

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

مطالعه امکان ذخیره سازی آب باران در یک آبرفت کم ضخامت، مطالعه موردی در روستای گزین،

شهر هفتکل، استان خوزستان

دانشجو:

کبری شیخ لیوسی

استاد راهنما:

دکتر غلامعباس کاظمی

استاد مشاور:

مهندس نورعلی داموغ

دی ماه ۱۳۹۳

تقدیم بہ:

پدرم، بہ استواری کوه

مادرم، بہ زلالی چشمہ

بہ خواہر و برادرانم، بہ خاطر ہمہ ملی و تشویق ہایشان

تشکر و قدردانی:

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش را، نمونه‌ان شد و به بهنیشینی رحروان علم و دانش مفتخران نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزی مان ساخت.

مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

به نکته های دلاویز و گفته های بلند صحیفه های سخن از تو علم پرور باد

به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر غلامعباس کاظمی، که افتخار را بهمانانی این پایان نامه را

از جانب ایشان داشته تقدیر و تشکر نمایم. از جناب آقای مهندس داموع که زحمات مشاوری این رساله را داشته و در ادامه از کلیه استادان ارجمند در طول دوره

تحصیل از جمله آقایان دکتر کریمی، دکتر جعفری و دکتر باقری صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و همچنین از پرسنل محترم مرقداری خال آقایان محسن کاظمی و حمید کاظمی

و کارشناسان محترم شرکت مناطق نفت خیز جنوب (به ویژه جناب آقای مهندس حق پرست) و کارمندان اداره ی هواشناسی استان خوزستان تشکر می نمایم.

همچنین از دوستان و بهکلاس های عزیزم بویژه خانم باهنری، توحیدی و ابوسخی که در طول این مدت به من کمک کرده تشکر می کنم و برایشان آرزوی موفقیت

دارم.

از گنجینه های زندگی پر دودار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرحه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن با بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر

راه من در سختی ها و مشکلات بوده کمال تشکر و سپاس یکران دارم.

تعهد نامه

اینجانب کبری شیخ لیوسی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مطالعه امکان ذخیره سازی آب باران در یک آبرفت کم ضخامت، مطالعه موردی در روستای گزین -هفتکل -خوزستان تحت راهنمایی دکتر غلامعباس کاظمی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه 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 پایان نامه 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 می باشد و مقالات مستخرج یا 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، 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 ۱۳۹۳، ۱۰/۸
امضای دانشجو
Ksh

چکیده

در بیشتر نقاط کشور به علت کمبود منابع آب سطحی و فصلی بودن بارش‌ها، از آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف استفاده می‌شود. از دیرباز تغذیه مصنوعی سفره‌ها به عنوان راه حل کارآمدی برای افزایش منابع آب زیرزمینی پیشنهاد می‌شوند. تغذیه مصنوعی با روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد، که کارایی هر روش به عوامل متعددی نظیر خصوصیات زمین‌شناسی، توپوگرافی، اقلیم و هواشناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و وضعیت حوزه‌ی آبخیز از نظر تولید رسوب و فرسایش بستگی دارد. در منطقه مورد مطالعه، به دلیل کمبود فضا و ریزبافت بودن لایه‌های سطحی امکان تغذیه مصنوعی از طریق حوضچه وجود نداشته و لذا امکان ذخیره‌ی رواناب در یک چاه تزریق و بازیافت آزمایشی مورد بررسی قرار گرفته است. این چاه آزمایشی، که ۲۲/۵ متر عمق دارد، در یک آبرفت کم عمق خشک در ۱۴ کیلومتری شهرستان هفتگل در استان خوزستان حفر شده است. سنگ بستر این آبرفت سازند نفوذناپذیر میشان است که ۷/۵ متر از چاه در این سازند حفر شده است. در ۱۰ مرحله، تزریق مستقیم آب به درون چاه صورت گرفته و تغییرات سطح آب در حین تزریق و پس از آن ثبت شده و با استفاده از این تغییرات، نرخ نفوذ که یکی از پارامترهای مهم و اصلی در تغذیه مصنوعی می‌باشد، محاسبه شده است. بیشترین نرخ نفوذ در مراحل ۷، ۸ و ۱۰ تزریق ثبت شده که متوسط نرخ نفوذ در کل چاه در این سه مرحله به ترتیب ۳۷۰/۶، ۲۰۰/۷ و ۱۵۸/۴ سانتی متر بر ساعت می‌باشد. جهت ارزیابی خصوصیات هیدرولیکی چاه، از تمام بخش آبرفتی چاه نمونه‌ی خاک تهیه شده و بافت هر نمونه براساس مثلث دانه بندی فولک (به دو روش دانه‌بندی خشک و تر) مشخص شده است. با توجه به نتایج دانه‌بندی، بخش آبرفتی چاه به طور کلی دارای سه نوع بافت ماسه‌ی گلی، گراول ماسه‌ای و ماسه‌ی گراولی گلی می‌باشد. با استفاده از نمودارهای دانه‌بندی ذرات و شش فرمول تجربی شامل کازنی- کارمن، الیمانی و شن، بریر، اسلیچر، ترزاقی و USDA هدایت هیدرولیکی تمام اعماق چاه برآورد گردید. از بین فرمول‌های تجربی ارائه شده، فرمول USDA مناسب‌ترین فرمول

تجربی برای برآورد هدایت هیدرولیکی کل بخش آبرفتی چاه می‌باشد. براساس این فرمول هدایت هیدرولیکی افقی و عمودی به‌ترتیب $۵/۰۷۶$ و $۰/۰۰۰۳۶$ متر بر روز برآورد شده است. لازم به ذکر است که حداکثر هدایت هیدرولیکی با استفاده از همه‌ی فرمول‌ها برای عمق ۱۰ متری محاسبه شده است. بیشترین نرخ نفوذ نیز برای اعماق ۱۰ و ۱۱ متری به‌طور میانگین ۸۵۰ و $۷۹۱/۲۲$ سانتی متر بر ساعت ثبت شده؛ که هر دو مورد دارای بافت درشت دانه و حاوی گراول می‌باشند. با آنالیز تمام داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده، به علت جدید و نو بودن موضوع این تحقیق و همچنین نبود رواناب در محدوده زمانی مورد مطالعه، پاسخ به سوال این تحقیق نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

کلمات کلیدی: آبرفت کم عمق، چاه تزریق و بازیافت، دانه‌بندی، نرخ نفوذ، هدایت هیدرولیکی.

مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ۱- امکان‌سنجی ذخیره رواناب در یک آبرفت کم‌عمق خشک با یک چاه تزریق و بازیافت، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، شیراز، بهمن ماه ۱۳۹۲.
- ۲- بررسی نرخ نفوذ و هدایت هیدرولیکی در یک چاه تغذیه در آبرفت خشک و کم‌عمق، اولین همایش ملی آب، انسان و زمین، اصفهان، شهریور ماه ۱۳۹۳.

فهرست مطالب

فهرست جداول	ل
فهرست اشکال	ل
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه	۴
۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دومارتن	۷
۲-۳-۱- نمودار آمبروترمیک	۷
۴-۱- زمین شناسی منطقه	۸
۱-۴-۱- چینه شناسی منطقه	۸
الف) سازند گچساران	۱۰
ب) سازند میشان	۱۰
ج) سازند آغا جاری	۱۱
د) رسوبات کواترنر	۱۲
۲-۴-۱- زمین شناسی ساختمانی	۱۳
فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته	۱۵
۱-۲- مقدمه	۱۶
۲-۲- اهداف تغذیه مصنوعی	۱۶
۳-۲- روش های تغذیه مصنوعی	۱۷
۲-۳-۱- روش پخش سیلاب	۱۷
۲-۳-۲- حوضچه های تغذیه	۱۸
۳-۳-۲- پخش آب در کانال	۲۰
۴-۳-۲- روش نهر و شیار	۲۰
۵-۳-۲- روش گودال و شفت های تغذیه	۲۲
الف) گودال های تغذیه	۲۲
ب) شفت های تغذیه	۲۳

۲۴	۲-۳-۶- روش چاه تزریق
۲۶	۲-۳-۶-۱- روش ASR
۲۸	۲-۳-۶-۲- روش ASTR
۲۹	۲-۳-۷- تغذیه غیر مستقیم
۳۰	۲-۴- انسداد
۳۵	فصل سوم: روش انجام کار
۳۶	۳-۱- جمع آوری آمار و اطلاعات بارندگی و تزریق
۳۶	۳-۲- بررسی‌های زمین شناسی
۳۶	۳-۳- بازدیدهای انجام شده در منطقه مطالعاتی
۳۷	۳-۴- تعیین بافت خاک
۳۹	۳-۴-۱- روش الک خشک
۳۹	۳-۴-۲- روش الک تر
۴۱	۳-۵- طراحی سیستم و تزریق آب
۴۴	۳-۶- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل
۴۵	فصل چهارم: دانه‌بندی نمونه‌های اعماق مختلف و محاسبه هدایت هیدرولیکی
۴۶	۴-۱- تعیین نوع بافت خاک
۴۹	۴-۱-۱- نمودار توزیع دانه‌بندی
۵۱	۴-۱-۲- لاگ حفاری
۵۴	۴-۲- محاسبه هدایت هیدرولیکی
۶۱	فصل پنجم: محاسبه نرخ نفوذ بر اساس داده‌های آزمایش تزریق
۶۲	۵-۱- بررسی نرخ نفوذ
۷۵	۵-۲- بررسی تغییرات افت نسبت به عمق
۷۵	۵-۳- بررسی تغییرات هدایت هیدرولیکی نسبت به عمق
۷۹	فصل ششم: امکان سنجی ذخیره رواناب در آبرفت
۸۰	۶-۱- بررسی ارتباط بین هدایت هیدرولیکی و نرخ نفوذ

