نرم افزار GS+ استفاده شد. با ترسیم روش‌های دیگر آماری توسط نرم افزار GS+ و ArcGIS و ArcMAP، روند تغییرات مکانی در حالت کریجینگ معمولی، از کم‌ترین خطا برخوردار بود. لذا در این تحقیق، برای پهنه‌بندی و تعمیم هدایت هیدرولیکی از روش میان‌یابی کریجینگ معمولی استفاده شد. در نهایت، در این پژوهش منطقه مورد مطالعه در سطح ۱۱۵۰۰ هکتار به روش کریجینگ معمولی به سه ناحیه ضریب هدایت هیدرولیکی با وسعت‌های ۲۳۰۰ هکتار کمتر از دو متر بر روز، ۷۹۰۰ بین دو تا سه متر بر روز و ۱۳۰۰ هکتار بیشتر از سه متر بر روز پهنه‌بندی شد. با توجه به نتایج حاصل شده، محاسبه فاصله کارگذاری زهکش‌های زیرزمینی در سه ناحیه ۵۰،۷۰ و ۸۰ متر برآورد شد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، چنانچه در تخمین محدوده گستره طرح جهت ضریب آبگذری، از روش غیر معتبر و دارای خطا استفاده شود، چه بسا باعث تشدید هزینه در طرح‌های شبکه‌های زهکشی به سبب خطای برآورد فاصله کارگذاری زهکش‌های زیرزمینی شود.

واژه‌های کلیدی: درونیابی فضایی، زمین آمار، کریجینگ معمولی و هدایت هیدرولیکی.

## مقدمه

اولین اقدام اساسی برای اصلاح و بهسازی اراضی شور و قلیا یا ماندابی و زهدار، اجرای زهکشی است. از فاکتورهای مهم در تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی، مطالعات ضریب آبگذری یا هدایت هیدرولیکی می‌باشد. ضریب آبگذری غالباً رابطه نزدیکی با بافت، ساختمان و ترکیبات موجود در خاک دارد. اندازه‌گیری ضریب آبگذری یا هدایت هیدرولیکی به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که با توجه به وجود سطح ایستابی در نزدیکی سطح زمین از روش‌های مرسوم چاهک (ارنست) و یا پمپاژ به چاهک کم عمق استفاده می‌شود. جهت انجام مطالعات زهکشی زیرزمینی، قبل از هر چیز احتیاج به عملیات صحرائی و حفاری چاهک‌های مشاهده‌ای جهت اندازه‌گیری ضرایب هیدرودینامیکی خاک، تعیین بافت خاک و عمق لایه غیر قابل نفوذ، خواص شیمیایی آب تحت الارضی، نوسان‌های سطح ایستابی، جهت حرکت و گرادیان آب‌های زیرزمینی و نفوذپذیری سطحی خاک‌ها می‌باشد. در این زمینه محققین مختلفی تلاش نموده‌اند که در ادامه به این نتایج اشاره شده است. Hosseini (۲۰۱۰) تغییرات مکانی و همبستگی هدایت هیدرولیکی را در لایه‌های مختلف خاک در جریان آب‌های زیرزمینی مورد تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شبیه‌سازی سه بعدی می‌تواند در تخمین هدایت هیدرولیکی در این خاک‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. عالمی و آذری (۱۳۹۰) برای بررسی تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی خاک و تهیه نقشه‌های هم آبگذری در منطقه جنوب غربی ایران، چندین روش تخمین زمین آماری را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج تحقیق این محققان نشان داد که مقدار MAD در سه روش کریجینگ معمولی، یونیورسال کریجینگ با روند خطی و میانگین متحرک وزنی با درجه دو، از روش‌های دیگر کمتر بوده و به ترتیب برابر با ۱/۳۷۳، ۱/۳۸۳، ۱/۳۹۲ متر بر روز می‌باشد. در بین این سه روش برای تهیه نقشه‌های هم آبگذری انتخاب شد. Gallichand و Marcotte (۲۰۰۶) از روش کریجینگ برای برآورد هدایت هیدرولیکی در ۳۵۰۰۰ هکتار از اراضی دلتای نیل استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از روش کریجینگ می‌توان نقشه‌های هم آبگذری تهیه کرد که برای طراحی فاصله زهکش‌ها بسیار مناسب است. Robertson همکاران (۲۰۰۴) از روش‌های زمین آماری برای تحلیل مقدار آب در دسترس خاک استفاده کردند. نمونه‌های خاک از فواصل منظم ۵۰ متری از دو عمق ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری در نزدیکی میلان ایتالیا تهیه شد. مقادیر مقدار آب در دسترس محاسبه شده با کمک روش‌های آماری و زمین آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای میان‌یابی و تهیه نقشه از نتایج روش BLOCK Kriging (BK) بکار رفت. نتایج حاصله تغییرات بیشتر مقدار آب در دسترس را در لایه زیرین نسبت به لایه بالایی نشان داد. Gallichand و Marcotte (۲۰۰۶) نقشه هم‌مقدار درصد رس خاک زیرسطحی را برای زهکشی عمقی بخشی از دلتای نیل با استفاده از روش‌های ژئواستاتیستیک رسم کردند. در این تحقیق ۵ روش

