



دانشکده علوم

**پهنه‌بندی پارامترهای کمی و کیفی آبخوان دشت شهر کرد با استفاده از**

**روش‌های زمین آمار**

نگارنده

**مهدی عبدالهی منصورخانی**

استاد راهنما

**دکتر حسین محمدزاده**

استاد مشاور

**دکتر محمد امینی**

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته زمین شناسی

گرایش زمین شناسی - آب شناسی (هیدروژئولوژی)

آبان ۱۳۹۱

سنة الفجر

دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده علوم

**پهنه‌بندی پارامترهای کمی و کیفی آبخوان دشت شهر کرد با استفاده از**

**روش‌های زمین آمار**

نگارنده

**مهدی عبدالهی منصورخانی**

استاد راهنما

**دکتر حسین محمدزاده**

استاد مشاور

**دکتر محمد امینی**

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته زمین شناسی  
گرایش زمین شناسی - آب شناسی (هیدروژئولوژی)

آذر ۱۳۹۱

## اظہار نامہ

اینجانب مہدی عبدالہی منصورخانی دانشجوی دورہ کارشناسی ارشد رشتہ ہیدروژنولوژی دانشکدہ علوم دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامہ پهنہ بندی پارامترهای کمی و کیفی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از روش های زمین آمار تحت راهنمایی دکتر حسین محمدزاده متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامہ توسط اینجانب انجام شدہ و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفادہ از نتایج پژوهش های محققان دیگر بہ مرجع مورد استفادہ استناد شدہ است.
- مطالب مندرج تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت ہیچ نوع مدرک یا امتیازی در ہیچ جا ارائه نگردیدہ است.
- کلیہ حقوق معنوی این اثر متعلق بہ دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه فردوسی مشهد» و یا «Ferdowsi University of Mashhad» بہ چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی کہ در بہ دست آمدن نتایج اصلی پایان نامہ تأثیرگذار بودہ اند در مقالات مستخرج از پایان نامہ رعایت شدہ است.
- در کلیہ مراحل انجام این پژوهش، در مواردی کہ از موجود زندہ (یا بافت های آن ها) استفادہ شدہ ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شدہ است.
- در کلیہ مراحل انجام این پایان نامہ، در مواردی کہ بہ حوزہ اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفادہ شدہ، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شدہ است.

تاریخ ۱۳۹۱/۹/۱ امضای دانشجو

مہدی عبدالہی منصورخانی

## حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
  - استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.
- © متن این صفحه باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر از جانم

سروردگارا:

نه میتوانم مویشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دستهای پینه بسته‌شان که ثمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم. پس توفیقم ده که هر لحظه شکر گزارشان باشم و ثانیه برای عمرم راد عصای دست بودشان بگذرانم.

تقدیم به برادرانم:

که همواره در طول تحصیل متحمل زحمتم بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد

تقدیم به خواهرانم:

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

## به نام خالق بی‌همتا

اکنون که برگ دیگری از صفحه‌ی زندگی ورق خورده و مرحله‌ی دیگری از کسب علم و معرفت را پشت سر گذاشتم، خدا را شاکرم و سپاس می‌گویم که مرا لایق آموختن گردانید. چرا که بی‌لطف و عنایت آن یگانه‌ی بی‌همتا این مهم فراهم نمی‌شد. و بهرانه‌ی که مراد طی این راه یاری کرده‌اند، انزای جز قدردانی و سپاس در دست نیست تا گوشه‌ای از محبت‌های آن‌ها را جبران کنم.

از دو کوهر کرانمایه زندگی‌ام، پدر و مادر عزیزم که اسوه‌ی ایثار و عشق‌اند، سپاسگزارم و خدایان بار دستان پر مهرشان را می‌بوسم. همچنین از برادران و خواهران عزیزم که پشتیبانی‌های بی‌دریغشان، همواره مایه‌ی دلگرمی‌هایم بوده، تشکر می‌کنم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر حسین محمدزاده که در انجام مراحل مختلف تحقیق مساعدت‌های بی‌شماری را مبذول فرمودند و به حق جز با کمال ایشان این تحقیق به ثمر نمی‌رسید، کمال تشکر را دارم و افتخار نگارنده‌ی ایشان، فرصتی ارزشمند برای من بوده است.

همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد امینی که حمایت‌های بی‌دریغشان کرده‌کشای کارهایم بود کمال تشکر و قدردانی را دارم و برای ایشان آرزوی سلامتی و موفقیت دارم.

از اساتید بزرگوارم، جناب آقای دکتر ولایتی، مساعدی، لکشری پور، صادقی و ناصری کمال تشکر و قدردانی را دارم و برای ایشان آرزوی سلامتی دارم.

از جناب آقایان دکتر ابوالفضل مساعدی و دکتر محمد غفوری که داوری پایان‌نامه را پذیرفته و نظرات سازنده‌ای را در اختیار اینجانب نهادند، بسیار سپاسگزارم.

از کلیه مسئولین محترم شرکت آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب استان چهارمحال بختیاری بویژه جناب آقای مهندس اصلانی و سرکار خانم مهندس مؤمنی بمشور همکاری در ارائه‌ی آمار و اطلاعات مورد نیاز این تحقیق کمال تشکر را دارم. در طول مدت تحصیل و انجام این تحقیق دوستان بسیاری مشوق و بهرام بودند که مجال ذکر نام تک‌تک آن‌ها فراهم نیست. لذا از تمامی آن‌ها سپاسگزارم و توفیق روزافزونشان را از درگاه خداوند خواستارم.

با آرزوی توفیق روزافزون تان

هدی عبدالمی‌منصورخانی

## چکیده

منابع آب زیرزمینی یکی از مهمترین عوامل توسعه پایدار محسوب می گردد. روش‌های زمین‌آماري یکی از روش‌های مناسب درون‌یابی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات مکانی ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی و پارامترهای کیفی آب (هدایت الکتریکی، کلسیم، سدیم، منیزیم، کلر، بی‌کربنات، سولفات، نترات) و تعیین توزیع بهینه شبکه چاه‌های دشت شهرکرد با دقت قابل قبول می‌باشد. با توجه به معیار ارزشیابی متقابل و مقدار  $RMS$ ،  $ASE$ ،  $ME$  و  $C_0/(C_0+C)$  از بین مدل‌های مختلف زمین‌آماري برآزش داده شده به داده‌های کمی و کیفی آب‌زیرزمینی، تخمین‌گر کریجینگ عام با روند درجه یک برای داده‌های هدایت الکتریکی، کریجینگ عام و روند درجه یک با مدل کروی پنج‌گانه برای داده‌های کلسیم، لاگ کریجینگ معمولی با مدل نمایی برای داده‌های کلر و منیزیم، کریجینگ عام و روند درجه یک با مدل نمایی برای داده‌های بی‌کربنات، لاگ کریجینگ معمولی با مدل کروی پنج‌گانه برای داده‌های سولفات و سدیم، کریجینگ معمولی با مدل نمایی برای داده‌های نترات و مدل کوکریجینگ با متغیر کمی شیب و مدل کروی برای تراز آب‌زیرزمینی دشت شهرکرد برگزیده و نقشه‌های کمی و کیفی ترسیم گردیده است. نتایج حاصل از مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی با روش انتخاب شده زمین‌آماري، نشان می‌دهد که روش‌های زمین‌آماري برگزیده شده در مقایسه با روش‌های معین، برتری قابل ملاحظه‌ای دارند. همچنین، در این تحقیق، برای بدست آوردن شبکه بهینه پایش از دو روش حذف چاه‌های غیرضروری (تعیین و حذف تعداد ۶ چاه غیر ضروری از شبکه با استفاده از معیار ارزشیابی متقابل) و اضافه کردن چاه (تعیین و افزودن تعداد ۱۱ چاه به مناطقی که دارای بیشترین میزان خطا بودند) استفاده شده است. بطور کلی، نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی نشان دهنده کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مرکزی و خروجی دشت می باشد.