۲-۶- بررسی تأثیر کیفیت آب روی نرخ نفوذ	۸۱
۳-۶- مقایسه نرخ افت در سال ۹۰-۹۱ با سال ۱۳۹۳	۸۱
۴-۶- محاسبه دبی تزریق	۸۲
۵-۶- جهت جریان	۸۳
۶-۶- حجم آبرفت	۸۶
۷-۶- تخمین افت در چاه	۸۸
۸-۶- بررسی ذخیره آب در یک دوره طولانی در منطقه مطالعاتی	۸۹
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۹۱
۱-۷- نتیجه‌گیری	۹۲
۱-۱-۷- بافت خاک	۹۲
۲-۱-۷- برآورد هدایت هیدرولیکی	۹۲
۳-۱-۷- نرخ نفوذ	۹۳
۵-۱-۷- جهت جریان	۹۳
۶-۱-۷- تأثیر کیفیت آب	۹۴
۷-۱-۷- امکان سنجی ذخیره رواناب	۹۴
۲-۷- پیشنهادها	۹۴
پیوست‌ها	۹۶
منابع	۱۰۵

فهرست جداول

جدول (۱-۱)	آمار بارندگی ۱۳ ساله ایستگاه مسجدسلیمان	۴
جدول (۲-۱)	آمار بارندگی ۱۳ ساله ایستگاه شوشتر	۵
جدول (۳-۱)	آمار بارندگی ۱۳ ایستگاه رامهرمز	۵
جدول (۴-۱)	میانگین بارندگی و درجه حرارت ماهانه برای یک دوره ۱۳ ساله	۶
جدول (۵-۱)	طبقه بندی دوماترین	۷
جدول (۱-۴)	بافت خاک در اعماق مختلف آبرفت با استفاده از دانه بندی به روش الک خشک	۴۸
جدول (۲-۴)	بافت خاک در اعماق مختلف آبرفت در مرحله دوم دانه بندی به روش الک تر	۴۸
جدول (۳-۴)	نتایج آزمایش هیدرومتری بر روی بعضی از نمونه های خاک	۴۹
جدول (۴-۴)	مشخصات نمونه های مختلف با استفاده از نمودار توزیع ذرات مربوطه	۵۸
جدول (۵-۴)	مقادیر هدایت هیدرولیکی (K) برآورد شده با استفاده از فرمول های تجربی	۵۸
جدول (۱-۵)	تغییرات سطح آب در حین تزریق در مرحله ی هفتم تزریق	۶۴
جدول (۲-۵)	تغییرات سطح آب در حین تزریق در مرحله ی هشتم تزریق	۶۴
جدول (۳-۵)	تغییرات سطح آب در حین تزریق در مرحله ی دهم تزریق	۶۵
جدول (۴-۵)	مشخصات مرحله ی اول تزریق	۶۵
جدول (۵-۵)	مشخصات مرحله ی دوم تزریق	۶۶
جدول (۶-۵)	مشخصات مرحله ی سوم تزریق	۶۶
جدول (۷-۵)	مشخصات مرحله ی چهارم تزریق	۶۷
جدول (۸-۵)	مشخصات مرحله ی پنجم تزریق	۶۸
جدول (۹-۵)	مشخصات مرحله ی ششم تزریق	۶۸
جدول (۱۰-۵)	مشخصات مرحله ی هفتم تزریق	۶۹
جدول (۱۱-۵)	مشخصات مرحله ی هشتم تزریق	۷۰
جدول (۱۲-۵)	مشخصات مرحله ی نهم تزریق	۷۱
جدول (۱۳-۵)	مشخصات مرحله ی دهم تزریق	۷۲
جدول (۱-۶)	مشخصات دبی و حجم آب در مراحل مختلف تزریق	۸۲
جدول (۲-۶)	حداکثر میزان افت ثبت شده در مراحل مختلف تزریق	۸۸

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن ۳
- شکل ۱-۲) میانگین بارش سالانه برای آمار ۱۳ ساله از سال ۹۲-۱۳۸۰ ۶
- شکل ۱-۵) رخنمون سازند گچساران در جنوب شرق منطقه ۱۰
- شکل ۱-۴) نقشه زمین شناسی منطقه در محیط GIS ۹
- شکل ۱-۶) رخنمون سازند میشان در محل مورد مطالعه ۱۱
- شکل ۱-۷) مارن و ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در شرق و شمال منطقه ۱۲
- شکل ۲-۱) طرح حوضچه‌های تغذیه چندتایی برگرفته از تاد ۲۰
- شکل ۲-۲) شماتیکی از سیستم تغذیه نهر و شیار برگرفته از چارترجی ۲۱
- شکل ۲-۳) الگوهای رایج در سیستم تغذیه نهر و شیار برگرفته از چارترجی ۲۱
- شکل ۲-۴) شماتیکی از گودال تغذیه ۲۳
- شکل ۲-۵) طرح شماتیکی از روش‌های ASR و ASTR برگرفته از (Dillon and Molloy 2006) ۲۹
- شکل ۳-۱) برداشت نمونه‌های خاک با استفاده از بالابر ۳۸
- شکل ۳-۲) وسایل مورد استفاده در آزمایش هیدرومتری ۳۹
- شکل ۳-۳) دانه‌بندی به روش الک تر ۴۰
- شکل ۳-۴) تزریق مستقیم آب به درون چاه با استفاده از تانکر ۴۲
- شکل ۳-۵) مسیر حرکت رواناب و تزریق آن به درون چاه ۴۳
- شکل ۳-۶) حوضچه ته‌نشینی ۴۳
- شکل ۳-۷) فیلتر تعبیه شده در مسیر رواناب ۴۳
- شکل ۳-۸) pH متر و EC متر ۴۴
- شکل ۳-۹) عمق‌یاب الکتریکی ۴۴
- شکل ۴-۱) مثلث طبقه‌بندی رسوبات براساس اندازه‌ی ذرات تشکیل دهنده‌ی آن‌ها ۴۷
- شکل ۴-۲) آزمایش هیدرومتری ۴۷
- شکل ۴-۳) نمودار توزیع ذرات خاک با روش الک خشک ۵۰
- شکل ۴-۴) نمودار توزیع ذرات خاک به روش الک تر و هیدرومتری ۵۰

- شکل ۴-۵) مقطع شماتیکی از ستون چاه ۵۲
- شکل ۴-۶) لاگ حفاری چاه تزریق ۵۳
- شکل ۵-۱) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله اول تزریق آب در چاه ۶۵
- شکل ۵-۲) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله دوم تزریق آب در چاه ۶۶
- شکل ۵-۳) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله سوم تزریق آب در چاه ۶۷
- شکل ۵-۴) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله چهارم تزریق آب در چاه ۶۷
- شکل ۵-۵) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله پنجم تزریق آب در چاه ۶۸
- شکل ۵-۶) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله ششم تزریق آب در چاه ۶۹
- شکل ۵-۷) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله هفتم تزریق آب در چاه ۷۰
- شکل ۵-۸) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله هشتم تزریق آب در چاه ۷۱
- شکل ۵-۹) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله نهم تزریق آب در چاه ۷۲
- شکل ۵-۱۰) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله دهم تزریق آب در چاه ۷۳
- شکل ۵-۱۱) مارن‌های خاکستری سازند میشان ۷۳
- شکل ۵-۱۲) مقایسه‌ی تغییرات نرخ نفوذ مراحل ۷، ۸ و ۱۰ تزریق با یکدیگر ۷۴
- شکل ۵-۱۳) مقایسه بین حداکثر هد ایجاد شده و نرخ نفوذ در چاه تزریق ۷۴
- شکل ۵-۱۴) زمان طی شده پس از تزریق تا رسیدن سطح آب به اعماق مختلف ۷۵
- شکل ۵-۱۵) مقادیر هدایت هیدرولیکی نسبت به عمق در بخش آبرفتی چاه ۷۶
- شکل ۵-۱۶) درصد شن در اعماق مختلف بخش آبرفتی چاه ۷۶
- شکل ۵-۱۷) تغییرات هدایت هیدرولیکی و درصد شن در اعماق مختلف بخش آبرفتی چاه ۷۷
- شکل ۶-۱) متوسط نرخ نفوذ در اعماق مختلف ۸۰
- شکل ۶-۲) محدوده‌ی آبرفت و جهت آبراهه‌ها (با اقتباس از Google Earth) ۸۳
- شکل ۶-۳) رخنمون آبرفت در دیواره آبراهه اصلی منطقه ۸۴
- شکل ۶-۴) مقاطع زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۸۵
- شکل ۶-۵) نمای کلی از آبرفت در اطراف مرغداری و چاه تغذیه ۸۶
- شکل ۶-۶) نقشه زمین‌شناسی منطقه و محل قرارگیری چاه‌های نفت ۸۷
- شکل ۶-۷) مدت زمان ایجاد افت در مراحل مختلف تزریق ۸۹

