بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم زمین
پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

پهنه‌بندی مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در دشت مشهد

نگارنده:
مهری عابدی

استاد راهنما:
دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:
دکتر ناصر حافظی مقدس

بهمن ماه ۱۳۹۵

گروه زمین‌شناسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم مهری عابدی

تحت عنوان: پهنه‌بندی مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در دشت مشهد

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... موردپذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی دکتر غلامحسین کرمی		نام و نام خانوادگی دکتر ناصر حافظی مقدس	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی دکتر هادی جعفری		نام و نام خانوادگی	
نام و نام خانوادگی دکتر رحیم باقری			

تقدیم به

خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که هر چه دارم از آن اوست.

تشکر می کنم از

پدر و مادر دلسوز و مهربانم که با عشق و تلاش فراوان در دوران مختلف زندگی همراه من بودند.

استاد گرانقدر و فرهیخته جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی که با صبر و حوصله در راهنمایی و انجام این پایان نامه کمک نمودند.

استاد ارجمند جناب آقای دکتر ناصر حافظی مقدس که زحمت مشاوره این پایان نامه را داشتند.

اساتید گرامی جناب آقایان دکتر هادی جعفری و دکتر رحیم باقری نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

آقای کاظمی که در تمامی مراحل تحصیل کارشناسی ارشد نهایت کمک و همکاری را در حق اینجانب نمودند سپاسگزارم.

در نهایت از تمامی دوستان و همکلاسی های عزیزم کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

با تشکر

مهری عابدی

تعهدنامه

اینجانب **مهری عابدی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **آبشناسی** دانشکده **علوم زمین** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه با عنوان پهنه‌بندی مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در دشت مشهد، تحت راهنمایی **دکتر غلامحسین کرمی** و مشاوره‌ی **دکتر ناصر حافظی مقدس** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود 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.

چکیده

قابلیت انتقال و آبدهی ویژه، پارامترهای مهم هیدرودینامیکی در آبخوان آزاد می‌باشند. این دو پارامتر از روش‌های مختلفی قابل محاسبه هستند که مهمترین و معتبرترین روش در تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی، استفاده از نتایج آزمون پمپاژ می‌باشد. در هر حال، به دلیل محدودیت‌هایی که در استفاده از نتایج آزمون پمپاژ وجود دارد، استفاده از روش‌های جایگزین مانند لاگ‌های حفاری، ظرفیت ویژه چاه، آزمون تک چاهی، روش‌های ژئوالکتریک و .... ضروری می‌باشد. با عنایت به عدم وجود تعداد کافی آزمایش پمپاژ در دشت مشهد، با استفاده از لاگ‌های حفاری موجود مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه آبخوان آزاد این دشت محاسبه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، مقادیر قابلیت انتقال در آبخوان دشت مشهد به روش لاگ حفاری از حدود ۵۰ مترمربع بر روز تا حدود ۲۵۵ مترمربع بر روز متغیر است، همچنین مقادیر آبدهی ویژه در این آبخوان از حدود ۰/۰۲ تا حدود ۰/۰۷ متغیر می‌باشد. مقایسه مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه مربوط به نقاط مختلف آبخوان دشت مشهد با مقادیر بدست آمده از داده‌های آزمایش پمپاژ دارای دو مزیت مهم می‌باشد. اول اینکه تعداد لاگ‌های حفاری ۲۶ مورد می‌باشد که در مقایسه با ۳ مورد آزمایش پمپاژ موجود در دشت از اهمیت بیشتری برخوردار است. دوم اینکه مقادیر بدست آمده برای قابلیت انتقال و آبدهی ویژه با استفاده از لاگ‌ها حفاری در هر محدوده آبخوان کم و بیش یکسان می‌باشند، حال آنکه مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه بدست آمده از داده‌های آزمایش پمپاژ در هر محدوده تغییرات زیادی را شامل می‌شود. علت اختلاف قابلیت انتقال و آبدهی ویژه بدست آمده از آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ می‌تواند به دلیل نادرستی داده‌های اولیه آزمایش پمپاژ و یا عدم دقت کافی در استفاده از آن‌ها مربوط شود.

کلمات کلیدی: لاگ حفاری، قابلیت انتقال، آبدهی ویژه، دشت مشهد

مقالات برگرفته از پایان‌نامه

عابدی م. کرمی غ. حافظی مقدس ن. (۱۳۹۵)، "تخمین قابلیت انتقال با استفاده از لاگ‌های حفاری در دشت مشهد"، چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق ۱

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های ارتباطی ۲

۱-۳- ژئومورفولوژی منطقه ۴

۱-۴- آب و هوای منطقه ۴

۱-۵- معرفی دشت مشهد ۸

۱-۶- زمین‌شناسی منطقه ۹

۱-۷- هیدرولوژی منطقه ۱۴

۱-۷-۱- رودخانه کشف‌رود ۱۴

۱-۷-۲- رودخانه رادکان ۱۵

۱-۷-۳- رودخانه فریزی (دیاله) ۱۵

۱-۷-۴- رودخانه گلمکان ۱۶

۱-۷-۵- رودخانه شاندیز ۱۶

۱-۷-۶- رودخانه جاغرق ۱۶

۱-۷-۷- رودخانه ارداک ۱۷

۱-۷-۸- رودخانه کارده ۱۷

۱-۷-۹- رودخانه طرق ۱۷

۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه ۱۹

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته ۲۱

۲-۱- استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ ۲۳

۲-۲- استفاده از لاگ حفاری چاه‌ها ۲۵

۲-۳- استفاده از روش آزمون تک‌چاهی ۲۷

۲-۴- استفاده از روش ژئوالکتریک ۲۸

۲-۵- استفاده از روش ظرفیت ویژه ۲۹

۲-۶- استفاده از روش مدل‌های ریاضی ۳۰

فصل سوم: روش انجام کار ۳۱

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات ۳۱

۳-۱-۱- اطلاعات مربوط به لاگ گمانه‌ها ۳۲

۳-۱-۲- اطلاعات مربوط به چاه‌های پمپاژ و بررسی تغییرات آن ۳۲

۳-۱-۳- اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی و بررسی تغییرات آن ۳۳

۳-۲- ترسیم نقشه پایه زمین‌شناسی ۳۳

۳-۳- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل سفره آب زیرزمینی دشت مشهد ۳۳

۳-۴- محاسبه قابلیت انتقال و آبدهی ویژه به روش لاگ گمانه‌ها ۳۴

فصل چهارم: ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی دشت مشهد ۳۷

۴-۱- هیدروژئولوژی منطقه ۳۷

۴-۱-۱- پیزومترهای دشت مشهد ۳۸

۴-۱-۲- نقشه هم پتانسیل ۴۴

۴-۱-۳- هیدروگراف واحد دشت ۴۹
۴-۲- ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی تعیین شده در دشت مشهد ۵۲
۴-۳- برآورد قابلیت انتقال با استفاده از نتایج آزمون پمپاژ ۵۷
۴-۴- برآورد قابلیت انتقال با استفاده از لاگ‌های حفاری ۵۹
۴-۵- مقایسه مقادیر قابلیت انتقال در روش‌های مختلف ۶۴
۴-۶- برآورد آبدهی ویژه با استفاده از لاگ حفاری ۶۵
۴-۷- مقایسه مقادیر آبدهی ویژه در روش‌های مختلف ۷۰
۴-۸- وضعیت پارامترهای هیدرودینامیکی بر اساس تفکیک محدوده مطالعاتی ۷۱
۴-۹- پهنه‌بندی پارامترهای هیدرودینامیکی بر اساس لاگ‌های حفاری ۷۶

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۱
۵-۱- نتیجه گیری ۸۱
۵-۲- پیشنهادها ۸۳
منابع ۸۵
پیوست‌ها ۸۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی دشت مشهد ۳

شکل ۱-۲- نمودار امبروترمیک منطقه مورد مطالعه بر پایه میانگین ۲۶ ساله بارندگی ۷

شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی دشت مشهد ۱۳

شکل ۱-۴- موقعیت رودخانه‌های دشت مشهد ۱۸

شکل ۴-۱- موقعیت پیزومترهای موجود در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۷) ۴۱

شکل ۴-۲- موقعیت پیزومترهای موجود در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲) ۴۲

شکل ۴-۳- خطوط هم‌پتانسیل ترسیم‌شده در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۷) ۴۶

شکل ۴-۴- خطوط هم‌پتانسیل ترسیم‌شده در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲) ۴۷

شکل ۴-۵- هیدروگراف واحد دشت بر اساس پیزومترهای موجود در محدوده شهر مشهد ۴۸

شکل ۴-۶- هیدروگراف واحد دشت مشهد ۵۰

شکل ۴-۷- هیدروگراف معرف دشت مشهد در محدوده شهر مشهد ۵۱

شکل ۴-۸- مقادیر قابلیت انتقال (مترمربع بر روز) در دشت مشهد ۵۵

شکل ۴-۹- مقادیر آبدهی ویژه (درصد) در دشت مشهد ۵۶

شکل ۴-۱۰- موقعیت چاه‌های پمپاژ حفاری شده در دشت مشهد در سال ۱۳۸۷ ..... ۵۸

شکل ۴-۱۱- مقادیر قابلیت انتقال موجود در دشت مشهد ۶۳

شکل ۴-۱۲- مقادیر آبدهی ویژه موجود در دشت مشهد ۶۹

شکل ۴-۱۳- میانگین قابلیت انتقال در محدوده‌های مختلف دشت مشهد ۷۲

شکل ۴-۱۴- میانگین آبدهی ویژه در محدوده‌های مختلف دشت مشهد ۷۲

شکل ۴-۱۵- تقسیم‌بندی دشت مشهد در جهت طولی بر اساس مقادیر قابلیت انتقال ۷۳

شکل ۴-۱۶- تقسیم‌بندی دشت مشهد در جهت طولی بر اساس مقادیر آبدهی ویژه ۷۴

شکل ۴-۱۷- پهنه‌بندی دشت مشهد به لحاظ مقادیر قابلیت انتقال ۷۸

شکل ۴-۱۸- پهنه‌بندی دشت مشهد به لحاظ مقادیر آبدهی ویژه ۷۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- میانگین دما و بارندگی طی سال‌های ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۲ ..... ۶

جدول ۱-۲- طبقه‌بندی اقلیم بر اساس ضریب دمارتن ۸

جدول ۳-۱- مقادیر هدایت هیدرولیکی بر اساس بافت رسوبات مختلف ۳۵

جدول ۳-۲- مقادیر آبدهی ویژه بر اساس بافت رسوبات مختلف ۳۵

جدول ۴-۱- ارتفاع سطح آب در پیزومترهای منطقه در ابتدا و انتهای دوره آماری ۳۸

جدول ۴-۲- نمونه پیزومترهای موجود در اطراف شهر مشهد با افزایش سطح آب زیرزمینی ۴۳

جدول ۴-۳- مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه ۵۲

جدول ۴-۴- مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه چاه‌های پمپاژ موجود در دشت مشهد ۵۷

جدول ۴-۵- مقادیر هدایت هیدرولیکی بر اساس بافت رسوبات مختلف ۶۰

جدول ۴-۶- مقادیر قابلیت انتقال محاسبه‌شده بر اساس لاگ‌های حفاری در دشت مشهد ۶۰

جدول ۴-۷- مقادیر قابلیت انتقال در محدوده چاه‌های پمپاژ در دشت مشهد ۶۴

جدول ۴-۸- مقادیر آبدهی ویژه بر اساس بافت رسوبات مختلف..... ۶۵

جدول ۴-۹- مقادیر آبدهی ویژه محاسبه‌شده بر اساس لاگ‌های حفاری در دشت مشهد ۶۶

جدول ۴-۱۰- مقادیر آبدهی ویژه در محدوده چاه‌های پمپاژ در دشت مشهد ۷۰

جدول ۴-۱۱- محدوده مقادیر لاگ‌های حفاری بر اساس تفکیک دشت مشهد ۷۵

فصل اول: مقدمه

در این فصل، ابتدا بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق ارائه خواهد شد و سپس به معرفی منطقه مورد مطالعه، ژئومورفولوژی منطقه، آب و هوای منطقه، زمین‌شناسی منطقه، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

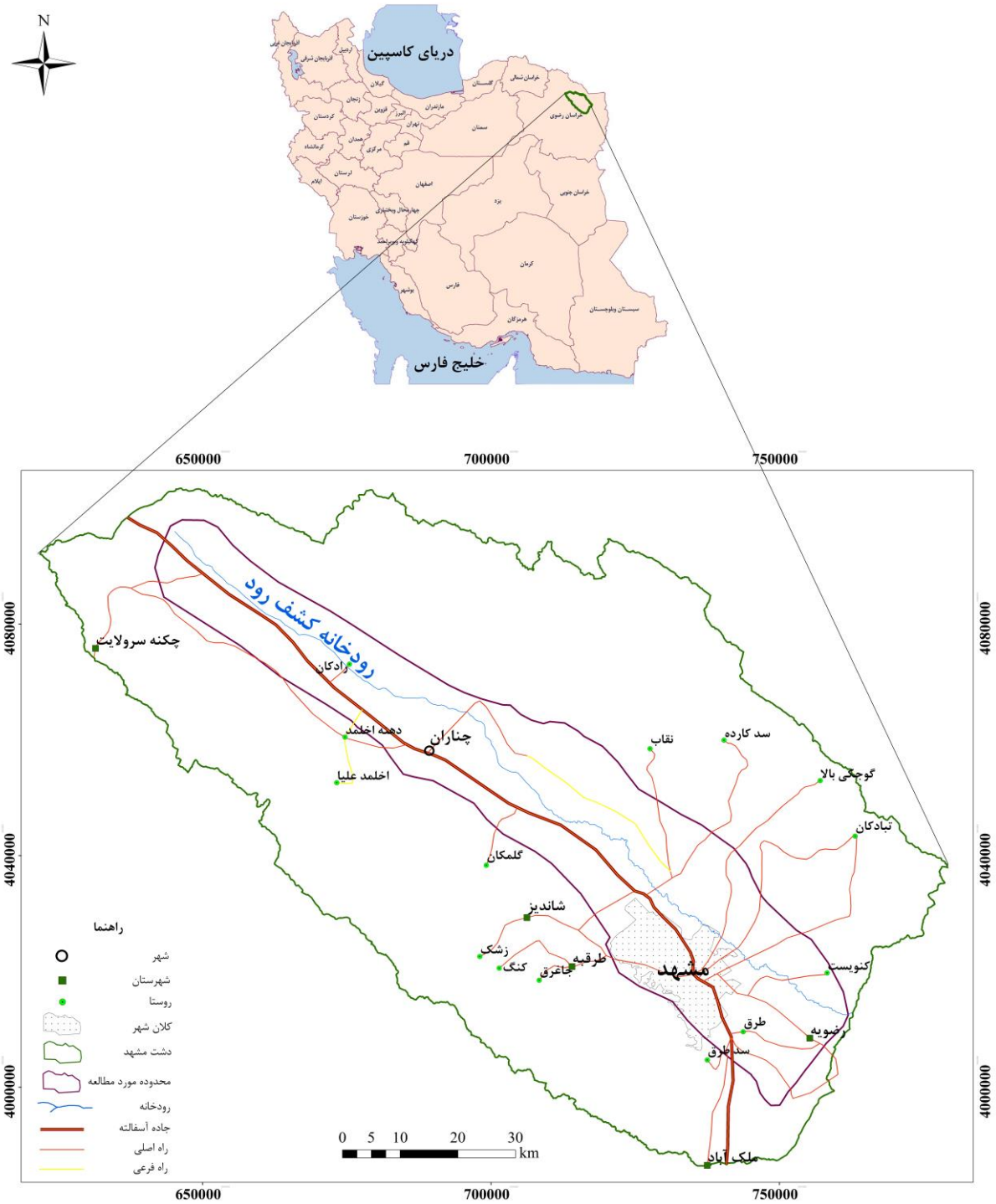
سفره‌های آب زیرزمینی، تشکیلات زمین‌شناسی تراوا و اشباع‌شده‌ای هستند که هم توانایی ذخیره‌سازی آب و هم توانایی انتقال مقادیر قابل توجهی آب را شامل می‌شوند. مهم‌ترین پارامترهای هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی شامل قابلیت انتقال، هدایت الکتریکی و ضریب ذخیره می‌باشند. در اغلب موارد پارامترهای قابلیت انتقال و ضریب ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی برای اهداف مختلف کفایت می‌کنند و تعیین مقدار هدایت هیدرولیکی به ویژه در سفره‌های آب زیرزمینی آبرفتی، مورد توجه قرار نمی‌گیرد. تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در محاسبات مربوط به بیلان آب زیرزمینی، مدل آب زیرزمینی، تغییرات حجم آب‌های زیرزمینی و سرعت حرکت آب زیرزمینی بسیار اهمیت دارد. بنابراین تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی از مهم‌ترین وظایف هیدروژئولوژیست‌ها به شمار می‌روند.

سفره آب زیرزمینی دشت مشهد با بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت از حدود ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر قوچان شروع شده و در جهت جنوب شرقی مابین دو رشته‌کوه هزار مسجد و بینالود ادامه

می‌یابد. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. از نظر نفوذپذیری دامنه جنوبی دشت نفوذپذیرتر و ضخیم‌تر است. در سال‌های اخیر، در دشت مشهد سطح آب‌های زیرزمینی افت قابل توجهی داشته است که این مقدار افت، علاوه بر کاهش آبدهی و یا خشک شدن چاه‌ها در برخی نقاط موجب نشست زمین و ایجاد درز و شکاف و تخریب شده است. یکی از موارد بسیار مهم در مدیریت سفره آب زیرزمینی مشهد، تعیین مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و ضریب ذخیره) در نقاط مختلف دشت است که تاکنون انجام نشده و در نقاط محدودی که این کار انجام شده، از دقت کافی برخوردار نیست. بنابراین، هدف اساسی از انجام این تحقیق تعیین مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در دشت مشهد می‌باشد. از آنجایی که دشت مشهد، دشت بسیار وسیعی است و تنها شامل چند مورد آزمایش پمپاژ می‌شود، در این تحقیق سعی شده که از اطلاعات لاگ حفاری چاه‌ها که به تعداد بسیار زیادی در سطح دشت توزیع شده‌اند، استفاده شود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های ارتباطی

دشت مشهد با روند شمال‌غربی – جنوب‌شرقی در استان خراسان رضوی واقع شده است. طول این دشت ۱۴۴ کیلومتر و عرض آن از ۱۲ تا ۲۹ کیلومتر متغیر است. به طور کلی مساحت دشت مشهد حدود ۲۷۵۶ کیلومتر مربع می‌باشد. این دشت با مختصات جغرافیایی ۳۶ تا ۳۷ درجه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۶۰ درجه طول شرقی، در محدوده بین ارتفاعات هزارمسجد در شمال‌شرق و ارتفاعات بینالود در جنوب‌غرب قرار گرفته است. رودخانه کشف‌رود در دشت مشهد و در راستای طولی آن واقع شده است و کم وبیش دشت را در جهت طول به دو بخش تقسیم نموده است. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی دشت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی دشت مشهد

۱-۳- ژئومورفولوژی منطقه

ژئومورفولوژی دشت مشهد شامل محدوده‌ای از زمین‌های آبرفتی است که بافت آبرفت‌ها در کناره‌ها و مناطق پایه کوه، درشت دانه و به تدریج به طرف مرکز دشت، دانه ریز می‌شوند. دشت مشهد بخشی از حوضه اترک – کشف‌رود می‌باشد که این حوضه در محدوده بین رشته کوه‌های هزار مسجد – کپه‌داغ در شمال شرق و رشته‌کوه‌های آلاداغ – بینالود در جنوب غربی واقع شده است.

دشت مشهد در حوضه آبگیر قره‌قوم قرار گرفته که از جمله رودخانه‌های مهم این حوضه شامل رودخانه کشف‌رود، جام‌رود و هریرود یا قره‌قوم می‌باشد و حالت سیلابی و فصلی دارند.

در منطقه مورد مطالعه تمام چهار واحد اصلی ژئومورفولوژیکی قابل مشاهده هستند. در مرزهای شمال شرقی و جنوب غربی منطقه، واحد کوهستان وجود دارد و در دامنه‌های این واحد ژئومورفولوژیکی، واحد ژئومورفولوژیکی تپه و ماهور به چشم می‌خورد. بخش عمده منطقه مورد مطالعه از نوع واحد ژئومورفولوژیکی دشت می‌باشد که تحقیق حاضر روی این واحد ژئومورفولوژیکی متمرکز شده است. واحد رودخانه هم شامل رودخانه کشف‌رود و رودخانه‌های فرعی‌تری که به سوی کشف‌رود سرازیر می‌شوند، می‌باشد.

۱-۴- آب و هوای منطقه

مشهد به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص که در بین دو استان خراسان شمالی و جنوبی قرار دارد و همچنین تداخل جبهه‌های مختلف آب و هوایی، دارای آب و هوا و خصوصیات ویژه اقلیمی است و قسمت بیشتر دشت مشهد - نیشابور، جزء اقلیم سرد و خشک و بخشی از دشت مشهد - قوچان، نیمه خشک و سرد و بخش کوچکی از بلندترین ارتفاعات رشته‌کوه‌های بینالود و هزارمسجد جزء اقلیم مرطوب و سرد است و در مجموع شهر مشهد دارای آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است، همچنین از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب برخوردار است. به

منظور بررسی آب و هوا و اقلیم منطقه مورد مطالعه از آمار هواشناسی یک دروه ۲۶ ساله (۱۳۶۷ الی ۱۳۹۲) ایستگاه‌های اولنگ اسدی، چناران و قدیرآباد مربوط به شهر مشهد استفاده شده است. این آمار از اداره آب منطقه ای خراسان رضوی تهیه شده است.

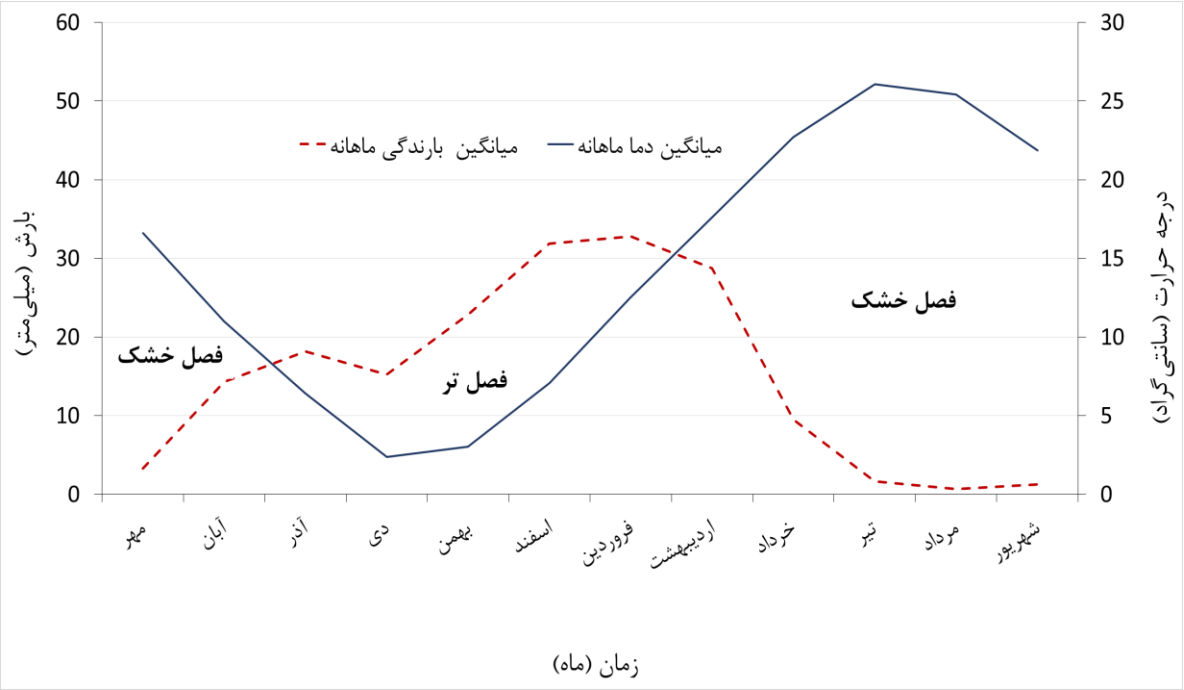
با توجه به آمار ارائه شده مربوط به بارش، بیشترین میزان بارش در منطقه مورد مطالعه در فروردین ماه با میانگین ۳۴ میلی‌متر و کمترین میزان بارش در مرداد ماه با میانگین ۰/۰ اتفاق افتاده است.

جهت محاسبه میانگین درجه حرارت به دلیل موجود نبودن دمای ایستگاه‌های چناران و قدیرآباد از دمای ایستگاه اولنگ اسدی استفاده شده است. با توجه به آمار ارائه شده مربوط به دما، بیشینه دما در منطقه مورد مطالعه در تیر ماه با میانگین ۲۶/۰۸ درجه سانتی‌گراد و کمینه دما در دی ماه با میانگین ۲/۳۷ اتفاق افتاده است. در نهایت میانگین بارش سالانه در دشت مشهد، ۱۸۰ میلیمتر و میانگین دمای سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در جدول (۱-۱) اطلاعات میانگین دمای ماهانه برای ایستگاه اولنگ اسدی و میانگین بارندگی ماهانه برای سه ایستگاه اولنگ اسدی، چناران و قدیرآباد ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات دما و بارندگی مربوط به سال‌های ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۲ در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، نمودار امبروترمیک (Embrothermic) ترسیم شده است که این نمودار در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. لذا نقطه تلاقی منحنی میانگین بارندگی با منحنی میانگین دما، جدا کننده فصل خشک و تر از یکدیگر می‌باشد. طبق این نمودار، از اواخر آبان ماه تا اوایل اردیبهشت ماه، جز فصل تر بوده و بقیه سال فصل خشک می‌باشد.

جدول ۱-۱- میانگین دما و بارندگی طی سال‌های ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۲

زمان (ماه)	ایستگاه اولنگ اسدی		ایستگاه چناران	ایستگاه قدیرآباد
	بارندگی (میلی‌متر)	درجه حرارت (سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	بارندگی (میلی‌متر)
مهر	۲	۱۶/۶	۴	۳
آبان	۱۲	۱۱/۰	۱۴	۱۶
آذر	۱۶	۶/۴	۱۸	۱۹
دی	۱۸	۲/۳	۱۲	۱۴
بهمن	۲۵	۳/۰	۲۱	۲۱
اسفند	۲۶	۷/۰	۲۶	۳۲
فروردین	۲۹	۱۲/۵	۳۳	۳۴
اردیبهشت	۲۵	۱۷/۶	۲۸	۳۲
خرداد	۸	۲۲/۷	۹	۱۱
تیر	۰	۲۶/۰	۲	۲
مرداد	۰	۲۵/۴	۱	۱
شهریور	۱	۲۱/۸	۱	۲



شکل ۱-۲- نمودار امبروترمیک منطقه مورد مطالعه بر پایه میانگین ۲۶ ساله بارندگی

به منظور تعیین اقلیم منطقه از روش دمارتن (De Martonne) استفاده شده است. دمارتن با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه، ضریبی به نام ضریب خشکی ارائه نموده است که بر اساس آن اقلیم منطقه مشخص می‌شود (جدول ۱-۲). ضریب خشکی دمارتن با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{p}{T + 10}$$

در این معادله p میانگین بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر، T میانگین دمای سالیانه بر حسب درجه سانتی‌گراد است و I ضریب خشکی دمارتن می‌باشد. مقدار I محاسبه شده از معادله بالا حدود ۷/۴ می‌باشد که با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده در جدول (۱-۲)، نشان‌دهنده اقلیم خشک منطقه می‌باشد.

جدول ۱-۲- طبقه‌بندی اقلیم بر اساس ضریب دمارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	مقادیر کمتر از ۱۰
نیمه خشک	مقادیر ۱۰ تا ۹/۱۹
مدیترانه ای	مقادیر ۲۰ الی ۹/۲۳
نیمه مرطوب	مقادیر ۲۴ الی ۹/۲۷
مرطوب	مقادیر ۲۸ الی ۹/۴
بسیار مرطوب	مقادیر بیشتر از ۳۵

۱-۵- معرفی دشت مشهد

دشت مشهد جزء حوضه آبگیر کشف‌رود می‌باشد. این دشت از شمال و شمال شرق به خط‌الراس ارتفاعات هزار مسجد (کپه داغ)، از جنوب و جنوب غرب به ارتفاعات بینالود و از شمال غرب به حوضه آبگیر رودخانه اترک و از جنوب شرق به حوضه آبگیر جام‌رود محدود می‌شود.

در دامنه ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت مشهد، مخروط‌افکنه‌های متعددی وجود دارد. در ارتفاعات شمال و شمال شرق دشت مشهد (ارتفاعات هزار مسجد و کپه‌داغ)، سازندهای کربناته گسترده‌ای رخنمون دارند. این سازندها شامل سازندهای آهکی مزدوران و تیرگان می‌شوند که سفره‌های آب زیرزمینی کارستی نسبتاً مهمی را تشکیل می‌دهند.

۱-۶- زمین‌شناسی منطقه

سازندهای زمین‌شناسی نقش اصلی را در شکل‌گیری سفره‌های آب زیرزمینی دارند و ویژگی‌های کمی و کیفی سفره‌های آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای شناسایی ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی، کسب اطلاعاتی از زمین‌شناسی منطقه ضروری است.