میان‌یابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد کمترین MAD (میانگین تفاوت قدر مطلق‌ها) به روش کوکریجینگ ۱۲/۰۱، به روش میانگین متحرک ۱۲/۱۳، به روش میانگین متحرک وزنی با درجه یک ۱۲/۲۳ و به روش کریجینگ ۱۲/۲۱ خیلی شبیه روش کوکریجینگ بود، درحالی‌که روش نزدیکترین همسایه دارای ۱۶/۴۴ بود. حسنی پاک (۱۳۹۲) در مورد تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک در مقیاس‌های مختلف در سه بستر رودخانه هنارس در سه زمان مختلف تحقیق کردند. آنها از روش‌های آمار کلاسیک برای تفاوت بین بسترها و از زمین آمار برای بیان تغییرات داخل هر بستر استفاده نمودند. ویژگی‌های مورد مطالعه شامل توزیع اندازه ذرات خاک، مقدار کربنات کلسیم و کربن آلی خاک بوده و نتایج نشان داد که تغییرپذیری خصوصیات خاک از بسترهای جوان تا قدیمی کاهش داشته است و این نمایانگر افزایش همگنی خاک با گذشت زمان می‌باشد. همچنین از روش‌های ژئواستاتستیکی برای یافتن فواصل بهینه نمونه برداری برای تعیین ویژگی‌های خاک با توجه به تغییرپذیری مکانی آنها در یک مقیاس مناسب استفاده نمود. Bhatti و همکاران (۲۰۰۰) بر روی تغییرات مکانی تخلخل قابل زهکشی در خاک‌های چمنی تحقیق کردند. نمونه‌های دست نخورده خاک از ۸۴ نقطه یک شبکه ۴۰ در ۱۰ متری برای تعیین تخلخل قابل زهکشی تهیه شدند. تحلیل آماری انجام شده نشان داد که داده‌ها از یک توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و میانگین تغییرات آن‌ها ۴۳/۸ درصد زیاد و وابستگی مکانی بین مشاهده‌ها اندک با ۷۵ درصد اثر قطعه‌ای با میانگین شعاع تاثیر ۲۳ متر بود. مدنی (۱۳۹۰) از روش‌های نزدیکترین همسایه، کریجینگ، میانگین متحرک وزنی، عکس فاصله و TPSS برای تحلیل شوری خاک و رسم نقشه‌های هم شوری استفاده کردند. این تحقیق در ۱۶ هزار هکتار از اراضی جنوب غرب ایران صورت گرفت. نتایج حاصله حاکی از آن است که دقت همه روش‌ها بخاطر نسبت بزرگ اثر قطعه‌ای به آستانه، پایین بوده و مقدار MAD از ۴۲ تا ۷۶ درصد میانگین مقدار اندازه‌گیری شده شوری خاک می‌باشد. روش‌های TPSS و کریجینگ معمولی دقیق‌ترین روش‌ها بودند در حالی‌که روش نزدیکترین همسایه کمترین دقت را دارا بود. Delhomme (۲۰۰۹) از روش‌های زمین آماری جهت طراحی بهینه شبکه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی استفاده نموده است. این بهینه‌سازی در دو مرحله صورت گرفته است. در مرحله اول با استفاده از نمودار تایید متقابل cross validation چاهک‌های مشاهده‌ای غیر ضروری تشخیص داده شد و حذف شدند. در مرحله دوم با استفاده از نقشه توزیع انحراف معیار چاهک‌های مشاهده‌ای مطلوب اضافه شدند. مدنی (۱۳۹۰) برای برآورد ضریب هدایت هیدرولیکی دشت نكاء از روش کریجینگ و روش میانگین متحرک وزنی استفاده کرده است. نتایج نشان می‌دهد که روش کریجینگ معمولی نسبت به روش میانگین متحرک وزنی از دقت بیشتری برخوردار بوده و از آن برای تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی استفاده شده است.

در این تحقیق از نتایج اندازه‌گیری ضریب آگذری در محدوده طرح شبکه آبیاری و زهکشی شاورر در استان خوزستان که با آرایش چاهک‌های مشاهده‌ای، یک کیلومتر در یک کیلومتر که با روش ارنست انجام شده است، استفاده شد. جهت تعمیم و تخمین پهنه‌بندی این ضرایب از روش‌های مختلف محاسباتی و روش زمین آمار استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، بخشی از شبکه آبیاری و زهکشی دشت شاورر، در شمال استان خوزستان به وسعت حدود ۱۲۰۰۰ هکتار می‌باشد. این تحقیق بمنظور تخمین هدایت هیدرولیکی این محدوده، پرداخته شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است. در مطالعات ضریب آگذری، برداشت اطلاعات اغلب بصورت نقطه‌ای انجام می‌شود. در این تحقیق از اطلاعات برداشتی و اندازه‌گیری شده در ۴۹ نقطه چاهک مشاهده‌ای در محدوده طرح حاضر، استفاده شده است. اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف محدوده طرح به روش چاهک (ارنست) با حضور سطح ایستابی انجام شد. در (شکل ۲) نمایی از یک چاهک مشاهده‌ای آورده شده است. در ادامه به اجزای روش‌های درونیابی فضایی اشاره می‌شود.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه، شاورر در استان خوزستان