فصل اول

مقدمه

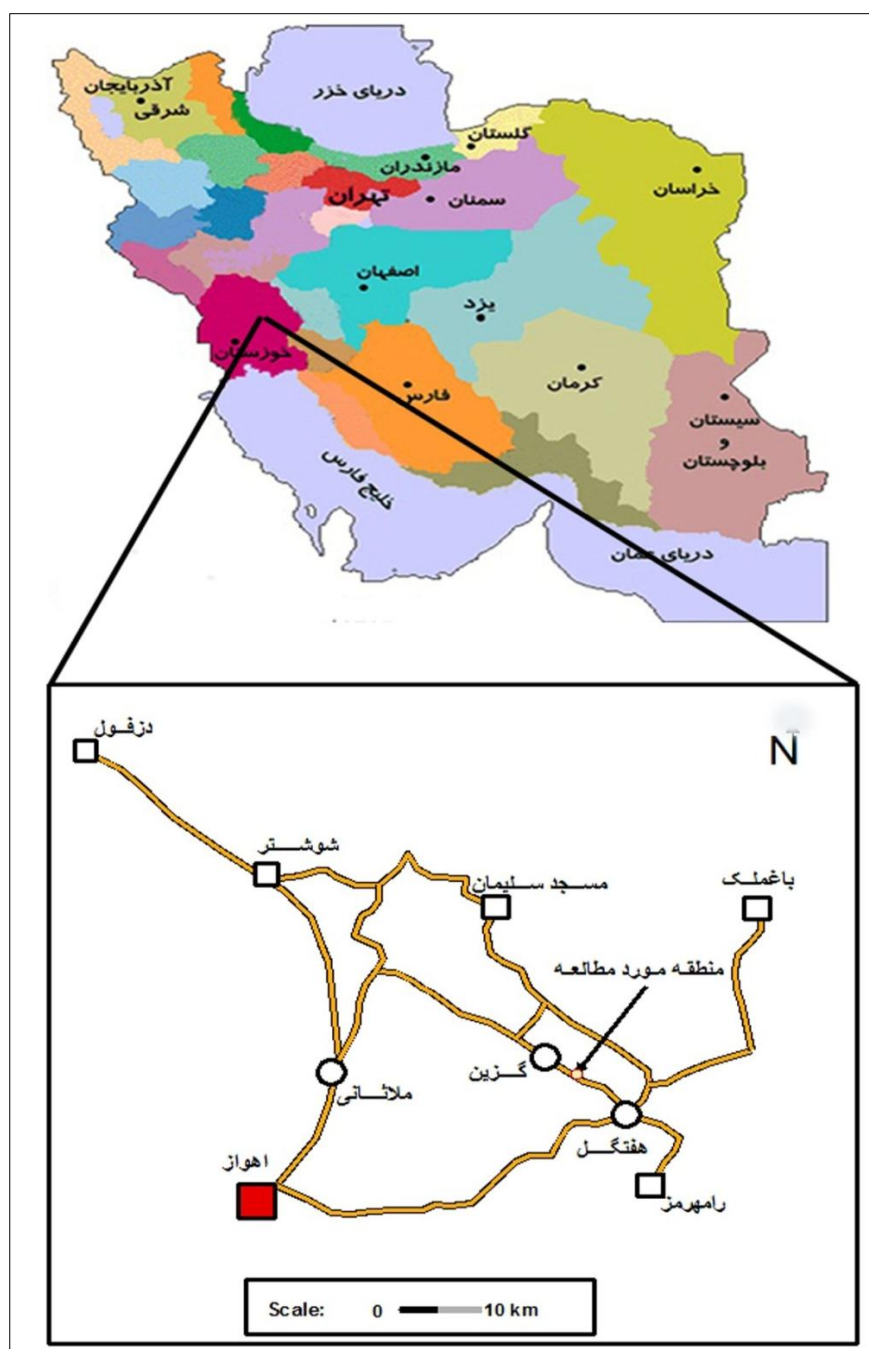
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

در اکثر مناطق کشور، آب زیرزمینی مهم‌ترین و احتمالاً تنها منبع آب سالم در دسترس جهت تأمین مصارف مختلف شهری، کشاورزی و صنعتی است. رشد سریع جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده به منابع آب در کشور ما ایران، که میانگین بارندگی سالانه‌ی آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد مساحت کشور را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد. کمبود منابع سطحی و نزولات جوی، موجب بهره برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه بهم خوردن تعادل طبیعی آن شده است. با توجه به این که در اکثر بخش‌های کشور بارش‌ها به‌صورت پراکنده و گاه سیلاب‌های مخرب ظاهر می‌شوند، مقدار قابل توجهی از آب بارندگی به‌صورت سیلاب و رواناب هدر می‌رود. از دیرباز تغذیه مصنوعی جز بهترین روش‌ها برای استفاده‌ی بهینه و جلوگیری از هدر رفتن این آب‌ها و همچنین بهبود تراز آب زیرزمینی بوده است. تغذیه مصنوعی (Artificial Recharge) عبارت است از افزایش نفوذ آب‌های سطحی به درون سازندهای زیرزمینی با استفاده از روش‌های مختلف و یا با ایجاد تغییرات در شرایط طبیعی محل می‌باشد (Todd and Mays 2005). در این مطالعه، هدف ارزیابی امکان ذخیره رواناب در درون زمین از طریق یک چاه تغذیه می‌باشد. برای دستیابی به این مهم، بررسی‌های زمین‌شناسی لازم و تزریق در چندین مرحله به‌درون چاه انجام شده است. در نهایت با بررسی مراحل مختلف تزریق، برآورد نرخ نفوذ و نقشه‌های موجود، امکان ذخیره‌سازی رواناب در این آبخوان بررسی شده است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۴ کیلومتری روستای گزین و ۱۴ کیلومتری شمال غرب شهرستان هفتگل در شرق استان خوزستان واقع شده است. مختصات چاه آزمایشی تزریق $31^{\circ} 33' 31.3''$ عرض شمالی و $49^{\circ} 23' 15.3''$ طول شرقی می‌باشد. مهم‌ترین راه ارتباطی منطقه برای دسترسی به چاه مذکور جاده آسفalte هفتگل به شوشتر می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه را

نشان می‌دهد. چاه مورد مطالعه در محوطه یک مرغداری به نام مرغداری غزال واقع شده است و مالکیت آن شخصی است. این چاه به روش دستی حفر شده و چاه دهانه گشاد می‌باشد. چاه در سال ۱۳۹۰ حفر شده و قطر دهانه چاه ۲۰/۱ متر و از عمق ۱۰ متری به پایین قطر چاه ۹۰ سانتی متر می‌باشد. بخش آبرفتی چاه از سطح زمین تا عمق ۱۵ متری را فراگرفته و از ۱۵ متری تا کف چاه از سازند میشان تشکیل شده است. عمق چاه ۲۲/۵ متر می‌باشد.



شکل ۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

۳-۱ آب و هوای منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی وضعیت اقلیمی منطقه و به دلیل عدم وجود ایستگاه هواشناسی در شهرستان هفتگل، از آمار ۱۳ ساله (۹۲-۱۳۸۰) ایستگاه‌های مسجدسلیمان، شوشتر و رامهرمز استفاده شده است (جداول ۱-۱ تا ۳-۱). میزان بارندگی ماهانه و درجه حرارت برای شهرستان هفتگل با میانگین‌گیری از آمار سه ایستگاه مذکور در جدول (۱-۴) ارائه شده است. میانگین بارش سالانه در طی ۱۳ سال در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. با توجه به میانگین بارندگی در این سه ایستگاه، میانگین بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه برابر با $304/2$ میلی متر محاسبه شده است.

جدول (۱-۱) آمار بارندگی ۱۳ ساله ایستگاه مسجدسلیمان (میلی‌متر)

سال ماه	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲
فروردین	۲۲/۱	۹۱	۴۵/۶	۱۲/۷	۵/۷	۱/۱	۸۴/۲	۱۶/۷	۳۴/۲	۵۶/۲	۱/۷	۲۴/۸	۱۸/۸
اردیبهشت	۵/۶	۰	۱۹/۹	۳۳/۲	۵/۴	۳/۴	۹/۵	۴	۵/۲	۵۴/۶	۱۰/۲	۹/۲	۳۰/۳
خرداد	۰	۰	۰	۰	۰/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تیر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شهریور	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۲	۰	۰	۰	۰
مهر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳/۴	۰
آبان	۵/۹	۲۸/۳	۵۰/۳	۲۳/۸	۲۴/۶	۴۹	۰	۱۶	۶۰	۳۴/۶	۱۰۱/۵	۱۰۸/۷	۴۷/۲
آذر	۲۱۲/۳	۱۱۹/۹	۷۸/۶	۱۲۶/۸	۲۳/۷	۶	۱۰۰/۲	۳۱	۹۹/۸	۱۶/۲	۰	۹۶	۴۶/۱
دی	۹۹/۶	۶۱/۹	۲۳۵/۴	۹۹/۶	۱۱۱	۲/۵	۱۰۷/۹	۳/۳	۳۸/۱	۴۸/۱	۴/۹	۸۰/۴	۱۶۱/۷
بهمن	۶۳	۴۳/۲	۷۴/۴	۶۹/۹	۱۸۶/۲	۵۵/۸	۳۴/۴	۴۴/۷	۴۹	۱۱۹/۱	۵۳/۹	۹۲/۷	۸/۹
اسفند	۲۷/۵	۱۷/۹	۲/۲	۱۵۰/۲	۲/۵	۲۲/۲	۱/۱	۰/۶	۱۳/۵	۳۵/۲	۵۳/۲	۵/۵	۹۸

جدول ۱-۲) آمار بارندگی ۱۳ ساله ایستگاه شوشتر (میلی متر)

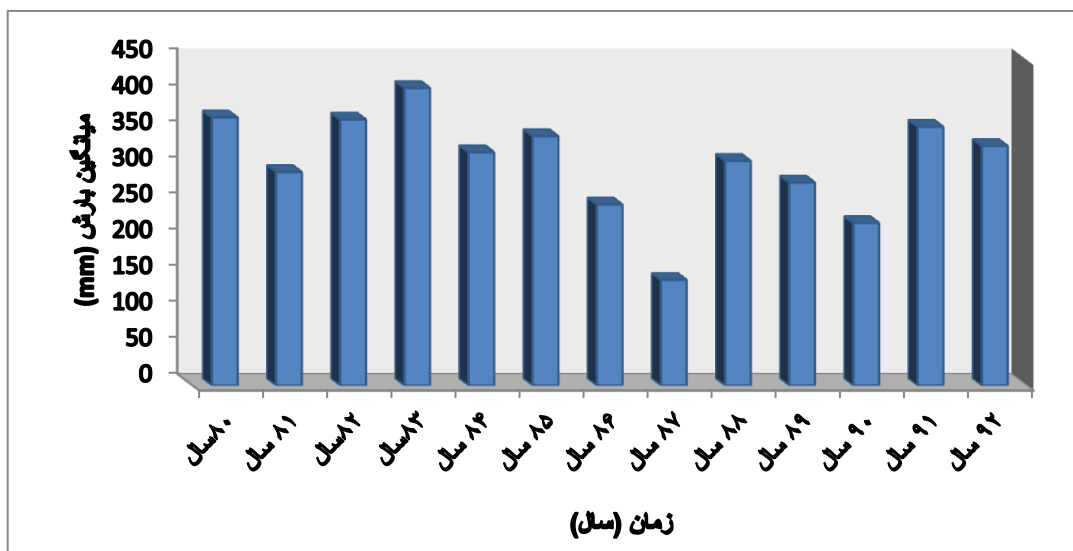
سال ماه	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲
فروردین	۱۳/۲	۵۱/۶	۳۲/۴	۸/۴	۵/۲	۳۷	۱۱۹/۶	۱۲/۳	۲۳/۲	۳۰/۵	۱/۵	۷/۹	۸/۶
اردیبهشت	۱/۶	۰	۱/۵	۲۸/۳	۶/۶	۱۵/۳	۸	۰/۲	۵/۶	۶۲/۸	۱۰	۲/۸	۳۵/۵
خرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تیر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شهریور	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مهر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰
آبان	۰	۱۷/۸	۴۶	۸/۴	۳۵/۷	۵۰/۱	۰/۱	۴۳/۲	۸۲	۲/۷	۹۸/۸	۴۰	۴۸/۷
آذر	۱۸۰/۱	۳۹	۷۷/۱	۹۶/۲	۲۰/۷	۹۱/۴	۷۰/۶	۱۰۱/۹	۸۰/۵	۱۰/۲	۲	۸۰/۸	۵۳/۲
دی	۵۴/۴	۲۱/۵	۲۰۱/۵	۷۹/۲	۵۷/۵	۴۳/۸	۲۹/۸	۰/۴	۳۳	۵۵/۹	۳	۸۱/۴	۱۱۹/۶
بهمن	۲۹/۶	۳۱/۹	۵۵/۹	۵۶/۲	۱۵۰/۵	۶۲/۴	۲۶/۷	۴۱	۲۳/۷	۱۰۲/۷	۶۰	۸۹/۵	۹
اسفند	۲۱/۲	۲۲/۶	۰/۱	۱۰۴/۴	۰/۵	۱۱/۳	۲/۲	۰/۶	۱۱/۲	۳۲/۶	۴۷/۲	۳/۲	۶۶/۹