**واژه های کلیدی:** آب‌زیرزمینی، روش‌های زمین‌آماري، شبکه بهینه، دشت شهرکرد



## فهرست مطالب

فصل ۱	۱
کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- موضوع پژوهش و ماهیت مسئله	۲
۳-۱- پیشینه پژوهش	۳
۱-۳-۱- پیشینه پژوهش در جهان	۴
۲-۳-۱- پیشینه پژوهش در ایران	۱۰
۴-۱- ضرورت طرح مسئله و اهمیت آن	۱۳
۵-۱- فرضیات پژوهش	۱۴
۶-۱- اهداف پژوهش	۱۵
فصل ۲	۱۶
زمین شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی منطقه مورد مطالعه	۱۶
۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۱۶
۲-۲- زمین ریخت شناسی منطقه مورد مطالعه	۱۷
۱-۲-۱- رخساره‌های دوران دوم	۱۸
۲-۲-۲- رخساره‌های دوران سوم	۱۹
۳-۲-۲- رسوبات آبرفتی (کواترنری)	۲۰

ب

- ۳-۲- جایگاه زمین شناسی و زمین ساخت منطقه مورد مطالعه ..... ۲۱
- ۴-۲- هیدرولوژی ..... ۲۲
- ۵-۲- هواشناسی و اقلیم منطقه ..... ۲۳
- ۶-۲- هیدروژئولوژی آبخوان دشت شهرکرد ..... ۲۵
- ۶-۲-۱- ویژگی های هیدرودینامیک واحدهای رسوبی دشت شهرکرد ..... ۲۶
- ۶-۲-۲- تراز آب های زیرزمینی و نوسانات سطح ایستابی ..... ۲۶
- ۶-۲-۳- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دشت شهرکرد ..... ۲۸
- ۷-۲- بهره برداری و تخلیه سالانه از منابع آب زیرزمینی ..... ۳۰
- ۸-۲- هیدروژئوشیمی آبخوان ..... ۳۰
- ۹-۲- بررسی کیفیت آب جهت مصارف مختلف ..... ۳۳
- ۹-۲-۱- بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت شرب ..... ۳۳
- ۹-۲-۲- بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی ..... ۳۵
- ۱۰-۲- تیپ آب زیرزمینی ..... ۳۶
- فصل ۳ ..... ۳۸
- مواد و روش ها ..... ۳۸
- ۳-۱- مقدمه ..... ۳۸
- ۳-۲- زمین آمار ..... ۳۸
- ۳-۲-۱- مفهوم و کاربرد زمین آمار ..... ۳۸
- ۳-۲-۳- تفاوت زمین آمار و آمار کلاسیک ..... ۴۱

- ۳-۳- مفاهیم کلیدی زمین آمار ..... ۴۱
- ۳-۳-۱- تئوری متغیرهای ناحیه‌ای ..... ۴۱
- ۳-۳-۱-۱- فرضیات ایستایی ..... ۴۲
- ۳-۳-۲- نیم تغییرنا ..... ۴۳
- ۳-۳-۱- پارامترها و تفسیر نیم تغییرنا ..... ۴۴
- ۳-۳-۲- مدل‌های تئوری نیم تغییرنا ..... ۴۶
- ۳-۳-۳- همسانگردی و ناهمسانگردی متغیر ..... ۵۰
- ۳-۴- روشهای زمین آماری ..... ۵۱
- ۳-۴-۱- انواع کریجینگ ..... ۵۳
- ۳-۴-۱-۱- کریجینگ بر حسب حجم پایه ..... ۵۳
- ۳-۴-۱-۲- کریجینگ بر اساس مشخصات ساختار فضایی ..... ۵۳
- ۳-۴-۲- واریانس تخمین ..... ۵۸
- ۳-۵- تحلیل زمین آماری ..... ۵۹
- ۳-۵-۱- معیار همبستگی مکانی ..... ۵۹
- ۳-۵-۲- بررسی نرمال بودن داده‌ها ..... ۶۰
- ۳-۵-۳- برازش تغییرنا به داده‌ها ..... ۶۰
- ۳-۵-۴- چگونگی برازش مدل به تغییرنا ..... ۶۱
- ۳-۶- ارزیابی اعتبار مدل و واریوگرام ..... ۶۱
- ۳-۷- تهیه نقشه تخمین ..... ۶۴