بخش شمال شرقی دشت مشهد از نظر زمین‌شناسی جزء زون کپه‌داغ و بخش جنوب غربی دشت جزء البرز شرقی (بینالود) می‌باشد که دره کشف‌رود این دو بخش را از یکدیگر مجزا می‌کند. این دو واحد زمین‌شناسی از نظر نحوه رسوب‌گذاری و وضعیت تکتونیکی با هم تفاوت‌هایی دارند. ارتفاعات شمالی به نام هزار مسجد جزء واحد کپه‌داغ است و از یک سری رسوبات دریایی دوران دوم و سوم زمین‌شناسی به صورت هم‌شیب بر روی هم قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده رسوبات پیوسته بوده و فاقد سنگ‌های آذرین و دگرگونی می‌باشد اما گسل‌های نسبتا زیادی به صورت مورب طبقات را قطع نموده است. در بخش جنوبی علاوه بر رخساره‌های رسوبی، سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی نیز گسترش دارد.

حرکات تکتونیکی با تغییر رخساره در نتیجه پسروی، پیشروی دریا در کپه‌داغ (هزار مسجد) دیده می‌شود. ولی در هر حال لایه‌ها به صورت هم‌شیب بر روی هم نهشته شده‌اند. در حالی‌که در ارتفاعات جنوبی و غربی حوضه، حرکات شدید کوهزایی موجب حذف لایه‌های رسوبی به خصوص در اواخر دوران دوم شده و اغلب به صورت دگرشیب بر روی هم قرار گرفته‌اند. دشت مشهد حالت افتاده پلکانی داشته و آثار گسل در حاشیه ارتفاعات دیده می‌شود.

شکل (۱-۳) نقشه زمین‌شناسی دشت مشهد را نشان می‌دهد. مهمترین سازندهای تشکیل‌دهنده ارتفاعات دشت مشهد از قدیم به جدید شامل موارد زیر می‌شوند:

دوران اول: رسوبات دوران اول به صورت پراکنده شامل آهک، دولومیت، شیست، ماسه‌سنگ و کوارتزیت است که در ارتفاعات بینالود در مشهد رخنمون دارد و اغلب به دلیل نفوذ مواد دیگر،

دگرگون شده‌اند. قدیمی‌ترین سازند زمین‌شناسی منطقه از شیست و کوارتزیت تشکیل شده و مربوط به قبل از دوران اول زمین‌شناسی (پرکامبرین) است. این سازند در حوالی معدن آق‌دربند واقع در شرق حوضه رخنمون دارد.

دوران دوم: موثرترین رسوبات تشکیل‌دهنده ارتفاعات این حوضه، رخساره‌های دوران دوم به‌خصوص دوره‌های ژوراسیک و کرتاسه می‌باشد. سازندهای دوران دوم شامل سنگ‌های رسوبی از نوع آهک، ماسه‌سنگ و شیل در ارتفاعات شمالی دشت مشهد (هزار مسجد - کپه داغ) وجود دارد.

تریاس: با فیلیت و شیست‌های سیاه رنگ همراه با لایه‌های مرمر در ارتفاعات بینالود به نام سازند مشهد گسترش دارد.

ژوراسیک: رسوبات ژوراسیک تحتانی شامل شیل، شیست زغال‌دار همراه با ماسه‌سنگ و کنگلومرا در ارتفاعات جنوبی دشت مشهد گسترش دارد و در کوه‌های مزدوران و قره‌داغ در مسیر جاده مشهد - سرخس شامل شیل و ماسه‌سنگ سبز رنگ کشف‌رود می‌باشد.

ژوراسیک فوقانی: در کوه‌های بینالود شامل آهک مارنی و مارن خاکستری سازند دلیچای است که در ارتفاعات فریزی و اخلمد در دشت مشهد بیرون‌زدگی دارد. بر روی این سازند، آهک‌های نخودی رنگ سازند لار قرار دارد. رخساره‌های ژوراسیک فوقانی در ارتفاعات هزارمسجد به صورت باند آهکی چین‌خورده به موازات دشت مشهد تا حوالی پل خاتون در شرق کشیده شده که با ارتفاع زیاد خط‌الراس بین آبریز کشف‌رود و رودخانه‌های شمالی هزار مسجد را تشکیل می‌دهد و به سازند مزدوران معروف است.

به طور کلی این سازندها متخلخل هستند و سن آن‌ها از ژوراسیک میانی تا ژوراسیک فوقانی است. سازند مزدوران در کوه‌های بینالود به سازند لار معروف است که آهک‌های منطقه اخلمد را تشکیل می‌دهد. این آهک‌های کارستی شده دارای ذخایر مناسبی از آب زیرزمینی می‌باشند. رسوبات چمن‌بید شامل آهک‌های مارنی سیاه رنگ و مارن به صورت تداخل پنجه‌ای، بین لایه‌های مزدوران قرار گرفته است.

کرتاسه: پیشروی مجدد دریا در نئوکومین سبب تشکیل رسوبات آهک و آهک مارنی سازند تیرگان بر روی لایه شوریجه شده است. آهک‌های اوربیتولین دار کرتاسه تحتانی در شمال غرب زیر حوضه کشفرود و ارتفاعات کلاته منار به صورت پراکنده دیده می‌شود. آهک تیرگان در شمال غرب دشت مشهد گسترش زیادی دارد. در مقطع تیپ این سازند در شمال هزار مسجد حدود ۷۰۰ متر ضخامت دارد که از آهک‌های توده‌ای ضخیم لایه تا توده‌ای تشکیل شده است. سن این سازند کرتاسه تحتانی می‌باشد. در مقاطع عرضی زمین‌شناسی تهیه شده از پای ارتفاعات بینالود به طرف شرق تا مرز ترکمنستان، یک سری ساختمان‌های تاقدیسی و ناودیسی تشکیل می‌دهد که دشت مشهد بر روی این ناودیس و ارتفاعات هزار مسجد و کپه‌داغ بر روی تاقدیس قرار دارند. در برابر نیروی تکتونیکی وارد به آن دچار شکستگی شده و گسل‌ها و درز و شکاف‌هایی در این سازند به وجود آمده که آب حاصل از نزولات جوی به مرور زمان در آن نفوذ کرده است و در اثر انحلال تدریجی آهک‌ها یک سیستم کارستی توسعه یافته و ذخایر آبی قابل توجهی را شکل داده است. سازند آهکی تیرگان بر روی سازند شوریجه قرار دارد (ابتدای دوره کرتاسه). بر روی سازند تیرگان شیست‌های خاکستری رنگ همراه با لایه‌های آهک و مارن سرچشمه قرار دارد که در ناودیس بهمن‌خان در مشهد و دامنه‌های شمالی هزار مسجد رخنمون دارد.

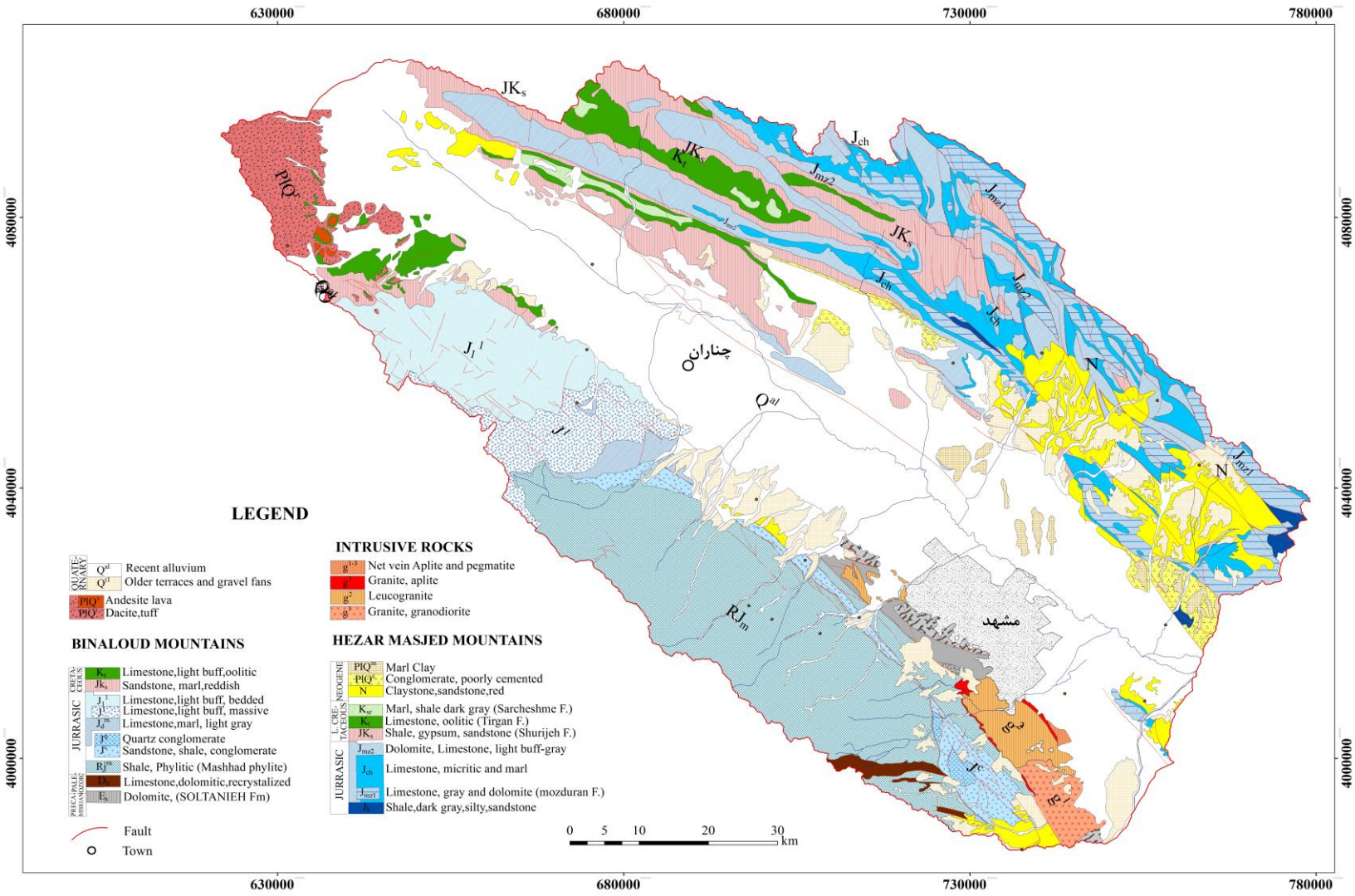
دوران سوم: سازندهای دوران سوم زمین‌شناسی از کنگلومرا، ماسه سنگ، آگلومرا، توف و آندزیت تشکیل شده و در نقاط مختلف حوضه به ویژه در شمال شرق و جنوب رخنمون دارند. رخساره‌های رسوبی در کپه‌داغ شامل شیل و ماسه‌سنگ قرمز رنگ که نشانه کم عمق‌شدن دریا است در منطقه سرخس رخنمون دارد. بر روی آن آهک سفید و مارن چهل کمان و مارن و رس و ماسه سنگ و سایر رسوبات تبخیری خانگیران در ارتفاعات گنبدلی نهاده شده است که مربوط به پالئوسن می‌باشد.

اکثر رخساره‌های پالئوژن و نئوژن از رسوبات تبخیری و آواری شامل مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ می باشد که در حاشیه ارتفاعات مشاهده شده و سنگ کف بیشتر دشت‌های

حوضه قره‌قوم را تشکیل می‌دهد. سنگ‌های آذرین درونی شامل گرانیت، گرانودیوریت، پگماتیت - دیوریت و گابرو که متعلق به اوایل ژوراسیک و دوران سوم می‌باشند و در خواجه‌مراد مشهد دیده می‌شوند.

کواترنر: رخساره‌های عهد حاضر شامل پادگانه‌های آبرفتی، مخروط‌افکنه‌ها، رسوبات رودخانه‌ای، ماسه بادی و لس است که سطح دشت را پوشانده است. در شمال غرب مشهد سنگ‌های آذرین، توف و آندزیت عهد حاضر دیده می‌شود.

رسوبات دوران چهارم بیشتر از آبرفت‌ها تشکیل شده است و سفره‌های آب زیرزمینی، مخروط افکنه‌ها، رسوبات سیلابی و تراس‌ها را می‌سازند. در این دشت چندین مخروط‌افکنه بزرگ وکوچک وجود دارد. این دشت دارای گسل‌خوردگی زیاد می‌باشد و گسل مهم دشت مشهد، گسل چشمه گیلاس است که خود از تقریبا ۲ یا ۳ گسل موازی تشکیل شده است.



شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی دشت مشهد (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد، سازمان زمین‌شناسی کشور)

۱-۷- هیدرولوژی منطقه

دشت مشهد یکی از بزرگترین و مهمترین دشت‌های استان خراسان است و در آن تعداد رودخانه کوچک و بزرگ وجود دارد. این رودخانه‌ها شامل کشف‌رود، رادکان، فریزی (دیاله)، گلمکان، شاندیز (زشک و کنگ)، جاغرق، ارداک، کارده، طرق و تنگل‌شور می‌باشند که به طور مختصر معرفی می‌شوند:

۱-۷-۱- رودخانه کشف‌رود

رودخانه کشف‌رود، یکی از رودخانه‌های اصلی دشت مشهد است و به عنوان زهکش اصلی دشت محسوب می‌شود. این رودخانه از شمال شرق دشت سرچشمه گرفته و از وسط دشت می‌گذرد. این رودخانه در دره‌ای بین کوه‌های هزار مسجد و بینالود جریان دارد و شاخه‌های متعدد آن از دامنه‌های کوه‌های بینالود و هزار مسجد سرچشمه می‌گیرند. تمامی شاخه‌های سرچشمه گرفته به سمت مرکز دشت مشهد جریان یافته و رودخانه کشف‌رود را به تشکیل می‌دهند. سرشاخه‌های رودخانه کشف‌رود، رودخانه‌های ارداک، رادکان، کارده، طرق می‌باشد. بستر کشف‌رود در میان دشت مشهد بوسیله کوه‌های مرتفع احاطه شده است و شیب ملایمی دارد. کف آن از رسوبات دانه ریز تشکیل شده است، اما در بخش‌هایی از شن و قلوه سنگ تشکیل شده است .

این رودخانه پس از دریافت شاخه‌های دیگر در شمال مشهد، در جهت شرقی - غربی جریان می‌یابد و جاده مشهد، سرخس را قطع نموده و در جنوب مزداوند وارد دره‌ای می‌گردد و پس از خروج از آن در محلی به نام پل خاتون با هریرود برخورد کرده و رودخانه تجن را تشکیل می‌دهند. حوضه آبگیر این رودخانه توسط ارتفاعات شرقی قوچان از حوضه آبگیر رودخانه اترک جدا می‌گردد.

کشف‌رود رودخانه‌ای طغیانی است و تقریبا رودخانه‌ای دائمی به حساب می‌آید. به علت ناچیز بودن پوشش گیاهی دارای جریان‌های سیلابی شدید بوده و هر ساله خسارات شدید و زیادی را به وجود

می‌آورد. در بخش پایاب رودخانه در بیشتر مواقع به دلیل املاح زیاد آب آن برای هر نوع مصرفی نامناسب می‌گردد. بستر رودخانه نسبت به زمین‌های اطراف عمیق بوده و در ۵ تا ۱۰ متری زمین‌های اطراف قرار دارد. عمق آب رودخانه بین ۰/۳ تا یک متر می‌باشد. بیشترین قسمت آب رودخانه کشف‌رود صرف بخش کشاورزی دشت مشهد می‌شود.

۱-۷-۲- رودخانه رادکان

این رودخانه نیز یکی از شاخه‌های اولیه کشف‌رود می‌باشد. از دامنه‌های جنوبی هزار مسجد واقع در ۵۴ کیلومتری شرق قوچان سرچشمه گرفته و از شمال به جنوب جریان می‌یابد. سیلاب‌های این رودخانه در همین دشت پخش می‌شود. از اراضی روستای رادکان گذشته و در روستای گل خاتون وارد کشف رود می‌شود. طول این رودخانه حدود ۴۸ کیلومتر بوده و حوضه آبریز آن ۲۴۵ کیلومتر مربع وسعت دارد. این رودخانه دارای آب دائم با جریان پایه کم می‌باشد.

۱-۷-۳- رودخانه فریزی (دیاله)

شاخه‌ای از رودخانه کشف‌رود می‌باشد. شاخه‌های سرچشمه‌ای آن از دامنه‌های شمالی رشته کوه بینالود (کوه دونخ) واقع در ۵۵ کیلومتری غرب مشهد سرچشمه می‌گیرد و از جنوب به شمال جریان می یابد. شاخه کوچکی را به نام فریزی دریافت نموده و پس از عبور از مسیر پر پیچ و خم کوهستانی وارد دشت مشهد می‌شود. جاده مشهد – قوچان را قطع نموده و در شمال شرقی چناران وارد کشف‌رود می‌شود. این رودخانه را می‌توان شاخه اصلی و سرچشمه‌های رودخانه کشف‌رود دانست. طول این رود ۵۵ کیلومتر بوده و مساحت حوضه آبگیر آن حدود ۲۷۷ کیلومتر مربع است.

۱-۷-۴- رودخانه گلمکان

رودخانه گلمکان از دامنه‌های شمالی بینالود سرچشمه گرفته و آب مورد نیاز روستای چشمه سبز را تامین نموده و سپس وارد دشت جنوبی چناران می‌گردد. جاده مشهد - قوچان را قطع نموده و وارد کشف رود می‌گردد. طول رودخانه گلمکان حدود ۴۳ کیلومتر بوده و مساحت حوضه آبگیر آن حدود ۴۹ کیلومتر مربع است.

۱-۷-۵- رودخانه شاندیز

این رودخانه از دامنه شمالی از ارتفاعات بینالود سرچشمه می‌گیرد و در جهت شمال شرقی امتداد یافته و آب مورد نیاز روستاهای زشک، ابرده و شاندیز را تامین می‌کند، جاده مشهد را قطع و در روستای سرو آباد وارد کشف‌رود می‌شود. طول این رودخانه ۵۰ کیلومتر بوده و نام دیگر آن رودخانه زشک می‌باشد. مساحت حوضه آبگیر آن حدود ۲۰۳ کیلومتر مربع است. این رودخانه نیز دارای جریان دائمی است.

۱-۷-۶- رودخانه جاغرق

این رودخانه از دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود و از قله شیرکوه واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد سرچشمه می‌گیرد. در جهت شمال شرقی جریان یافته و پس از عبور از روستاهای اطراف، در روستای گلستان، وارد اراضی غربی مشهد می‌شود. جاده مشهد را قطع نموده و سپس وارد کشف رود می شود .طول آن ۴۵ کیلومتر بوده و مساحت حوضه آبگیر آن ۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد. در روستای گلستان واقع در ۱۲ کیلومتری غرب مشهد بر روی این رودخانه، بندی به نام بند گلستان احداث شده است. این رودخانه دارای جریان دائمی بوده ولی در تابستان آب آن کاهش یافته و گاهی اوقات خشک می‌شود.

۱-۷-۷- رودخانه ارداک

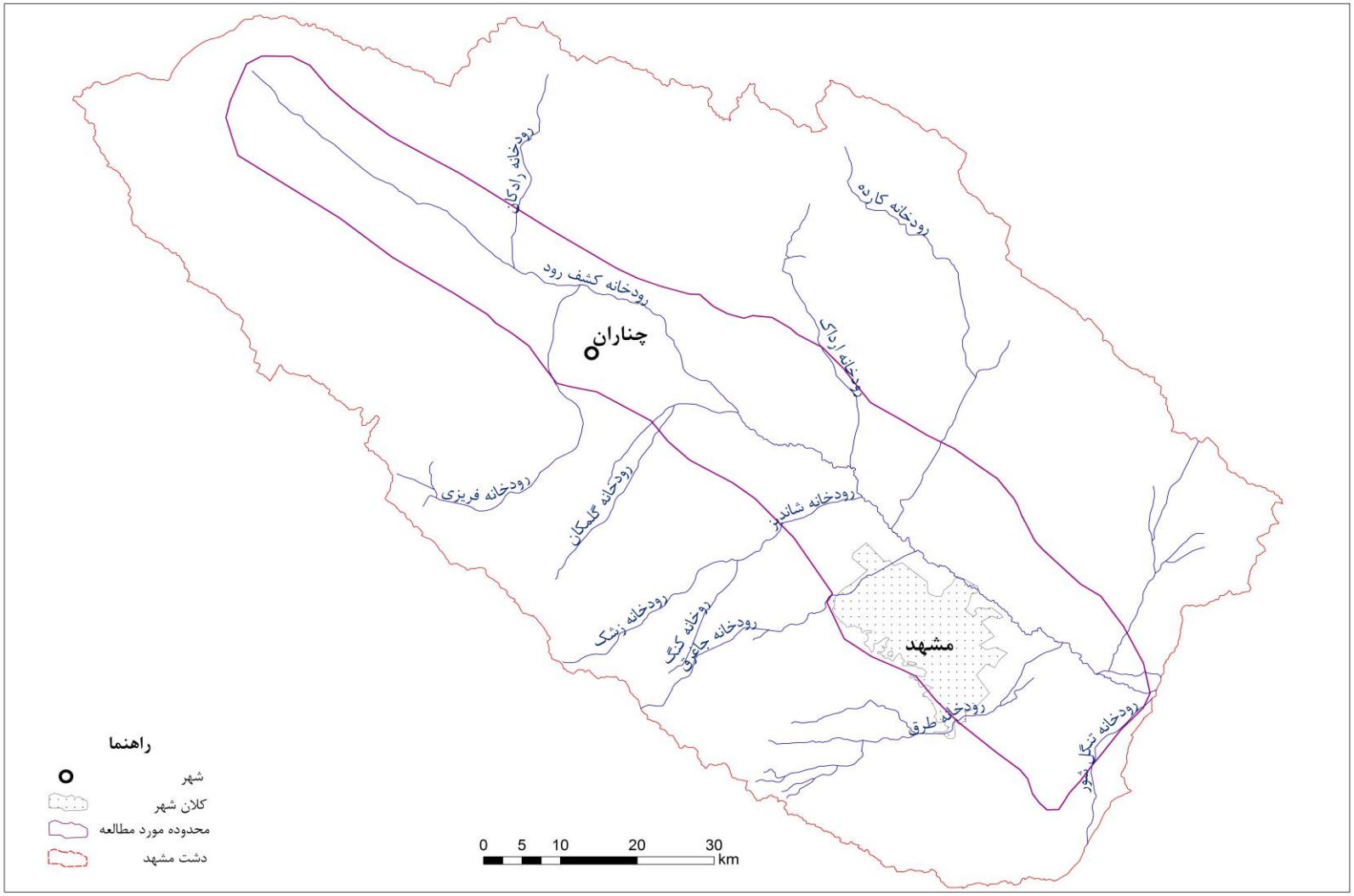
این رودخانه از ارتفاعات هزار مسجد (دامنه‌های کوه جهانگیر) واقع در ۸۵ کیلومتری شمال غربی مشهد سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه سپس در جهت جنوب شرقی جریان می‌یابد. پس از عبور از روستای ارداک وارد دشت مشهد شده و سرانجام در روستای پری‌آباد وارد رودخانه کشف‌رود می‌گردد. طول این رودخانه ۶۵ کیلومتر بوده و حوضه آبگیر آن ۴۹۸ کیلومتر مربع وسعت دارد. نام دیگر آن رودخانه بوقمج است.

۱-۷-۸- رودخانه کارده

این رودخانه از شاخه‌های کشف‌رود می‌باشد. از دامنه‌های جنوبی کوه هزار مسجد واقع در ۵۵ کیلومتری شمال مشهد سرچشمه می‌گیرد. در جهت شمالی - جنوبی جریان یافته و وارد رودخانه کشف‌رود می‌شود. طول این رودخانه ۴۰ کیلومتر بوده و مساحت حوضه آبگیر آن ۴۳۱ کیلومتر مربع می‌باشد. بر روی این رودخانه در سال ۱۳۶۶ در محل روستای کارده، سد مخزنی کارده جهت مصرف شهر مشهد ایجاد شده است.

۱-۷-۹- رودخانه طرق

این رودخانه از دامنه‌های شمال شرقی کوه غار کهنه واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد سرچشمه می‌گیرد. رودخانه طرق از غرب به شرق جریان یافته و جاده و سپس به رودخانه کشف‌رود می‌ریزد. طول رودخانه طرق ۴۸ کیلومتر و حوضه آبگیر آن ۱۴۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. رودخانه‌ای دائمی، ولی طغیانی است. بر روی این رودخانه، در سال ۱۳۶۷ در محل روستای طرق، سد مخزنی طرق ایجاد شده است و از آب آن برای مصارف شهری استفاده می‌شود. موقعیت رودخانه‌ها در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- موقعیت رودخانه‌های دشت مشهد

۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه

دشت مشهد از منابع آب زیرزمینی شامل چاه و چشمه و قنات تشکیل شده است که به لحاظ هیدروژئولوژی حائز اهمیت می‌باشد. دشت مشهد در بین دو رشته‌کوه کپه‌داغ و بینالود قرار گرفته است و اطراف آن را تپه و ماهور و کوهستان فرا گرفته است. این دشت توسط کوه‌های اطراف تغذیه می‌شود و همچنین دارای اشکال مخروط‌افکنه می‌باشد که نوک مخروط‌افکنه‌ها به سمت ارتفاعات قرار می‌گیرد. در قسمت خروجی دشت که کال تنگل‌شور می‌باشد تخلیه صورت می‌گیرد.

با توجه به نقشه‌های هم‌پتانسیل ترسیم شده در سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ در طی دوره ۲۶ ساله می‌توان چنین تفسیر نمود که جهت جریان آب زیرزمینی در دشت مشهد از شمال غربی به جنوب شرقی و در امتداد رودخانه کشف‌رود می‌باشد. از آنجائی که در بخش شمالی فواصل خطوط تراز به یکدیگر کم می‌باشد و این فواصل به سمت بخش جنوبی افزایش می‌یابد.

از لحاظ اندازه ذرات تشکیل‌دهنده در دشت مشهد به این صورت است که در قسمت شمالی از ذرات دانه ریز مانند شیل و ماسه تشکیل شده است و به سمت جنوب و جنوب غربی دشت اندازه ذرات افزایش می‌یابد. آب زیرزمینی دشت مشهد در شمال رودخانه کشف‌رود دارای تیپ سولفاته می‌باشد که به سمت شرق کشیده شده است و آب‌هایی با تیپ کلروره در غرب دشت و به طرف شرق و جنوب شرق گسترش دارد. علت کلروره بودن منابع آب زیرزمینی در غرب دشت گسترش ساند شوریجه و در قسمت شرق نفوذ سیلاب‌های کال تنگل‌شور می‌باشد (یزدانی و همکاران ۱۳۹۴). بر اساس گزارش آب منطقه‌ای خراسان رضوی روند منحنی های هدایت الکتریکی در سطح آب زیرزمینی یکنواخت نبوده و متغیر است. بهترین کیفیت (کمترین میزان EC) در محدوده مشهد مربوط به منابع آب زیرزمینی در بخش مرکزی (در چاه‌های سه راه دانش شرکت بهمن، احمدآباد فروتن آستان قدس، اراضی لنگر موسوی به ترتیب کمتر از ۴۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و بیشترین میزان EC (بدترین کیفیت)

در محدوده جنوب شرقی و خروجی سفره (مربوط به چاه‌های قوزقان، جیم‌آباد و چاه جنگل‌شور شن‌شویی) است که میزان EC در آنها، به بیش از ۴۹۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌رسد.

بر اساس آخرین اطلاعات آماربرداری (۱۳۸۸-۱۳۸۷) از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی که در دشت مشهد انجام شده است، تعداد ۶۷۱۶ حلقه چاه، ۱۰۸۷ رشته قنات و ۶۸۰ دهانه چشمه وجود دارد. مقادیر تخلیه چاه، چشمه و قنات به ترتیب ۸۴۷/۳۷، ۱۳۷/۸۲ و ۸۷/۳۵ میلیون مترمکعب می‌باشد.

بر اساس گزارش آب منطقه‌ای خراسان رضوی، میزان جریان ورودی و خروجی سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ به شرح ذیل می‌باشد:

ورودی زیرزمینی به سفره آب زیرزمینی:

میزان حجم جریان آب ورودی زیرزمینی به سفره: ۵۵۲/۵۸ میلیون مترمکعب

مقدار نفوذ حاصل از بارندگی با فرض ۶۰ درصد نفوذ: ۳۰/۶۶ میلیون مترمکعب

نفوذ حاصل از آب رواناب با فرض۲۰ درصد نفوذ: ۴۳/۲۰ میلیون مترمکعب

آب برگشتی کشاورزی و غیرکشاورزی: ۴۹۱/۳۵ میلیون مترمکعب

خروجی زیرزمینی از سفره آب زیرزمینی:

میزان حجم جریان خروجی از سفره: ۳۵۵/۱۵ میلیون مترمکعب

بهره‌برداری از سفره: ۷۷۷/۴۲ میلیون مترمکعب

تخلیه از طریق زهکش توسط رودخانه و تبخیر از سفره صورت نمی‌پذیرد، چون که عمق سطح آب زیرزمینی نسبتا زیاد است. بنابراین با مقایسه مجموع ورودی‌ها و خروجی‌ها و طبق گزارش موجود، بیلان سفره آب زیرزمینی دشت مشهد منفی است و در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ حدود ۱۴/۷۹ میلیون مترمکعب کسری مخزن دارد. همچنین به لحاظ افت سالانه آب زیرزمینی در دشت مشهد و رشد جمعیت و فعالیت‌های شهری و صنعتی و کشاورزی، آلودگی آب در دشت مشهد افزایش می‌یابد و کیفیت آب به لحاظ مصرف شرب کاهش می‌یابد.