شکل ۲: نمایی از یک چاهک مشاهده‌ای مجهز شده در گستره طرح

### روش میان‌بایی وزنی معکوس فاصله (IDW)

در این روش فرض بر آنست که با افزایش فاصله، میزان تاثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. برای پیش بینی در مکان‌هایی که داده‌های آن‌ها اندازه‌گیری نشده است، از مقادیر اندازه‌گیری شده پیرامون محل استفاده می‌شود. در پیش بینی، عامل وزن بر اساس فاصله نقاط از یکدیگر تعیین می‌شود. بدین ترتیب که به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص می‌یابد. با استفاده از تابع زیر می‌توان مقادیر مربوط به نقاط مختلف را بدست آورد:

$$z = (\sum_1^n \frac{z_i}{d_i}) / \sum_1^n 1/d_i \quad \text{رابطه ۱:}$$

$Z_i$ : مقادیر نمونه،  $d_i$ : فاصله اقلیدسی هر مکان تا نمونه،  $m$ : عامل توان (اصطحکاک نمونه)،  $n$ : تعداد نقاط نمونه می‌باشد. نسبت کاهش وزن به مقدار  $m$  بستگی دارد، اگر مقدار  $m$  برابر صفر در نظر گرفته شود. در این صورت کاهش در وزن با فاصله ایجاد نمی‌شود. با افزایش مقدار  $m$  وزن برای نقاط دورتر با سرعت کاهش می‌یابد. اگر مقدار  $m$  خیلی بزرگ باشد تنها نقاط مشاهده در پیش بینی تاثیر خواهد داشت.

### روش میان‌بایی کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمینی است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمینگر خطی ناریب با کمترین پراش تخمین است. این تخمین‌گر اختلالات ناشی از تمرکز زیاد نقاط اندازه‌گیری را بطور خودکار رفع می‌کند. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمین، تخمین مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. در حالی که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین نخواهد بود. روش‌های تخمینی کلاسیک نمی‌توانند ساختار فضایی را در نظر بگیرند. در این روش برای هر یک از ایستگاه‌های درون و بیرون یک پهله بر حسب فاصله و موقعیت آن وزن آماری مشخص در نظر گرفته می‌شود. به‌گونه‌ای که پراش تخمین کمینه شود. برای برآورد مقادیر بر اساس روش کریجینگ روش‌های مختلفی وجود دارد که در ادامه مختصری به آن‌ها اشاره می‌شود:

### کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging)

در این روش برای بیان تغییرات فضایی از واریوگرام استفاده می‌شود و خطای مقادیر پیش بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده‌های پیش بینی شده کمینه می‌کند. روش عمومی محاسبه کریجینگ معمولی بر اساس رابطه زیر می‌باشد:

$$z = \sum_1^n w z_i \quad \text{رابطه ۲:}$$

$Z$ : مقادیر برآورد شده،  $W_i$ : وزن داده شده به نمونه‌ها و  $Z_i$ : مقادیر نمونه می‌باشد. وزن‌ها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه جمع آن‌ها برابر یک است. برای محاسبه وزن از معادله ماتریس استفاده می‌شود. در زمین آمار مولفه تصادفی پراش را اصطلاحاً پراش قطعه‌ای و مولفه ساختاردار (تابع فاصله و جهت) آن را پراش فاصله‌ای نامند. واریوگرام (پراش نگار) یک گشتاور مرتبه دوم است. در شکل واریوگرام چند نکته وجود دارد. هرچه فاصله‌های بین جفت نقاط یعنی  $h$  کمتر باشد، واریوگرام کوچک است. اما با زیاد شدن فاصله‌های بین جفت نقاط واریوگرام افزایش می‌یابد و تا فاصله معینی میزان واریوگرام تا یک سطح آستانه افزایش می‌یابد و این به مفهوم این است که بیش از فاصله معین، تغییرات مکانی داده‌ها در محاسبه برآورد نقاط نامعلوم تاثیری ندارد. در دامنه معین، وقتی که جفت نمونه‌ها به هم نزدیک‌تر باشند تغییرات مکانی کوچک‌تر است. محدوده محور  $X$ ‌ها در واریوگرام با استفاده از داده‌های ورودی که بوسیله فاصله بین جفت نقاطی که بیشترین فاصله را دارند مشخص می‌شود. حداکثر فاصله برای جدا کردن جفت نقاطی که مناسب با تابع ریاضی باشد بوسیله شعاع جستجو تعیین می‌شود. روش کریجینگ دو راه برای تخمین سطح دارد: کریجینگ معمولی و کریجینگ عام. کریجینگ معمولی دارای روش‌های کروی، دایره‌ای، نمایی، گاوس و خطی می‌باشد. کریجینگ در این روش‌ها از تابع ریاضی مناسب با نوع سیمی واریوگرام استفاده می‌کند. تا یک خط یا منحنی مناسب با داده‌های سیمی واریوگرام برازش دهد. در روش کریجینگ معمولی فرض بر این است که تغییرات فضایی مستقل از دیگر حالات است.

### واریوگرام دایره‌ای (Circular Variogram)

این روش واریوگرامی برای محاسبه وزن در روابط بکار می‌رود.

### واریوگرام کروی (Spherical Variogram)

این مدل از مبداء مختصات شروع شده و در نزدیکی مبداء، رفتار خطی دارد. با افزایش  $h$  منحنی بسرعت به سمت مقادیر بیشتر  $y(h)$  صعود می‌کند. آنگاه بتدریج از شیب آن کم می‌شود و در فاصله معینی که دامنه تاثیر نامیده می‌شود به سقف خود می‌رسد و در همین مقدار باقی می‌ماند.