- ۳-۸-۶۵..... بهینه‌سازی شبکه داده‌برداری برای ارتفاع آب زیرزمینی
- ۳-۸-۱-۶۵..... حذف نقاط اضافی
- ۳-۸-۲-۶۵..... افزودن نقاط جدید
- ۳-۹-۶۷..... زمین آمار و نرم افزارهای مورد نیاز
- فصل ۴..... ۶۹
- بررسی و تحلیل نتایج..... ۶۹
- ۴-۱-۶۹..... مقدمه
- ۴-۲-۶۹..... بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کمی و کیفی
- ۴-۳-۷۲..... سطح ایستابی
- ۴-۳-۱-۷۲..... برازش بهترین مدل به داده‌های سطح ایستابی
- ۴-۳-۲-۷۲..... آزمون نرمال بودن داده‌های سطح ایستابی
- ۴-۳-۳-۷۲..... کاربرد روش‌های کریجینگ خطی برای داده‌های تراز سطح ایستابی
- ۴-۳-۳-۱-۷۳..... کریجینگ معمولی (OK)
- ۴-۳-۳-۲-۷۴..... کریجینگ باقیمانده
- ۴-۴-۷۶..... هدایت الکتریکی (EC)
- ۴-۴-۱-۷۶..... آماده سازی داده‌های هدایت الکتریکی
- ۴-۴-۱-۱-۷۶..... آزمون نرمال بودن داده‌های هدایت الکتریکی
- ۴-۴-۱-۲-۷۷..... نرمال کردن داده‌های هدایت الکتریکی
- ۴-۴-۲-۷۷..... کاربرد روش‌های کریجینگ خطی برای داده‌های هدایت الکتریکی

- ۷۸ ..... ۴-۴-۲-۱- روش کریجینگ معمولی
- ۷۸ ..... ۴-۴-۲-۲- کریجینگ باقیمانده
- ۸۳ ..... ۴-۵-کلسیم
- ۸۳ ..... ۴-۵-۱- برازش بهترین مدل به داده های کلسیم آب‌یرزمینی
- ۸۳ ..... ۴-۵-۱-۱- نرمال بودن داده‌ها
- ۸۳ ..... ۴-۵-۱-۲- نرمال کردن داده‌های کلسیم
- ۸۴ ..... ۴-۵-۲- کاربرد روش‌های کریجینگ خطی برای داده‌های کلسیم
- ۸۴ ..... ۴-۵-۲-۱- کریجینگ معمولی
- ۸۵ ..... ۴-۵-۲-۲- کریجینگ باقیمانده
- ۸۶ ..... ۴-۶-سدیم
- ۸۷ ..... ۴-۶-۱- برازش بهترین مدل به داده های سدیم آب‌یرزمینی
- ۸۷ ..... ۴-۶-۱-۱- نرمال بودن داده‌ها
- ۸۷ ..... ۴-۶-۱-۲- نرمال کردن داده‌های سدیم
- ۸۷ ..... ۴-۶-۲- کاربرد روش‌های کریجینگ خطی برای داده‌های سدیم
- ۸۷ ..... ۴-۶-۲-۱- کریجینگ معمولی
- ۸۸ ..... ۴-۶-۲-۲- کریجینگ باقیمانده
- ۹۰ ..... ۴-۷-منیزیم
- ۹۱ ..... ۴-۷-۱- برازش بهترین مدل به داده های منیزیم آب‌یرزمینی
- ۹۱ ..... ۴-۷-۱-۱- نرمال بودن داده‌ها

- ۹۱ ..... ۲-۱-۷-۴- نرمال کردن داده‌های منیزیم
- ۹۱ ..... ۲-۷-۴- کاربرد روش‌های کریجینگ خطی برای داده‌های منیزیم
- ۹۱ ..... ۱-۲-۷-۴- کریجینگ معمولی
- ۹۲ ..... ۲-۲-۷-۴- کریجینگ باقیمانده
- ۹۶ ..... ۸-۴- کلر ( $Cl^-$ )
- ۹۶ ..... ۱-۸-۴- برازش بهترین مدل به داده‌های کلر آب‌یرزمینی
- ۹۶ ..... ۱-۱-۸-۴- نرمال بودن داده‌ها
- ۹۶ ..... ۲-۸-۴- کریجینگ معمولی
- ۹۹ ..... ۳-۸-۴- کریجینگ باقیمانده
- ۱۰۰ ..... ۹-۴- بیکربنات ( $HCO_3^-$ )
- ۱۰۱ ..... ۱-۹-۴- برازش بهترین مدل به داده‌های بیکربنات آب‌یرزمینی
- ۱۰۱ ..... ۱-۱-۹-۴- نرمال بودن داده‌ها
- ۱۰۱ ..... ۲-۹-۴- کریجینگ معمولی
- ۱۰۲ ..... ۳-۹-۴- کریجینگ باقیمانده
- ۱۰۴ ..... ۱۰-۴- سولفات ( $SO_4^{2-}$ )
- ۱۰۴ ..... ۱-۱۰-۴- آزمون نرمال بودن داده‌های سولفات
- ۱۰۵ ..... ۱-۱-۱۰-۴- نرمال کردن داده‌های سولفات
- ۱۰۵ ..... ۲-۱۰-۴- کریجینگ معمولی
- ۱۰۷ ..... ۳-۱۰-۴- کریجینگ باقیمانده