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته درباره پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی

اکثر سفره‌های آب زیرزمینی ناهمگن (Hetrogeneouse) و ناهمسو (Anisotropic) هستند، در چنین سفره‌هایی مخروط افت با افزایش میزان آبدهی آزمایش پمپاژ، تحت تأثیر پارامترهای سفره رشد می‌یابد. تشکیل سفره آب زیرزمینی و قابلیت آبدهی آن قبل از هر چیزی به پارامترهای هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و آبدهی ویژه) و هدایت هیدرولیکی سفره بستگی دارد. تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در محاسبات مربوط به بیلان آب زیرزمینی، مدل آب زیرزمینی، تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی، سرعت حرکت آب زیرزمینی، دقت و صحت برآوردهای تغذیه مصنوعی، برآورد مقادیر ورودی و خروجی سفره آب زیرزمینی بسیار اهمیت دارد.

قابلیت انتقال و آبدهی ویژه، پارامترهای مهم هیدرودینامیکی در سفره آب زیرزمینی می‌باشند و برآورد این پارامترها یکی از مهمترین وظایف هیدروژئولوژیست‌ها می‌باشد. قابلیت انتقال عبارت است از دبی جریان آب زیرزمینی که تحت گرادیان هیدرولیکی واحد از واحد عرض آبخوان عبور نماید. به عبارت دیگر، قابلیت انتقال، حاصل ضرب متوسط ضخامت اشباع شده و متوسط هدایت هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی است. دیمانسیون قابلیت انتقال، مربع طول بر زمان می‌باشد (برای مثال متر مربع بر روز). ضریب ذخیره، حجم آب آزاد شده از ذخیره یا اضافه شده به ذخیره در واحد سطح از سفره در واحد تغییر در بار هیدرولیکی می‌باشد که کمیتی بدون بعد است.

با توجه به اینکه مقادیر قابلیت انتقال در مقایسه با مقادیر ضریب ذخیره بیشتر قابل دسترس می‌باشند (Younger 1993, Jalludin and Razack 1994) و همچنین به دلیل اینکه در سفره آب زیرزمینی،

مقادیر ضریب ذخیره در مقایسه با مقادیر قابلیت انتقال در مکان‌های مختلف تغییرپذیری بیشتری را شامل می‌شوند (Meier *et al.* 1998, Vila *et al.* 1999, Karami 2002)، محاسبه مقادیر قابلیت انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار است.

این دو پارامتر از روش‌های مختلفی قابل محاسبه هستند که مهمترین و معتبرترین روش در تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی، استفاده از نتایج آزمون پمپاژ می‌باشد. با استفاده از داده‌های افت - زمان و به کمک روش‌ها و معادلات مختلف، پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی قابل محاسبه و ارزیابی هستند. ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرزمینی و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب امری ضروری است، اما به دلیل محدودیت‌هایی که در استفاده از نتایج آزمون پمپاژ وجود دارد، استفاده از روش‌های جایگزین مانند لاگ‌های حفاری، ظرفیت ویژه چاه، آزمون تک چاهی، روش‌های ژئوالکتریک و .... ضروری می‌باشد.

محدودیت دیگر آزمون پمپاژ این است که معادلات مربوط به تخمین پارامترهای هیدرولیکی بر اساس آزمون پمپاژ تنها زمانی صادق است که فرضیات مربوط به نوع سفره آب زیرزمینی، ماهیت جریان سیال، نرخ پمپاژ و ذخیره چاه، مشابه فرضیات معادله مذکور باشد. بنابراین، با محدودیت‌هایی که در انجام آزمون پمپاژ وجود دارد، اطلاعات کمتری از پارامترهای هیدرودینامیکی در مطالعات سفره آب زیرزمینی در دسترس است. به همین دلیل است که محققان روش‌های جایگزین جهت تخمین و برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی پیشنهاد نموده‌اند. از جمله این روش‌ها، استفاده از لاگ حفاری است که برای برآورد قابلیت انتقال استفاده می‌شود. اگر لاگ‌های حفاری با دقت تهیه شده باشند، استفاده از لاگ‌های حفاری به عنوان روشی جایگزین و مناسب برای محاسبه پارامترهای هیدرودینامیکی می‌باشد.

از جمله محدودیت دیگری که در مورد آزمون پمپاژ قابل دکر می‌باشد این است که استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ و تجزیه و تحلیل آن‌ها نیاز به افراد مجرب دارد، در غیر این صورت خطای کار زیاد می‌باشد و داده‌های آزمایش پمپاژ غیرقابل استفاده می‌باشند.

۲-۱- استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ

آزمایش پمپاژ یکی از معتبرترین و رایج‌ترین روش‌های صحرایی برای برآورد خصوصیات هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد و دلیلش از این قرار است که پاسخ یک بخش نسبتاً بزرگی از سفره آب زیرزمینی را منعکس می‌نماید (Todd 1980, Walton 1987). در سفره‌های آب زیرزمینی، ارزیابی میانگین خواص هیدرولیکی بر اساس اطلاعات بدست آمده از مغزه‌های حفاری تعداد محدودی چاهک آزمایشی، مشکل و یا غیرممکن می‌باشد. در چنین سفره‌هایی، آزمایش پمپاژ می‌تواند برآوردهای نسبتاً خوبی از خواص هیدرولیکی ارائه نماید.

آزمایش پمپاژ می‌تواند اطلاعات اساسی و اصلی بر روی اجرای چاه (توسعه و نصب چاه)، پارامترهای سفره (قابلیت انتقال و آبدهی ویژه) و مرزهای هیدروژئولوژیکی را در اختیار ما قرار دهد. بنابراین، بهترین طرح و روش برای بررسی و رسیدگی در منابع آب زیرزمینی و مطالعات محیطی و کمک در کنترل آلودگی آبهای زیرزمینی را ایفا میکنند (Bardenhagen 2001).

با وجود تمام مزیت‌های ذکر شده در مورد آزمون پمپاژ به دلیل هزینه‌های بالا، عدم توجه متولیان آب‌های زیرزمینی و عدم دسترسی به افراد متخصص و مجرب در تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش پمپاژ، اغلب دشت‌های کشور فاقد تعداد کافی داده‌های آزمایش می‌باشند.

در ادامه به تعدادی از تحقیقات انجام شده که در آن‌ها داده‌های آزمایش پمپاژ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند، اشاره می‌شود:

کرمی (۱۳۸۳) با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های آهکی مختلف، مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی را برآورد نموده است. وی با بررسی ضریب تغییرات مربوط به قابلیت انتقال و ضریب ذخیره نتیجه‌گیری نموده است که ضریب تغییرات مربوط به ضریب ذخیره به طور قابل توجهی از ضریب تغییرات مربوط به مقدار قابلیت انتقال بزرگتر است.

حسینی سبزواری (۱۳۸۵) در معدن سنگ آهن گل‌گهر سیرجان از اطلاعات چاه‌های پمپاژ و پیزومترهای اواخر سال ۱۳۸۳ که در داخل و مجاور آن حفر شده استفاده نمود. داده‌های افت – زمان مربوط به چاه‌های پمپاژ و پیزومتری توسط نرم‌افزار Aquifer win32 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و خصوصیات هیدرودینامیکی در دو بخش آبرفتی و سنگی برآورد شد. بر اساس آنالیز نتایج آزمایش پمپاژ در بخش آبرفتی، مقدار پارامتر قابلیت انتقال ۱۲۵ تا ۱۸۷۵ متر مربع بر روز و ضریب ذخیره از $۶/۹ \times ۱۰^{-۵}$ تا ۰/۰۳۸ متغیر بوده است. در بخش سنگی سفره آب زیرزمینی، مقدار ضریب قابلیت انتقال از ۷/۸ تا ۱۰۹۶ متر مربع بر روز و ضریب ذخیره از $۵/۲ \times ۱۰^{-۶}$ تا ۰/۰۰۶۷ متغیر بوده است. با توجه به تغییرات بیشتر مقادیر ضریب قابلیت انتقال با زمان در بخش سنگی معدن نسبت به بخش آبرفتی آن به این نتیجه رسیدند که میزان ناهمگنی بخش سنگی بیشتر از بخش آبرفتی می‌باشد.

مختاری و اسپهبد (۱۳۸۸) با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ در دشت ورامین در شرق تهران به بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی پرداخته‌اند. جهت بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی سفره از نتایج آزمون برگشت آزمایش‌های پمپاژ چاه‌های حفر شده و همچنین از روابط تجربی رازک و هانتلی (Razack and Huntley 1991) برای تعیین ظرفیت ویژه و قابلیت انتقال استفاده شده است.

محمدی (۱۳۹۰) ضمن بررسی اختلاف روش‌های مختلف تحلیل آزمون پمپاژ در برآورد مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آزاد اظهار نمود که تحت شرایط خاصی می‌توان آزمون پمپاژ در سفره آزاد را با مدل‌های تحلیل مربوط به آزمون پمپاژ در سفره محبوس محاسبه نمود و تنها در حالتی محاسبه هدایت هیدرولیکی مربوط به سفره آزاد با استفاده از مدل‌های تحلیلی مربوط به سفره محبوس خطای کمی دارد که ضریب نیومن کمتر از ۰/۰۰۱ باشد.

روح‌الهی (۱۳۹۰) با استفاده از چاه‌های اکتشافی دشت‌های درمیان، سربیشه، خضری، شاهرخت، قاین، چاهک و اسفدن در استان خراسان جنوبی و همچنین با استفاده از مدل Aquifer test و سه روش نیومن، تایس اصلاح‌شده و آزمایش برگشت برای تفسیر داده‌های حاصل از آزمایش پمپاژ استفاده شده است. تفسیر داده‌های پمپاژ نشان‌دهنده این است که در تعیین مقدار قابلیت انتقال

آزمایش برگشت و در تخمین ضریب ذخیره روش نیومن که مختص سفره آزاد است از کارایی بیشتری برخوردار است و دقیق‌تر می‌باشد.

امجدی (۱۳۹۱) بر اساس نتایج داده‌های آزمون پمپاژ در دشت قم و روش الگوریتم تبرید تدریجی (Simulated annealing) پارامترهای هیدرودینامیکی را مورد ارزیابی قرار داد. در این روش از معادلات حاکم بر جریان ناپایدار در سفره محبوس و نشتی (تایس و هانتوش) و برنامه‌نویسی الگوریتم استفاده شده است.

امنی (۱۳۹۲) با استفاده از اطلاعات آزمایش پمپاژ دشت تهران - کرج پارامترهای هیدرودینامیکی را مورد ارزیابی قرار داد و به ارتباط آن با سطح آب زیرزمینی پرداخته است که با کاهش سطح ایستابی و نفوذپذیری، پارامترهای هیدرودینامیکی نیز کاهش می‌یابند.

جعفری و همکاران (۱۳۹۴) بر اساس نتایج داده‌های آزمون پمپاژ در محدوده سفره آب زیرزمینی شیروان در سال‌های ۱۳۴۹ و ۱۳۸۷ اظهار نمود که مقادیر قابلیت انتقال سفره در سال ۱۳۴۹ از ۲۰۰ تا ۲۲۵۱ متر مربع بر روز متغیر بوده است. همچنین محدوده تغییرات مقادیر قابلیت انتقال حاصل از آزمون پمپاژ در سال ۱۳۸۷ نیز از ۴۰ تا ۴۰۰ متر مربع بر روز در محدوده سفره می‌باشد. دلایل متفاوت بودن مقادیر قابلیت انتقال در این دو سال به افت زیاد سطح ایستابی نسبت داده شده است که باعث کاهش ضخامت سفره آب زیرزمینی شده است. مقادیر آبدهی محاسبه شده مربوط به سال ۱۳۸۷ نیز حدود ۳ درصد برآورد شده است.

۲-۲- استفاده از لاگ حفاری چاه‌ها

علیرغم معرفی روش‌های مختلف جهت برآورد هدایت هیدرولیکی، آزمون پمپاژ به عنوان دقیق‌ترین و پرکاربردترین روش شناخته می‌شود. به دلیل محدودیت‌های آزمون پمپاژ مانند موجود نبودن تعداد کافی چاه‌های اکتشافی برای انجام آزمون پمپاژ در یک سفره و یا پرهزینه بودن آزمون پمپاژ از

روش‌هایی مانند لاگ حفاری استفاده می‌شود. با توجه به فراوانی اطلاعات لاگ حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای در اکثر دشت‌ها و سفره‌های زیرزمینی کشور و با کمک این اطلاعات، پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی می‌توانند با دقت مناسبی در سرتاسر سفره برآورد شوند.

سوری‌نژاد (۱۳۸۱) با استفاده از لاگ چاه‌ها و وضعیت زمین‌شناسی دشت برخوار در شمال‌شرق اصفهان پارامترهای هیدرودینامیکی دشت که شامل دو سفره تحت‌فشار و آزاد می‌باشد را مورد ارزیابی قرار داد. در این روش با تقسیم‌بندی محدوده انتخابی به ۴ واحد ژئوهیدرولوژیکی و همچنین روش PEST که یکی از اجزای مدل MODFLOW می‌باشد، مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

حسینی سبزواری (۱۳۸۵) با استفاده از لاگ‌های پمپاژ حفاری شده در معدن گل‌گهر سیرجان و با به کارگیری روش رگرسیون چند متغیره رابطه‌ای بین لاگ چاه‌ها و قابلیت انتقال حاصل شد. با استفاده از رابطه بدست آمده برای چاه‌های مشاهده‌ای که برای آن‌ها اطلاعات پمپاژ وجود ندارد، مقدار قابلیت انتقال برآورد شده است. مقادیر قابلیت انتقال در چاه‌های پمپاژ از ۸ متر مربع تا ۶۰ متر مربع متغیر است.

کرمی (۱۳۸۹تا ۱۳۹۱) بر اساس مطالعات تجربی انجام شده با استفاده لاگ‌های حفاری در دشت سمنان – ایوانکی برای برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی، مقادیر هدایت هیدرولیکی برای بافت‌های اصلی رسوبات در دشت‌های آبرفتی را بین مقادیر ۰/۲ تا ۱۲ و همچنین مقادیر آبدهی ویژه برای رسوبات مختلف را بین ۲ تا ۸ درصد برآورد نموده است.

متوسل (۱۳۹۱) با استفاده از اطلاعات لاگ حفاری در دشت بوشکان اقدام به برآورد هدایت هیدرولیکی نموده است. مقادیر هدایت هیدرولیکی با استفاده از روش آنالیز فازی و هم‌پوشانی مقادیر هدایت هیدرولیکی برآورد شده است. همچنین خطاهای اعلام شده در مقایسه نتایج حاصل از روش

آنالیز فازی با نتایج تحلیل آزمون چاه‌های پمپاژ در دشت بوشکان نشان می‌هد که با استفاده از روش آنالیز فازی می‌توان توزیع مکانی هدایت هیدرولیکی در سفره آب زیرزمینی را مورد ارزیابی قرار داد.

جعفری و همکاران (۱۳۹۵) بر اساس اطلاعات لاگ حفاری در دشت شیروان مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه را ارزیابی نمود. مقادیر قابلیت انتقال در دشت شیروان از ۱۳ تا ۶۹۹ متر مربع بر روز برآورد شده است. جهت محاسبه آبدهی ویژه، بافت غالب خاک در لاگ‌های حفاری در محل چاه تعیین شده است. مقدار متوسط آبدهی ویژه حدود ۳ درصد برآورد شده است.

۲-۳- استفاده از روش آزمون تک‌چاهی

در صورتی که افت اندازه‌گیری شده در آزمون‌های تک‌چاهی و در چاه پمپاژ، منعکس‌کننده افت سفره آب زیرزمینی نبوده، محاسبات مبتنی بر افت مشاهده شده در چاه پمپاژ نمی‌تواند برآورد دقیقی از پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی ارائه دهد. اما در صورت نیاز به تخمین ارزان و سریع از قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی، استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از پمپاژ تک‌چاهی جزء گزینه‌های کاربردی به شمار می‌آید.

نخعی (۱۳۷۴) با استفاده از داده‌های مربوط چاه‌های پمپاژ در دشت قم و با به کار گرفتن روش آزمون تک‌چاهی مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی را برآورد نموده است. ضمن آنالیز داده‌های پمپاژ با روش‌های Neuman، Moench و ... اظهار داشت که پارامترهای حاصل از دو چاه به هم نزدیک بوده و تفاوت اندک موجود را می‌توان به ناهمسویی محیط سفره آب زیرزمینی نسبت داد. همچنین استفاده از روش تک‌چاهی در برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی می‌تواند تا حدود زیادی هزینه‌های آزمایش پمپاژ را کاهش دهد.

اسدیان و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ در چاه‌های اکتشافی خراسان رضوی و جنوبی، مقادیر قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت و در آن از روش‌های

Hazel-Eden، Hantush-Biershenk، Kasinow، Miller-Weber و Karami-Younger استفاده شد. نتایج حاصل از بکارگیری روش‌های غیرمستقیم Hazel-Eden، Hantush-Biershenk، Kasenow و Miller-Weber اختلاف قابل توجهی با پارامترهای محاسبه شده به کمک داده‌های پیزومتری نشان می‌دهند. روشی که توسط کرمی و یانگر (Karami and Younger 2002) در مجموع چاه‌های آنالیز شده قادر بوده تا مقدار CQ^n را به طور میانگین با اختلاف ۲۵٪ محاسبه نماید. این در حالی است که دقت قابلیت انتقال برآورد شده به کمک تصحیح داده‌ها با یک افت چاه برآورد شده دقیق، لزوما به محاسبه مقدار قابلیت انتقال قابل قبول منجر نمی‌شود. حساسیت نتایج به نوع رسوبات خصوصاً در رسوبات با تراوایی زیاد که افت چاه در آنها کم می‌باشد و مقدار CQ^n چاه در مقایسه با BQ ناچیز می‌باشد، بستگی دارد.

۲-۴- استفاده از روش ژئوالکتریک

نخعی و لشکری‌پور (۱۳۸۲) در دشت شورو در جنوب غربی زاهدان با استفاده از ۲۰۷ سونداژ قائم الکتریکی و روش مقاومت ویژه و با آرایه شلومبرژه و همچنین با استفاده از داده‌های لاگ گمانه‌های حفر شده داده‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. با بررسی نتایج بدست‌آمده پارامترهای هیدروژئولوژی دشت مانند تخلخل با مقدار ۰/۳۷، آبدهی ویژه با مقدار ۰/۱۸ و حجم آب قابل استحصال با مقدار ۸۵۵ میلیون مترمکعب محاسبه گردید.

غلامی مهرآبادی (۱۳۸۸) با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی در دشت امان‌آباد اراک، به روش مقاومت ویژه و اطلاعات چاه‌های اکتشافی، مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی را مورد ارزیابی قرار داد. طبق محاسبات انجام شده، مقدار متوسط تخلخل ۴/۲۱ درصد، ضریب ذخیره ۰/۰۰۰۰۰۱۹۳ درصد، ضریب نفوذپذیری ۴/۳ متر در ثانیه و متوسط قابلیت انتقال ۴/۲۱ مترمربع در روز تخمین زده شده است.

محمدزاده و همکاران (۱۳۹۱) در دشت بجنورد با استفاده از تعداد ۶۶ سونداژ قائم الکتریکی، قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی را برآورد نمودند. ضمن پردازش و تصحیح داده‌های برداشت شده و با در

نظر گرفتن نمودار توصیفی مربوط به چاه‌ها و با استفاده از اطلاعات سونداژهای که در مجاورت چاه‌های آزمایش پمپاژ قرار داشتند، مقاومت واقعی و ضخامت لایه‌های زیر سطحی را تعیین کردند. در نهایت، رابطه قابلیت انتقال حاصل از نتایج آزمایش پمپاژ و مقاومت عرضی سفره که از روش سونداژ قائم الکتریکی بدست آمده است به صورت ($T= 0.503 \times R_T - 143.6$) و همچنین رابطه بین هدایت هیدرولیکی و فاکتور سازند به صورت ($K= 0.02 \times F^{3.292}$) می‌باشد.

تاج (۱۳۹۴) با استفاده از لاگ‌های حفاری و مطالعات ژئوفیزیک در دشت بجنورد مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی را برای جنس‌های مختلف موجود در آبخوان مورد ارزیابی قرار داد. مقادیر محاسبه شده در آبخوان برای خاک درشت دانه، متوسط دانه، ریز دانه و خیلی ریز دانه به ترتیب ۸/۱، ۶/۷، ۱/۹ و ۰/۴ می‌باشد.

۲-۵- استفاده از روش ظرفیت ویژه

از جمله داده‌هایی که از چاه‌های بهره‌برداری برداشت می‌شوند شامل مقادیر افت می‌باشد که بر اساس آن‌ها می‌توان مقادیر ظرفیت ویژه را محاسبه نمود. ظرفیت ویژه از تقسیم مقادیر دبی به افت محاسبه می‌شود.

اصغری‌مقدم (۱۳۸۴) با استفاده از داده‌های ظرفیت ویژه و ژئوفیزیک در دشت چالدران در استان آذربایجان غربی، مقدار قابلیت انتقال را برآورد نمود. در این روش با بسط معادله ژاکوب و ناچیز نمودن تاثیرات ضریب ذخیره، زمان، شعاع چاه و در نظر گرفتن ظرفیت ویژه چاه و با اندازه‌گیری افت در چاه، پارامتر قابلیت انتقال برآورد شده که بین ۵۱ متر مربع بر روز تا ۲۵۳ متر مربع بر روز متغیر است.

جعفری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های حلقه چاه بهره‌برداری در آبخوان شیروان مقادیر قابلیت انتقال را با استفاده از روش ظرفیت ویژه برآورد نمود. مقادیر ظرفیت ویژه از تقسیم مقادیر دبی

به افت محاسبه شده که تغییرات آن از ۰/۴۶ تا ۴۶ مترمربع بر روز می‌باشد. مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده بر مبنای داده‌های ظرفیت ویژه طبق رابطه (Razack and Huntley 1991) از ۹/۱ متر مربع بر روز تا حداکثر ۱۹۸/۸ متر مربع بر روز برآورد شده است. مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده بر مبنای داده‌های ظرفیت ویژه طبق رابطه (Srivastav *et al*. 2006) از ۱۳/۸ متر مربع بر روز تا حداکثر ۲۸۶/۹ متر مربع بر روز برآورد شده است.

۲-۶- استفاده از روش مدل‌های ریاضی

روش‌های مدلسازی از جمله روش‌های موثر در مطالعه منابع آب زیرزمینی و همچنین محاسبه پارامترهای هیدرودینامیکی می‌باشند.

مظفری و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ مربوط به سفره آب زیرزمینی دشت گتوند در شهرستان شوشتر و با استفاده از روش عددی تفاضلات محدود و نرم‌افزار PMWIN 5.3 مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی سفره محاسبه نمودند. مقدار هدایت هیدرولیکی در این سفره بین ۳ تا ۱۳/۵ متر بر روز و قابلیت انتقال بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ مترمربع بر روز متغیر است.

گلابچیان (۱۳۹۳) با استفاده از روش MODFLOW به برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی دشت کوهپایه – سگزی پرداخته است. در این تحقیق با استفاده از لایه‌های ورودی و واسنجی مدل در حالت ماندگار برای سال آبی ۱۳۸۱ و حالت غیرماندگار برای سال‌های آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳ و همچنین برای صحت‌سنجی از نتایج شبیه‌سازی آزمون برای سال ۱۳۸۴ نیز انجام شد. بر اساس ارزیابی انجام‌شده، هدایت هیدرولیکی سفره از ۲۶/۱۵ تا ۸۷/۱۹ متر بر روز و ضریب ذخیره سفره از ۰/۰۱۰۷ تا ۰/۰۱۸۶ در نقاط مختلف برآورد شده است.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل فعالیت‌ها و کارهای انجام شده در این تحقیق به منظور بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و آبدهی ویژه) سفره آب زیرزمینی در دشت مشهد به طور مختصر بیان شده است. مهمترین کارهایی که در این تحقیق انجام شده شامل موارد زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مرتبط با موضوع تحقیق (تهیه اطلاعات مربوط به لاگ گمانه‌ها، اطلاعات مربوط به آزمون پمپاژ و همچنین آمار و اطلاعات ۲۵ ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۷) مربوط به سطح آب زیرزمینی)
- ترسیم نقشه پایه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد
- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل معرف دشت
- برآورد مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه در نقاط مختلف دشت با استفاده از اطلاعات مربوط به لاگ‌های حفاری

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات

به منظور انجام کارهای موجود در این تحقیق و بررسی عوامل مختلف داده‌ها و اطلاعات موجود جمع‌آوری شد. این اطلاعات شامل سه دسته می‌باشند که مربوط به اطلاعات لاگ گمانه‌ها، اطلاعات چاه‌های پمپاژ و اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

۳-۱-۱- اطلاعات مربوط به لاگ گمانه‌ها

به منظور بررسی و برآورد مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی در دشت مشهد نیاز به تهیه نمودار توصیفی مربوط به لاگ حفاری چاه‌های حفر شده در دشت بود که این اطلاعات از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه شد. نمودار توصیفی مربوط به لاگ حفاری چاه‌ها با استفاده از توصیف نمونه‌های بدست آمده از حفاری چاه‌ها تهیه شده است. نمودارهای توصیفی لاگ‌ها بر اساس بافت رسوبات تشکیل‌دهنده دسته‌بندی و با در نظر گرفتن هدایت هیدرولیکی بافت مختلف رسوبات مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شد. همچنین این دسته‌بندی برای محاسبات مقادیر آبدهی ویژه نیز انجام شد. این محاسبات برای نمودار توصیفی لاگ‌ها از سطح ایستابی تا عمق چاه در نظر گرفته شده است.

۳-۱-۲- اطلاعات مربوط به چاه‌های پمپاژ و بررسی تغییرات آن

چاه‌های پمپاژ حفاری شده در دشت مشهد بسیار اندک است. جهت بررسی نتایج آزمون پمپاژ از ۳ حلقه چاه پمپاژ موجود در سفره آب زیرزمینی در دشت مشهد استفاده شده که این اطلاعات از گزارش موجود در مطالعات آب منطقه‌ای خراسان رضوی مربوط به سال ۱۳۸۷ استخراج شده است.

از آنجائی که پارامترهای هیدرودینامیکی در نقاط مختلف در شرایط رسوبی و هیدروژئولوژیکی مختلف، متغیر است، از این رو جهت تعیین این مقادیر بایستی تعداد نسبتاً زیادی آزمایش پمپاژ در نقاط مختلف سفره آب زیرزمینی انجام شود. آزمایش‌های پمپاژ انجام شده در سال ۱۳۸۷ در دشت مشهد بسیار اندک بوده و به همین دلیل پیگیری و مراجعه فراوان به شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی جهت اخذ اطلاعات مربوط به آزمایش‌های پمپاژ در سال‌های گذشته در دشت مشهد انجام شد که متاسفانه به دلیل نبود اطلاعات به ناچار از اطلاعات ۳ حلقه چاه حفاری شده در سال ۱۳۸۷ استفاده شد.

۳-۱-۳- اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی و بررسی تغییرات آن

جهت بررسی تغییرات سطح و میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت مشهد در دوره مورد مطالعه، از داده‌های ۲۵ ساله سطح آب زیرزمینی (۱۳۹۲-۱۳۶۷) در ۵۵ پیزومتر که دارای کامل‌ترین آمار و بهترین پراکندگی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. اندازه‌گیری سطح آب در این پیزومترها به صورت ماهانه صورت گرفته است. برای بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی با بارندگی، مقادیر بارندگی نیز روی نمودار نشان داده شده است.

برای بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، هیدروگراف دشت برای یه دوره ۲۶ ساله (۱۳۶۸-۱۳۶۷ الی ۱۳۹۳-۱۳۹۲) با استفاده از ۵۵ پیزومتر انتخابی موجود در دشت و به روش تیسن تهیه شد.

۳-۲- ترسیم نقشه پایه زمین‌شناسی

برای تهیه نقشه پایه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ مشهد (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور) استفاده گردید. تطبیق نقشه زمین‌شناسی منطقه با تصاویر موجود در نرم‌افزار Google Earth به منظور دقت بیشتر در بررسی واحدهای سنگی مختلف انجام شد. لایه‌های اطلاعاتی موجود در نقشه، واحدهای لیتولوژی و ساختاری موجود در نقشه در محیط Arc GIS ترسیم شد. جهت بررسی و مطالعه دشت، محل پیزومترها و لاگ‌های حفاری بر روی نقشه مشخص شده است.

۳-۳- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل سفره آب زیرزمینی دشت مشهد

نقشه هم‌پتانسیل، معمولاً به منظور تعیین جهت اصلی حرکت آب زیرزمینی و مناطق عمده تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی برای سفره مورد نظر تهیه می‌شود. جهت ترسیم نقشه هم‌پتانسیل از

اطلاعات سطح آب زیرزمینی پیزومترهای بهمن ماه سال ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ (شروع و انتهای دوره آماری موجود) استفاده شده است. پس از ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل فوق‌الذکر، اختلافات ایجاد شده در فاصله زمانی ۲۵ ساله بین سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مهم‌ترین این موارد شامل جابجایی خطوط هم‌پتانسیل، گرادیان هیدرولیکی و ناهنجاری‌های ایجاد شده بر اثر توسعه شهری می‌باشند. نقشه‌های ترسیم‌شده از لحاظ کاربری آن‌ها به لحاظ شهرنشینی، مناطق کشاورزی، افت و بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفتند.