جدول ۱-۳) آمار بارندگی ۱۳ ساله ایستگاه رامهرمز (میلی متر)

سال ماه	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲
فروردین	۲۰/۹	۸۱/۴	۲۳/۲	۱۷/۵	۰	۱۶/۴	۴۷/۶	۲/۱	۳۷	۳۱/۳	۱/۱	۲۸/۷	۲/۷
اردیبهشت	۲/۴	۳/۴	۴/۳	۴/۷	۱	۱۸/۲	۱/۴	۰/۱	۰/۶	۱۵/۹	۴/۳	۰	۵۰/۳
خرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تیر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مرداد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شهریور	۰/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰/۵	۰	۰	۰	۰	۰
مهر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
آبان	۴	۴/۷	۱/۴	۲۸/۸	۳۹/۴	۵۰/۹	۰	۴۱/۶	۴۸/۴	۱۴/۴	۲۳	۴۶/۶	۳۹/۶
آذر	۲۰۶	۱۵۱/۱	۲۹/۷	۱۱۷/۵	۵۱/۳	۱۰۷/۷	۵۳	۳۱/۹	۲۰۶/۶	۷/۴	۳/۵	۱۰۵/۸	۲۶/۸
دی	۷۴	۵۱	۲۲۹/۱	۸۱/۳	۱۱۰/۶	۴۶/۲	۲۸/۲	۰	۳۲	۲۳/۲	۱/۷	۴۵/۴	۹۲/۴
بهمن	۲۹/۴	۳۹/۲	۳۳/۸	۳۶/۴	۱۲۷/۶	۳۶/۷	۲۳/۵	۲۱/۷	۴۲/۶	۵۳/۲	۲۵/۱	۶۹/۳	۶/۱
اسفند	۳۸/۲	۹/۵	۶	۵۱	۲/۱	۷/۷	۴/۲	۴/۵	۴/۶	۳۶/۵	۱۷/۹	۵/۹	۳۴/۳

جدول ۱-۴) میانگین بارندگی و درجه حرارت ماهانه برای یک دوره ۱۳ ساله از سال ۹۲-۱۳۸۰ در منطقه مورد مطالعه (داده‌ها از اداره‌ی هواشناسی استان خوزستان)

زمان (ماه)	بارندگی (میلیمتر)	دما (درجه سانتی گراد)		
		میانگین حداکثر	میانگین حداقل	میانگین
مهر	۰	۳۸/۸	۲۳/۷	۳۱
آبان	۲۹/۵	۲۹/۱	۱۷/۲	۲۳/۲
آذر	۸۱/۴	۲۱/۱	۱۰/۹	۱۶
دی	۶۹/۹	۱۷/۷	۸/۴	۱۳/۰۵
بهمن	۵۶/۶	۱۸/۷	۹/۳	۱۴
اسفند	۲۴/۶	۲۴/۳	۱۲/۷	۱۸/۴
فروردین	۲۹	۲۹/۶	۱۷	۲۳/۳
اردیبهشت	۱۲/۵	۳۶/۸	۲۳/۵	۳۰/۱
خرداد	۰	۴۳/۶	۲۸/۲	۳۵/۹
تیر	۰	۴۵/۵	۳۰/۴	۳۸
مرداد	۰	۴۶/۳	۳۱/۵	۳۸/۹
شهریور	۰/۷	۴۳/۳	۲۸/۱	۳۵/۷
متوسط سالیانه	۳۰۴/۲	۲۶/۵		



شکل ۱-۲) میانگین بارش سالانه برای آمار ۱۳ ساله از سال ۹۲-۱۳۸۰ (داده‌ها از اداره‌ی هواشناسی استان خوزستان)

جهت بررسی وضعیت اقلیمی مناطق مختلف از ضرایب و نمودارهای اقلیمی متفاوتی با توجه به نوع شرایط آب و هوایی استفاده می‌شود. در این مطالعه از ضریب اقلیمی دومارتن و نمودار امبروترمیک استفاده شده که نتایج آن در زیر ارائه شده است.

۱-۳-۱ ضریب اقلیمی دومارتن

دومارتن (De Martonne) با استفاده از متوسط بارندگی و دمای سالانه ضریب اقلیمی (I) را براساس فرمول (۱-۱) ارائه نموده است. ضریب اقلیمی نوع آب و هوای منطقه را مشخص می‌کند (علیزاده ۱۳۸۹).

$$I = P / (T + 10) \quad (1-1)$$

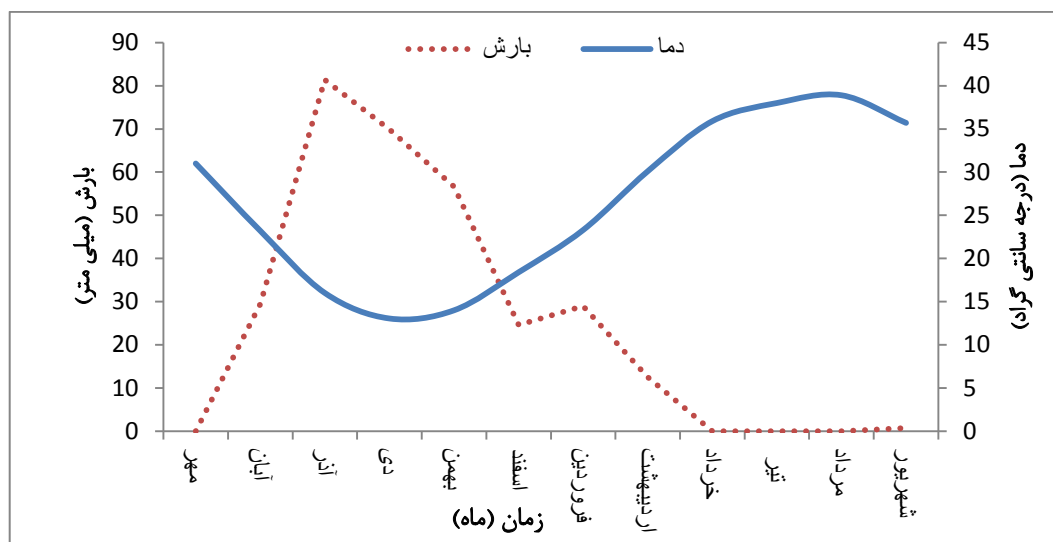
P متوسط بارندگی سالانه منطقه (میلی‌متر) و T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) است. براساس فرمول دومارتن ۶ نوع آب و هوا طبقه‌بندی شده است (جدول ۵-۱). ضریب اقلیمی دومارتن برای منطقه هفتگل ۸/۳ برآورد شده است و لذا براساس جدول (۵-۱) اقلیم منطقه از نوع خشک تعیین شده است.

جدول ۵-۱ طبقه‌بندی دومارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

۱-۳-۲ نمودار امبروترمیک

نمودار امبروترمیک منطقه (Embrothermic) براساس تغییرات ماهانه دما و بارش ترسیم و در شکل (۳-۱) ارائه شده است. براساس این نمودار از آذر ماه تا اسفند ماه بارندگی بر دما فزونی دارد و دوره‌ی مرطوب می‌باشد و سایر ماه‌های سال به‌عنوان ماه‌های خشک (دوره‌ی خشک) سال می‌باشند.