- ۱۰۸.....نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ).....۱۱-۴
- ۱۰۹.....آزمون نرمال بودن داده‌های نیترات.....۱-۱۱-۴
- ۱۰۹.....کاربرد روش‌های کریجینگ خطی برای داده‌های نیترات.....۲-۱۱-۴
- ۱۱۰.....کریجینگ معمولی.....۱-۲-۱۱-۴
- ۱۱۱.....کریجینگ باقیمانده.....۲-۲-۱۱-۴
- ۱۱۳.....۱۲-۴- مقایسه نتایج انواع روش‌های درونیابی برای تخمین پارامترهای کمی و کیفی آبهای زیرزمینی
- ۱۱۵.....تعیین شبکه بهینه.....۱۳-۴
- ۱۱۶.....حذف چاه‌های اضافی.....۱-۱۳-۴
- ۱۱۹.....افزودن چاه‌های جدید.....۲-۱۳-۴
- ۱۲۲.....فصل ۵.....۱۲۲
- ۱۲۲.....نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....۱۲۲
- ۱۲۲.....۱-۵- نتیجه‌گیری.....۱۲۲
- ۱۲۴.....۲-۵- پیشنهادات.....۱۲۴
- ۱۲۶.....منابع و مآخذ.....۱۲۶

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دشت شهرکرد ..... ۱۶
- شکل ۲-۲: نقشه توپوگرافی و منحنی‌های هم ارتفاع حوضه آبریز دشت شهرکرد..... ۱۷
- شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی دشت شهرکرد ..... ۲۱
- شکل ۴-۲: نقشه هیدروگرافی حوضه آبریز..... ۲۲
- شکل ۵-۲: بارندگی سالانه ایستگاه سینوپتیک شهرکرد از سال آبی ۶۰-۶۱ الی ۸۶-۸۷ ..... ۲۳
- شکل ۶-۲: نقشه همباران دشت شهرکرد..... ۲۴
- شکل ۷-۲: موقعیت دشت شهرکرد بر روی اقلیم نمای دوما رتن..... ۲۵
- شکل ۸-۲: الف) نقشه تراز سطح ایستایی دوره خشک، ب) دوره تر در سال ۸۹-۱۳۸۸ دشت شهرکرد  
..... ۲۸
- شکل ۹-۲: هیدروگراف واحد دشت شهرکرد از سال ۱۳۸۵-۱۳۹۰ ..... ۲۸
- شکل ۱۰-۲: الف) نقشه هم قابلیت انتقال (T) و ب) نقشه تغییرات ضریب ذخیره (S) آبخوان دشت  
شهرکرد ..... ۳۰
- شکل ۱۱-۲: کموگراف معرف آبخوان دشت شهرکرد ..... ۳۱
- شکل ۱۲-۲: الف) نقشه‌های هم هدایت الکتریکی و ب) هم کلر آبخوان دشت شهرکرد ..... ۳۲
- شکل ۱۳-۲: دیاگرام شولر منابع آب زیرزمینی دشت شهرکرد (خرداد ۱۳۹۰) ..... ۳۴
- شکل ۱۴-۲: دیاگرام ویلکاکس منابع آب زیرزمینی دشت شهرکرد (خرداد ۱۳۹۰) ..... ۳۶
- شکل ۱۵-۲: دیاگرام پایپر منابع آب زیرزمینی دشت شهرکرد (خرداد ۱۳۹۰) ..... ۳۷
- شکل ۱-۳: طرح کلی نیم تغییرنما ..... ۴۴
- شکل ۲-۳: نمایی از نیم تغییرنمای مدل کروی، نمایی، گوسی و خطی..... ۴۷