۳-۴- محاسبه قابلیت انتقال و آبدهی ویژه به روش لاگ گمانه‌ها

در این روش اطلاعات مربوط به گمانه‌ها از اداره آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه گردید. محدوده مورد مطالعه بر اساس لاگ‌های موجود در منطقه به سه بخش شمال غربی، مرکزی و جنوب شرقی تقسیم‌بندی و از نظر مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به منظور مقایسه سریع و آسان و همچنین تفسیر دقیق مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی، نقشه‌های مربوط به مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه در محیط Arc GIS ترسیم شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

قابلیت انتقال آبخوان دشت مشهد با استفاده از اطلاعات لاگ گمانه از معادله $T = bK$ محاسبه شده است. با توجه به اینکه سفره آب زیرزمینی شامل چندین لایه با دانه‌بندی و بافت‌های مختلف می‌باشد، تمامی لاگ‌ها بر اساس نوع بافت دسته‌بندی و همچنین با هدایت هیدرولیکی مربوط به هر نوع بافت تشکیل‌دهنده، قابلیت انتقال از معادله زیر محاسبه شده است.

$$T = b_1K_1 + b_2K_2 + \ldots + b_nK_n$$

در این رابطه b ضخامت لایه مورد نظر و K هدایت هیدرولیکی یا مقدار نفوذپذیری لایه می‌باشد. در این قسمت با استفاده از لاگ حفاری چاه‌های موجود، جنس مواد تشکیل‌دهنده و ضخامت لایه‌ها استخراج شده است. مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه برای انواع بافت رسوبات در دشت‌های

آبرفتی در جدول‌های (۳-۱) و (۳-۲) ارائه شده است که این مقادیر بر اساس مطالعات انجام شده برای برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی در دشت‌های مختلف می‌باشد (کرمی ۱۳۹۱).

جدول ۳-۱- مقادیر هدایت هیدرولیکی بر اساس بافت رسوبات مختلف (کرمی ۱۳۹۱)

بافت غالب رسوب	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
گراول	۱۲
ماسه	۶-۸
سیلت	۰/۵
رس	۰/۲

جدول ۳-۲- مقادیر آبدهی ویژه بر اساس بافت رسوبات مختلف (کرمی ۱۳۹۱)

بافت غالب رسوب	آبدهی ویژه (درصد)
ماسه	۸
ماسه و رس	۶
لوم (مخلوط رس و ماسه)	۴
رس	۲

فصل چهارم: ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی دشت مشهد

مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه، پارامترهای مهم هیدرودینامیکی در سفره آب زیرزمینی می‌باشند. این دو پارامتر از روش‌های مختلفی قابل محاسبه هستند که مهمترین و معتبرترین روش در تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی، استفاده از نتایج آزمون پمپاژ می‌باشد. اما به دلیل محدودیت‌هایی که در استفاده از نتایج آزمون پمپاژ است مانند هزینه بالا و زمان، بنابراین از روش‌های جایگزین مانند استفاده از لاگ‌های حفاری، ظرفیت ویژه چاه، آزمون تک چاهی، روش‌های ژئوالکتریک و .... استفاده می‌شود. در این فصل ابتدا مختصری درباره هیدروژئولوژی دشت توضیح داده می‌شود. سپس نتایجی که از روش‌های مختلف در برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی به دست آمده است، مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. در نهایت با استفاده از لاگ‌های حفاری مقادیر این پارامترها در دشت مشهد برآورد خواهند شد.

۴-۱- هیدروژئولوژی منطقه

سفره آب زیرزمینی دشت مشهد از نوع آزاد است که از رسوبات آبرفت تشکیل شده است. تغذیه سفره آب زیرزمینی مشهد از کوه‌های اطراف صورت می‌گیرد. جهت حرکت آب زیرزمینی در دشت از شمال غربی به سمت جنوب شرقی می‌باشد. دشت مشهد دارای منابع آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات می‌باشد. در این بخش جهت ترسیم نقشه هم‌پتانسیل از اطلاعات پیزومترهای دشت استفاده شده است.

۴-۱-۱- پیزومترهای دشت مشهد

محدوده مورد مطالعه شامل ۵۵ حلقه پیزومتر می‌باشد که اطلاعات آن در جدول (۴-۱) ارائه شده است. بر اساس پیزومترهای موجود نقشه هم‌پتانسیل برای بهمن ماه ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ ترسیم گردید.

جدول ۴-۱- ارتفاع سطح آب در پیزومترهای دشت مشهد در ابتدا و انتهای دوره آماری (بهمن ماه ۱۳۶۷ و۱۳۹۲)

ردیف	نام پیزومتر	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۶۷ (متر)	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۹۲ (متر)
۱	اراضی قاسم‌آباد	۹۹۱	۹۸۶
۲	اراضی کنه‌بیست	۸۷۶	۸۵۱
۳	افضل‌آباد	۱۱۴۴	۱۱۱۲
۴	التیمور	۹۱۲	۹۱۱
۵	امرقان فردوسی	۹۳۷	۹۰۰
۶	امرقان هلالی	۸۷۷	۸۳۵
۷	بحرآباد	۹۵۵	۹۴۶
۸	بلوار جنگل	۹۳۰	۱۰۰۱
۹	بلوار راه‌آهن	۹۴۳	۹۵۶
۱۰	بلوارتلویزیون	۹۶۳	۹۷۲
۱۱	بلوارفردوسی	۹۶۰	۱۰۱۱
۱۲	تخم مرز	۹۵۹	۹۲۶
۱۳	جمع‌آب	۱۱۲۹	۱۱۰۹
۱۴	چچچه	۱۰۴۰	۱۰۱۹
۱۵	چنبرغربال	۱۱۴۷	۱۱۱۲
۱۶	حاجی‌آباد	۱۱۴۵	۱۱۱۹

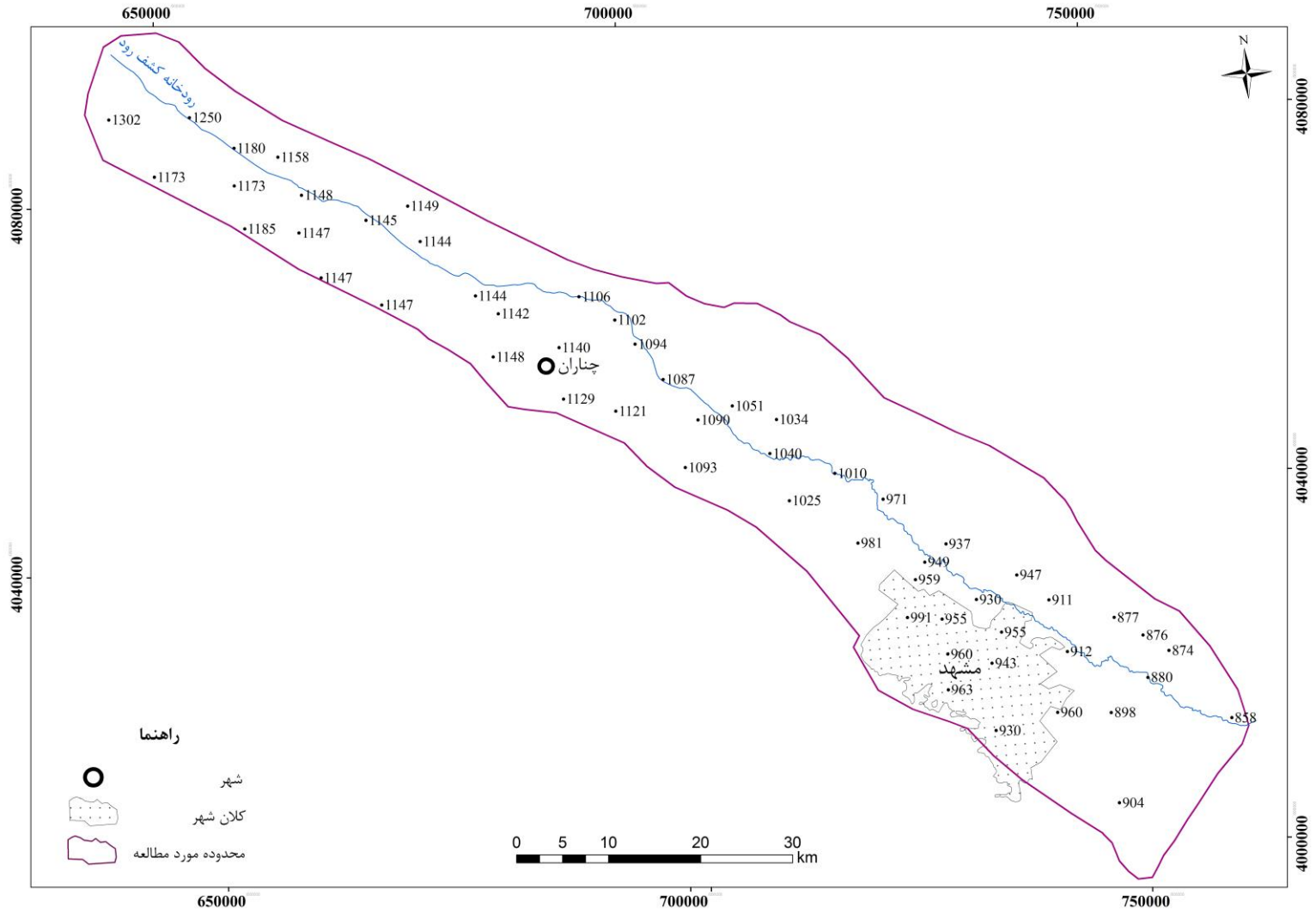
جدول ۴-۱- ادامه

ردیف	نام پیزومتر	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۶۷ (متر)	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۹۲ (متر)
۱۷	خواجه‌ربیع	۹۵۵	۹۵۱
۱۸	خیرآباد	۱۱۴۸	۱۱۲۷
۱۹	خین‌عرب	۹۳۰	۹۲۹
۲۰	درنگون	۱۰۸۷	۱۰۷۹
۲۱	دستگردان ۲	۸۹۸	۸۷۹
۲۲	دوغائی	۱۳۰۲	۱۳۰۱
۲۳	رضاآبادشرقی	۱۱۸۰	۱۱۵۸
۲۴	ریاض	۱۱۴۹	۱۱۲۰
۲۵	ساروجه	۱۱۴۲	۱۱۲۰
۲۶	سرآسیاب فردوسی	۹۷۱	۹۴۱
۲۷	سهل الدین	۱۰۱۰	۹۹۴
۲۸	سیدآباد	۱۱۴۷	۱۱۲۸
۲۹	شفیع	۱۱۵۸	۱۲۵۲
۳۰	شورچه	۱۲۵۰	۱۲۴۸
۳۱	شیرحصار	۱۰۳۴	۱۰۱۰
۳۲	عباس‌آباد نهرآباد	۱۱۰۶	۱۰۹۲
۳۳	عبدل‌آباد	۱۰۹۳	۱۱۵۹
۳۴	عسکریه	۱۰۲۵	۹۸۸
۳۵	قره تپه	۱۱۴۸	۱۱۱۳
۳۶	قره‌جنگل	۱۰۵۱	۱۰۱۷
۳۷	قره‌چاه	۱۲۷۳	۱۲۷۱
۳۸	قلعه‌ساختمان	۹۶۰	۸۹۵

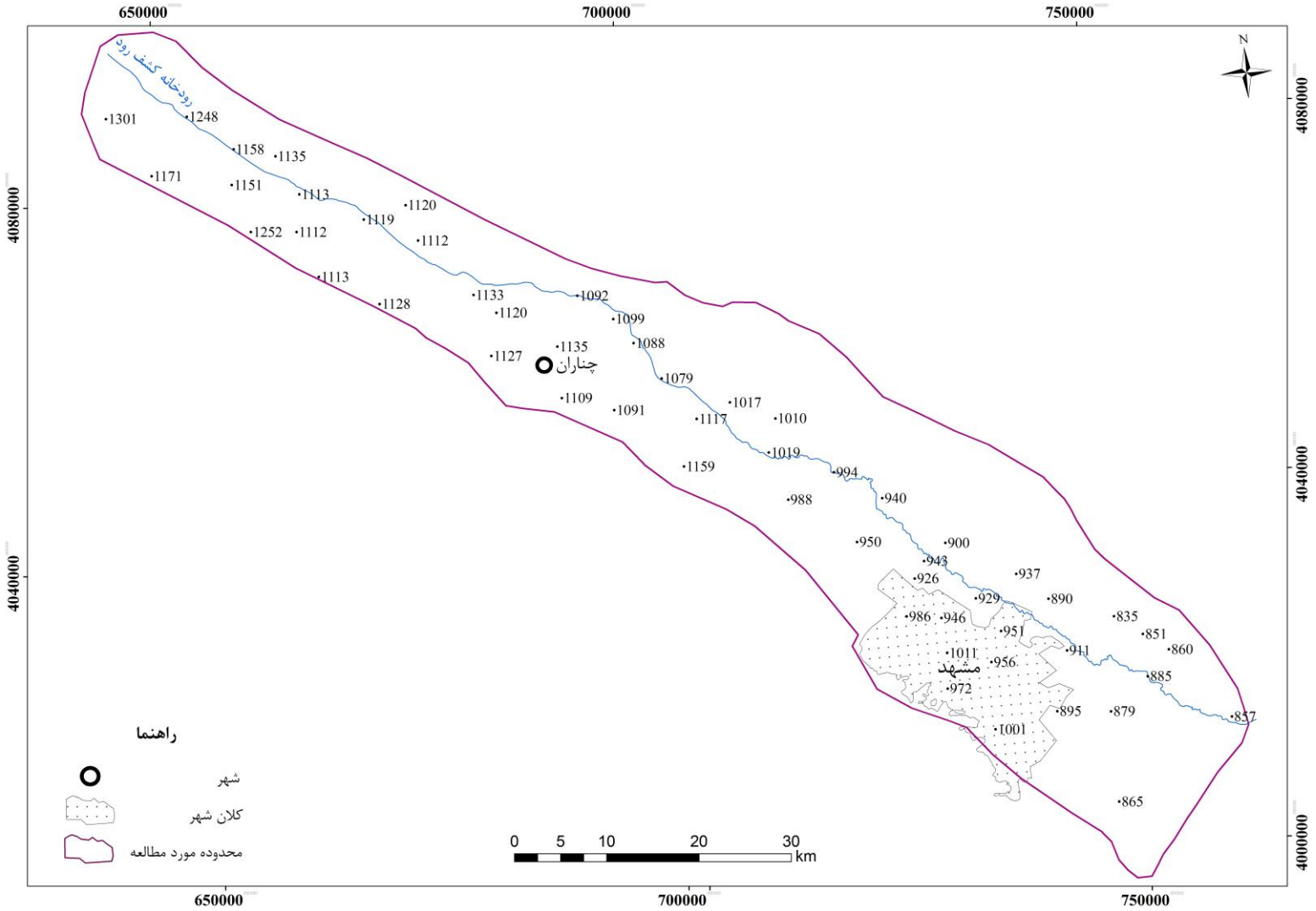
جدول ۴-۱- ادامه

ردیف	نام پیزومتر	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۶۷ (متر)	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۹۲ (متر)
۳۹	قوزقان	۸۵۸	۸۵۷
۴۰	قهقه	۹۴۹	۹۴۳
۴۱	قیاس آباد ۲	۸۸۰	۸۸۵
۴۲	کبیر	۱۱۴۰	۱۱۳۵
۴۳	کلاته برفی	۹۸۱	۹۵۰
۴۴	کلاته شیخ‌ها	۱۱۲۱	۱۰۹۱
۴۵	کلا ته کریم‌خان	۱۰۹۰	۱۱۱۷
۴۶	کلاته نادر	۱۰۹۴	۱۰۸۸
۴۷	کنوگرد	۹۱۱	۸۹۰
۴۸	کنه بیست	۸۷۴	۸۶۰
۴۹	گراب	۹۴۷	۹۳۷
۵۰	مزرعه نمونه	۹۰۴	۸۶۵
۵۱	ملی	۱۱۴۴	۱۱۳۳
۵۲	موچنان	۱۱۵۸	۱۱۳۵
۵۳	مومن آباد	۱۱۷۳	۱۱۵۱
۵۴	نومهن	۱۱۰۲	۱۰۹۹
۵۵	یکه‌لنگه	۱۱۴۷	۱۱۱۳

پیزومترهای موجود در سطح دشت و بخش آبرفتی به صورت یکسان پراکنده هستند. موقعیت پیزومترهای موجود برای سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ در محدوده مطالعاتی در شکل‌های (۴-۱) و (۴-۲) ارائه شده است.



شکل ۴-۱- موقعیت پیزومترهای موجود در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۷)



شکل ۴-۲- موقعیت پیزومترهای موجود در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲)

شهر مشهد در قسمت جنوبی دشت واقع شده است. مقایسه سطح آب در پیزومترهای دشت مشهد در بهمن ماه سال ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که ارتفاع سطح آب در همه پیزومترها در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۶۷ کاهش یافته ولی ارتفاع سطح آب در سال ۱۳۹۲ در محدوده شهر مشهد نسبت به سال ۱۳۶۷ افزایش یافته است. این بالاآمدگی در محدوده پایین دست دشت مشهد نتیجه توسعه شهری، تغذیه دشت به وسیله فاضلاب و پساب و همچنین انتقال از حوضه‌های دیگر به سمت بخش جنوبی دشت که نتیجه تاثیر این عوامل بر تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌باشد. تغییرات سطح آب زیرزمینی در شهر مشهد نسبت به اطراف آن به وضوح دیده می‌شود (شکل‌های ۴-۱ و ۴-۲). به عنوان نمونه ارتفاع سطح آب در پیزومتر بلوار جنگل در داخل شهر مشهد در سال ۱۳۶۷ به مقدار ۹۳۰ متر است در حالیکه ارتفاع سطح آب همین پیزومتر با افزایش ۷۱ متر در سال ۱۳۹۲ به مقدار ۱۰۰۱ متر رسیده است. این افزایش سطح آب در پیزومترهای دیگر محدوده شهر مشهد از قبیل بلوار تلویزیون، بلوار فردوسی و بلوار راه‌آهن نیز دیده می‌شود که در جدول (۴-۲) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در پیزومترهای بلوار جنگل و بلوار فردوسی افزایش سطح ایستابی بین سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ بسیار قابل توجه است. علت این افزایش فاحش در ارتفاع سطح ایستابی، به عوامل توسعه شهری و تغذیه محدوده شهری توسط فاضلاب و پساب مربوط می‌شود.

جدول ۴-۲- نمونه پیزومترهای موجود در اطراف شهر مشهد با افزایش سطح آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۲ نسبت به ۱۳۶۷

نام پیزومتر	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۶۷ (متر)	ارتفاع سطح ایستابی در بهمن ماه ۱۳۹۲ (متر)	افزایش ارتفاع سطح ایستابی (متر)
بلوار جنگل	۹۳۰	۱۰۰۱	۷۱
بلوار تلویزیون	۹۶۳	۹۷۲	۹
بلوار فردوسی	۹۶۰	۱۰۱۱	۵۱
بلوار راه‌آهن	۹۴۳	۹۵۶	۱۳

۴-۱-۲- نقشه هم‌پتانسیل

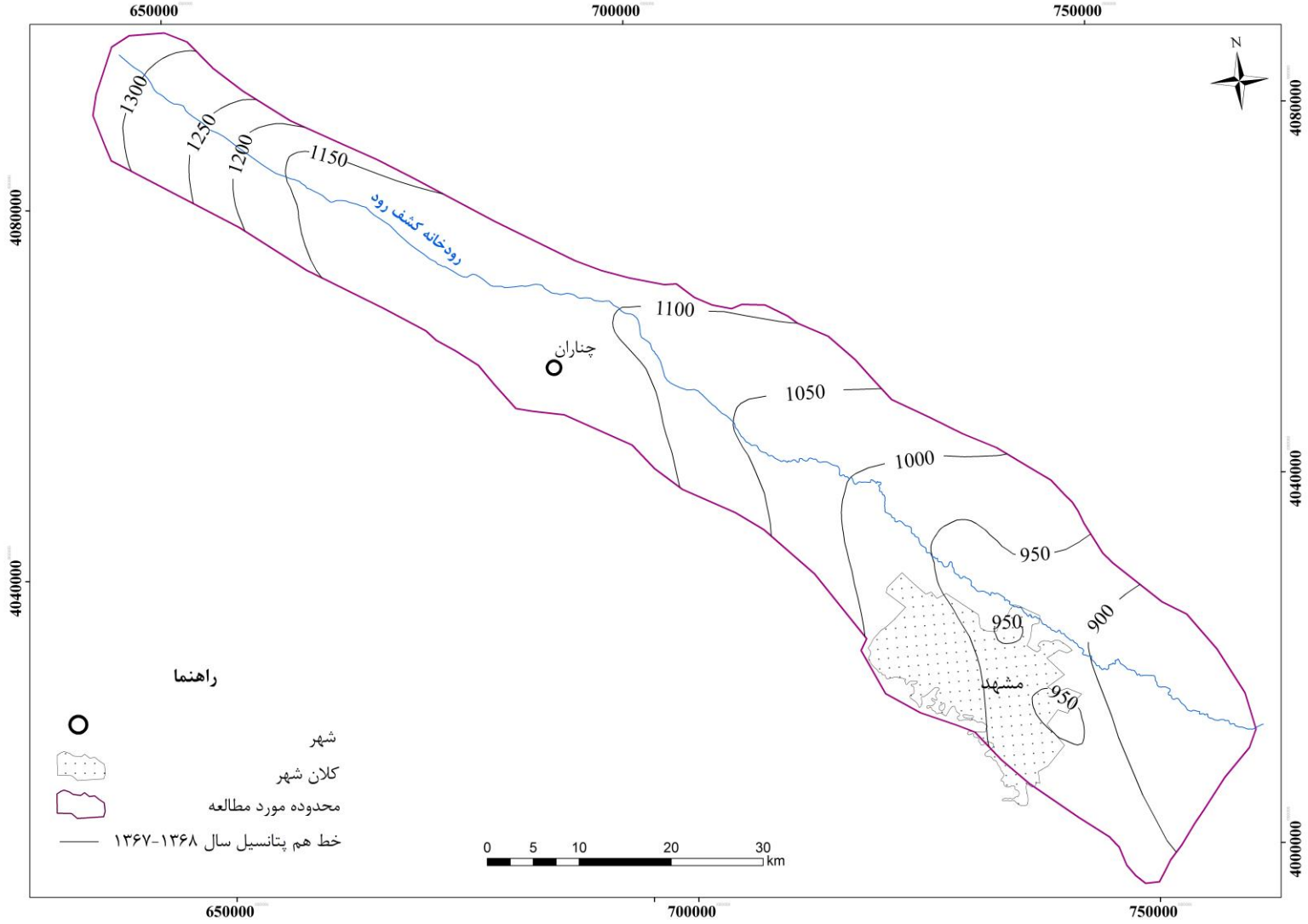
نقشه هم‌پتانسیل برای بررسی جهت حرکت آب زیرزمینی و تغییرات سطح آب در بهمن ماه ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ ترسیم شده است. جهت ترسیم نقشه هم‌پتانسیل در سال ۱۳۶۷ خطوط هم ارتفاعی با پیزومترهایی که در سطح دشت گسترش دارند و با فواصل ۵۰ متر انجام شده است. این نقشه نشان می‌دهد که در محدوده بالادست خطوط ارتفاعی به یکدیگر نزدیک‌تر هستند و فواصل خطوط به سمت جنوب افزایش می‌یابد. شیب هیدرولیکی محاسبه شده در محدوده بالادست برای سال ۱۳۶۷ به مقدار ۰/۰۱ محاسبه شده است. جهت حرکت آب زیرزمینی از شمال غربی به سمت جنوب شرقی و در امتداد رودخانه کشف‌رود می‌باشد. در محدوده جنوبی و شهر مشهد دو خطوط هم ارتفاعی بسته تشکیل شده است (شکل ۴-۳).

برای ترسیم نقشه هم‌پتانسیل در سال ۱۳۹۲ نیز از پیزومترهای موجود در سطح دشت مشهد استفاده شد و خطوط هم‌ارتفاع آن با فواصل ۵۰ متر ترسیم شد. نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که فواصل خطوط از سمت شمال به سمت جنوب افزایش می‌یابد. شیب هیدرولیکی محاسبه شده در محدوده بالادست برای سال ۱۳۹۲ به مقدار ۰/۰۲ محاسبه شده است. طبق نقشه ترسیم شده در محدوده شهر مشهد منحنی بسته‌ای تشکیل شده است که نسبت به سال ۱۳۶۷ گسترش بیشتری یافته است (شکل ۴-۴).

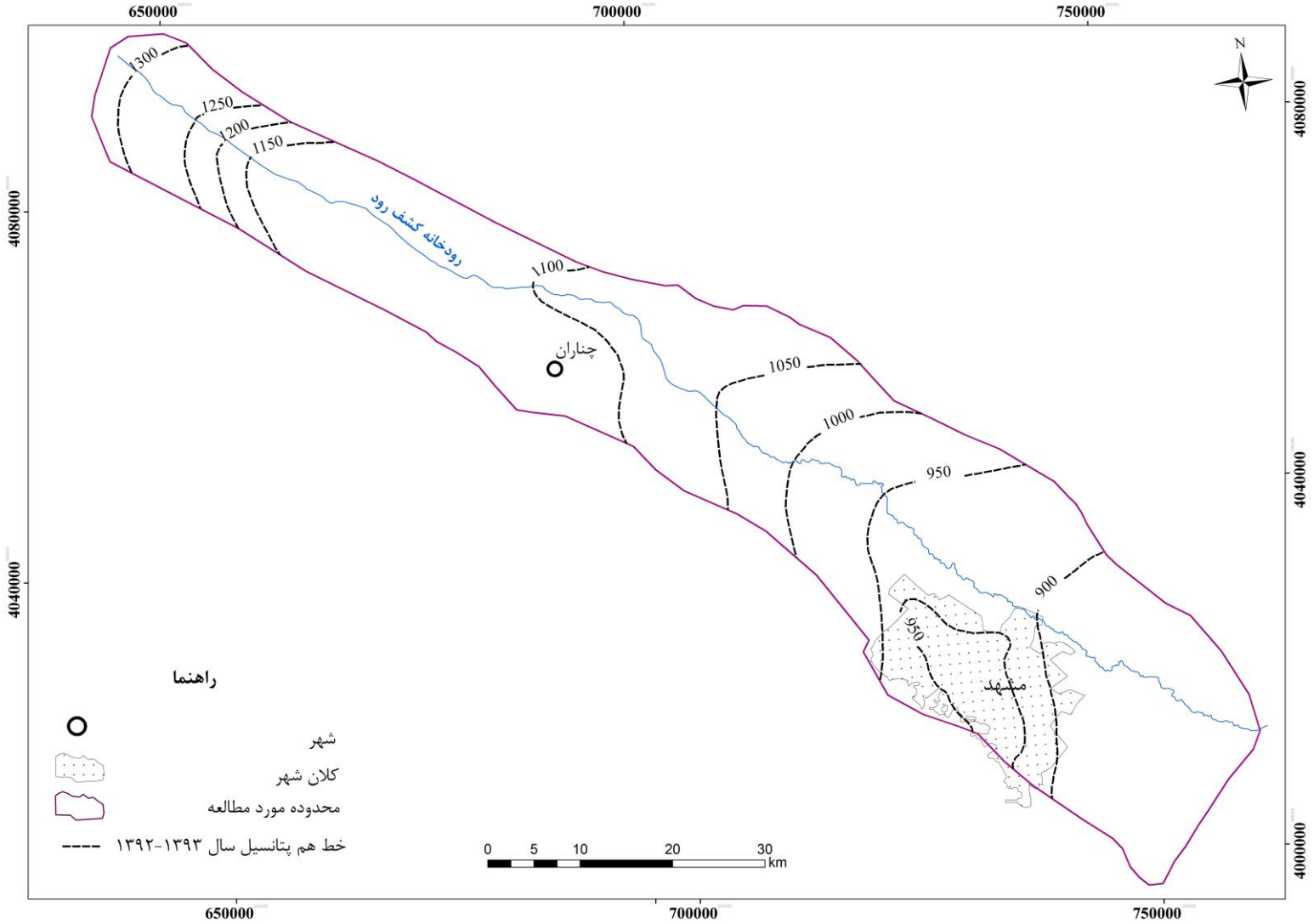
مقایسه نقشه هم‌پتانسیل مربوط به بهمن ماه ۱۳۶۷ با نقشه هم‌پتانسیل بهمن ماه ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که در محدوده شهر در سال ۱۳۶۷ دو منحنی بسته با وسعت کم تشکیل شده ولی در همین محدوده در سال ۱۳۹۲ منحنی بسته وسیع‌تر شده است. همچنین طبق انطباق دو نقشه با همدیگر و مقایسه آن‌ها نشان می‌دهد که خطوط هم ارتفاع در دو سال تفاوت آشکاری را نشان می‌دهند که این خطوط در سال ۱۳۹۲ به سمت شمال پیشروی نموده است (شکل ۴-۵). مقایسه شیب هیدرولیکی در سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که مقدار شیب هیدرولیکی در محدوده بالادست دشت در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۶۷ افزایش قابل توجهی داشته است. به این ترتیب که در محدوده بالادست دشت

مشهد، شیب هیدرولیکی در سال ۱۳۶۷ حدود ۱ درصد می‌باشد. در حالیکه در محدوده بالادست دشت مشهد، شیب هیدرولیکی در سال ۱۳۹۲ به ۲ درصد افزایش یافته است. دلیل افزایش قابل توجه گرادیان هیدرولیکی در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۶۷، افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در بالادست چناران به دلیل گسترش کشاورزی در این منطقه است.