### واریوگرام نمایی (Exponential Variogram)

این مدل نیز مانند مدل کروی از مبداء مختصات شروع شده و در نزدیکی مبداء، رفتار خطی دارد ولی آهنگ صعود آن آرامتر از مدل کروی است و در عمل هیچ‌گاه به حد آستانه‌ای یا سقف معینی نمی‌رسد. به این دلیل دامنه تاثیر آن نامعلوم است. علت پیدایش داده‌هایی با چنین مدلی می‌تواند وجود روند در محدوده مورد بررسی باشد و یا اینکه بزرگی قابل ملاحظه دامنه تاثیر نسبت به ابعاد محدوده تحت پوشش نمونه برداری باشد.

### واریوگرام گوسی (Gaussian Variogram)

این مدل از مبدا مختصات گذشته ولی در نزدیکی مبدا بجای رفتار خطی، بر خلاف مله‌های کروی و نمایی رفتارهای سهمی گون دارد. این مدل معرف درجه پیوستگی بالای متغیر ناحیه ای است.

### روش میان‌یابی چندضلعی‌های تیسن (Thiessen)

در این روش کلیه ایستگاه‌های داخل منطقه و در صورت وجود، ایستگاه‌های مجاور می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند. ابتدا ایستگاه‌های هم‌جوار بهم متصل می‌شوند تا تعدادی مثلث ایجاد شود. با رسم عمود منصف‌های اضلاع این مثلث‌ها، چند ضلعی و یا پلی‌گون‌هایی حاصل می‌شود که هر ایستگاه در داخل یکی از این چند ضلعی‌ها قرار می‌گیرد. اگر مساحت مربوط به هر چند ضلعی به ترتیب  $A_1$ ،  $A_2$ ، ...،  $A_n$  و مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی در ایستگاه‌های داخل چند ضلعی نیز  $k_1$ ،  $k_2$ ، ...،  $k_n$  باشد در این صورت متوسط ضریب هدایت هیدرولیکی منطقه از فرمول ذیل بدست می‌آید:

$$K = \frac{A_1 \cdot K_1 + A_2 \cdot K_2 + \dots + A_n \cdot K_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \text{رابطه ۳:}$$

### نتایج و بحث

در ابتدا با بررسی اعداد حاصل از اندازه‌گیری در چاهک‌های مختلف، بر اساس جداول مربوط به تخمین بافت خاک و ضریب هدایت هیدرولیکی خاکها، نقاط اندازه‌گیری شده پرت شناسایی و حذف شدند. به جهت کاهش خطا در حذف نقاط پرت از نرم افزار Civil 3D استفاده شد. بدین نحو که منحنی تراز  $K$  نقاط ترسیم و مشابه شکل ۳ از صحت اندازه‌گیریها اطمینان حاصل شد. در نهایت ارقام جهت محاسبه و تعمیم به گستره طرح نهایی شد. در جدول ۱ این نتایج و تعداد ۴۹ چاهک مشاهده‌ای ارائه شده است.

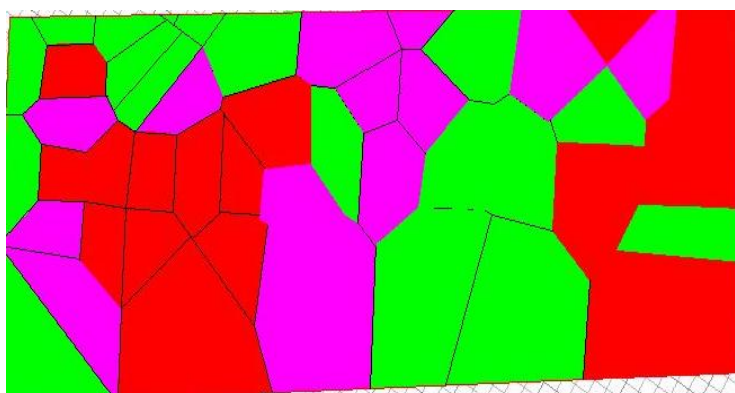


شکل ۳: منحنی تراز  $K$  چاهک‌ها- خروجی نرم افزار Civil 3D

جهت اجرای روش تیسن در برآورد هدایت هیدرولیکی در سطح منطقه مطالعاتی، از نرم افزار ArcGIS و ArcMAP استفاده شد که نتایج این روش جهت ۳ بازه تعریف شده هدایت هیدرولیکی در (شکل ۴) و نتایج مساحت‌های تفکیکی در (جدول ۲) آمده است.