- شکل ۳-۳: الگوریتم بهینه‌سازی شبکه داده‌برداری سطح آب‌یرزمینی با افزایش تعدادی چاه در محل‌های ویژه ..... ۶۷
- شکل ۴-۱: موقعیت منابع منتخب در دشت شهرکرد ..... ۷۰
- شکل ۴-۲: هیستوگرام توزیع داده‌های الف) تراز سطح ایستابی، ب) هدایت الکتریکی ..... ۷۱
- شکل ۴-۳: نیم تغییرنمای تراز سطح ایستابی در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند ..... ۷۴
- شکل ۴-۴: نقشه تخمین تراز سطح ایستابی الف) و نقشه خطای استاندارد ب) با تخمینگر کریجینگ عام و روند درجه یک ..... ۷۶
- شکل ۴-۵: نیم تغییرنمای متغیر هدایت الکتریکی در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند ..... ۷۹
- شکل ۴-۶: نقشه تخمین هدایت الکتریکی الف) و نقشه خطای استاندارد هدایت الکتریکی ب) با کمک کریجینگ عام با حذف روند درجه یک ..... ۸۱
- شکل ۴-۷: هیستوگرام توزیع داده‌های الف) کلسیم، ب) سدیم و ج) منیزیم ..... ۸۲
- شکل ۴-۸: نیم تغییرنمای برازش شده به داده‌های کلسیم برای لاگ کریجینگ معمولی ..... ۸۴
- شکل ۴-۹: نیم تغییرنمای متغیر کلسیم در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند ..... ۸۵
- شکل ۴-۱۰: نقشه تخمین کلسیم الف) و نقشه خطای استاندارد کلسیم ب) با کمک کریجینگ عام با روند درجه یک ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۱: نیم تغییرنمای برازش شده به داده‌های سدیم برای لاگ کریجینگ معمولی ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۲: نیم تغییرنمای متغیر سدیم در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۳: نقشه تخمین سدیم و ب) نقشه خطای استاندارد سدیم با کمک کریجینگ معمولی و مدل کروی پنچگانه ..... ۹۰
- شکل ۴-۱۴: نیم تغییرنمای برازش شده به داده‌های منیزیم برای لاگ کریجینگ معمولی ..... ۹۲
- شکل ۴-۱۵: نیم تغییرنمای متغیر منیزیم در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند ..... ۹۳

- شکل ۴-۱۶: الف) نقشه تخمین منیزیم و ب) نقشه خطای استاندارد منیزیم با تخمینگر کریجینگ معمولی و مدل نمایی..... ۹۴
- شکل ۴-۱۷: هیستوگرام توزیع داده‌های الف) کلر، ب) بیکربنات و ج) سولفات..... ۹۵
- شکل ۴-۱۸: نیم تغییرنمای برازش شده به داده‌های کلر برای کریجینگ معمولی..... ۹۷
- شکل ۴-۱۹: الف) نقشه تخمین و ب) نقشه خطای استاندارد کلر با تخمینگر کریجینگ معمولی..... ۹۸
- شکل ۴-۲۰: مقایسه دقت تخمین کریجینگ معمولی بر روی داده‌های کلر..... ۹۸
- شکل ۴-۲۱: نیم تغییرنما متغیر کلر در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند..... ۹۹
- شکل ۴-۲۲: نقشه تخمین کلر با تخمینگر کریجینگ عام و روند درجه دو..... ۱۰۰
- شکل ۴-۲۳: نیم تغییرنمای برازش شده به داده‌های بیکربنات..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۴: نیم تغییرنما بیکربنات در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۵: الف) نقشه تخمین بیکربنات، ب) نقشه خطای استاندارد بیکربنات با تخمینگر کریجینگ عام و روند درجه یک..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۶: نیم تغییرنمای برازش شده به داده‌های لگاریتمی سولفات..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲۷: مقایسه دقت تخمین مدل کریجینگ معمولی برازش داده شده به داده‌های لگاریتمی سولفات..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۸: الف) نقشه تخمین سولفات ب) نقشه خطای استاندارد سولفات با تخمینگر لاگ کریجینگ معمولی..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۹: نیم تغییرنما متغیر سولفات در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳۰: هیستوگرام توزیع داده‌های نیترات..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۱: نیم تغییرنمای برازش شده به داده‌های نیترات..... ۱۱۱
- شکل ۴-۳۲: مقایسه دقت تخمین مدل کریجینگ معمولی برازش داده شده به داده‌های نیترات..... ۱۱۱
- شکل ۴-۳۳: الف) نقشه تخمین نیترات ب) نقشه خطای تخمین با کمک کریجینگ معمولی..... ۱۱۱