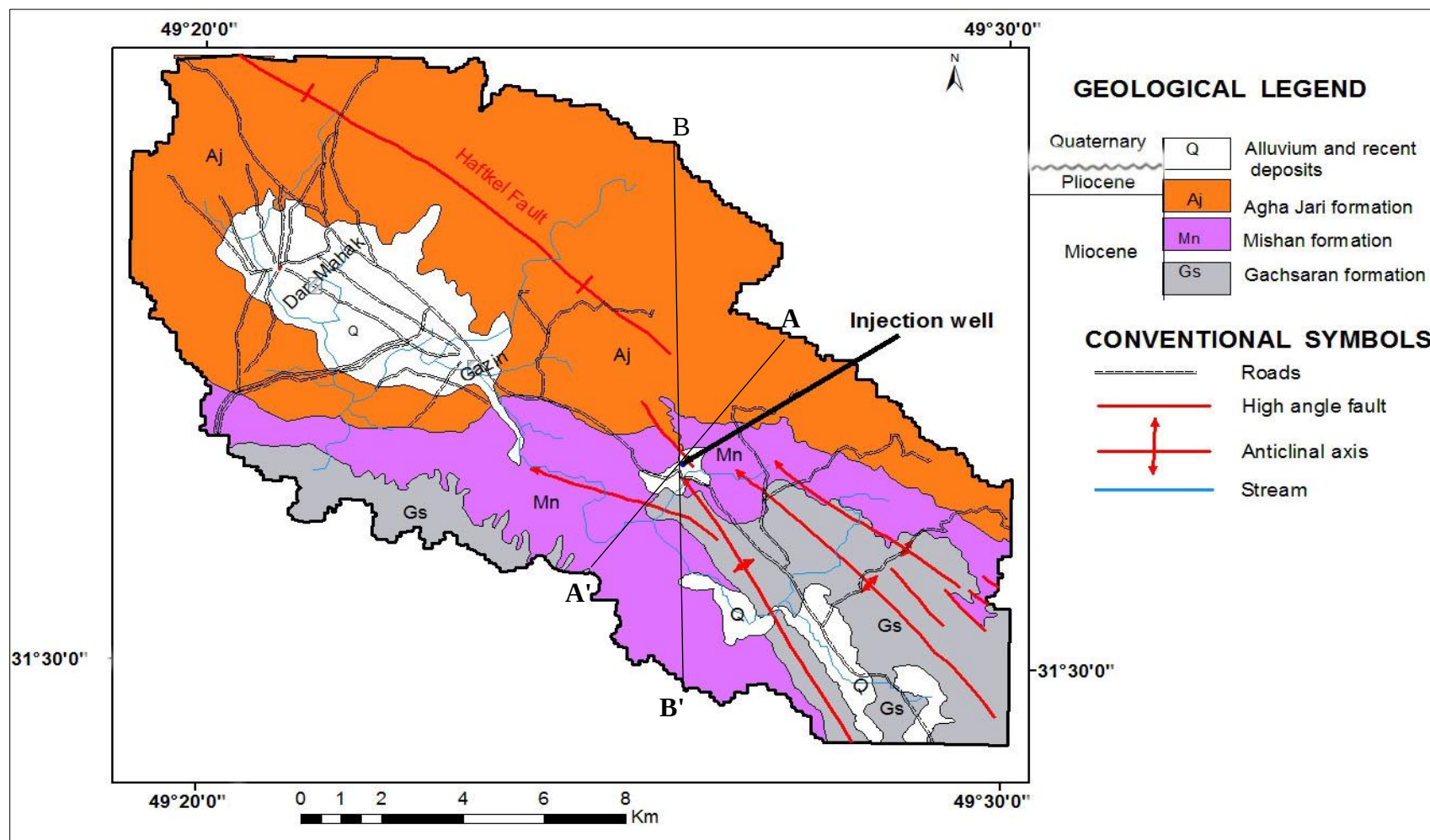
شکل ۱-۳) نمودار آمبروترمیک منطقه

۴-۱- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی و ساختمانی بخشی از زون زاگرس چین خورده است که در منتهی الیه حاشیه‌ی غربی ایران و به موازات راندگی اصلی زاگرس قرار دارد. به علت چین خوردگی رسوبات آن، به آن زاگرس چین خورده می‌گویند و به دلیل قرار گرفتن در محدوده‌ی بیرونی کوه‌های زاگرس، زاگرس خارجی نیز نامیده می‌شود. روند چین‌ها شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد و قسمت عمده‌ای از ذخایر نفتی کشور در این قسمت از زاگرس قرار گرفته است (درویش زاده ۱۳۸۸).

۴-۱-۱- چینه شناسی منطقه

رخنمون‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه از نئوژن تا کواترنری می‌باشند و از قدیم به جدید شامل سازند گچساران Gs، سازند میشان Mn، سازند آغاچاری Az و رسوبات عهد حاضر Q می‌باشند؛ این سازندها در نقشه زمین شناسی منطقه که با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ مسجد سلیمان و مارون در محیط GIS تهیه شده است، در شکل (۴-۱) نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۱) نقشه زمین شناسی منطقه در محیط GIS با اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مارون و مسجد سلیمان

الف) سازند گچساران

سازند گچساران از هفت بخش تشکیل شده و سنگ شناسی کلی آن در استان خوزستان حدوداً شامل ۱۶۰۰ متر نمک، انیدریت، مارن‌های رنگارنگ، آهک و مقداری شیل بیتومن‌دار می‌باشد. در بعضی از نقاط این سازند ترکیبات سیلویت نیز یافت می‌شود. در سطح زمین بجای انیدریت بیشتر ژئوپس دیده می‌شود و نمک نیز بندرت یافت شده است. تنها در مناطق شمال رامهرمز و لالی این نمک‌ها در سطح یافت شده و برای مصرف خوراکی استخراج می‌شوند (مطیعی ۱۳۷۲). شکل (۵-۱) رخنمون سازند گچساران در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱) رخنمون سازند گچساران در جنوب شرق منطقه

ب) سازند میشان

ضخامت سازند میشان در محل مقطع تیپ ۷۱۰ متر و از نظر لیتولوژی شامل آهک‌های صدف‌دار مشهور به Worm beds با تناوب مارن‌های خاکستری و ضخامت ۶۱ متر در قاعده وجود دارد که بخش پایینی آن به طور جانبی به آهک گوری تبدیل می‌گردد. رسوبات کمی هوازدهی مارنی

خاکستری با ضخامت ۶۴۶ متر که در لابه‌لای آن آهک‌های صدف‌دار مقاوم قرار دارد، بیشترین ضخامت سازند میشان را تشکیل می‌دهند. حد پایینی سازند میشان با گچ‌های سازند گچساران ناگهانی و مشخص است (مطیعی ۱۳۷۲، درویش‌زاده ۱۳۸۲). در قاعده‌ی سازند میشان لایه‌های قرمز آهن‌دار نیز دیده می‌شود. حد فوقانی سازند میشان با مارن‌ها و ماسه‌سنگ‌های آغا‌جاری تدریجی است. مطابق با فسیل‌های فراوانی که در بخش قاعده‌ای این سازند یافت شده، سن آن میوسن آغازین تا میانی ذکر شده است (درویش‌زاده ۱۳۸۲). با توجه به شکل (۱-۴)، این سازند در بخش مرکزی و جنوب منطقه مورد مطالعه گسترده شده است و شکل (۱-۶) رخنمون سازند میشان در نزدیکی چاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۶) رخنمون سازند میشان در شمال محل مورد مطالعه

ج) سازند آغا‌جاری

بالا آمدن کوه‌ها و پسروی دریا در اثر چین خوردگی و راندگی طی زمان میوسن پایانی و پلیوسن باعث شکل‌گیری محیط و حوضچه‌های خلیج دهانه‌ای شده و رسوبات تخریبی در ناودیس‌های مجاور انباشته گردیده و بدین طریق سازند آغا‌جاری در حوزه زاگرس به‌وجود آمده است. ضخامت این سازند زیاد است و در مقطع نمونه به ۲۹۶۵ متر می‌رسد و از نظر لیتولوژی شامل ماسه سنگ‌های آهکی قهوه‌ای تا خاکستری و مارن‌های قرمز رنگ با رگه‌های ژئوپس و سیلتستون می‌باشد. معمولاً ماسه-سنگ‌ها، حالت فرسوده برجسته، ولی مارن‌ها و سیلتستون‌ها دارای فرسودگی عمیق می‌باشند؛ که در

شکل (۷-۱) رخنمون سازند آغاچاری در محل نشان داده شده است. حد پایینی این سازند با سازند میشان تدریجی و هم‌شیب است و حد فوقانی آن با سازند بختیاری به حالت دگرشیبی دیده می‌شود (مطیعی ۱۳۷۲، درویش‌زاده ۱۳۸۲). در مناطق مختلف ضخامت سازند آغاچاری از ۶۱۰ تا ۲۰۴۸ متر متغیر است. در فروافتادگی دزفول سازند آغاچاری بیشترین ضخامت را دارد ولی به سمت شرق و جنوب شرقی کاهش می‌یابد (امیری بختیار ۱۳۹۱). سن این سازند از میوسن فوقانی تا پلیوسن تعیین شده است (درویش‌زاده ۱۳۸۲). در این جا لازم به ذکر است که کنگلومرای بختیاری که جوانترین سازند در منطقه جنوب غرب است در این منطقه رخنمون ندارد.



شکل (۷-۱) مارن و ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در شرق و شمال منطقه

د) رسوبات کواترنر

در طی کواترنر گسترده‌ترین رسوبات پوششی عمدتاً از تخریب و فرسایش ارتفاعات به وجود آمده‌اند. این رسوبات در اثر جریان آب و یا باد جابجا شده و در محیط‌های خشکی، دریاچه‌ای، مردابی و ساحلی ته‌نشین شده‌اند. آثار فاز کوهزایی پاسادین در کواترنر بصورت چین‌خوردگی تقریباً در تمام ایران به جز حوزه‌ی خزر دیده می‌شود. نتیجه‌ی آن مرتفع شدن ارتفاعات و فرونشستن سرزمین‌های گود بوده که فاز مهم کواترنر را در پی داشته است. بنابراین هر جا رسوبات کواترنر وجود داشته باشد،

در زیر آن یک فاز فرسایشی مهم یا دگرشیبی نیز موجود است. از جمله رسوبات کواترنر، رسوبات آبرفتی می‌باشد که از فرسایش ارتفاعات ناشی از کوهزایی‌های آلی و نهشته شدن آن‌ها در دامنه‌ی ارتفاعات و حوضه‌های مجاور به‌وجود آمده‌اند (درویش زاده ۱۳۸۸). در شکل (۳-۱) رسوبات آبرفتی کواترنر در منطقه مطالعاتی با علامت Q و به رنگ سفید نشان داده شده‌اند.