جدول ۱: نتایج ضریب آبگذری به روش ارنست در گستره طرح

| K<br>(m/day) | شماره چاهک | ردیف | K<br>(m/day) | شماره چاهک | ردیف |
|--------------|------------|------|--------------|------------|------|
| 2/43         | F4         | 27   | 1/16         | C14        | 1    |
| 2/08         | F5         | 28   | 0/65         | C16        | 2    |
| 2/45         | F17        | 29   | 0/73         | C18        | 3    |
| 0/84         | F18        | 30   | 1/70         | C19        | 4    |
| 1/44         | F19        | 31   | 1/67         | C20        | 5    |
| 2/87         | F20        | 32   | 1/29         | D15        | 6    |
| 3/78         | F21        | 33   | 0/87         | D16        | 7    |
| 3/14         | F22        | 34   | 1/36         | D17        | 8    |
| 4/75         | F23        | 35   | 0/72         | D18        | 9    |
| 4/55         | F24        | 36   | 0/65         | D19        | 10   |
| 2/85         | F25        | 37   | 1/31         | D20        | 11   |
| 0/55         | F27        | 38   | 5/77         | D22        | 12   |
| 0/52         | F30        | 39   | 3/05         | D23        | 13   |
| 3/87         | F34        | 40   | 5/34         | D24        | 14   |
| 3/72         | G8         | 41   | 2/69         | E5         | 15   |
| 1/72         | G9         | 42   | 3/63         | E15        | 16   |
| 2/82         | G16        | 43   | 1/70         | E17        | 17   |
| 2/99         | G17        | 44   | 0/64         | E18        | 18   |
| 0/69         | G18        | 45   | 2/76         | E20        | 19   |
| 1/25         | G19        | 46   | 3/74         | E21        | 20   |
| 3/22         | G20        | 47   | 2/71         | E22        | 21   |
| 1/73         | G21        | 48   | 1/44         | E24        | 22   |
| 8/67         | G22        | 49   | 2/75         | E25        | 23   |
|              |            |      | 1/25         | E29        | 24   |
|              |            |      | 1/26         | E30        | 25   |
|              |            |      | 3/38         | E34        | 26   |



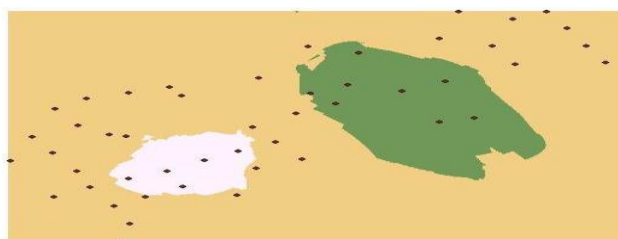
شکل ۴: تخمین هدایت هیدرولیکی منطقه مطالعاتی - به روش میانبایی تیسن



## جدول ۲: ناحیه بندی ضریب آگذری در گستره طرح به روش تیسن

| ردیف           | K<br>(m/day) | مساحت تحت پوشش (ha) |
|----------------|--------------|---------------------|
| ۱ (سبز)        | کمتر از ۲    | ۴۲۴۰                |
| ۲ (بنفش)       | ۳-۲          | ۳۰۶۰                |
| ۳ (قرمز)       | بیشتر از ۳   | ۴۲۰۰                |
| مجموع مساحت کل |              | ۱۱۵۰۰               |

در ادامه جهت برآورد هدایت هیدرولیکی به روش کریجینگ معمولی، از نرم افزار ArcGIS و ArcMAP استفاده شد که نتایج این روش جهت ۳ بازه تعریف شده هدایت هیدرولیکی در (شکل ۵) و نتایج مساحت‌های تفکیکی در (جدول ۳) آمده است.



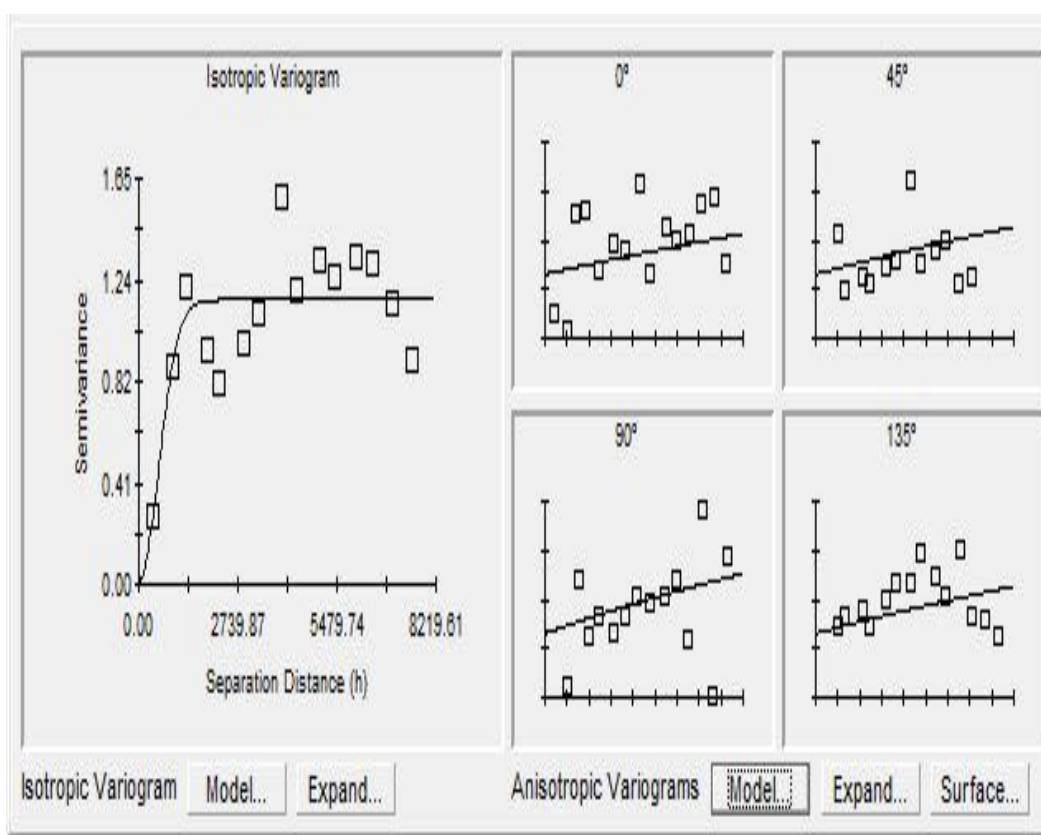
شکل ۵: تخمین هدایت هیدرولیکی منطقه مطالعاتی - به روش کریجینگ معمولی