- شکل ۴-۳۴: نیم تغییرنما متغیر نیترات در جهت‌های مختلف برای بررسی وجود روند..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۵: نقشه تخمین نیترات با مدل کریجینگ باقیمانده نوع دوم..... ۱۱۳
- شکل ۴-۳۶: تغییرنمای مربوط به شبکه دشت شهرکرد (خرداد ۱۳۹۰)..... ۱۱۶
- شکل ۴-۳۷: نمودار ارزشیابی متقابل شبکه دشت شهرکرد (خرداد ۱۳۹۰)..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۸: الف) نقشه هم‌تراز سطح ایستابی و ب) نقشه خطای استاندارد تخمین ارتفاع سطح آب برای
- ۲۹ چاه (بهینه سازی با کاهش چاه)..... ۱۱۸
- شکل ۴-۳۹: نمودار ارزشیابی متقابل شبکه دشت شهرکرد برای ۳۵ حلقه چاه..... ۱۱۹
- شکل ۴-۴۰: الف) نقشه هم‌تراز سطح ایستابی و ب) نقشه خطای استاندارد تخمین ارتفاع سطح آب برای
- ۴۶ چاه (بهینه سازی با افزایش چاه)..... ۱۲۱

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲: دبی متوسط ماهانه و سالانه رودخانه جهان‌بین در ایستگاه خررود ..... ۲۲
- جدول ۲-۲: ضرایب هیدرودینامیکی حاصل از آزمایش پمپاژ آبخوان شهرکرد ..... ۲۹
- جدول ۳-۲: تعداد و میزان تخلیه سالانه منابع آبی دشت شهرکرد ..... ۳۰
- جدول ۴-۲: رده بندی کیفیت آب به روش شولر ..... ۳۳
- جدول ۵-۲: درصد هر یک از کلاس‌های طبقه بندی شولر (برای مصارف شرب) در دشت شهرکرد ..... ۳۴
- جدول ۱-۳: انواع مدل‌های نیم‌تغییرنما ..... ۴۷
- جدول ۲-۳: انواع روشهای درونیایی ..... ۵۲
- جدول ۳-۳: انواع خطاها جهت ارزیابی روشهای درونیایی و مدل ..... ۶۳
- جدول ۴-۳: نرم‌افزارهای بکار گرفته شده برای پردازش داده‌ها و کاربرد آن‌ها ..... ۶۸
- جدول ۱-۴: نتایج آزمون کلموگراف اسمیرنوف برای داده‌های کمی و کیفی آبهای زیرزمینی ..... ۷۰
- جدول ۲-۴: مقایسه مدل‌های نیم‌تغییرنما بکار برده شده بر روی داده‌های تراز سطح ایستابی با کمک کریجینگ معمولی ..... ۷۳
- جدول ۳-۴: نتایج مقایسه نیم‌تغییرنمای داده‌های تراز سطح ایستابی با کریجینگ عام و روند درجه یک ..... ۷۵
- جدول ۴-۴: مقایسه مدل‌های نیم‌تغییرنما بکار برده شده بر روی لگاریتم داده‌های هدایت الکتریکی با کمک لاگ کریجینگ معمولی ..... ۷۸
- جدول ۵-۴: نتایج مقایسه پارامترهای آماری بهترین نیم‌تغییرنما با کریجینگ عام و حذف روند ..... ۷۹
- جدول ۶-۴: مقایسه مدل‌های نیم‌تغییرنما بر روی لگاریتم داده‌های کلسیم با تخمینگر لاگ کریجینگ معمولی ..... ۸۴
- جدول ۷-۴: نتایج مقایسه پارامترهای آماری بهترین نیم‌تغییرنما با کریجینگ عام و حذف روند ..... ۸۵