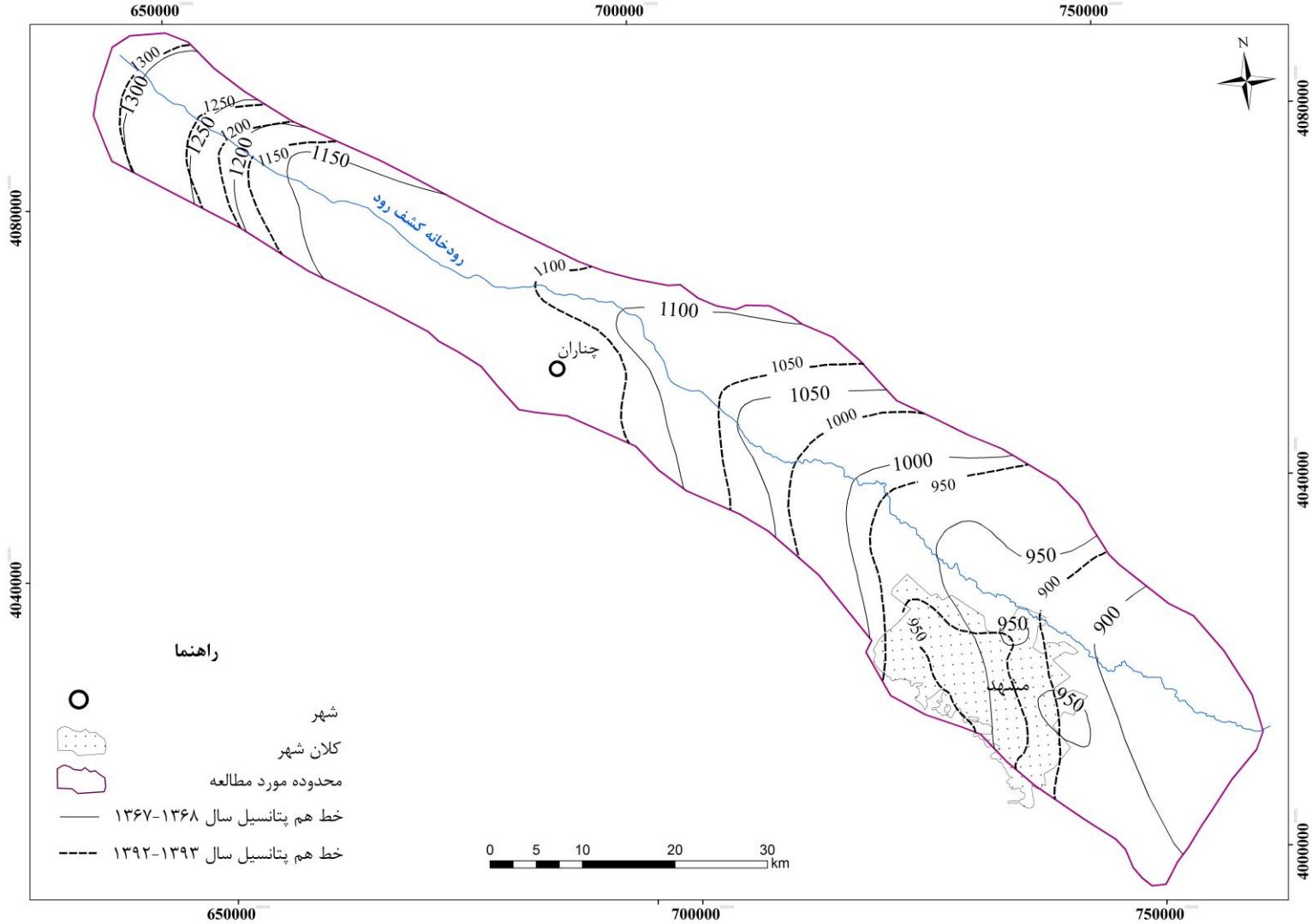
همچنین طبق خطوط ارتفاعی موجود در شکل (۴-۵)، مشاهده می‌شود که خطوط ارتفاعی سطح آب زیرزمینی در تمام دشت و به خصوص در محدوده مرکزی در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در مقایسه با سال آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۷ به طور قابل توجهی به سمت بالادست جابجا شده‌اند. به این ترتیب که خط ارتفاعی ۱۱۰۰ حدود ۹/۵ کیلومتر به سمت بالادست حرکت کرده است که این امر بیانگر افت شدید سطح آب زیرزمینی در منطقه می‌باشد.



شکل ۴-۳- خطوط هم‌پتانسیل ترسیم‌شده در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۷)



شکل ۴-۴- خطوط هم‌پتانسیل ترسیم‌شده در دشت مشهد (سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲)

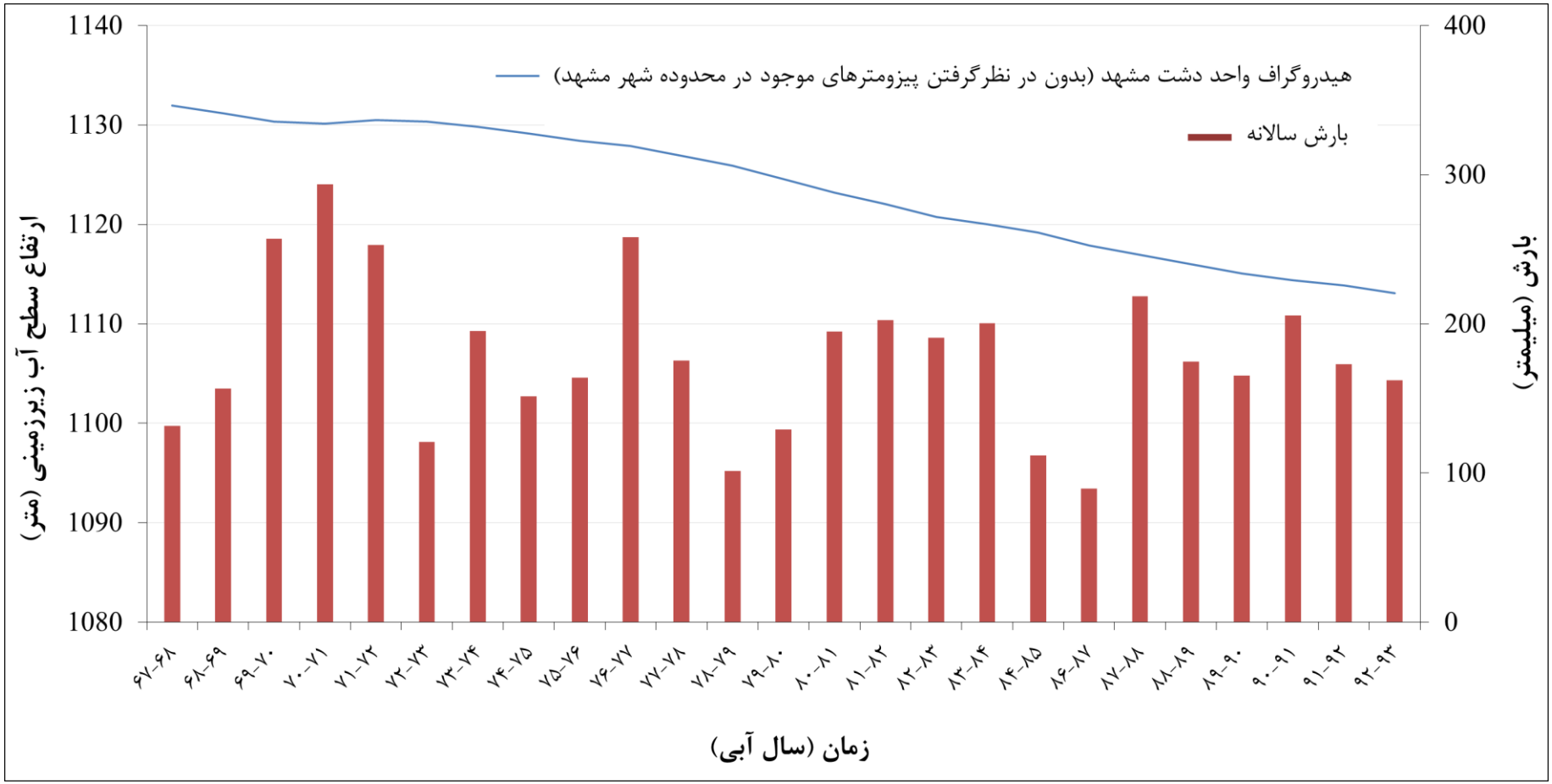


شکل ۴-۵- انطباق خطوط هم‌پتانسیل دشت مشهد در ابتدا و انتهای دوره آماری (۱۳۶۷ و ۱۳۹۲)

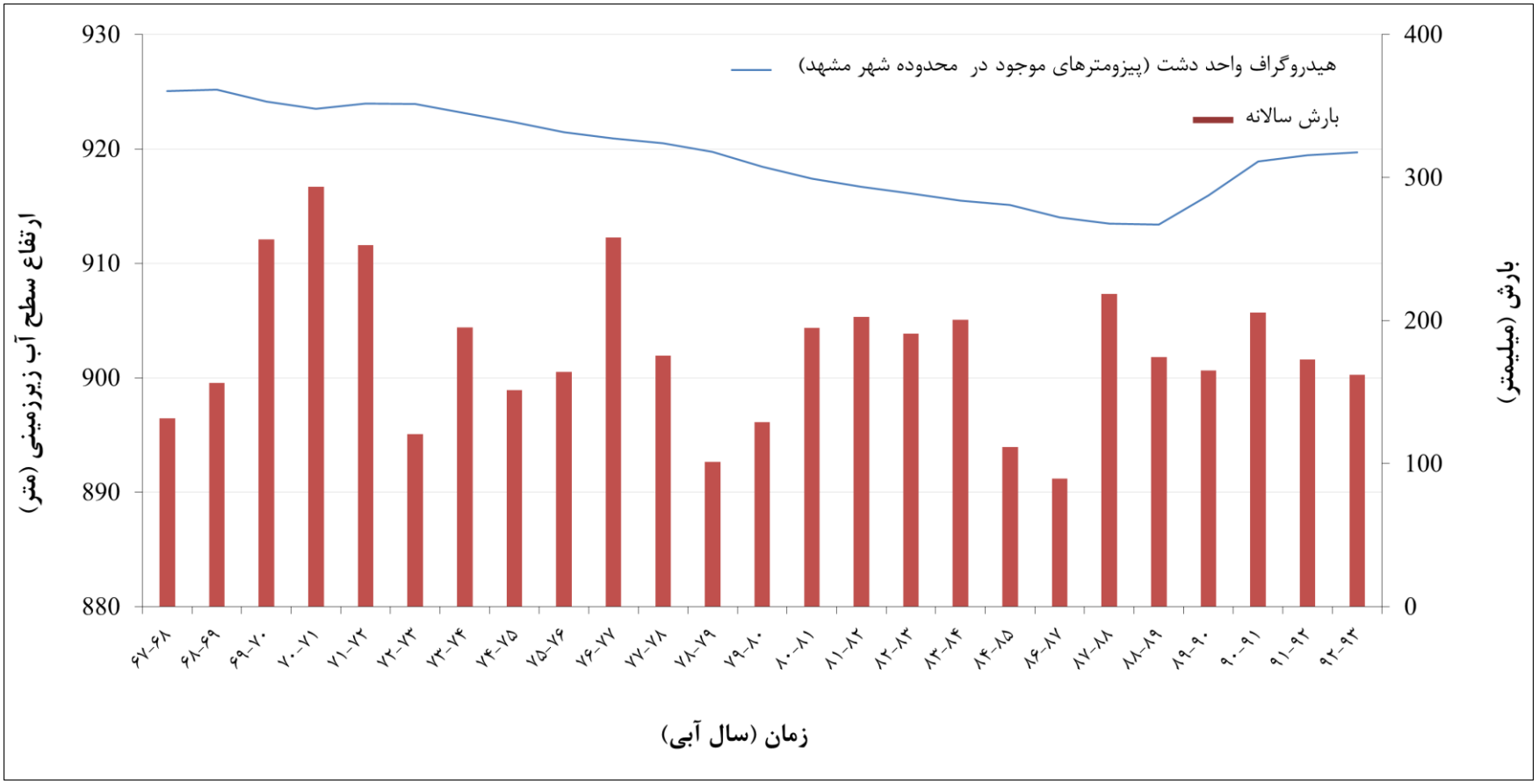
۴-۱-۳- هیدروگراف واحد دشت

جهت ترسیم هیدروگراف واحد دشت مشهد از داده‌های سطح آب زیرزمینی پیزومترهای موجود در مشهد و اطلاعات بارندگی برای دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۲ استفاده شده است. همچنین جهت مقایسه بهتر تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت، دو هیدروگراف ترسیم شده است که یکی هیدروگراف واحد دشت (بدون محدوده شهر مشهد) و دیگری هیدروگراف واحد دشت در محدوده شهر مشهد ترسیم گردید.

هیدروگراف واحد دشت مشهد (بدون محدوده شهر مشهد) در شکل (۴-۶) ارائه شده است و در آن ۳۱ پیزومتر قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود ارتفاع سطح ایستابی با گذشت زمان کاهش یافته است و در سال‌هایی که بارندگی افزایش یافته است، نتیجه این افزایش بارندگی بر ارتفاع سطح آب در سال‌های بعد از بارندگی تا اندازه‌ای تاثیر گذاشته است. برای مثال در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ میانگین بارندگی از میانگین بارش دراز مدت بیشتر بوده است. این افزایش بارندگی باعث شده است که سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ کمی روند افزایشی، بعد از آن روند ثابت و سپس روند نزولی داشته باشد. هیدروگراف واحد دشت مشهد در محدوده شهر مشهد در شکل (۴-۷) ارائه شده است که در این محدوده ۲۴ پیزومتر قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود ارتفاع سطح ایستابی با گذشت زمان کاهش یافته است و مانند هیدروگراف محدوده بالادست دشت مشهد در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ میانگین بارندگی از میانگین بارش دراز مدت بیشتر بوده است. این افزایش بارندگی باعث شده است که سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ کمی روند افزایشی داشته باشد. در این محدوده از سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۲ تا ۱۳۸۸-۱۳۸۷ روند نزولی داشته و بعد از یک سال روند ثابت، بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. این روند افزایشی در محدوده جنوبی دشت اطراف شهر مشهد به عواملی از قبیل توسعه شهری، تغذیه دشت به وسیله فاضلاب و پساب و همچنین انتقال آب بین حوضه‌ای به منظور شرب کلان‌شهر مشهد مربوط می‌شود.



شکل ۴-۶- هیدروگراف واحد دشت مشهد (بدون در نظرگرفتن پیزومترهای موجود در محدوده شهر مشهد)



شکل ۴-۷- هیدروگراف واحد دشت بر اساس پیزومترهای موجود در محدوده شهر مشهد

۴-۲- ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی تعیین شده در دشت مشهد

حافظی مقدس پارامترهای هیدرودینامیکی دشت مشهد را با استفاده از اطلاعات مربوط به گزارش مدل ریاضی سفره آب زیرزمینی دشت مشهد که مربوط به دی ماه سال ۱۳۶۷ می‌باشد و همچنین اطلاعات گزارش بیلان دی ماه ۱۳۷۱ مربوط به دشت مشهد، برآورد نموده است. مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه برآورد شده در جدول (۴-۳) و شکل‌های (۴-۸) و (۴-۹) نشان داده شده‌اند.

همانطور که در جدول (۴-۳) ملاحظه می‌شود مقادیر قابلیت انتقال در دشت مشهد از حدود ۴۵ مترمربع بر روز تا ۴۹۵۰ مترمربع بر روز متغیر است که چنین اختلاف فاحشی به لحاظ واقعیت‌های منطقه غیرقابل قبول است. علاوه بر این ملاحظه می‌شود که در برخی از مناطق در نقاط مجاور هم مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده اختلاف بسیار زیادی را نشان می‌دهند (شکل ۴-۸). چنین وضعیتی در مقادیر آبدهی ویژه نیز مشاهده می‌شود (شکل ۴-۹).

به این ترتیب که مقادیر آبدهی ویژه از ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۱ متغیر می‌باشند. بر اساس مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه تعیین شده و مقایسه آن‌ها با لاگ حفاری چاه‌ها و تغییرات بسیار زیاد در چاه‌های مجاور هم، به احتمال زیاد این داده‌ها خطای بالایی را شامل می‌شوند. بنابراین، لازم است که از یک روش دیگری مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه با دقت بیشتری برآورد شوند.

جدول ۴-۳- مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه در دشت مشهد

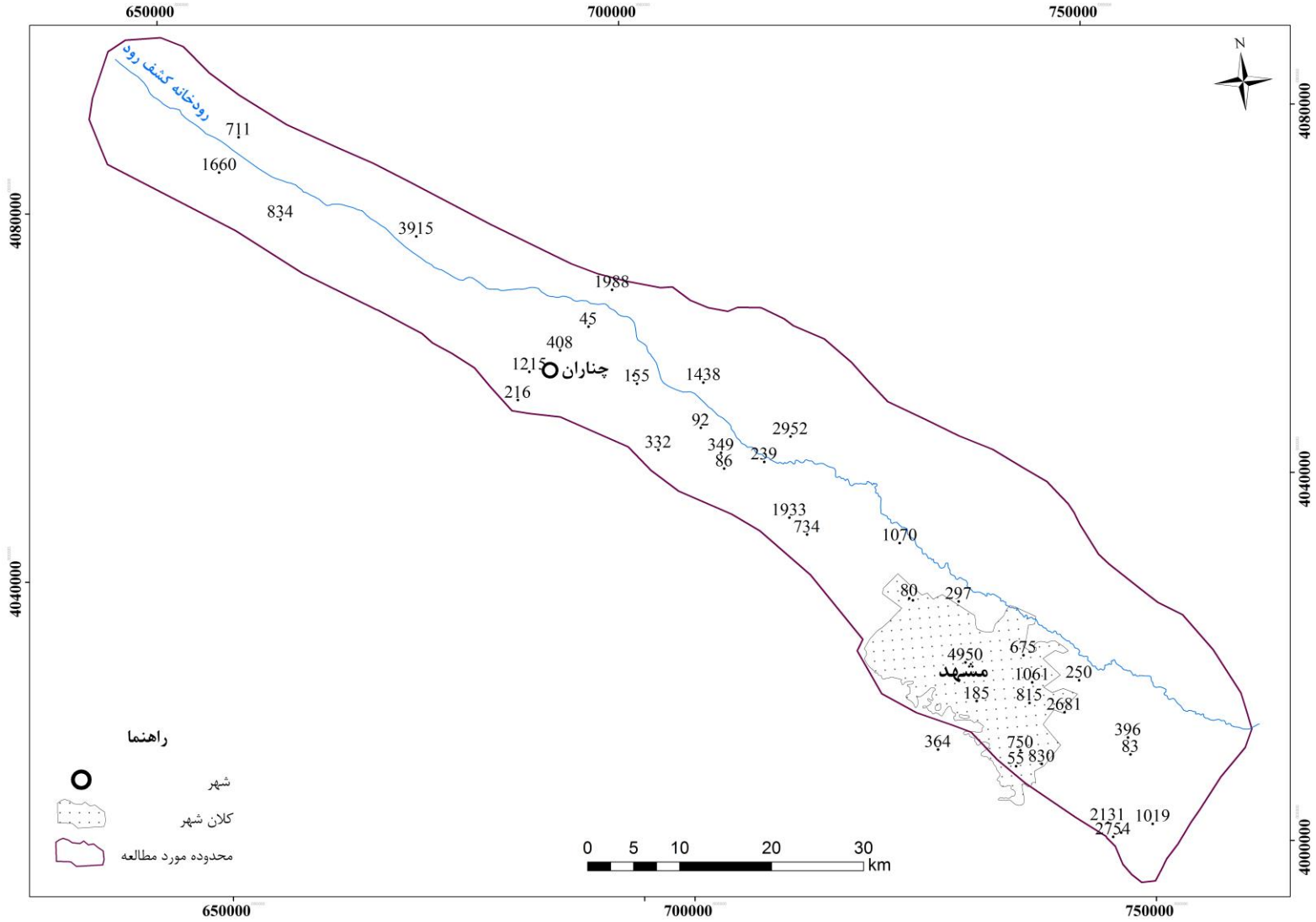
ردیف	موقعیت طول جغرافیایی	موقعیت عرض جغرافیایی	قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)	آبدهی ویژه (درصد)
۱	۶۸۷۰۰۰	۴۰۵۸۱۰۰	۱۲۱۵	۰/۰۰۱
۲	۷۴۱۷۵۰	۴۰۱۶۰۵۰	۲۶۸۱	۰/۰۲۰
۳	۷۲۷۷۰۰	۴۰۱۳۲۰۰	۳۶۴	۰/۰۰۱
۴	۶۶۱۵۰۰	۴۰۷۷۰۰۰	۸۳۴	۰/۰۰۹

جدول ۴-۳- ادامه

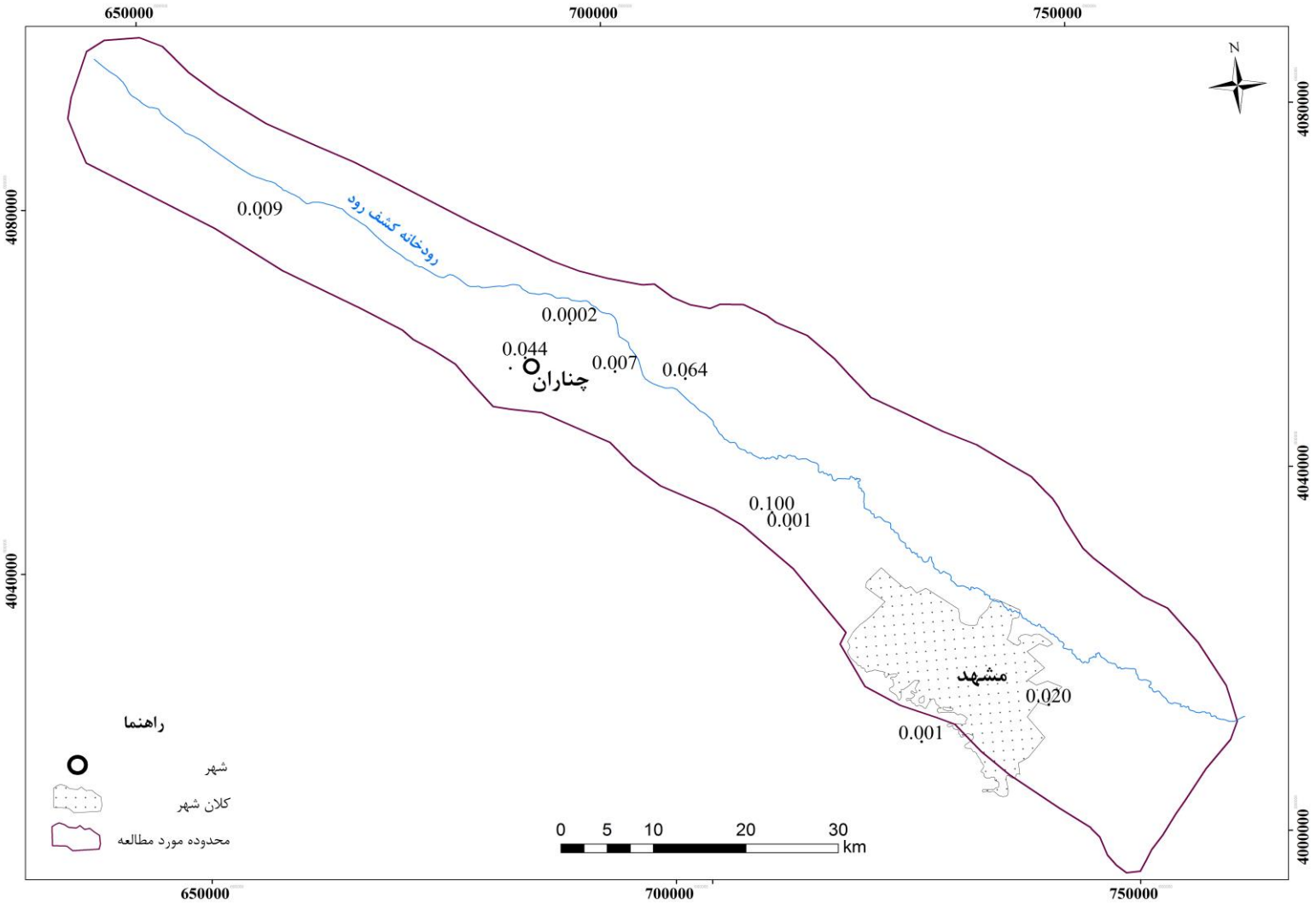
ردیف	موقعیت طول جغرافیایی	موقعیت عرض جغرافیایی	قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)	آبدهی ویژه (درصد)
۵	۷۱۵۵۵۰	۴۰۳۷۸۰	۷۳۴	۰/۰۰۱
۶	۶۹۳۸۵۰	۴۰۶۲۴۵۰	۴۵	۰/۰۰۰۲
۷	۶۹۸۲۵۰	۴۰۵۶۷۵۰	۵۹۳	۰/۰۰۷
۸	۶۵۷۷۵۰	۴۰۸۶۳۵۰	۷۱۱	-
۹	۶۵۵۳۰۰	۴۰۸۲۷۰۰	۱۶۶۰	-
۱۰	۶۷۶۰۵۰	۴۰۷۳۹۰۰	۳۹۱۵	-
۱۱	۶۹۶۷۵۰	۴۰۶۶۲۵۰	۱۹۸۸	-
۱۲	۷۳۷۸۵۰	۴۰۲۲۶۵۰	۶۷۵	-
۱۳	۷۵۰۲۵۰	۴۰۰۳۱۰۰	۱۰۱۹	-
۱۴	۷۱۳۸۰۰	۴۰۳۹۸۰۰	۱۹۳۳	۰/۰۰۱
۱۵	۷۰۵۷۵۰	۴۰۵۵۳۰۰	۱۴۳۸	۰/۰۶۴
۱۶	۷۱۱۶۰۰	۴۰۴۶۱۰۰	۲۳۹	-
۱۷	۷۰۷۲۰۰	۴۰۴۵۷۵۰	۸۶	-
۱۸	۶۸۵۵۰۰	۴۰۵۵۱۵۰	۲۱۶	-
۱۹	۶۹۸۵۵۰	۴۰۵۵۸۰۰	۱۵۵	-
۲۰	۷۲۶۴۰۰	۴۰۲۹۶۵۰	۱۴۰۰	-
۲۱	۷۳۱۵۰۰	۴۰۲۲۴۰۰	۴۹۵۰	-
۲۲	۷۳۲۳۵۰	۴۰۱۸۱۰۰	۱۸۵	-
۲۳	۷۴۸۴۰۰	۴۰۱۲۷۰۰	۳۹۶	-
۲۴	۷۴۸۵۰۰	۴۰۱۰۸۵۰	۸۳	-
۲۵	۷۳۶۶۰۰	۴۰۱۲۳۵۰	۷۵۰	-

جدول ۴-۳- ادامه

ردیف	موقعیت طول جغرافیایی	موقعیت عرض جغرافیایی	قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)	آبدهی ویژه (درصد)
۲۶	۷۴۳۶۵۰	۴۰۱۹۴۰۰	۲۵۰	-
۲۷	۷۳۸۰۵۰	۴۰۱۷۴۰۰	۸۱۵	-
۲۸	۷۲۶۰۲۵	۴۰۲۹۹۰۰	۸۰	-
۲۹	۷۲۵۵۰۰	۴۰۳۶۰۰۰	۱۰۷۰	-
۳۰	۷۰۷۰۰۰	۴۰۴۷۵۰۰	۴۹	-
۳۱	۷۴۶۷۵۰	۴۰۰۲۴۵۰	۴۴۳	-
۳۲	۷۴۵۸۵۰	۴۰۰۲۰۵۰	۲۷۵۴	-
۳۳	۷۴۵۴۰۰	۴۰۰۳۶۵۰	۲۱۳۱	-
۳۴	۷۳۶۰۰۰	۴۰۱۰۶۵۰	۵۵	-
۳۵	۷۳۸۸۰۰	۱۰۴۰۶۵۰	۸۳۰	-
۳۶	۷۰۵۰۵۰	۴۰۵۰۴۰۰	۹۲	-
۳۷	۷۰۰۲۵۰	۴۰۴۸۴۰۰	۳۳۲	-
۳۸	۷۱۴۷۰۰	۴۰۴۸۶۰۰	۲۹۵۲	-
۳۹	۷۳۸۵۵۰	۴۰۱۹۶۰۰	۱۰۶۱	-
۴۰	۶۹۰۵۵۰	۴۰۶۰۱۵۰	۴۰۸	-
۴۱	۷۳۱۳۵۰	۴۰۲۹۱۰۰	۲۹۷	-
۴۲	۶۸۸۷۰۰	۴۰۵۹۱۰۰	-	۰/۰۴۴



شکل ۴-۸- مقادیر قابلیت انتقال (مترمربع بر روز) در دشت مشهد



شکل ۴-۹- مقادیر آبدهی ویژه (درصد) در دشت مشهد

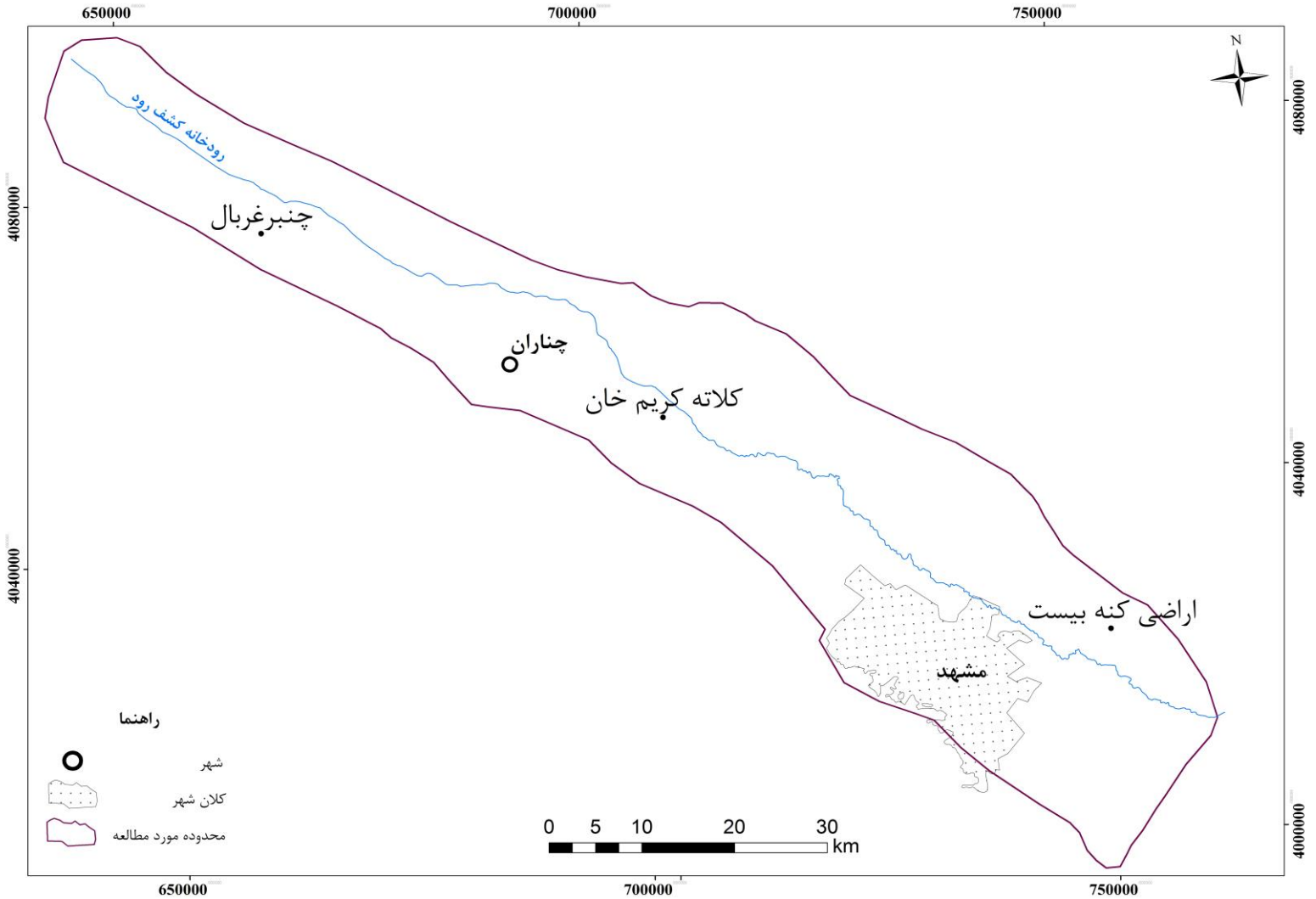
۴-۳- برآورد قابلیت انتقال با استفاده از نتایج آزمون پمپاژ

یکی از روش‌های مهم برای برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ است. لازم به ذکر است که تعیین دقیق پارامترهای هیدرودینامیکی سفره با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ مستلزم وجود داده‌های دقیق آزمایش پمپاژ و همچنین کارشناس مجرب در این زمینه می‌باشد.