## جدول ۳: ناحیه بندی ضریب آگذری در گستره طرح به روش کریجینگ معمولی

| ردیف           | K<br>(m/day) | مساحت تحت پوشش (ha) |
|----------------|--------------|---------------------|
| ۱ (سبز)        | کمتر از ۲    | ۲۳۰۰                |
| ۲ (نخودی)      | ۳-۲          | ۷۹۰۰                |
| ۳ (سفید)       | بیشتر از ۳   | ۱۳۰۰                |
| مجموع مساحت کل |              | ۱۱۵۰۰               |

برای برآورد مقادیر متغیر ناحیه‌ای (ضریب آگذری) در سطح منطقه از نرم افزار GS+ که قابلیت اجرای روش اعتبارسنجی متقابل را جهت ارزیابی دقت تخمین به روش کریجینگ می‌باشد، استفاده شد. با دادن مختصات جغرافیایی نقاط K

به نرم افزار GS+ اقدام به رسم واریوگرام‌های هدایت هیدرولیکی در جهات ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه شد. (شکل ۶) واریوگرام‌های بدست آمده از ساختار فضایی مدل نمایی (Exponential) با اثر قطعه ای ۰/۰۲۸ و سقف ۰/۲۱۶ پیروی نمودند. و از آنجاکه نسبت اثر قطعه ای به واریانس کل داده ها کمتر از ۰/۵ شد، مشخص شد که ساختار فضایی بدست آمده از استحکام قابل قبولی برخوردار است. سپس با توجه به آنکه مدل بدست آمده در جهات مختلف دارای پارامترهای (سقف و دامنه تاثیر) یکسانی بودند، همگنی منطقه از نظر توزیع داده‌های متغیر تصادفی اثبات شد. لذا جهت بدست آوردن ساختار واقعی کل منطقه اینبار اقدام به رسم واریوگرام منطقه بدون در نظر گرفتن جهت برای داده ها، شد که ساختار فضایی بدست آمده مجدداً از نوع ساختار فضایی مدل نمایی (Exponential) با اثر قطعه‌ای ۰/۱۲۸ و سقف ۰/۵۰۵ پیروی نمودند. در این حالت نیز، نسبت اثر قطعه ای به واریانس کل داده ها کمتر از ۰/۵ شد، مشخص شد که ساختار فضایی بدست آمده در این حالت هم، از استحکام قابل قبولی برخوردار است. بنابراین ناحیه بندی به روش کریجینگ معمولی که در (شکل ۵) ارائه شده قابل استناد می‌باشد. در جدول ۴ با توجه به روش‌های مختلف کریجینگ معمولی در مقایسه با روشهای دیگر مشاهده می‌شود که درصد خطا و انحراف از معیار به روش کریجینگ معمولی کمتر از سایر روش‌ها می‌باشد.

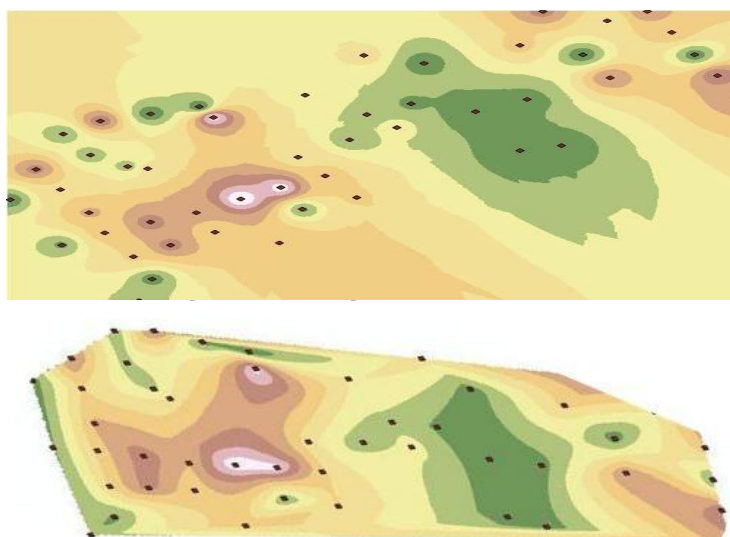


شکل ۶: واریوگرام خروجی مدل نمایی (Exponential)