۱-۴-۲- زمین شناسی ساختمانی

تاق‌دیس‌های عظیم و نامتقارن زاگرس در نتیجه کوهزایی‌های میوسن-پالئوسن تشکیل شده و زون‌های لرستان در شمال و فارس در جنوب را ایجاد کرده‌اند. در بین این دو، زون فرو افتاده دزفول (فروافتادگی دزفول) با مساحت ۵۰ هزار کیلومتر مربع قرار دارد (Bordenave 2002). منطقه مورد مطالعه بین دو میدان از بزرگترین میادین نفتی فروافتادگی دزفول به نام‌های میدان هفتگل در جنوب شرقی منطقه و میدان نفت سفید در شمال شرقی منطقه قرار گرفته است. میدان‌های نفتی هفتگل و نفت سفید در بخش شمالی فروافتادگی دزفول و با روند شمال غرب- جنوب شرق گسترده شده‌اند. براساس داده‌های لرزه نگاری عملکرد گسل‌های متعدد باعث شکستگی سنگ مخزن و گاه‌آ نشت گاز و نفت در سازند گچساران در این منطقه شده است. وجود یک گسل تراستی در منطقه به موازات یال جنوبی میدان نفت سفید و تاثیر آن بر روی رخنمون‌های سطحی بیانگر این است، که این گسل یکی از گسل‌های اصلی تراستی حوضه زاگرس است (سرکهکی ۱۳۸۷). این گسل در شمال شرق منطقه واقع شده است و علاوه بر آن گسل‌های متعدد دیگری در منطقه وجود دارند. یکی از این گسل‌ها، گسل جوان کواترنری می‌باشد، که از نزدیک چاه مورد مطالعه عبور کرده و در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

۲-۱- مقدمه

از آنجا که کشور ما در یک اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد، همواره با مشکل کم آبی مواجه است. به گونه‌ای که خشک‌سالی‌های اخیر باعث شده که حتی در مناطق شهری نیز با کمبود ذخایر آب مواجه شوند. همچنین با توجه به افزایش جمعیت و تقاضای روزافزون مصرف آب برای مصارف شرب، کشاورزی، خانگی و صنایع افت سطح آب زیرزمینی در اکثر مناطق کشور مشاهده شده است. با توجه به این که در اکثر بخش‌های کشور بارش‌ها به صورت پراکنده و گاه سیلاب‌های مخرب ظاهر می‌شوند، مقدار قابل توجهی از آب بارندگی به صورت سیلاب و رواناب هدر می‌رود. برای پایداری آبخوان‌ها و افزایش منابع زیرزمینی استفاده از روش‌های تغذیه مصنوعی پیشنهاد شده و امروزه استفاده از این روش‌ها به دلیل هزینه کمتر و کارآمد بودن آن‌ها به طور گسترده در کشور مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۲- اهداف تغذیه مصنوعی

براساس مطالعات مختلف (Gal *et.al* 2002, Todd and Mays 2005, Murray *et.al* 2011, Ravichandran *et.al* 2010, Bhattacharya 2007) اهداف تغذیه مصنوعی شامل :

- جلوگیری از پایین رفتن سطح آب زیرزمینی
- افزایش حجم آب قابل برداشت از آب‌های زیرزمینی
- مهار و ذخیره آب‌های سطحی در زیر زمین
- جلوگیری از نشست زمین
- جلوگیری از پیشروی آب شور
- کاهش رواناب و سیلاب‌ها و مبارزه با بیابان‌زایی
- بهبود کیفیت آب زیرزمینی

- انتقال آب از طریق لایه‌های قابل نفوذ زیرزمینی
- خنک کردن آب‌های سطحی
- تصفیه کردن فاضلاب‌ها و دیگر آب‌های آلوده با استفاده از لایه‌های زمین
- احیاء تعادل آبخوان‌هایی که در اثر برداشت بیش از حد، تعادل آن‌ها بهم خورده
- افزایش منابع آب و بهینه‌سازی رژیم بهره‌برداری
- جلوگیری از تلفات آب از طریق تبخیر و رواناب

۲-۳- روش‌های تغذیه مصنوعی

مطابق تحقیقات روش‌های تغذیه مصنوعی به دو گروه اصلی تغذیه مستقیم و تغذیه غیر مستقیم تقسیم می‌شوند (Hocks & Fischer 1986، Martin & Dillion 2002، Todd & Mays 2005، Chatterji 2007، Bhattacharya 2010)؛ که هر کدام دارای زیر گروه‌های متفاوتی می‌باشند، که به مهمترین آن‌ها در زیر اشاره شده است:

تغذیه مستقیم شامل روش‌های پخش سیلاب، حوضچه‌ای، کانالی، نهر و شیار، شفت‌ها، حفره‌ها و چاه تزریق و تغذیه غیرمستقیم شامل تغذیه واداری (Induced recharge) می‌باشد.

۲-۳-۱- روش پخش سیلاب

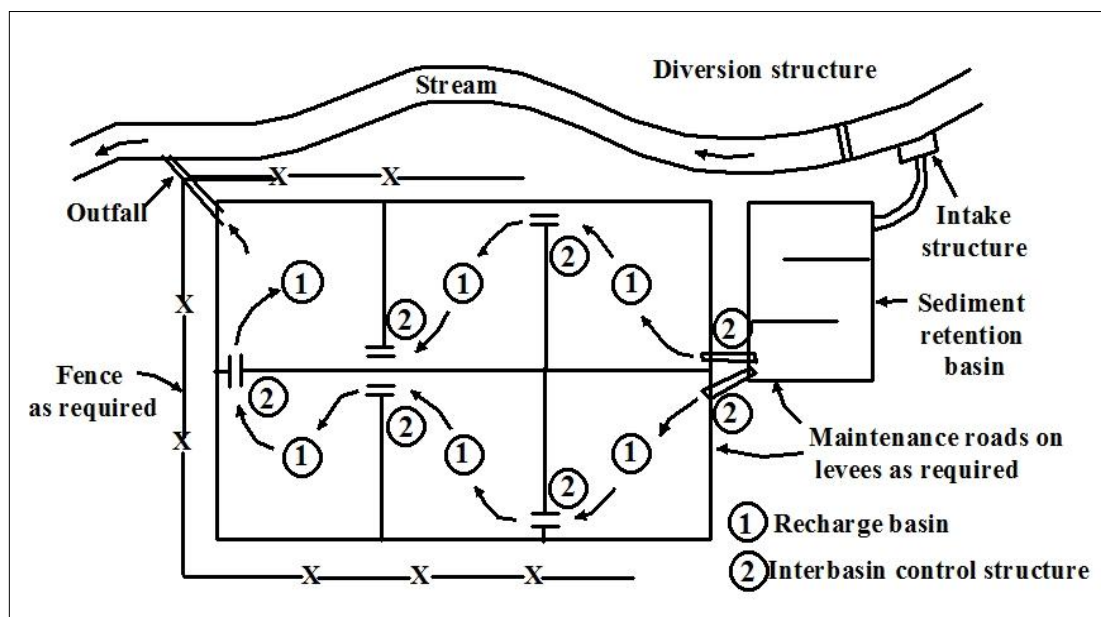
پخش سیلاب یکی از روش‌های آبیاری بوده و ساده‌ترین و کم خرج‌ترین روشی است که از قدیم در کشور ما هم رواج داشته است. کشاورزان در فصول پرآب، با این روش از هدر رفتن آب جلوگیری نموده و زمین‌های خود را آبیاری می‌کنند. در صورتی که اراضی نفوذپذیر با پستی و بلندی‌های مناسب و شیب کم، حدود ۱ تا ۳ درصد در اختیار باشد، می‌توان آب را بر روی سطحی نسبتاً وسیع پخش کرد (Todd & Mays 2005 و Bhattacharya 2010). در این روش ابتدا با احداث یک سرریز یا بند کوچک در مسیر رودخانه، سیلاب را منحرف کرده و از طریق نهر آبرسانی به بالاترین نقطه

زمین‌های مورد تغذیه می‌رسانند. سپس جریان سیلاب از طریق نهر آبرسانی به نهر آبرسان گسترشی منتقل می‌گردد. در پایین دست هر کانال آبرسان گسترشی یک یا چند کانال پخش به صورت موازی قرار می‌گیرد؛ که پس از پر شدن هر کانال آب وارد کانال بعدی می‌شود. از مزایای پخش سیلاب به مواردی از جمله: کمترین هزینه نسبت به سایر روش‌ها، استفاده از مواد معلق سیلاب‌ها برای احیاء اراضی و حاصل‌خیز نمودن زمین‌های بایر، ایجاد امکانات لازم جهت تبدیل عرصه‌های خشک به مراتع مشجر و انبوه، توسعه زیستگاه‌های جنگلی و مرتعی، بهبود وضعیت آب و هوا و اقلیم، فراهم نمودن زیستگاه‌هایی در مناطق بیابانی، مهار شنزارها و تثبیت شن‌های روان، امکان خاک‌شویی خاک‌های شور و غیره می‌توان اشاره کرد (رحمانی ۱۳۷۲، Todd and Mays 2005). معایب این روش نیاز به زمین وسیع برای پخش، عدم کارایی برای زمین‌های با نفوذپذیری سطحی کم، تلفات زیاد در اثر تبخیر و تخریب در اثر وقوع سیلاب‌های بزرگ می‌باشد.