از آنجائی که پارامترهای هیدرودینامیکی در نقاط مختلف با تغییر شرایط رسوبی و هیدروژئولوژیکی تغییر می‌کند، برای تعیین پارامترها باید تعداد نسبتاً زیادی آزمایش پمپاژ در نقاط مختلف دشت انجام داد. در دشت مشهد تعداد آزمایش‌های صورت گرفته تاکنون بسیار اندک است. جهت محاسبه پارامترهای هیدرودینامیکی در این تحقیق از ۳ حلقه چاه پمپاژ که در گزارش آب منطقه‌ای مربوط به سال ۱۳۸۷ می‌باشد، استفاده شده است. اطلاعات مربوط به چاه‌ها در جدول (۴-۴) ارائه شده و همچنین موقعیت آن‌ها در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر آبدهی ویژه تغییرات زیادی را شامل می‌شوند. به این ترتیب که در یکی از نقاط (اراضی کنه‌بیست)، مقدار آبدهی ویژه حدود ۶ بار از مقدار آبدهی ویژه در یکی دیگر از نقاط (کلاته کریم‌خان) بسیار بزرگتر می‌باشد که دلیل آن خطا در داده‌ها یا بی‌دقتی در آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ می‌باشد.

جدول ۴-۴- مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه چاه‌های پمپاژ موجود در دشت مشهد (سال۱۳۸۷)

ردیف	نام چاه پمپاژ	قابلیت انتقال بر اساس نتایج آزمایش پمپاژ (مترمربع بر روز)	آبدهی ویژه بر اساس نتایج آزمایش پمپاژ (درصد)
1	چنبرغربال	۶۶۷	۰/۰۰۵۳
2	کلاته کریم‌خان	۵۲۵	۰/۰۰۰۷
3	اراضی کنه‌بیست	۴۲۴	۰/۰۳۲۰



شکل ۴-۱۰- موقعیت چاه‌های پمپاژ حفاری‌شده در دشت مشهد در سال ۱۳۸۷

۴-۴- برآورد قابلیت انتقال با استفاده از لاگ‌های حفاری

همانطور که در انتهای بخش‌های (۴-۲) و (۴-۳) اشاره شد، مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه دشت مشهد که از روش‌های بیلان، مدل ریاضی دشت مشهد و آزمایش پمپاژ برآورد شده‌اند، از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابراین، در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از روش جایگزین با دقت بیشتری پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی دشت مشهد برآورد شوند. از آنجائی که تعداد قابل توجهی لاگ حفاری با دقت مناسب در این دشت وجود دارد، مقادیر پارامترهای فوق‌الذکر از طریق تجزیه و تحلیل لاگ‌های حفاری برآورد می‌شوند.

به منظور بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی در محدوده مورد نظر در دشت مشهد لاگ حفاری چاه‌ها تهیه شده و مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه محاسبه شده است. جدول (۴-۶) اطلاعات مربوط به لاگ‌های حفاری چاه‌های حفر شده در دشت مشهد را نشان می‌دهد.

بر اساس لاگ‌های حفاری بررسی شده، ملاحظه می‌شود که سفره آب زیرزمینی از لایه‌هایی با دانه‌بندی متفاوت تشکیل شده است. قابلیت انتقال هر لایه در لاگ حفاری از حاصل ضرب هدایت هیدرولیکی در ضخامت آن لایه، طبق معادله زیر بدست می‌آید:

معادله (۴-۱) $T = b_1K_1 + b_2K_2 + \dots + b_nK_n$

$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n$

در این رابطه b ضخامت اشباع لایه مورد نظر (متر)، K هدایت هیدرولیکی یا مقدار نفوذپذیری لایه (متر بر روز) و T قابلیت انتقال (متر مربع بر روز) می‌باشد. در این قسمت با استفاده از لاگ گمانه‌های موجود، جنس مواد تشکیل دهنده و ضخامت لایه‌ها تعیین شده است. مقادیر هدایت هیدرولیکی برای انواع بافت رسوبات در دشت‌های آبرفتی در جدول (۴-۵) ارائه شده است که این مقادیر بر اساس مطالعات انجام شده توسط کرمی (۱۳۹۱-۱۳۹۰) در تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی در دشت سمنان - ایوانکی با استفاده از لاگ‌های حفاری برآورد شده‌اند.

جدول ۴-۵- مقادیر هدایت هیدرولیکی بر اساس بافت رسوبات مختلف (کرمی ۱۳۹۱)

بافت غالب رسوب	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
گراول	۱۲
ماسه	۶-۸
سیلت	۰/۵
رس	۰/۲

با استفاده از لاگ‌های تهیه شده در دشت مشهد، نوع بافت تشکیل‌دهنده خاک و همچنین ضخامت هر لایه استخراج شده که این اطلاعات در جدول (۴-۶) ارائه شده است. با استفاده از جدول (۴-۵) نیز هدایت هیدرولیکی هر بخش از لاگ (به تفکیک بافت رسوب)، تعیین و با استفاده از رابطه (۴-۱) مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شد. اطلاعات لاگ‌ها و مقادیر قابلیت انتقال در جدول (۴-۶) ارائه شده است. همانطور که در نتایج موجود در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است، مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده بر اساس لاگ‌های حفاری از ۵۰ تا ۲۵۵ متر مربع بر روز در محدوده مورد نظر متغیر می‌باشد.

جدول ۴-۶- مقادیر قابلیت انتقال محاسبه‌شده بر اساس لاگ‌های حفاری در دشت مشهد

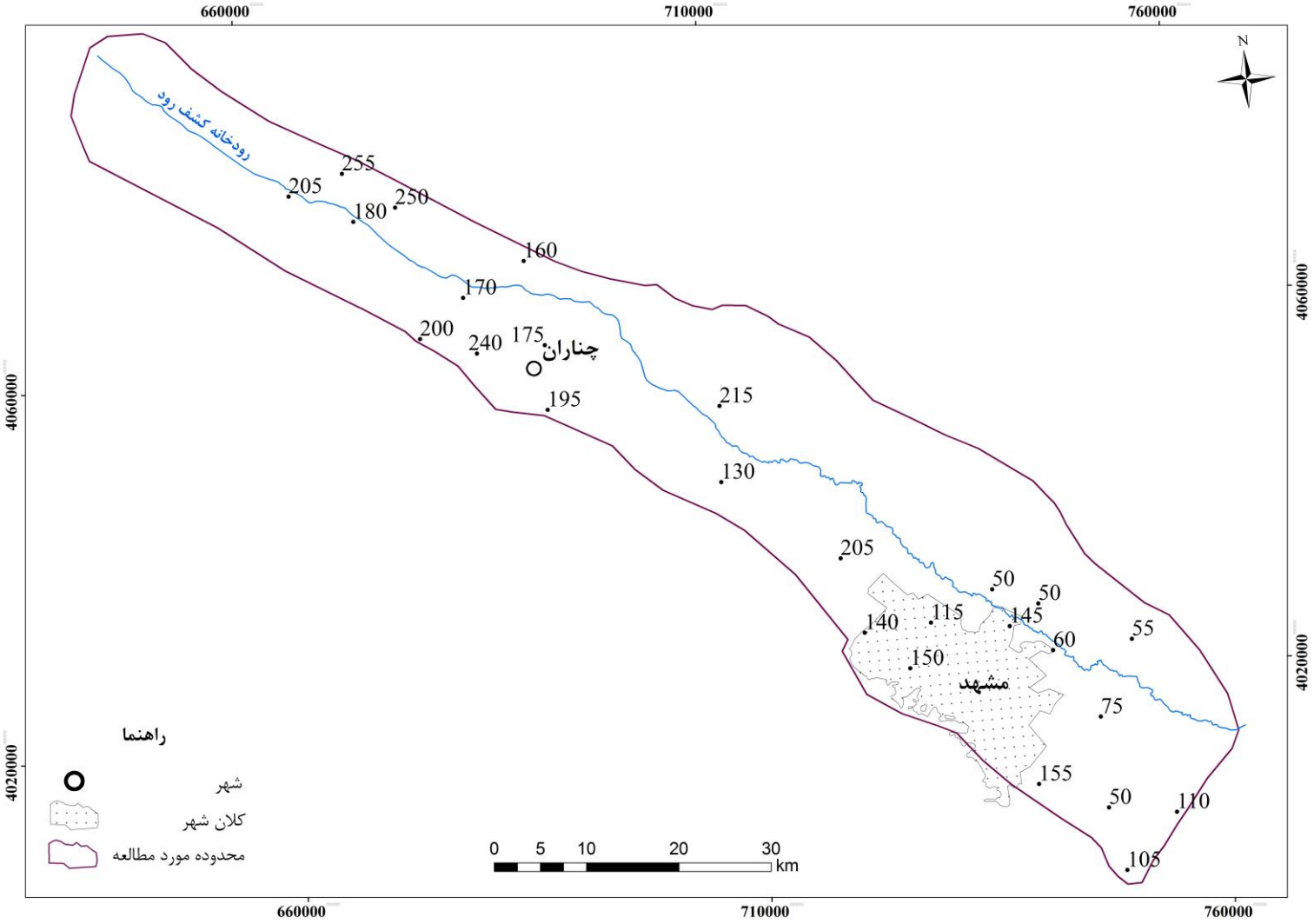
ردیف	نام چاه	جنس مواد	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	ضخامت مواد (متر)	قابلیت انتقال لایه (مترمربع بر روز)	قابلیت انتقال کل (مترمربع بر روز)
۱	قره‌جنگل	ریگ-رس-شن	۳	۱۰	۳۰	۲۱۵
		شن-ریگ-رس	۴	۱۰	۴۰	
		ریگ-رس-شن	۴	۳۵	۱۴۰	
		مارن	۰/۲	۱۱	۲/۲	
۲	منزل حصار	رس-شن-ماسه	۳	۱۰	۳۰	۱۶۰
		شن-رس	۳	۲۴	۷۲	
		رس-شن	۲	۲۸	۵۶	

جدول ۴-۶- ادامه

ردیف	نام چاه	جنس مواد	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	ضخامت مواد (متر)	قابلیت انتقال لایه (مترمربع بر روز)	قابلیت انتقال کل (مترمربع بر روز)
۳	ریاض	شن-ریگ-رس به مقدار کم	۷	۲۵	۱۷۵	۲۵۰
		رس	۰/۲	۱۰	۲	
		شن-رس	۴	۱۸	۷۲	
۴	جمگرد	رس-شن-ریگ-ماسه	۲	۱۰	۲۰	۲۵۵
		شن-ریگ-رس-ماسه	۴	۲۵	۱۰۰	
		رس-شن-ماسه	۲	۱۰	۲۰	
		شن-ماسه و اندکی رس	۷	۱۶	۱۱۲	
۵	قره‌تپه	رس-شن-ماسه-گراول	۴	۴۶	۱۸۴	۲۰۵
		رس-شن-ماسه	۳	۶	۱۸	
۶	جیم‌آباد	رس-ماسه	۲	۴۳	۸۶	۱۰۵
		رس-ماسه	۲	۹/۵	۱۹	
۷	قاسم‌آباد	رس شیلی- شن به مقدار کم	۰/۵	۲۷	۱۳/۵	۱۴۰
		شن-ریگ و اندکی رس	۷	۱۸	۱۲۶	
۸	منزل‌آباد	ماسه-شن-ریگ و رس	۵	۱۹	۹۵	۲۰۵
		شن-ریگ و رس	۴	۲۷	۱۰۸	
۹	شایع	مارن تیره	۰/۲	۷	۱/۴	۵۰
		رس-ماسه	۲	۵	۱۰	
		مارن تیره	۰/۲	۵	۱	
		ماسه-شن و اندکی رس	۷	۵	۳۵	
		مارن-رس-لس	۰/۲	۱۵	۳	
۱۰	کنوگرد	رس-لس-ماسه بادی نخودی رنگ	۲	۲۳/۵	۴۷	۵۰
۱۱	پردیس دانشگاه فردوسی	رس-ماسه-ریگ	۳	۱۷	۱۵۰	۱۵۰
		رس-ماسه-ریگ	۳	۱۷		
		رس-ماسه-ریگ	۳	۱۶		
۱۲	دستگردان	رس-لس-سیلت نخودی رنگ	۲	۳۵/۷۷	۷۱/۵۴	۷۵
۱۳	تنگل‌شور	ماسه-شن-رس-ریگ نخودی رنگ	۴	۱۱	۴۴	۱۱۰
		رس-ماسه	۲	۲۱	۴۲	
		شن-ریگ-ماسه-رس نخودی رنگ	۴	۵/۳۲	۲۱/۵۸	
۱۴	ده‌رود	شن-ریگ-ماسه-رس	۴	۳۵	۱۴۰	۱۴۵
		رس نخودی-مارن و لس	۰/۲	۷	۱/۴	
۱۵	کنه‌بیست	رس-ماسه-ریگ	۳	۱۰	۳۰	۵۵
		رس-کمی ریگ	۰/۲	۱۵	۳	
		رس-ماسه-کمی ریگ	۴	۴/۸	۱۹/۲	

جدول ۴-۶- ادامه

ردیف	نام چاه	جنس مواد	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	ضخامت مواد (متر)	قابلیت انتقال لایه (مترمربع بر روز)	قابلیت انتقال کل (مترمربع بر روز)
۱۶	خیرآباد	شن-ماسه-رس-ریگ	۶	۱۵	۹۰	۲۴۰
		رس-ماسه-شن-ریگ	۳	۱۵	۴۵	
		شن-ریگ-ماسه-رس	۴	۱۵	۶۰	
		رس-شن-ریگ-ماسه	۴	۱۰/۵	۴۲	
۱۷	اراضی اول راه جمع‌آب	شن-ماسه-رس	۴	۱۵	۶۰	۱۹۵
				۳۲/۸	۱۳۱/۲	
۱۸	دهنه اخلمد	شن-ماسه-رس	۶	۲۳	۱۳۸	۲۰۰
		کنگلومرای سخت نشده	۶	۹/۹۱	۵۹/۴۶	
۱۹	کورده	رس-ماسه-شن قرمزرنگ	۴	۲۴	۹۶	۱۳۰
		رس-ماسه-شن-ریگ شیستی	۴	۷/۵۸	۳۰/۳۲	
۲۰	کبیر	ریگ-شن-ماسه-رس	۳	۴/۶	۱۳/۸	۱۷۵
		رس-ماسه زردرنگ	۲	۱۰	۲۰	
		دانه های ماسه	۸	۵	۴۰	
		رس-ماسه قرمزرنگ	۸	۵	۱۰	
		رس-ماسه-کمی شن	۳	۵	۱۵	
		رس سخت شده	۰/۲	۱/۵	۰/۳	
		شن-ماسه-ریگ-رس	۶	۸/۵	۵۱	
		رس-ماسه با دانه های سخت شده	۲	۱۱	۲۲	
۲۱	حاجی‌آباد	رس-ریگ-ماسه	۳	۴/۳	۱۲/۹	۱۸۰
		ماسه-شن-ریگ-رس	۶	۱۰	۶۰	
		شن-ماسه-ریگ مارنی	۷	۱۵/۱۲	۱۰۵/۸۴	
۲۲	ملی	ماسه-رس-شن	۵	۲۱	۱۰۵	۱۷۰
		ماسه-ریگ-شن-رس	۶	۱۰/۲۱	۶۱/۲۶	
۲۳	اباصلت	ماسه-شن-ریگ شولات	۸	۱۱	۸۸	۱۵۵
		ماسه-رس-ریگ	۴	۵	۲۰	
		ماسه-شن-ریگ-رس	۵	۸/۹۶	۴۴/۸	
۲۴	مزرعه آستان‌قدس	رس-ماسه	۲	۱۵	۳۰	۵۰
		رس قرمز رنگ	۰/۲	۱۰	۲	
		رس همراه با ماسه	۲	۷/۲۳	۱۴/۴۶	
۲۵	بحرآباد	ماسه-شن-ریگ-رس	۴	۶	۲۴	۱۱۵
		ماسه شولات	۶	۹	۵۴	
		شن-ماسه-ریگ-رس	۶	۶	۳۶	
		رس-مارن	۰/۲	۲	۰/۴	
۲۶	التیمور	ریگ-شن-ماسه-شولات	۸	۷	۵۶	۶۰



شکل ۴-۱۱- مقادیر قابلیت انتقال (مترمربع بر روز) محاسبه‌شده بر اساس لاگ‌های حفاری موجود در دشت مشهد

۴-۵- مقایسه مقادیر قابلیت انتقال در روش‌های مختلف

جهت تلفیق روش‌های آزمون پمپاژ و لاگ‌های حفاری در تخمین مقادیر قابلیت انتقال نمودارهایی برای هر ۳ چاه پمپاژ بر اساس مقایسه با اطلاعات لاگ حفاری اطراف آن‌ها تهیه شد. بدین صورت که برای هر چاه پمپاژ، از میانگین و حداکثر مقادیر قابلیت انتقال لاگ‌های حفاری اطراف چاه‌ها استفاده شد. اطلاعات مربوط به چاه‌ها در جدول (۴-۷) و شکل (۴-۱۳) ارائه شده است.

جدول ۴-۷- مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده با روش‌های مختلف در محدوده چاه‌های پمپاژ در دشت مشهد

نام چاه پمپاژ	قابلیت انتقال (متر مربع بر روز)		
	آزمایش پمپاژ	لاگ حفاری *	لاگ حفاری **
چنبرغربال	۶۶۷	۲۰۵	۱۹۳
کلاته کریم‌خان	۵۲۵	۲۱۵	۱۷۳
اراضی کنه‌بیست	۴۲۴	۷۵	۶۳

*: حداکثر قابلیت انتقال محاسبه شده با استفاده از لاگ حفاری در محدوده چاه‌های مجاور

**: میانگین قابلیت انتقال محاسبه شده با استفاده از لاگ حفاری در محدوده چاه‌های مجاور

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۴-۷)، ملاحظه می‌شود که حداکثر قابلیت انتقال محاسبه شده با استفاده از لاگ حفاری در محدوده هر چاه پمپاژ با میانگین قابلیت انتقال محاسبه شده از لاگ‌های حفاری چاه‌های مجاور، در محدوده هر چاه پمپاژ اختلاف اندک را نشان می‌دهد. عدم وجود اختلاف در مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده به وسیله لاگ‌های حفاری در چاه‌های هر محدوده با

واقعیت‌های سفره‌های آب زیرزمینی همخوانی دارد. مقایسه مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده به وسیله داده‌های آزمایش پمپاژ با نتایج مربوط به لاگ‌های حفاری بیانگر اختلاف فاحش نتایج آزمایش پمپاژ با لاگ‌های حفاری است. این اختلاف فاحش احتمالاً به خطای داده‌های آزمایش پمپاژ و یا بی‌دقتی در آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ مربوط می‌شود.

۴-۶- برآورد آبدهی ویژه با استفاده از لاگ حفاری

با توجه به عدم وجود داده‌های آزمایش پمپاژ در دشت مشهد جهت محاسبه آبدهی ویژه به روش لاگ حفاری چاه‌ها، جنس غالب رسوبات در هر گمانه تعیین شده و سپس مقادیر آبدهی ویژه مربوط به هر لایه محاسبه شده است. کرمی (۱۳۹۱-۱۳۹۰) با تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش پمپاژ در دشت سمنان - ایوانکی و همچنین مطابقت نتایج حاصله با لاگ‌های حفاری، مقادیر آبدهی ویژه برای رسوبات مختلف را پیشنهاد نموده است (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۸- مقادیر آبدهی ویژه بر اساس بافت رسوبات مختلف (کرمی ۱۳۹۱)

بافت غالب رسوب	آبدهی ویژه (درصد)
ماسه	۸
ماسه و رس	۶
لوم (مخلوط رس و ماسه)	۴
رس	۲

با استفاده از لاگ‌های حفاری چاه‌های موجود در دشت مشهد و مقادیر پیشنهادی در جدول (۴-۸)، مقادیر آبدهی ویژه در دشت مشهد محاسبه شده است. جدول (۴-۹) مقادیر آبدهی ویژه محاسبه شده

از لاگ‌های حفاری چاه‌ها را در دشت مشهد نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مندرج در جدول (۴-۹) ملاحظه می‌شود که مقادیر آبدهی ویژه در این دشت از ۰/۰۲۰ تا ۰/۰۶۸ متغیر می‌باشد.

جدول ۴-۹- مقادیر آبدهی ویژه محاسبه‌شده بر اساس لاگ‌های حفاری در دشت مشهد

ردیف	نام چاه	جنس مواد	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	ضخامت مواد (متر)	آبدهی ویژه مواد (درصد)	آبدهی ویژه کل (درصد)
۱	قره‌جنگل	ریگ-رس-شن	۳	۱۰	۶	۰/۰۵۳
		شن-ریگ-رس	۴	۱۰	۶	
		ریگ-رس-شن	۴	۳۵	۶	
		مارن	۰/۲	۱۱	۲	
۲	منزل حصار	رس-شن-ماسه	۳	۱۰	۴	۰/۰۴۸
		شن-رس	۳	۲۴	۶	
		رس-شن	۲	۲۸	۴	
۳	ریاض	شن-ریگ-رس به مقدار کم	۷	۲۵	۶	۰/۰۵۲
		رس	۰/۲	۱۰	۲	
		شن-رس	۴	۱۸	۶	
۴	جمگرد	رس-شن-ریگ-ماسه	۲	۱۰	۴	۰/۰۵۳
		شن-ریگ-رس-ماسه	۴	۲۵	۶	
		رس-شن-ماسه	۲	۱۰	۴	
		شن-ماسه و اندکی رس	۷	۱۶	۶	
۵	قره‌تپه	رس-شن-ماسه-گراول	۴	۴۶	۴	۰/۰۴۰
		رس-شن-ماسه	۳	۶	۴	
۶	جیم‌آباد	رس-ماسه	۲	۴۳	۴	۰/۰۴۰
		رس-ماسه	۲	۹/۵	۴	
۷	قاسم‌آباد	رس شیلی- شن به مقدار کم	۰/۵	۲۷	۲	۰/۰۳۶
		شن-ریگ و اندکی رس	۷	۱۸	۶	
۸	منزل‌آباد	ماسه-شن-ریگ و رس	۵	۱۹	۸	۰/۰۶۸
		شن-ریگ و رس	۴	۲۷	۶	
۹	شایع	مارن تیره	۰/۲	۷	۲	۰/۰۳۱
		رس-ماسه	۲	۵	۴	
		مارن تیره	۰/۲	۵	۲	
		ماسه-شن و اندکی رس	۷	۵	۸	
		مارن-رس-لس	۰/۲	۱۵	۲	