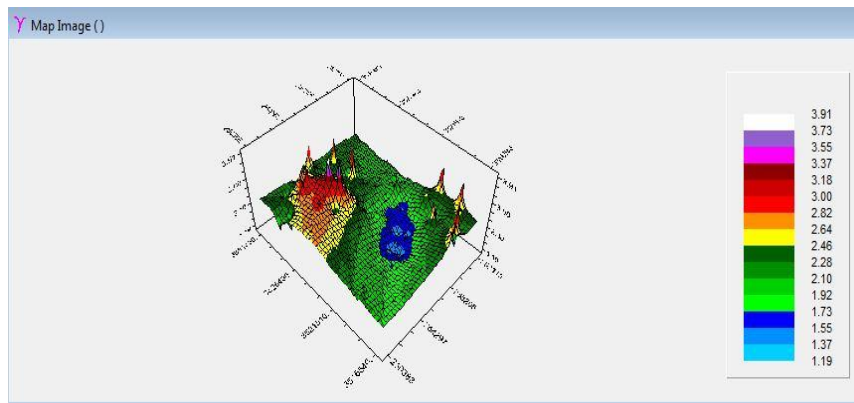
## جدول ۴: مقایسه درصد خطای روش‌های کریجینگ معمولی با سایر روش‌ها

| انحراف معیار (Sd) | روش‌ها                                |
|-------------------|---------------------------------------|
| ۰/۳۶۶             | کریجینگ معمولی با واریوگرام کروی      |
| ۰/۳۶۵             | کریجینگ معمولی با واریوگرام دایره ای  |
| ۰/۳۷۴             | کریجینگ معمولی با واریوگرام نمائی     |
| ۰/۳۶۲             | کریجینگ معمولی با واریوگرام گوسی      |
| ۰/۳۵۴             | کریجینگ معمولی با واریوگرام خطی       |
| ۰/۷۷۰             | کریجینگ غیرمعمولی با واریوگرام خطی    |
| ۳/۹۳              | کریجینگ غیرمعمولی با واریوگرام درجه ۲ |
| ۰/۵۲۹             | میان‌یابی وزنی معکوس فاصله            |
| ۰/۶۸۷             | همسایگی معمولی                        |

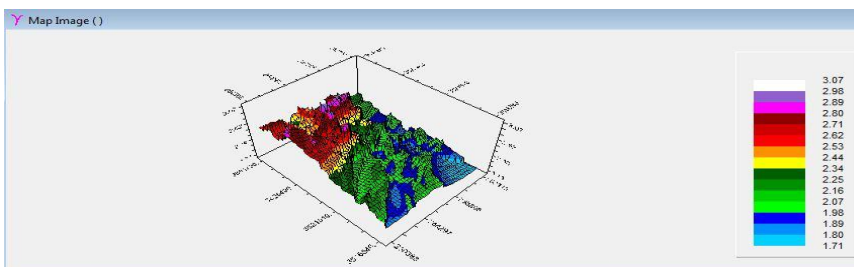
با ترسیم روش‌های دیگر آماری توسط نرم افزار GS+ و نرم افزار ArcGIS و ArcMAP همان‌گونه که در تصاویر زیر ارائه شده است (شکل ۷) تا (شکل ۱۴)، روند تغییرات مکانی در حالت کریجینگ معمولی، از کمترین خطا برخوردار می‌باشد که در این طرح جهت پهنه‌بندی و تعمیم هدایت هیدرولیکی از روش میان‌یابی کریجینگ معمولی استفاده شد.



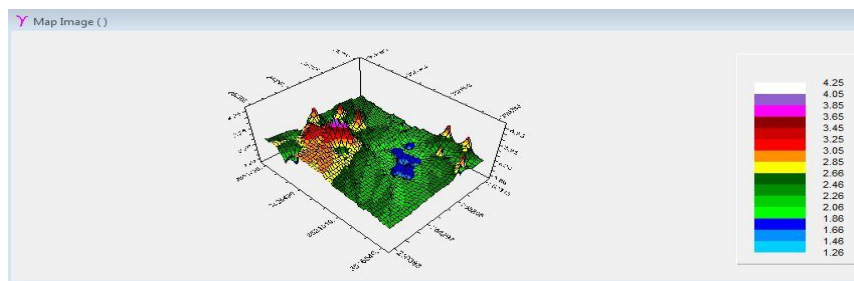
شکل ۸: تخمین هدایت هیدرولیکی منطقه مطالعاتی - به روش Natural Neighbor



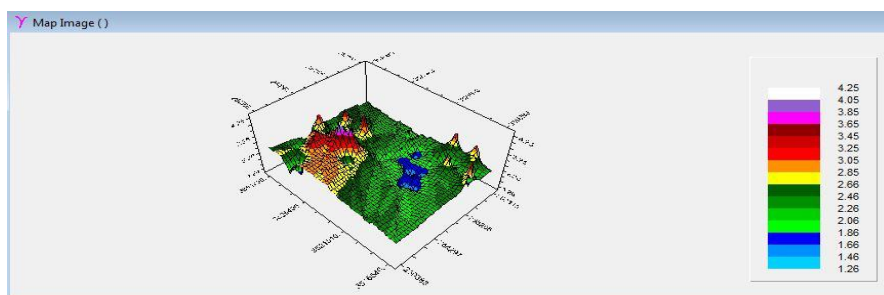
شکل ۹: تخمین منطقه مطالعاتی - به روش IDW-INVERSE DISTANCE