۲-۳-۲- حوضچه‌های تغذیه

حوضچه‌های تغذیه از جمله روش‌های متداول تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. در این روش با ساختن حوضچه‌هایی در روی زمین و پر کردن آن‌ها از آب، سعی می‌شود که مقدار نفوذ آب به درون زمین را افزایش دهند. ممکن است چندین حوضچه نزدیک به هم به صورت موازی یا سری و یا یک حوضچه نسبتاً بزرگ احداث شود (زینالی ۱۳۷۸). آب از رودخانه توسط یک شیار (نهر) به درون حوضچه بالادست هدایت می‌شود؛ همانطور که اولی پر می‌شود، به دومین حوضچه سرریز می‌شود و این فرآیند از طریق ورود به زنجیره حوضچه‌ها تکرار می‌شود و از پایین‌ترین حوضچه، آب به کانال رودخانه باز می‌گردد. شکل (۱-۲) یک نمونه از حوضچه‌های تغذیه را نشان داده است. معمولاً اشکال و اندازه حوضچه‌های با شیب سطح زمین تطبیق داده می‌شود. آب عاری از گل ولای در جلوگیری از بسته شدن حوضچه‌ها در حین نفوذ آب کمک می‌کند. بیشتر حوضچه‌ها نیازمند دوره‌های حفاظت می‌باشند تا نرخ نفوذ را توسط گودبرداری یا خراشیدن سطوح کف (زمانی که خشک هستند) افزایش

دهند (Todd and Mays 2005). نوری و همکاران (۱۳۸۲) معتقدند که حوضچه‌های تغذیه معمولاً در نقاطی که قابلیت نفوذ آب در زمین زیاد باشد؛ مانند: مخروط‌افکنه‌ها، که بصورت قله سنگ و ریگ هستند احداث می‌شوند. حوضچه‌های تغذیه با توجه به استفاده‌ی بهینه از زمین و هزینه کم نگهداری مناسب‌ترین روش تغذیه می‌باشند. مهمترین عیب حوضچه‌های تغذیه، کاهش نفوذپذیری به مرور زمان می‌باشد. برای رفع این مسئله معمولاً آب را وارد حوضچه‌های آرامش کرده و پس از ته‌نشینی مواد حمل شده توسط آب، آن را وارد حوضچه‌های نفوذ می‌کنند. چنانچه شرایط زمین و توپوگرافی برای احداث حوضچه‌ها به صورت سری فراهم باشد، از مزایای زیر برخوردار است: ۱- وجود قابلیت ذخیره بالا، زمان نفوذ را طولانی می‌کند. ۲- حوضچه‌های بالا دست به عنوان رسوبگیر برای حوضچه‌های پایین دست عمل می‌کنند. ۳- امکان انحراف آب از حوضچه‌ها و انجام عملیات دوره‌ای نگهداری مانند: عملیات لایروبی، دیسک زدن و تیغ زدن کف حوضچه‌ها برای حفظ نفوذپذیری خاک وجود دارد (وزارت نیرو ۱۳۸۶). حدود ۶۰ درصد از طرح‌های تغذیه مصنوعی اجرا شده در کشور به روش حوضچه‌ای می‌باشد. ازجمله طرح‌های اجرا شده به این روش: طرح تغذیه دشت ورامین، زرتول در استان سمنان، بویین زهرا و خیرآباد در دشت زنجان که حجم تغذیه سالیانه هر کدام از این طرح‌ها به ترتیب ۲۰-۱۵، ۳-۰/۸، ۲ و ۱ میلیون مترمکعب می باشد (عباسی ۱۳۷۸).



شکل ۲-۱) طرح حوضچه‌های تغذیه چندتایی برگرفته از (Todd and Mays 2005)

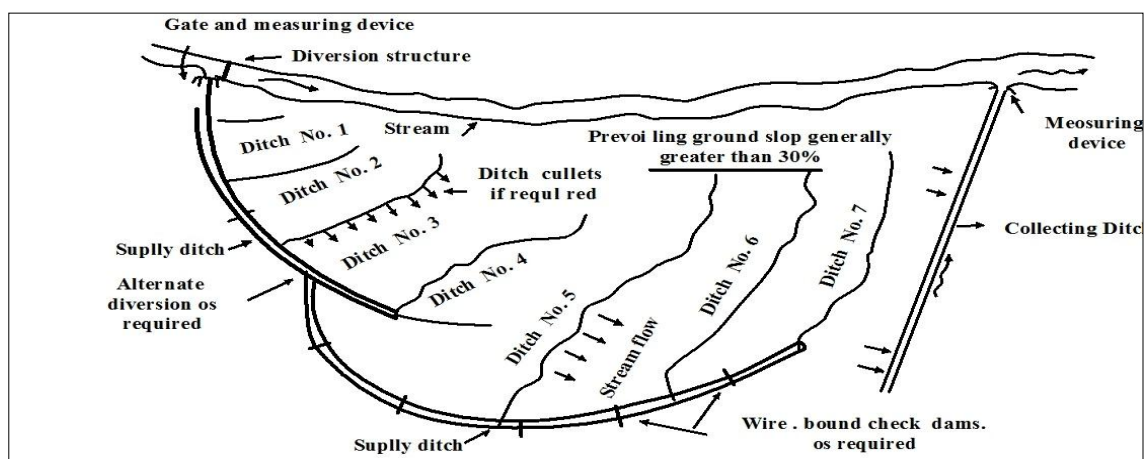
۲-۳-۳- پخش آب در کانال

جایی که یک کانال جریان کوچک وجود دارد و جریان از طریق یک دره‌ی نسبتاً عریض جاری شود، مناسب است. اما در جایی که در رودخانه یا نهرها، سیل‌های ناگهانی رخ می‌دهد، مناسب نیست و سیل‌گیرها ممکن است تخریب شوند (Singh & Ravichandran 2011). جریان رودخانه و کانال، نفوذ ذاتی را تغییر می‌دهند. مخازن بالادست قادرند که رواناب نامنظم را تنظیم کنند و به صورت ایده‌آل جریان رودخانه را به نرخی که بیشتر از ظرفیت جذب کانال‌های پایین دست نباشد محدود می‌کنند. اصلاح کانال‌های جریان ممکن است شامل: عریض شدن، تراز کردن، کلنگ‌زنی یا شیاربندی باشد؛ که نفوذ افزایش یابد. به‌علاوه سرریز سدهای کوچک و دایک‌ها می‌توانند در عرض یک رودخانه ساخته شوند. کانال‌ها به طور گسترده در کالیفرنیا و کلرادو استفاده می‌شوند که برای افزایش سطح تر شده بستر رودخانه نیاز به تغییر وضعیت رودخانه دارند (Todd and Mays 2005).

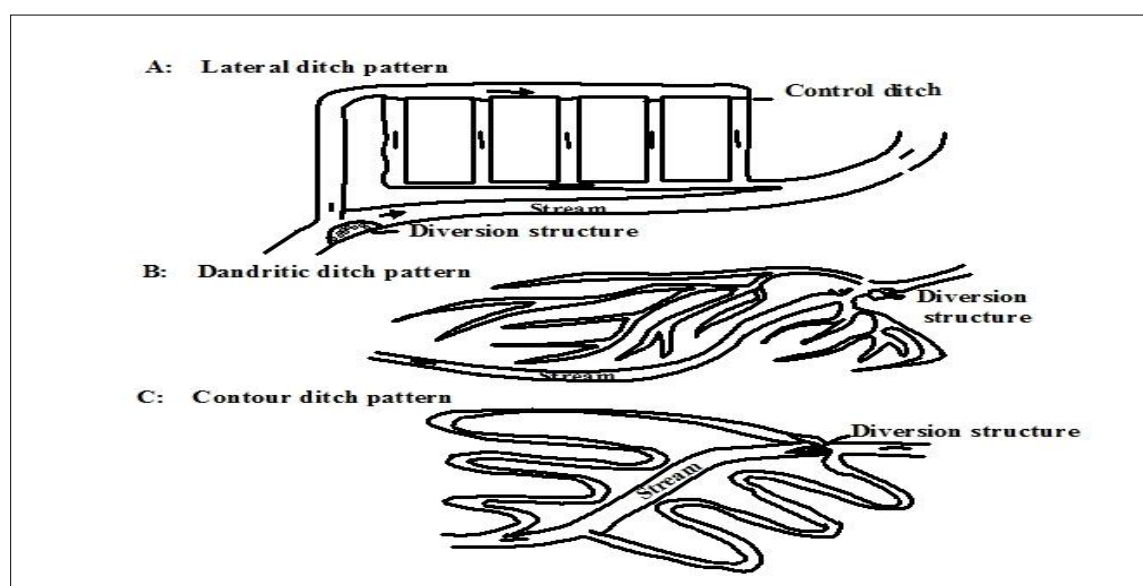
۲-۳-۴- روش نهر و شیار

در نواحی با توپوگرافی نامنظم، کم عمق و مسطح شده نهرها و شیارها با فاصله‌ی نزدیک به هم حداکثر سطح تماس آب را برای تغذیه آب از منبع یا کانال فراهم می‌کنند. این روش نیازمند آماده

سازی خاک کمتری نسبت به حوضچه‌های تغذیه می‌باشد و به رسوب حساسیت کمتری دارد (Ministry of water resources of India 2000, Chartterji 2007, Bhattacharya 2010, Sing & Ravichandran 2011). براساس مطالعات چارترجی (Chartterji 2007) عرض نهرها معمولاً ۰/۳ تا ۱/۸ متر می‌باشد. در این روش یک کانال جمع‌آوری آب برای انتقال بیش از حد آب برگشتی به منبع جریان یا کانال باید فراهم شود. شکل شماتیکی از این سیستم تغذیه در شکل (۲-۲) نشان داده شده و سه الگوی رایج این روش تغذیه شامل: الگوی نهر جانبی، الگوی شاخه درختی و الگوی کنتوری در شکل (۳-۲) نشان داده شده‌اند.



شکل (۲-۲) شماتیکی از سیستم تغذیه نهر و شیار برگرفته از (Chartterji 2007)



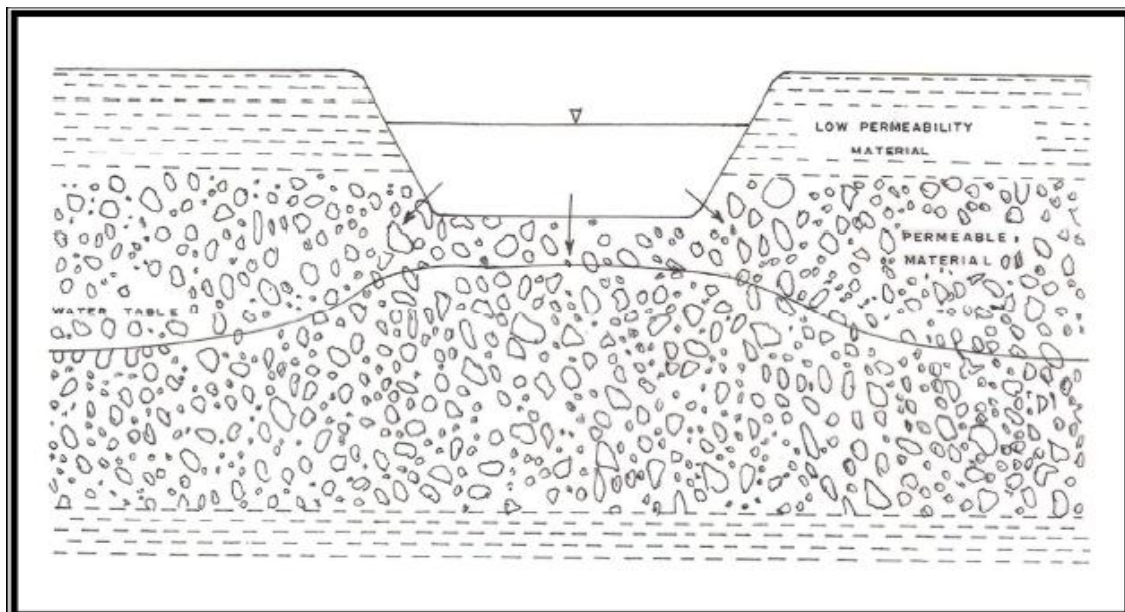
شکل (۳-۲) الگوهای رایج در سیستم تغذیه نهر و شیار برگرفته از (Chartterji 2007)

۲-۳-۵- روش گودال و شفت‌های تغذیه

گودال‌ها و شفت‌های تغذیه، ساختارهای تغذیه مصنوعی هستند، که به طور رایج برای تغذیه آبخوان فراتیک کم عمق استفاده می‌شوند. گودال‌ها و شفت‌ها لازم نیست که مثل چاه‌های تغذیه (که در ادامه این فصل توضیح داده شده) تا سطح ایستابی نفوذ کنند. هد گرانشی و تغذیه آب از طریق زون ودوز نفوذ می‌کند (Chartterji 2007).