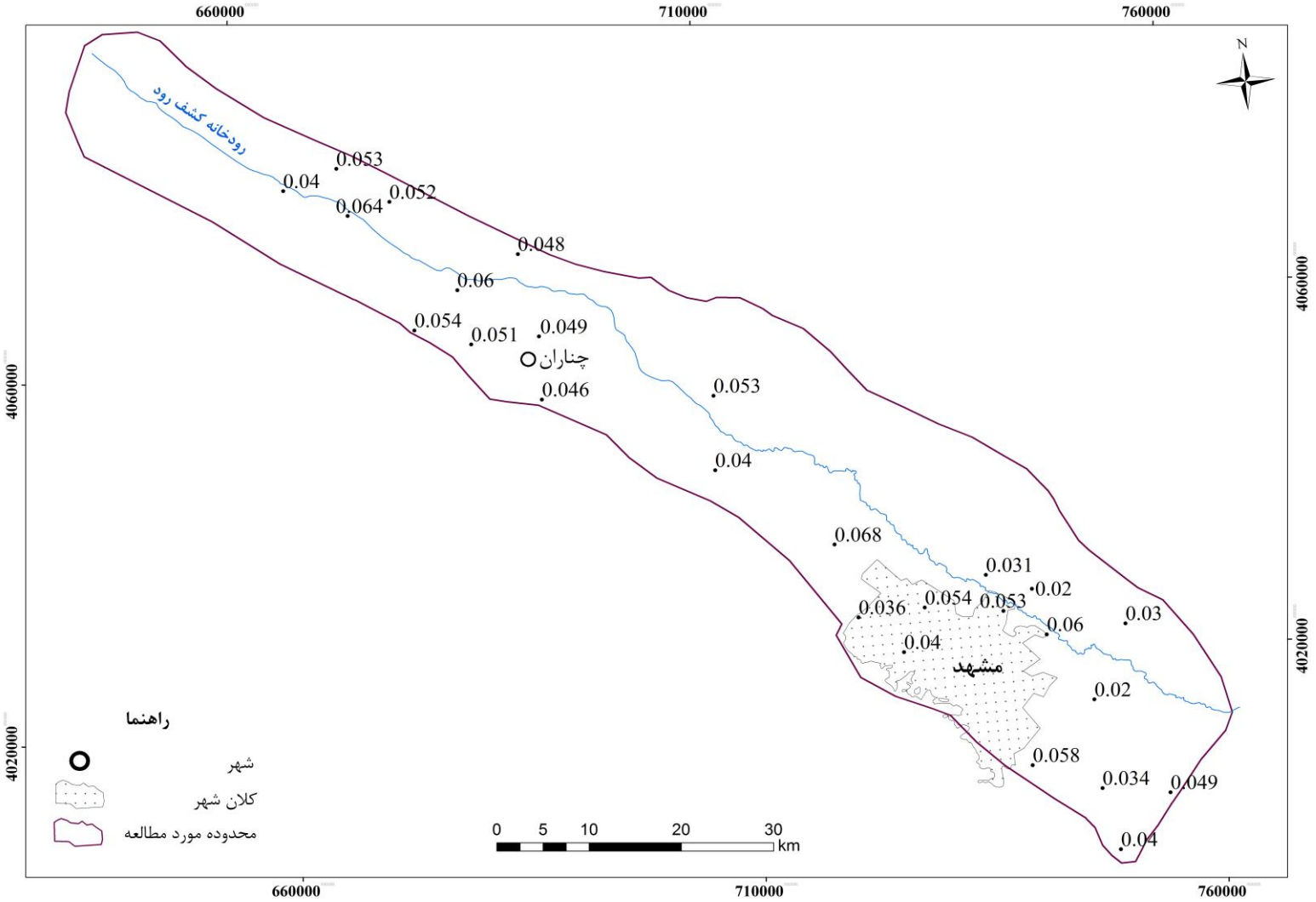
جدول ۴-۹- ادامه

ردیف	نام چاه	جنس مواد	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	ضخامت مواد (متر)	آبدهی ویژه مواد (درصد)	آبدهی ویژه کل (درصد)
۱۰	کنوگرد	رس-لس-ماسه بادی نخودی رنگ	۲	۲۳/۵	۲	۰/۰۲۰
۱۱	پردیس دانشگاه فردوسی	رس-ماسه-ریگ	۳	۱۷	۴	۰/۰۴۰
		رس-ماسه-ریگ	۳	۱۷	۴	
		رس-ماسه-ریگ	۳	۱۶	۴	
۱۲	دستگردان	رس-لس-سیلت نخودی رنگ	۲	۳۵/۷۷	۲	۰/۰۲۰
۱۳	تنگل‌شور	ماسه-شن-رس-ریگ نخودی رنگ	۴	۱۱	۶	۰/۰۴۹
		رس-ماسه	۲	۲۱	۴	
		شن-ریگ-ماسه-رس نخودی رنگ	۴	۵/۳۲	۶	
۱۴	ده‌رود	شن-ریگ-ماسه-رس	۴	۳۵	۶	۰/۰۵۳
		رس نخودی-مارن و لس	۰/۲	۷	۲	
۱۵	کنه‌بیست	رس-ماسه-ریگ	۳	۱۰	۴	۰/۰۳۰
		رس-کمی ریگ	۰/۲	۱۵	۲	
		رس-ماسه-کمی ریگ	۴	۴/۸	۴	
۱۶	خیرآباد	شن-ماسه-رس-ریگ	۶	۱۵	۶	۰/۰۵۱
		رس-ماسه-شن-ریگ	۳	۱۵	۴	
		شن-ریگ-ماسه-رس	۴	۱۵	۶	
		رس-شن-ریگ-ماسه	۴	۱۰/۵	۴	
۱۷	اراضی اول راه جمع‌آب	شن-ماسه-رس	۴	۱۵	۶	۰/۰۴۶
				۳۲/۸	۴	
۱۸	دهنه اخلمد	شن-ماسه-رس	۶	۲۳	۶	۰/۰۵۴
		کنگلومرای سخت نشده	۶	۹/۹۱	۴	
۱۹	کورده	رس-ماسه-شن قرمزرنگ	۴	۲۴	۴	۰/۰۴۰
		رس-ماسه-شن-ریگ شیستی	۴	۷/۵۸	۴	
۲۰	کبیر	ریگ-شن-ماسه-رس	۳	۴/۶	۶	۰/۰۴۹
		رس-ماسه زردرنگ	۲	۱۰	۴	
		دانه های ماسه	۸	۵	۸	
		رس-ماسه قرمزرنگ	۸	۵	۴	
		رس-ماسه-کمی شن	۳	۵	۴	
		رس سخت شده	۰/۲	۱/۵	۲	
		شن-ماسه-ریگ-رس	۶	۸/۵	۶	
		رس-ماسه با دانه‌های سخت‌شده	۲	۱۱	۴	

جدول ۴-۹- ادامه

ردیف	نام چاه	جنس مواد	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	ضخامت مواد (متر)	آبدهی ویژه مواد (درصد)	آبدهی ویژه کل (درصد)
۲۱	حاجی‌آباد	رس-ریگ-ماسه	۳	۴/۳	۴	۰/۰۶۴
		ماسه-شن-ریگ-رس	۶	۱۰	۸	
		شن-ماسه-ریگ مارنی	۷	۱۵/۱۲	۶	
۲۲	ملی	ماسه-رس-شن	۵	۲۱	۶	۰/۰۶۰
		ماسه-ریگ-شن-رس	۶	۱۰/۲۱	۶	
۲۳	اباصلت	ماسه-شن-ریگ شولات	۸	۱۱	۸	۰/۰۵۸
		ماسه-رس-ریگ	۴	۵	۴	
		ماسه-شن-ریگ-رس	۵	۸/۹۶	۴	
۲۴	مزرعه آستان‌قدس	رس-ماسه	۲	۱۵	۴	۰/۰۳۴
		رس قرمز رنگ	۰/۲	۱۰	۲	
		رس همراه با ماسه	۲	۷/۲۳	۴	
۲۵	بحرآباد	ماسه-شن-ریگ-رس	۴	۶	۴	۰/۰۵۴
		ماسه شولات	۶	۹	۸	
		شن-ماسه-ریگ-رس	۶	۶	۴	
		رس-مارن	۰/۲	۲	۲	
۲۶	التیمور	ریگ-شن-ماسه-شولات	۸	۷	۶	۰/۰۶۰

شکل (۴-۱۲) مقادیر آبدهی ویژه را در نقاط مختلف دشت مشهد نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود که مقادیر آبدهی ویژه در دشت مشهد در بخش عمده دشت حدود ۵ درصد می‌باشد و در بخش انتهایی دشت (شمال و شرق شهر مشهد)، حدود ۲ تا ۳ درصد می‌باشد. این نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که در بخش شمال و شرق شهر مشهد (جنوب شرقی دشت) از ذرات ریز دانه تشکیل شده است. مقدار آبدهی ویژه در بخش شمالی و مرکزی حدود ۴ تا ۷ درصد و در بخش جنوب شرقی حدود ۲ تا ۳ درصد می‌باشد و همچنین در بخش جنوب غربی نیز از حدود ۴ تا ۶ درصد می‌باشد.



شکل ۴-۱۲- مقادیر آبدهی ویژه (درصد) محاسبه‌شده بر اساس لاگ‌های حفاری موجود در دشت مشهد

۴-۷- مقایسه مقادیر آبدهی ویژه در روش‌های مختلف

جهت تلفیق روش‌های آزمون پمپاژ و لاگ‌های حفاری در تخمین مقادیر آبدهی ویژه نمودارهایی برای هر ۳ چاه پمپاژ بر اساس مقایسه با اطلاعات لاگ حفاری اطراف آن‌ها تهیه شد. بدین صورت که برای هر چاه پمپاژ، از میانگین و حداکثر مقادیر آبدهی ویژه از لاگ‌های حفاری اطراف چاه‌ها استفاده شد. اطلاعات مربوط به چاه‌ها در جدول (۴-۱۰) و شکل (۴-۱۴) ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰- مقادیر آبدهی ویژه محاسبه شده با روش‌های مختلف در محدوده چاه‌های پمپاژ در دشت مشهد

نام چاه پمپاژ	آبدهی ویژه		
	آزمایش پمپاژ	لاگ حفاری *	لاگ حفاری **
چنبرغربال	۰/۰۰۵۳	۰/۰۶۴	۰/۰۵۲
کلاته کریم‌خان	۰/۰۰۰۷	۰/۰۵۳	۰/۰۴۷
اراضی کنه‌بیست	۰/۰۳۲	۰/۰۶۰	۰/۰۴۰

*: حداکثر آبدهی ویژه محاسبه شده با استفاده از لاگ حفاری در محدوده چاه‌های مجاور

**: میانگین آبدهی ویژه محاسبه شده با استفاده از لاگ حفاری در محدوده چاه‌های مجاور

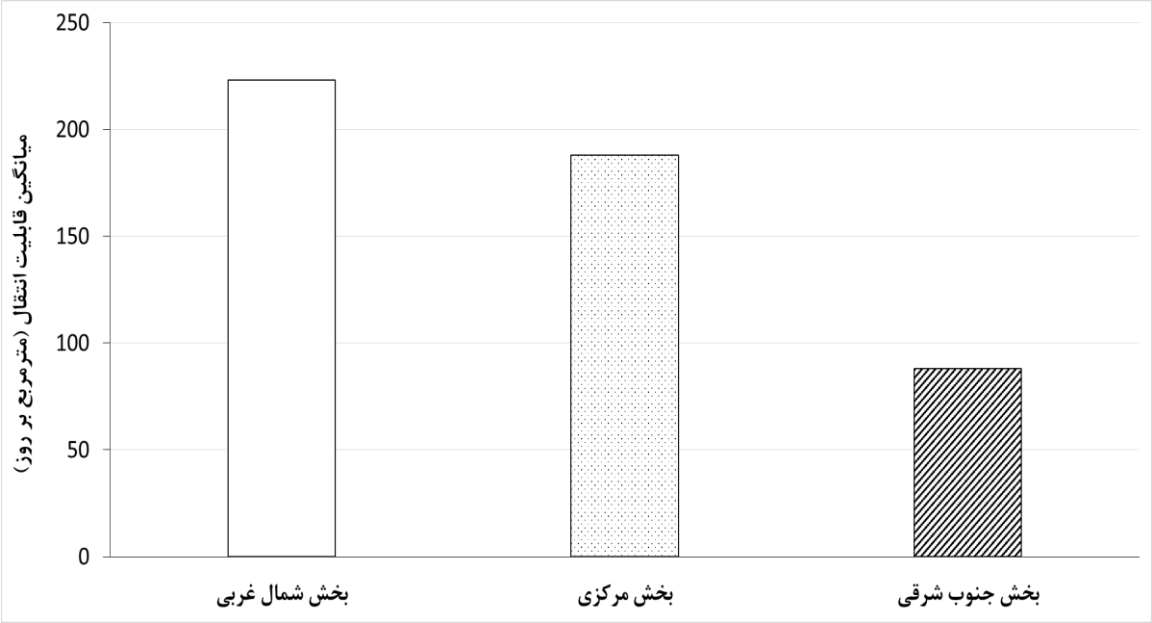
با توجه به نتایج مندرج در جدول (۴-۱۰) ملاحظه می‌شود که حداکثر مقدار آبدهی ویژه محاسبه شده با استفاده از لاگ حفاری در محدوده هر چاه پمپاژ با مقدار میانگین آبدهی ویژه محاسبه شده از لاگ‌های حفاری چاه‌های مجاور، در محدوده هر چاه پمپاژ اختلاف اندک را نشان می‌دهد. عدم وجود

اختلاف در مقادیر آبدهی ویژه محاسبه شده به وسیله لاگ‌های حفاری در چاه‌های هر محدوده با واقعیت‌های سفره‌های آب زیرزمینی همخوانی دارد. مقایسه مقادیر آبدهی ویژه محاسبه شده به وسیله داده‌های آزمایش پمپاژ با نتایج مربوط به لاگ‌های حفاری بیانگر اختلاف فاحش نتایج آزمایش پمپاژ با لاگ‌های حفاری است. این اختلاف فاحش احتمالاً به خطای داده‌های آزمایش پمپاژ و یا بی‌دقتی در آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ مربوط می‌شود.

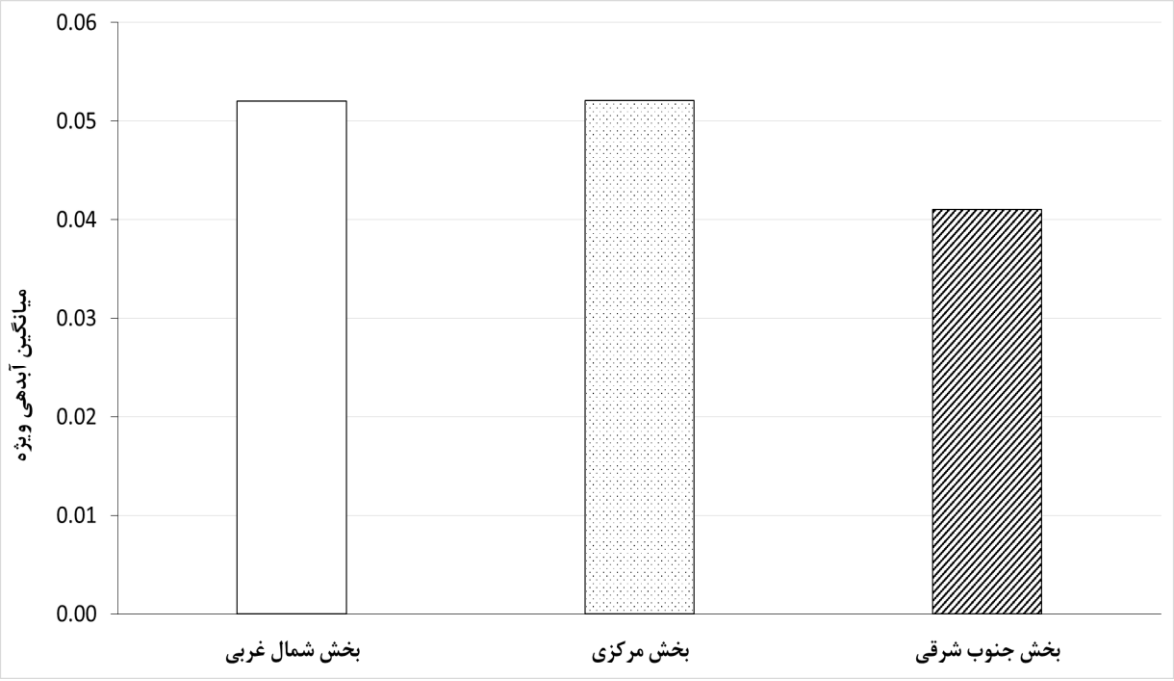
۴-۸- وضعیت پارامترهای هیدرودینامیکی بر اساس تفکیک محدوده مطالعاتی

دشت مشهد به لحاظ وضعیت لاگ‌های حفاری، مقدار قابلیت انتقال و آبدهی ویژه در جهت طولی به سه بخش، محدوده شمال غربی، محدوده مرکزی و محدوده جنوب شرقی تقسیم شده است. میانگین قابلیت انتقال و آبدهی ویژه برای این سه محدوده محاسبه شده است و در جدول (۴-۱۱) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار میانگین قابلیت انتقال در محدوده شمال غربی، مرکزی و جنوب شرقی به ترتیب ۲۲۳، ۱۸۸ و ۸۸ متر مربع بر روز متغیر می‌باشد. مقایسه مقادیر قابلیت انتقال در سه محدوده فوق‌الذکر بیانگر این است که قابلیت انتقال در محدوده جنوب شرقی دشت مشهد در مقایسه با دیگر بخش‌های دشت به طور قابل توجهی کمتر می‌باشد که به احتمال زیاد به کم عمقی آبرفت و همچنین ریز دانه بودن رسوبات در این بخش مربوط می‌شود. همپنین ملاحظه می‌شود که مقادیر آبدهی ویژه در محدوده‌های شمال غربی، مرکزی و جنوب شرقی به ترتیب ۰/۰۵۲، ۰/۰۵۲ و ۰/۰۴۱ می‌باشد که تایید کننده ریز دانه بودن رسوبات در محدوده جنوب شرقی دشت مشهد می‌باشد. به منظور مقایسه بهتر نتایج فوق‌الذکر، شکل‌های (۴-۱۳) و (۴-۱۴) ترسیم شده است.

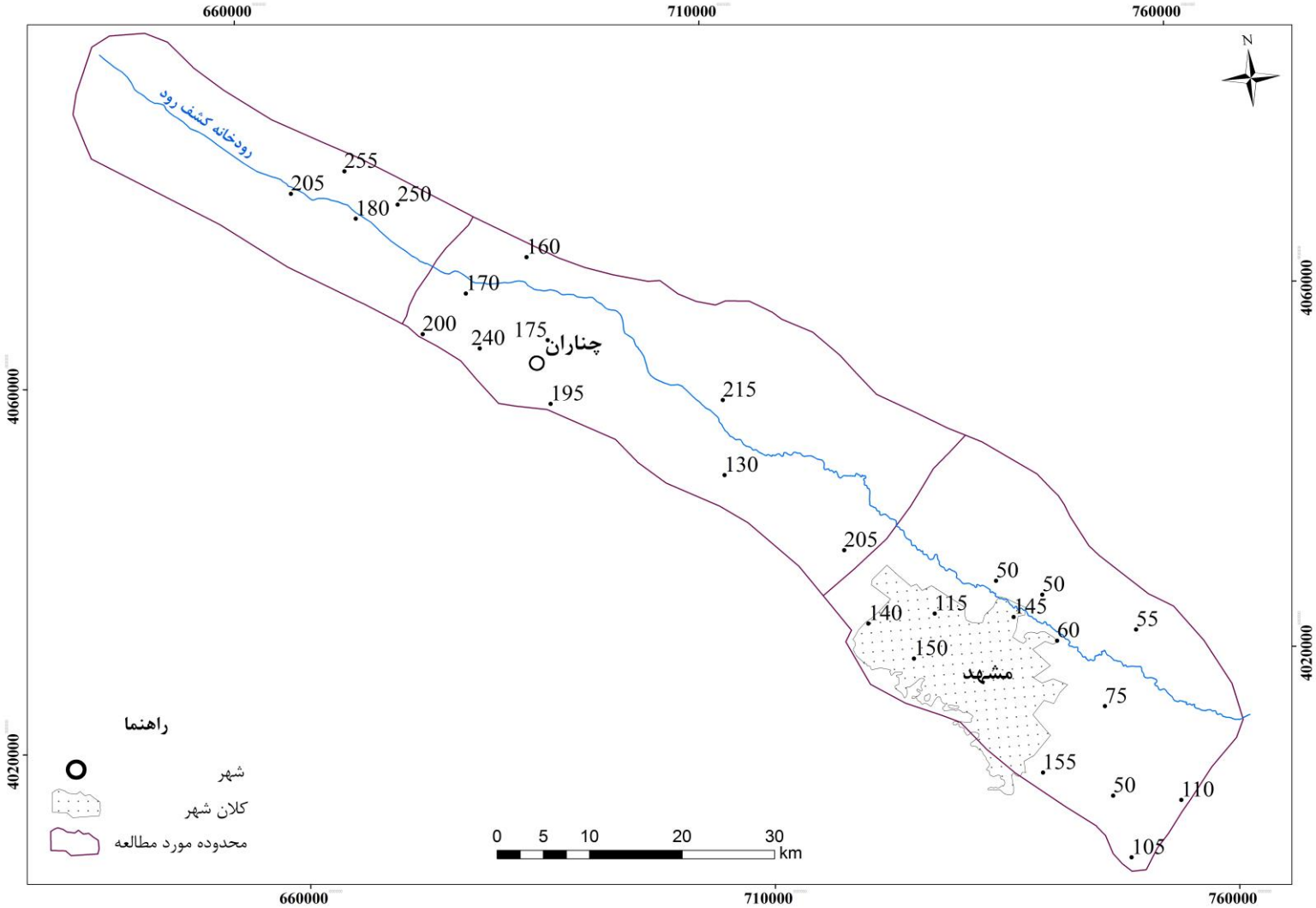
شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) تقسیم‌بندی دشت مشهد را از نظر مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و آبدهی ویژه) نشان می‌دهد.



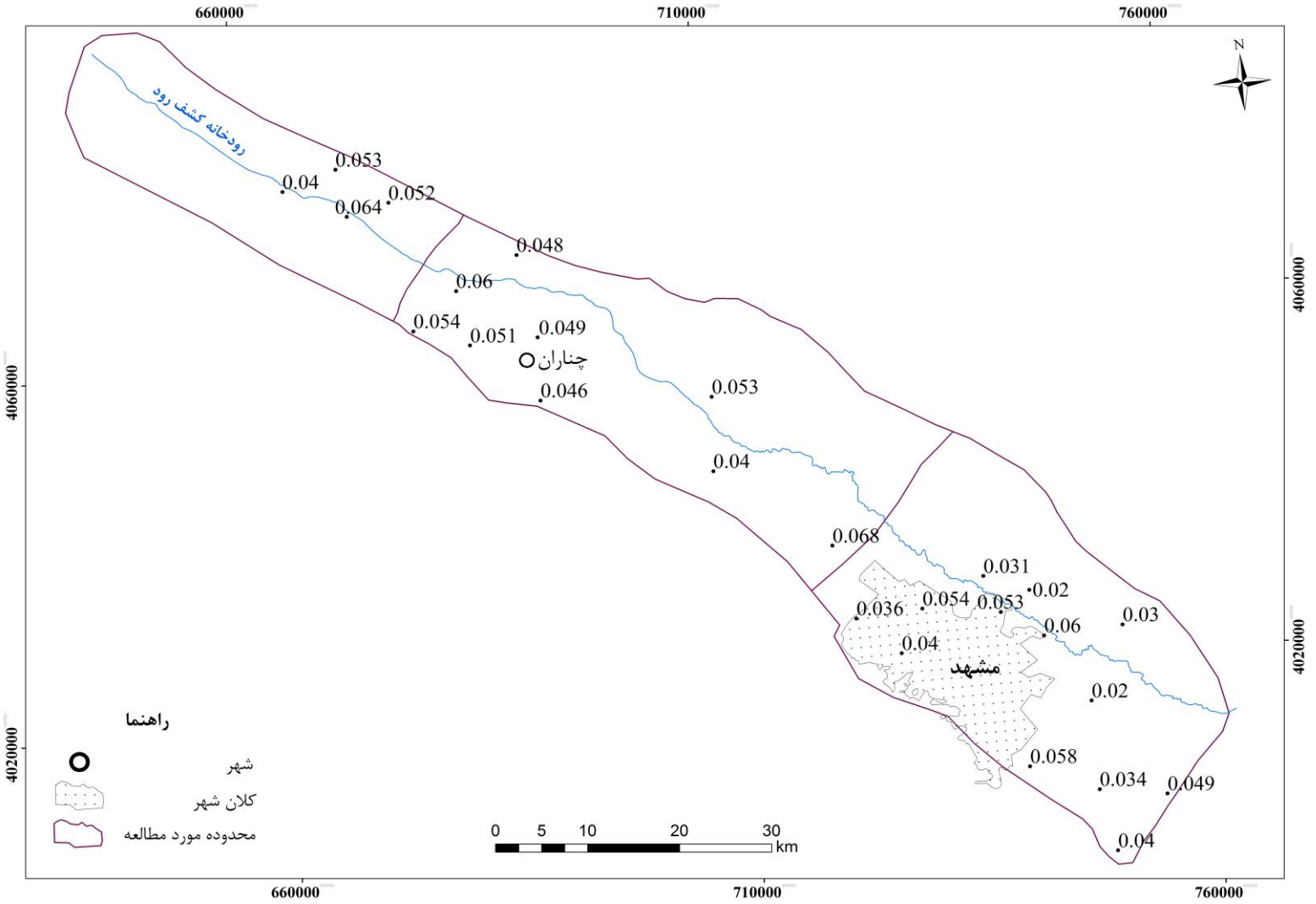
شکل ۴-۱۳- میانگین قابلیت انتقال در محدوده‌های مختلف دشت مشهد



شکل ۴-۱۴- میانگین آبدهی ویژه در محدوده‌های مختلف دشت مشهد



شکل ۴-۱۵- تقسیم‌بندی دشت مشهد در جهت طولی بر اساس مقادیر قابلیت انتقال



شکل ۴-۱۶- تقسیم‌بندی دشت مشهد در جهت طولی بر اساس مقادیر آبدهی ویژه

جدول ۴-۱۱- محدوده مقادیر لاگ‌های حفاری بر اساس تفکیک دشت مشهد به محدوده شمال غربی، مرکزی و جنوب شرقی

نام محدوده	شماره چاه	نام چاه	قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)	آبدهی ویژه	میانگین قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)	میانگین آبدهی ویژه
محدوده شمال غربی	۳	ریاض	۲۵۰	۰/۰۵۲	۲۲۳	۰/۰۵۲
	۴	جمگرد	۲۵۵	۰/۰۵۳		
	۵	قره‌تپه	۲۰۵	۰/۰۴		
	۲۱	حاجی‌آباد	۱۸۰	۰/۰۶۴		
محدوده مرکزی	۱	قره‌جنگل	۲۱۵	۰/۰۵۳	۱۸۸	۰/۰۵۲
	۲	منزل حصار	۱۶۰	۰/۰۴۸		
	۸	منزل‌آباد	۲۰۵	۰/۰۶۸		
	۱۶	خیرآباد	۲۴۰	۰/۰۵۱		
	۱۷	اراضی جمع‌آب	۱۹۵	۰/۰۴۶		
	۱۸	دهنه اخلمد	۲۰۰	۰/۰۵۴		
	۱۹	کورده	۱۳۰	۰/۰۴		
	۲۰	کبیر	۱۷۵	۰/۰۴۹		
	۲۲	ملی	۱۷۰	۰/۰۶		

جدول ۴-۱۱- ادامه

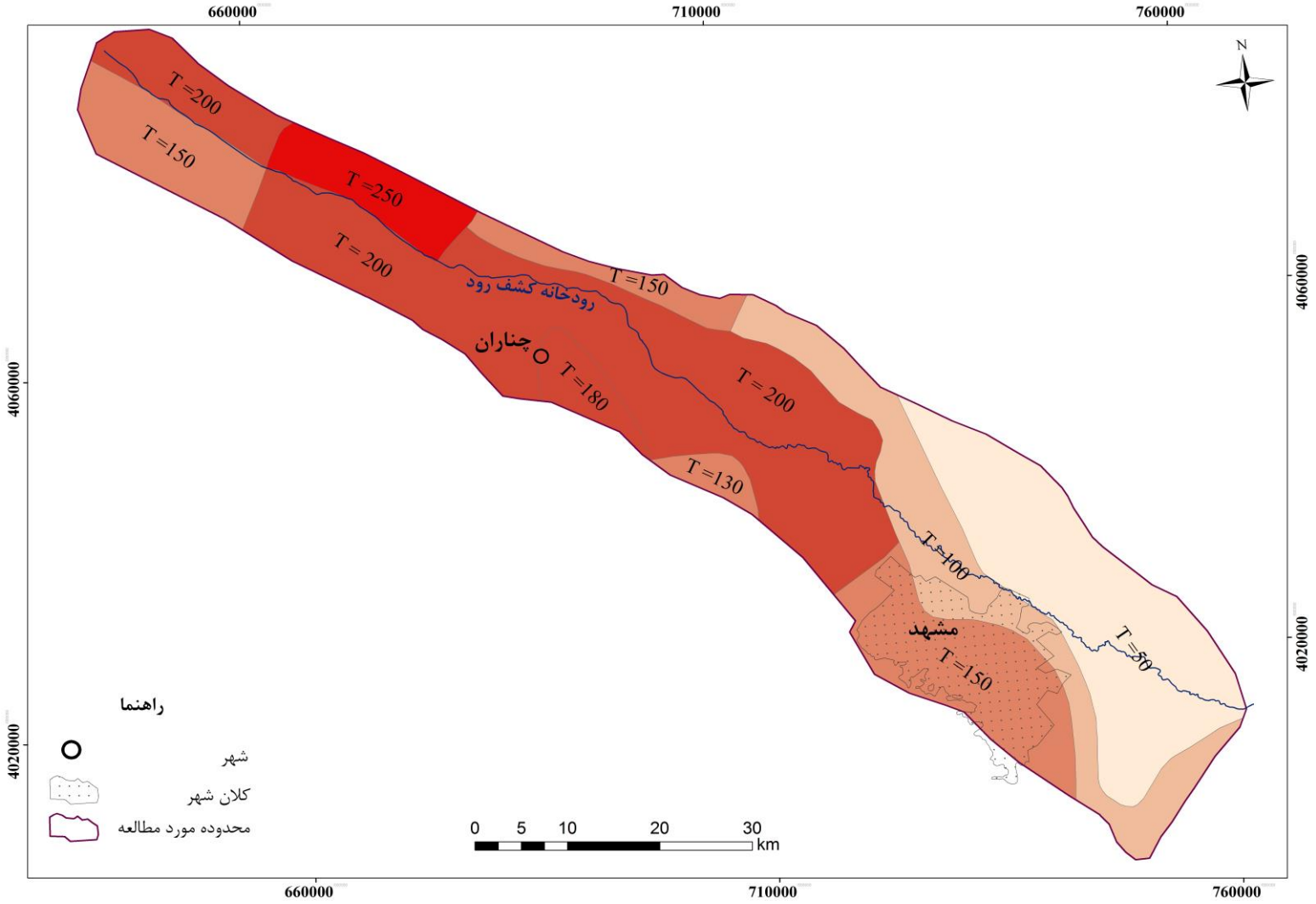
نام محدوده	شماره چاه	نام چاه	قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)	آبدهی ویژه	میانگین قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)	میانگین آبدهی ویژه
محدوده جنوب شرقی	۶	جیم‌آباد	۱۰۵	۰/۰۴	۸۸	۰/۰۴۱
	۹	شایع	۵۰	۰/۰۳۱		
	۱۰	کنوگرد	۵۰	۰/۰۲		
	۱۲	دستگردان	۷۵	۰/۰۲		
	۱۳	تنگل‌شور	۱۱۰	۰/۰۴۹		
	۱۴	ده‌رود	۱۴۵	۰/۰۵۳		
	۱۵	اراضی کنه‌بیست	۵۵	۰/۰۳		
	۲۳	اباصلت	۱۵۵	۰/۰۷۶		
	۲۴	مزرعه آستان قدس	۵۰	۰/۰۳۴		
	۲۵	بحرآباد	۱۱۵	۰/۰۵۴		
	۲۶	التیمور	۶۰	۰/۰۶		

۴-۹- پهنه‌بندی پارامترهای هیدرودینامیکی بر اساس لاگ‌های حفاری

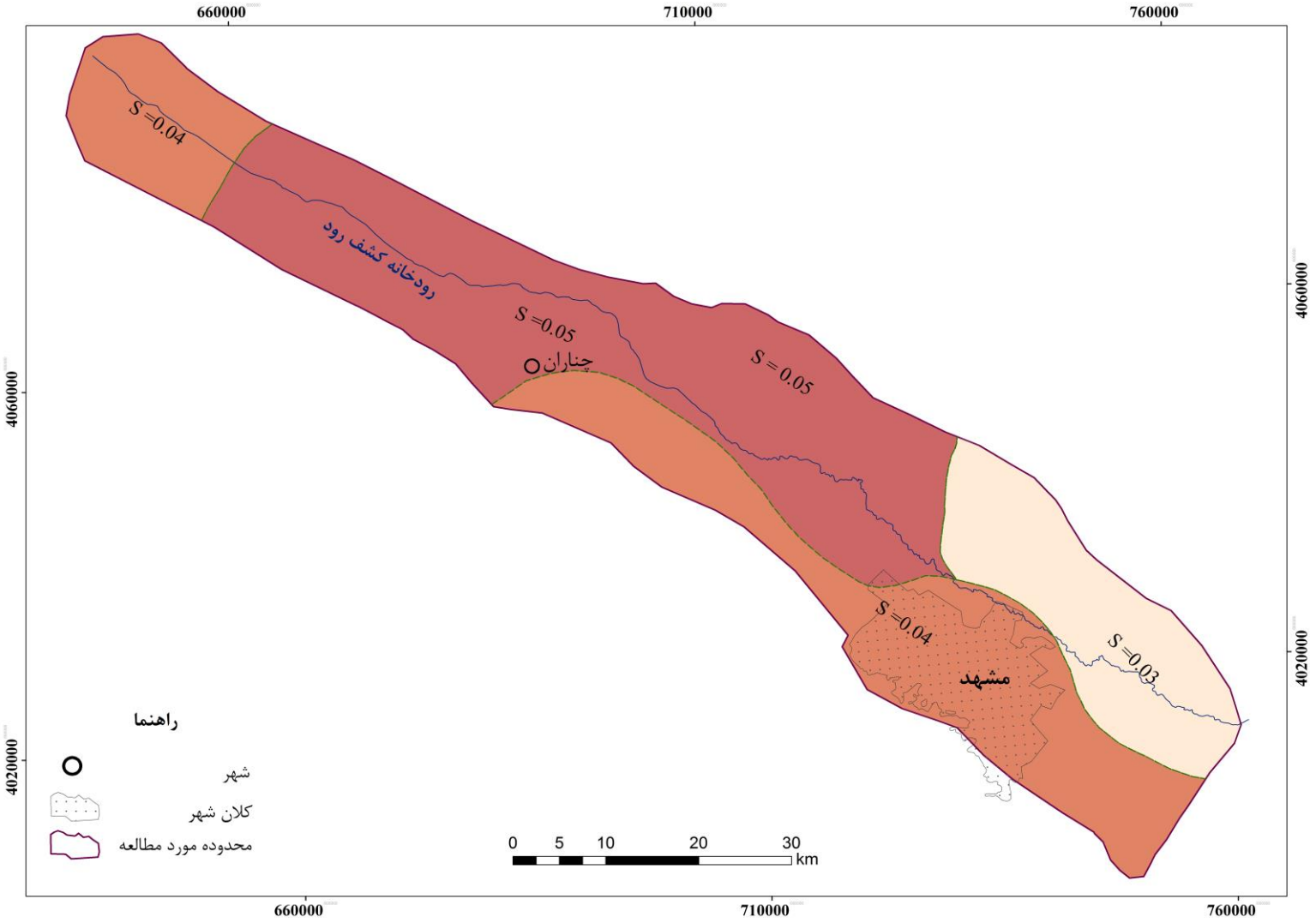
بر اساس نتایج بدست آمده از لاگ‌های حفاری دشت مشهد و وضعیت دشت، پهنه‌بندی برای مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه ارائه شده است که در شکل‌های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) نشان داده شده است.