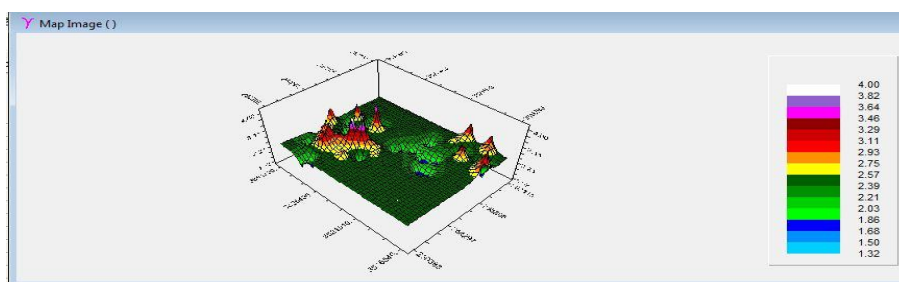
شکل ۱۰: تخمین منطقه مطالعاتی - به روش IDW-NORMAL DISTANCE



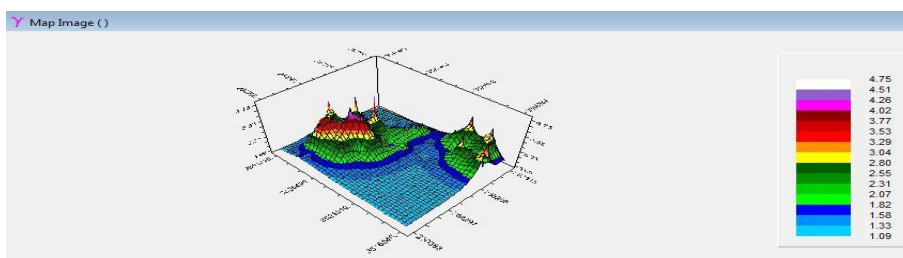
شکل ۱۱: تخمین منطقه مطالعاتی - به روش KRIGING-ORDINARY-EXTERNAL DRIFT



شکل ۱۲: تخمین منطقه مطالعاتی - به روش KRIGING-ORDINARY-POLYNOMIAL TREND



شکل ۱۳: تخمین منطقه مطالعاتی- به روش KRIGING-SIMPLE-STATIONARY



شکل ۱۴: تخمین منطقه مطالعاتی- به روش SIMULATE

### نتیجه‌گیری

با توجه به انتخاب روش تعمیم هدایت هیدرولیکی چاهک‌های مشاهده‌ای، به گستره طرح، که در اینجا روش کریجینگ معمولی بیان شد. و طبق جدول ۳ به ۳ ناحیه مجزا از لحاظ مقدار ضریب آبگذری تفکیک شد در ادامه در جدول ۵ محاسبه مشخصات لترال‌های زیرزمینی ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، چنانچه در تخمین محدوده گستره طرح جهت ضریب آبگذری، از روش غیر معتبر و دارای خطا استفاده شود، چه بسا باعث تشدید هزینه در طرح‌های شبکه‌های زهکشی شود. لذا جهت هر طرح مطالعاتی بررسی کلیه روش‌های آماری کلاسیک و زمین آمار جهت محاسبه ضریب آبگذری به جهت تعیین فواصل لترال‌های زیرزمینی از اهمیت بسزایی برخوردار خواهد بود.

جدول ۵: مشخصات لوله‌های زیرزمینی در گستره طرح

| ردیف     | K<br>(متر در روز) | مساحت تحت پوشش (هکتار) | عمق متوسط کارگذاری<br>لترال‌ها (متر) | اندازه قطر لترال‌های<br>زیرزمینی (میلی‌متر) | فاصله کارگذاری لترال‌های<br>زیرزمینی (متر) |
|----------|-------------------|------------------------|--------------------------------------|---|--|
| ۱ (سبز)  | کمتر از ۲         | ۲۳۰۰                   | ۱/۵                                  | ۱۲۵   | ۵۰   |
| ۲ (بنفش) | ۲-۳               | ۷۹۰۰                   | ۱/۵                                  | ۱۲۵   | ۷۰   |
| ۳ (قرمز) | بیشتر از ۳        | ۱۳۰۰                   | ۱/۵                                  | ۱۲۵   | ۸۰   |

## منابع

- حسینی پاک، ع. (۱۳۹۰). زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.
- عالمی، ک. و آذری، ک. (۱۳۹۰). کریجینگ و مدل سازی‌های تک متغیری یک داده مرتبط، تکنولوژی خاک، ص ۶.
- مدنی، ح. (۱۳۹۰). مبانی زمین آمار، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۵۴۸ ص.
- Bhatti, A. U. A. Bakhsh, M and Gurmani, A. H. (2000).** Spatial variability of Analysis. .pp: 30.
- Delhomme, J. P . (2009).** Kriging in the hydrosiences. Adv. Water Resources, 1.
- Gallichand, J. and Marcotte, D. (2006).** Mapping clay content for subsurface drainage in the Nile delta. Geoderma. p: 165.
- Hosseini M. (2010).** Effect of Landuse Changes on Water Balance and Suspended Sediment Yield of Taleghan Catchment, Iran. PhD Thesis, University Putra Malaysia.
- Robertson, M. P., Peter, C.I and Villet, M. H. (2004).** Comparing Models for Predicting Species, Potential Distribution, A case Study Using Correlative and Mechanistic Predictive Modeling Techniques, Ecol.Model,164.