همانطور که در شکل نقشه پهنه‌بندی قابلیت انتقال (۴-۱۷) ملاحظه می‌شود، کمترین مقدار قابلیت انتقال در بخش جنوب شرقی دشت و بخش شرقی شهر مشهد می‌باشد که می‌توان به ریزدانه‌بودن رسوبات در این بخش اشاره نمود. در بخش شمال و شمال غربی دشت مقدار قابلیت انتقال بالاتر است و بخش غربی دشت از نظر مقادیر قابلیت انتقال در حد متوسط قرار دارد.

شکل (۴-۱۸) پهنه‌بندی مقادیر آبدهی ویژه در دشت مشهد را نشان می‌دهد و بر اساس آن می‌توان چنین اظهار نمود که کمترین مقدار آبدهی ویژه در بخش جنوب شرقی دشت و بخش شرقی شهر مشهد قرار دارد که خود دلیل بر ریزدانه‌بودن این بخش است و با نقشه پهنه‌بندی قابلیت انتقال همخوانی دارد. بخش مرکزی دشت از مقادیر آبدهی ویژه بالاتری نسبت به بخش‌های دیگر دشت برخوردار است.



شکل ۴-۱۷- پهنه‌بندی دشت مشهد به لحاظ مقادیر قابلیت انتقال



شکل ۴-۱۸- پهنه‌بندی دشت مشهد به لحاظ مقادیر آبدهی ویژه

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل، به طور مختصر نتایج بدست آمده از نقشه‌های هم‌پتانسیل، هیدروگراف دشت و به ویژه پارامترهای هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و آبدهی ویژه) دشت مشهد ارائه می‌گردد.

۵-۱- نتیجه‌گیری

در این بخش به نتایج مرتبط با فعالیت انجام شده در زمینه هیدروژئولوژی (نقشه‌های هم‌پتانسیل، هیدروگراف واحد دشت) و پارامترهای هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و آبدهی ویژه) در دشت مشهد پرداخته می‌شود.

الف- نقشه‌های هم‌پتانسیل سفره آب زیرزمینی دشت مشهد

طبق نتایج بدست آمده از نقشه‌های هم‌پتانسیل بهمن ماه سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۲ می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که خطوط هم ارتفاع در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۶۷ به سمت شمال دشت پیشروی نموده است. همچنین با توجه به شیب هیدرولیکی محاسبه شده در سال‌های فوق‌الذکر نشان می‌دهد که مقدار شیب هیدرولیکی در محدوده بالادست دشت در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۶۷ افزایش قابل توجهی داشته است. مقادیر شیب هیدرولیکی محاسبه شده در بالادست دشت مشهد در سال ۱۳۶۷ حدود ۱ درصد می‌باشد و در سال ۱۳۹۲ به ۲ درصد افزایش یافته است. دلیل افزایش قابل توجه گرادیان هیدرولیکی در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۶۷، افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در بالادست چناران به دلیل گسترش کشاورزی در آن منطقه است.

ب- هیدروگراف واحد دشت

طبق هیدروگراف‌های ترسیم شده (هیدروگراف معرف دشت (بدون محدوده شهر مشهد) و دیگری هیدروگراف معرف دشت در محدوده شهر مشهد) و بر اساس پیزومترهای دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۷ می‌توان چنین اظهار نمود که در دو هیدروگراف، سطح آب زیرزمینی از سال آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۷ تا ۱۳۸۸-۱۳۸۷ روند نزولی داشته است. در حالی که سطح آب زیرزمینی در محدوده جنوبی دشت از سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲ افزایش یافته است. این روند افزایشی در محدوده جنوبی دشت و اطراف شهر مشهد به عواملی از قبیل توسعه شهری، تغذیه دشت به وسیله فاضلاب و پساب و همچنین انتقال آب بین حوضه‌ای به منظور شرب کلان‌شهر مشهد مربوط می‌شود.

ج- بررسی مقادیر قابلیت انتقال در سفره آب زیرزمینی دشت مشهد

محدوده مورد مطالعه از لحاظ مقادیر قابلیت انتقال به سه محدوده شمال غربی، مرکزی و جنوب شرقی تقسیم‌بندی شده است و مقادیر آن‌ها به ترتیب ۲۲۳، ۱۸۸ و ۸۸ متر مربع بر روز متغیر می‌باشد. همچنین نقشه پهنه‌بندی نیز ترسیم شده است که طبق نقشه ترسیم شده می‌توان چنان تفسیر نمود که کمترین مقادیر قابلیت انتقال در بخش جنوب شرقی دشت مشهد و محدوده شرقی شهر مشهد است که به ریز دانه بودن رسوبات در این بخش مرتبط می‌شود.

د- بررسی مقادیر آبدهی ویژه در سفره آب زیرزمینی دشت مشهد

محدوده مورد مطالعه از لحاظ مقادیر آبدهی ویژه به سه محدوده شمال غربی، مرکزی و جنوب شرقی تقسیم‌بندی شده است و مقادیر آن‌ها به ترتیب ۰/۰۵۲، ۰/۰۵۲ و ۰/۰۴۱ می‌باشد. همچنین طبق نقشه ترسیم شده پهنه‌بندی مقادیر آبدهی ویژه و بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان چنان تفسیر نمود که کمترین مقادیر آبدهی ویژه در بخش جنوب شرقی دشت مشهد و محدوده شرقی شهر مشهد است که تایید کننده ریز دانه بودن رسوبات در این محدوده می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده نقشه پهنه‌بندی قابلیت انتقال و آبدهی ویژه با همدیگر همخوانی دارند.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق و کاهش منابع آبی در منطقه، در جهت حفظ منابع آب زیرزمینی در سفره آب زیرزمینی دشت مشهد موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

الف- احداث پیزومترهای جدید در محدوده‌هایی از دشت مشهد که تعداد پیزومتر اندک می‌باشد.

ب- با توجه به تجزیه و تحلیل نقشه‌های هم‌پتانسیل و افت سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد به خصوص در محدوده مرکزی و جنوب شرقی دشت، اعمال راهکارهای مدیریتی در برداشت آب زیرزمینی پیشنهاد می‌گردد.

ج- به منظور دقیق‌سازی پهنه‌بندی دشت بر اساس مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه، حفر تعدادی آزمایش پمپاژ دقیق در بخش‌های مختلف دشت پیشنهاد می‌شود.

د- با توجه به استفاده از روش لاگ حفاری استفاده شده در این تحقیق و نتایج بدست آمده از آن جهت ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی، استفاده از این روش در سایر دشت‌ها پیشنهاد می‌شود.

منابع فارسی

تکابی، ا. ۱۳۹۴. "تعیین پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان شیروان"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

تکابی، ا. جعفری، ه. ۱۳۹۳. "تخمین قابلیت انتقال آبخوان شیروان با استفاده از داده‌های طرفیت ویژه"، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران.

تندیسه، ز. حافظی مقدس، ن. کرمی، غ. ۱۳۹۱. "ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان مشهد"، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.

حافظی مقدس، ن. "بررسی آب زیرزمینی و مدل ریاضی دشت مشهد – چناران".

حسینی سبزواری، م. ۱۳۸۶. " بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی در معدن گل‌گهر، سیرجان"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

حسینی‌سبزواری، م. کرمی، غ. زارع، م. کریمی‌نسب، س. ۱۳۸۵. "برآورد قابلیت انتقال با استفاده از داده‌های پمپاژ و لاگ چاه‌ها"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسینی‌سبزواری، م. کرمی، غ. زارع، م. کریمی‌نسب، س. مکنونی، س. "بررسی خواص هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی در آنومالی شماره ۱ معدن گل‌گهر"، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن.

روح الهی، ع. شهیدی، ع. اکبرپور، ا. اعتباری، ب. ۱۳۹۰. "تخمین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در آکیفرهای آزاد (مطالعه موردی دشت سربیشه استان خراسان جنوبی)"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

صداقت، م. ۱۳۸۸. "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، تهران، ۲۸۷ ص.

الطافی دادگر، م. محمدزاده، ح. بهرامی، ر. ۱۳۹۱. "تخمین متغیرهای هیدرولیکی آبخوان دشت بجنورد با استفاده از داده‌های سونداژ الکتریکی"، فصلنامه علمی-پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست، سال ششم، شماره ۲۰، ص ۷۵.

علیزاده، الف. ۱۳۹۰. "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ سی و یکم، موسسه چاپ و انتشارات آستان‌قدس رضوی، مشهد، ۹۱۱ ص.

قاسمی، م. "گزارش هیدروژئولوژی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، جلد دوم.

کرمی، غ. ۱۳۸۲. "محاسبه ناهمگنی در سفره‌های کارستی با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ"، مجموعه مقالات هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه اصفهان.

کرمی، غ. ۱۳۸۳. "آزمایش پمپاژ در آبخوان‌های کارستی"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع ایران، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.

کرمی، غ. ۱۳۸۳. "تغییرپذیری ضرایب انتقال و ذخیره در لایه‌های آبدار ناهمگن"، مجموعه مقالات هشتمین انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کرمی، غ. ۱۳۸۹. "بررسی آزمون‌های پمپاژ چاه‌های گروه ۲ استان قم"، شرکت آب منطقه‌ای قم.

کرمی، غ. ۱۳۸۹. "پروژه مطالعاتی برآورد ضرایب هیدرودینامیکی در دشت سمنان – ایوانکی".

کرمی، غ. ۱۳۹۱. " مطالعات برآورد ضرایب هیدرودینامیکی در دشت سمنان – ایوانکی"، شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان.

مختاری، ح. اسپهبد، م. ۱۳۸۶. "بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی پتانسیل‌های آبی دشت ورامین با توجه به تغییرات گرادیان شوری".

مظفری‌زاده، ج. چیت‌سازان، م. ماجدی، ح. ۱۳۸۵. "تصحیح ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از مدل تفاضلات محدود (MODFLOW) و روش کریجینگ". بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

میرحاجی، ن. اصغری‌مقدم، ا. ۱۳۸۴. "محاسبه و بسط ضریب قابلیت انتقال آبخوان دشت چالدران با استفاده از داده‌های ظرفیت ویژه و ژئوفیزیک".

نخعی، م. لشکری‌پور، غ. ۱۳۸۲. "تخمین تخلخل و آبدهی ویژه در آبخوان دشت شورو با استفاده از داده‌های مقاومت ویژه و روابط تجربی". نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم. جلد ، ش ۱، ص ۱۹۱.

Reference

Chidichimo F, De Biase M, Rizzo E, Masi s, Straface S (2015). "Hydrodynamic parameters estimation from self-potential data in a controlled full scale site". Journal of Hydrology 522. 572-581.

Freeze R. A. and Cherr J. A. (1979). "Groundwater". Pentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Hazen A. (1892). "Some physical properties of sands and gravels. Massachusetts State Board of Health". Annual Report, 539-556.

Huntley, D (1996), "Relations between hydrolic conductivity and electrical resistivity in granular aquifer". Ground water, 24 pp. 466-474.

Johnson A. I (1967). "Spesific yield compilation of specific yields for various materials". U.S. Geological Survey Water Supply Paper. 1662-D.

Moench A. F. (2003). "Estimation of hectar-scale soil-moisture characteristics from aquifer test data". Jurnal of Hydrology. 281,82-95.

Odong J. (2007). "Evaluation of Empirical Formulae for Determination of Hydraulic Conductivity based on Grain Size analysis. Journal of American Science, 3(3).

Razach M. and Hontley D. (1991). "Assessing transmissivity from Spesific Capasity in Larg Heterogeneous Alluvial aquifer". Ground water, 29.

Srivastav S. K. Lubczynski M. W. and Biyani A. K (2006). " on aquifer properties, ground water abstraction and recharge in Doon Valley, Uttaranchal". Bhujal News: Special Issue-Uttaranchal 21.

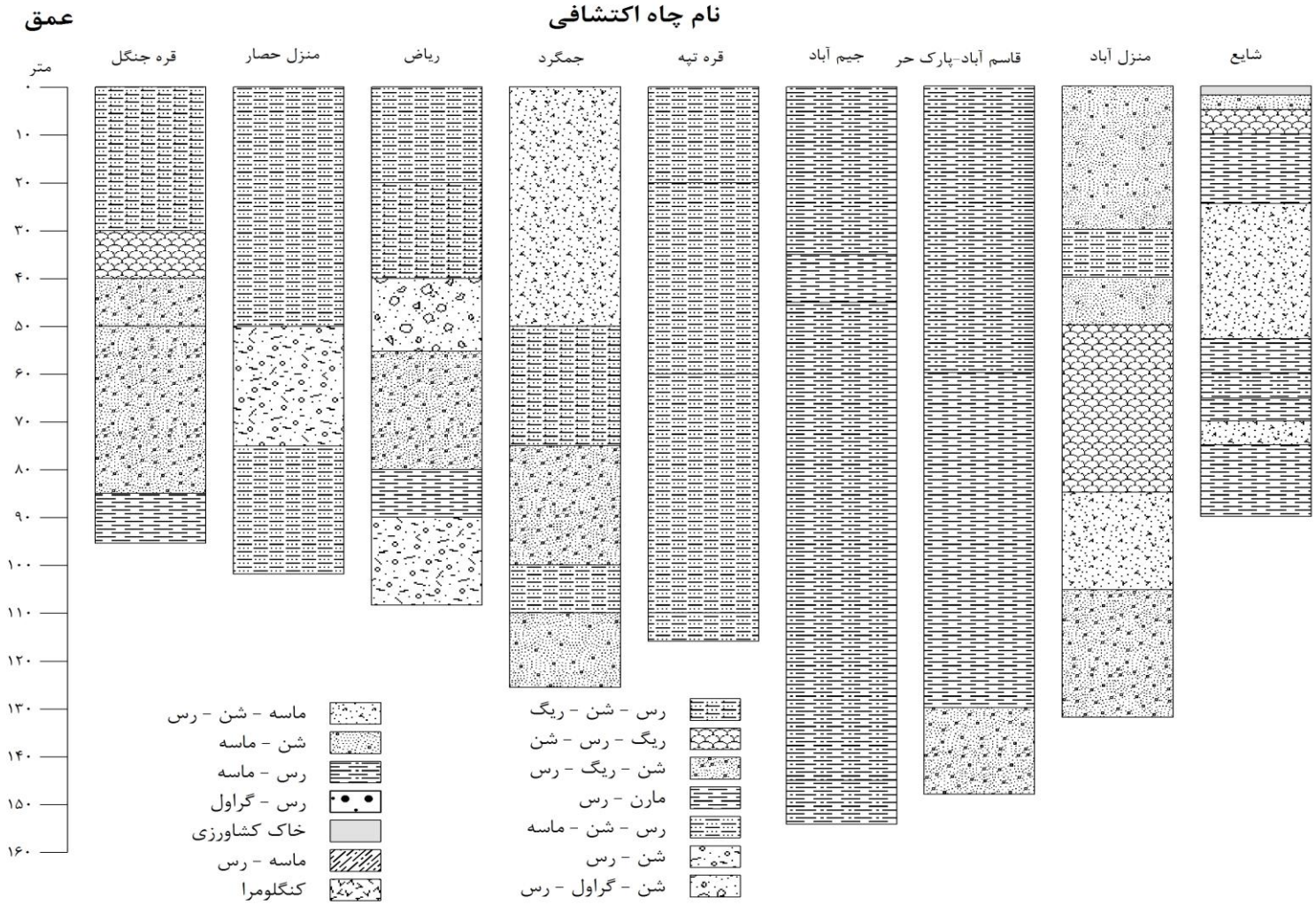
Srivastav S. K. Lubczynski M. W. and Biyani A. K (2007). "Upscaling of transmissivity, derive from specific capacity: a hydrogeomorphological approach applied to the Doon Valley aquifer system in India". Hydrogeology Journal, 1251-1264.

Theis C. V. (1963). Estimating the transmissivity of a water-table aquifer from the spscific capacity of wall. U.s. Geological Survey Water Supply Paper.

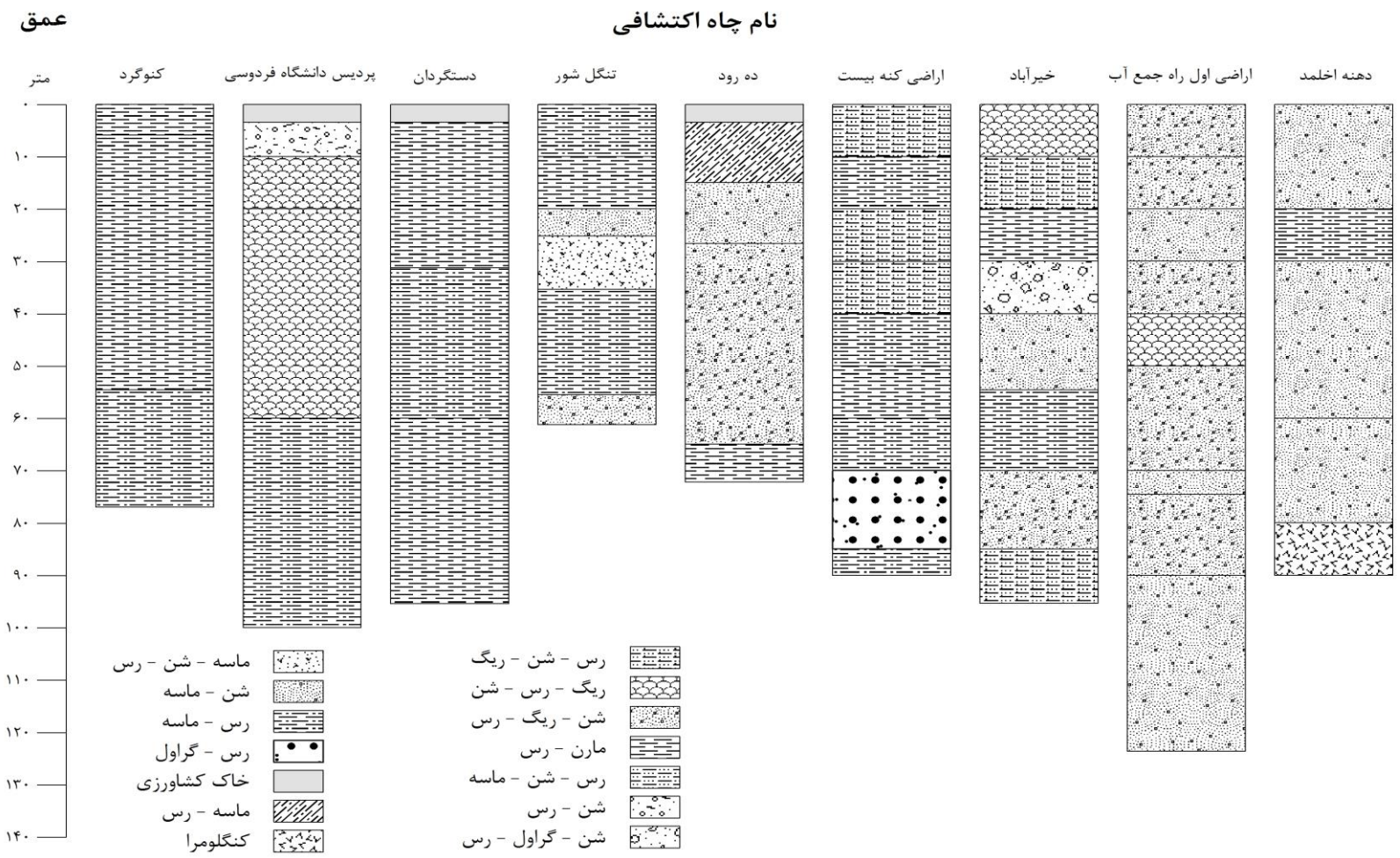
Todd D. K. and Mays L.W. (2005). "Groundwater Hydrology". Third Edition, John Wiley and Sons. New York, 636 p.

Younger P. L. (1993). "Simple generalized method for estimating aquifer storage parameters". Quarterly Jurnal of Engineering geology. 26, 127-135.

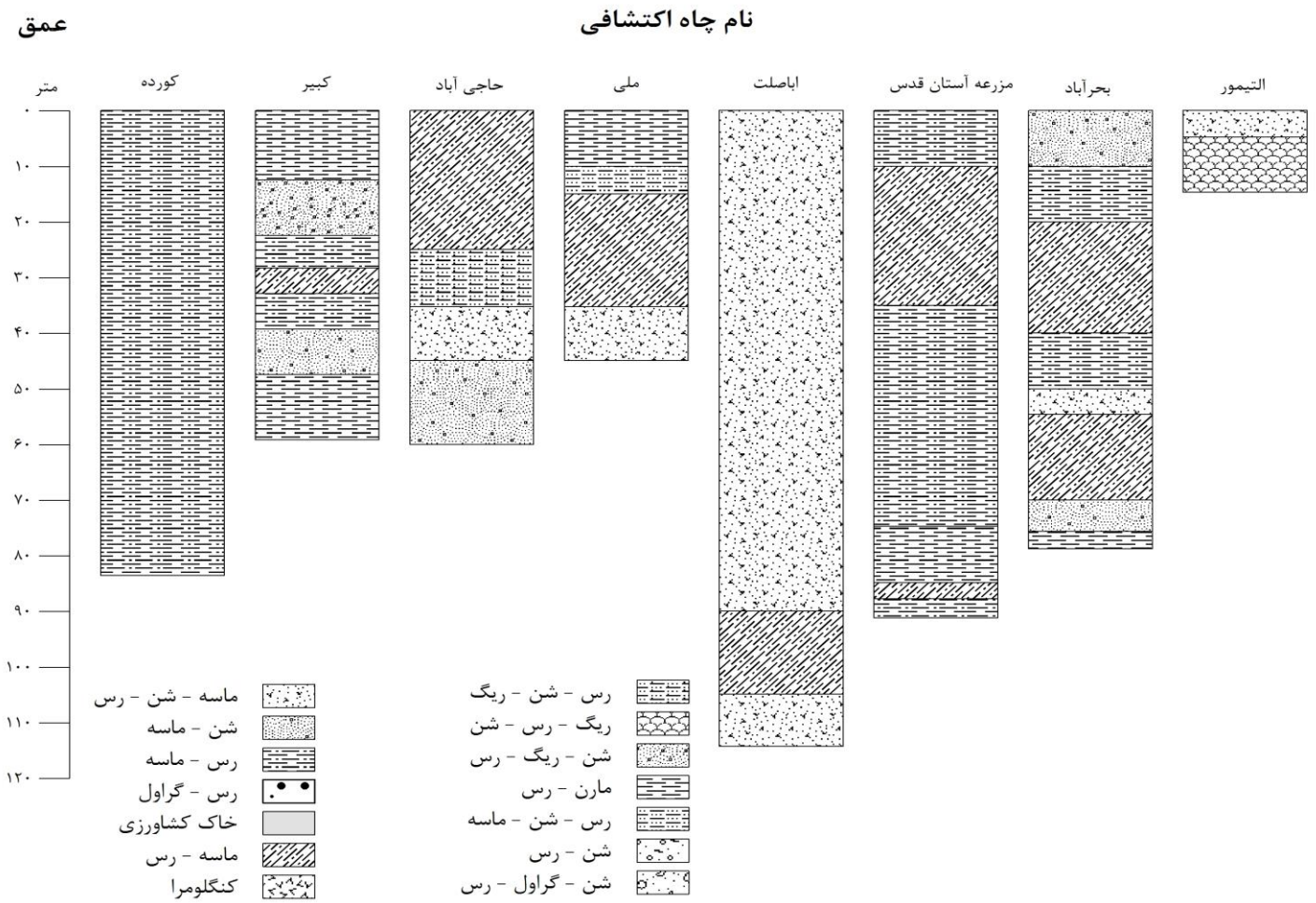
ستون چینه شناسی حاصل از اطلاعات لاگ حفاری چاه های اکتشافی و بهره برداری



ستون چینه شناسی حاصل از اطلاعات لاگ حفاری چاه های اکتشافی و بهره برداری



ستون چینه شناسی حاصل از اطلاعات لاگ حفاری چاه های اکتشافی و بهره برداری



Abstract

Transmissivity and specific yield are important hydrodynamic parameters in unconfined aquifer. These two parameters can be assessed with different methods which the most important and reliable method in determination of hydrodynamic paremeters is usage of pumping test results. However, because of some limitations that exist in use of pumping test results, use of alternative methods, such as logging, specific capacity of well, testing unique wells, geoelectric method and etc., is impotant.

According to the absence of sufficient numbers of pumping test data-set in Mashhad Plain, the values of transmissivity and specific yield of unconfined aquifer in this plain have been assessed using existance drilling logs. According to the obtained the values results of transmissivity in Mashhad Plain aquifer vary from 50 m^2/d to 255 m^2/d. Also the values of specific yield in this aquifer is fall between 0.02 and 0.07. The values of transmissivity and specific yield of Mashhad Plain aquifer yielded by drilling logs have two advantages in comparison with those valuse obtained using pumping test data. Firstly, the number of drilling logs are 26 that is more important ralative to 3 available pumping test cases in this plain. Secondly, values of transmissivity and specific yield obtained using the drilling logs in any portion of the plain are more or less the same where as those obtained using pumping test analysis include considerable discrepancies in the same location of the plain. The reason for such discrepancies could be rated to the inaccuracy pumping test of data or errancy inusing of these data.

Key words: drilling logs, transmissivity, specific yield, Mashhad Plain.

Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

MSc. Thesis of Hydrogeology

Hydrodynamic coefficients zoning of the aquifer in Mashhad Plain

By:

Mehri Abedi

Supervisor:

Dr. Gholamhosein Karami

Advisor:

Dr. Naser Hafezi Moghadas

February 2017