الف) گودال‌های تغذیه

براساس مطالعات انجام شده توسط (Chartterji 2007) گودال‌های تغذیه معمولاً گودال‌های حفاری شده‌ای می‌باشند که به اندازه‌ی کافی عمیق هستند تا به لایه‌های با نفوذپذیری کم بالای آبخوان‌های آزاد نفوذ کنند (شکل ۲-۴). آنها در اصل شبیه به حوضچه‌های تغذیه هستند تنها با این تفاوت که آنها عمیق‌ترند و به یک منطقه عمیق‌تر محدود می‌شوند. در بسیاری از این ساختارها نفوذ جانبی از طریق دیواره‌ی گودال رخ می‌دهد، که همانند لایه‌های رسوبی و مواد آبرفتی هدایت هیدرولیکی افقی به طور قابل توجهی بیشتر از هدایت هیدرولیکی عمودی است. گودال‌های معدنی رها شده می‌توانند به عنوان گودال‌های تغذیه در جایی که آنها توسط افق‌های نفوذپذیر زیر زمین قرار گرفته‌اند، استفاده شوند. گودال‌های تغذیه ممکن است به عنوان مخزنی برای ذخیره و نفوذ آب استفاده شوند. به دلیل بالا بودن هزینه حفاری و خاکبرداری استفاده از حفرات رها شده همانند گودال‌های گراولی اقتصادی است. گل و لای معمولاً در کف گودال ته‌نشین می‌شوند و اجازه می‌دهند که دیواره‌ها به طور نسبی برای ادامه‌ی نفوذ آب مسدود نشوند. توجه به ژئومتری یک گودال تغذیه در تنظیم دست یافتن به حداکثر نرخ نفوذ اهمیت دارد (Todd and Mays 2005). از جمله مزایای این روش، استفاده در مناطق دارای طبقات نفوذناپذیر، از قبیل لایه‌های سخت و رسی که در عمق کمی از سطح زمین قرار داشته و باعث محدود شدن حرکت روبه پایین می‌گردند، حفر گودال‌ها و رسیدن به لایه نفوذپذیر آب یک مزیت محسوب می‌شود (زینالی ۱۳۸۷).



شکل ۲-۴) شماتیکی از گودال تغذیه

ب) شفت‌های تغذیه

شفت‌های تغذیه شبیه گودال‌های تغذیه هستند، اما برای افزایش تغذیه به درون سفره‌های فراتیک که در آن سطح آب بسیار عمیق تر و در مناطقی از آبخوان با لایه‌های با نفوذپذیری کم، استفاده می‌شوند. به علاوه آن‌ها در سطح مقطع مقایسه شده، بسیار کوچکتر از گودال‌های تغذیه هستند. شفت تغذیه ممکن است به صورت دستی حفر شود. برای ساختن شفت‌های عمیق‌تر حفاری توسط حفاری چرخشی مستقیم یا معکوس ممکن است، مورد نیاز باشد. شفت‌ها اگر دستی حفر شده باشند، قطرشان در پایین ممکن است ۲ متر یا بیشتر باشد ولی شفت‌های حفاری شده قطرشان بیش از یک متر تجاوز نمی‌کند. شفت باید لایه‌ی با نفوذپذیری کم را قطع کند اما لازم نیست حتماً به سطح ایستابی برسد (Chartterji 2007). مزایای این روش توسط سینگ (Singh) و راویچندران (Ravichandran 2011) بصورت موارد زیر ارائه شده است:

- این روش به زمین زیادی نیاز ندارد.
- عملاً هیچ تلفات آبی در قالب رطوبت خاک و تبخیر وجود ندارد.

- چاه‌های حفاری شده غیرقابل استفاده یا حتی قابل استفاده می‌توانند به شفت‌های تغذیه تبدیل شوند و نیازی به سرمایه‌گذاری مجدد برای ساختمان تغذیه وجود ندارد.
- تکنولوژی و طرح شفت تغذیه ساده و کاربردی است؛ حتی در جایی که جریان پایه برای یک دوره محدود در دسترس باشد.
- تغذیه سریع است و بلافاصله به طور مفید انجام می‌شود، در سازندهای با نفوذپذیری بالا شفت‌های تغذیه با مخازن تراوش قابل مقایسه هستند.
- آب گل آلود به راحتی می‌تواند تغذیه شود.

۲-۳-۶- روش چاه تزریق

در محل‌هایی که شرایط لازم برای تغذیه سطحی به دلایل مختلف از جمله: وجود لایه‌های نفوذناپذیر یا دارای نفوذپذیری کم در بالای آبخوان، کم بودن نفوذپذیری لایه‌های سطحی، گرانی قیمت زمین یا کمبود زمین امکان نداشته باشد، تغذیه مصنوعی با استفاده از چاه انجام می‌شود. چاه‌های تزریق، آب‌زیرزمینی را با وارد کردن مستقیم آب به داخل آبخوان از طریق چاه‌های تغذیه، شفت یا چاه‌های ارتباطی دیگر تغذیه می‌کنند. چاه‌های تغذیه یا تزریق شبیه چاه‌های معمولی اما با هدف افزایش دخیره آب‌زیرزمینی یک سفره محبوس توسط پمپاژ آب سطحی تصفیه شده تحت فشار می‌باشند. از چاه‌های تزریق برای تغذیه سفره‌های محبوس یا سفره‌های عمیق - پایدار با لایه‌ی روبی با نفوذپذیری ناچیز، در نواحی آبرفتی، در آبخوان‌های سنگی و درز و شکافدار و آبخوان‌های ساحلی (برای پیشگیری از نفوذ آب شور و کنترل فرونشست) استفاده می‌شود. لازم است که از خلوص آب منبع مطمئن شده تا با شیمی آب سفره سازگاری داشته باشد؛ که از انسداد مکرر سازه‌های تزریق توسط رشد باکتری‌ها، رسوب شیمیایی یا ته‌نشین شدن گل و لای جلوگیری شده و مانع از کاهش تراوایی آبخوان گردد. تغییر در میزان pH و Eh از شرایط سطحی تا شرایط موجود در آب آبخوان می‌تواند باعث افزایش واکنش‌های شیمیایی شده و بر تراوایی تأثیر بگذارد. در سنگ‌های درز و شکافدار علاوه بر مؤثر بودن

روش تزریق، نفوذپذیری خیلی زیاد مناسب نیست، زیرا به همان اندازه اجازه نمی‌دهند، آب برای دوره‌ی طولانی استفاده در فصول خشک نگهداری شود. به طور کلی جریان آب در چاه‌های تغذیه عکس جریان آب در چاه‌های بهره‌برداری است، ولی ساختمان چاه ممکن است هم شکل یا متفاوت از چاه بهره‌برداری باشد. هنگام تغذیه و ورود آب به آبخوان یک مخروط تغذیه در اطراف چاه شکل می‌گیرد که عکس مخروط افت چاه بهره‌برداری می‌باشد. اهداف دوگانه روش تزریق یعنی تزریق باضافه پمپاژ چاه‌ها بیشترین کارآمد را دارند. به دلیل هزینه زیاد چاه، پیش تصفیه آب مورد تغذیه و تأسیسات لازم برای تعمیر و نگهداری، معمولاً تغذیه توسط چاه از سایر روش‌های تغذیه پر هزینه‌تر می‌باشد؛ مگر در مواردی که بهای زمین بالا بوده یا شرایط آن برای تغذیه سطحی نامناسب باشد. تزریق معمولاً به دو صورت ASR و ASTR انجام می‌شود (وزات نیرو ۱۳۸۴، Martin & Dillon 2002, Todd 2005, Singh & Ravichandran 2011, Ravichandran *et al.* 2011).

از جمله مزایای چاه تزریق:

- فضای کمی برای تأسیسات چاه مورد نیاز است.
- راندمان بازیافت به طور معمول بیش از ۵۰٪ است.
- تنها روش اقتصادی دسترسی به سفره‌های محبوس می‌باشد.
- نرخ تزریق و بازیافت می‌تواند به صورت مکانیکی کنترل شود، تا مطمئن شده که نرخ مطلوب به دست آمده است.

معایب چاه تزریق:

- انسداد ماتریکس سفره یا اسکرین‌ها با مواد دانه ریز یا به دلیل فعالیت‌های میکروبی
- تأثیر واکنش‌های ژئوشیمیایی بین سنگ و آب تزریقی بر روی کیفیت آب بازیافتی
- کاهش راندمان بازیافت تا ۱۰٪ در سنگ‌های درز و شکافدار
- ظرفیت کم چاه‌های تزریقی و کاهش سریع آن

- ریزش چاه از طریق انحلال اجزا و ذرات سفره
- هزینه زیاد تعمیر و نگهداری تأسیسات
- کم بودن عمر مفید چاه‌های تزریق

۲-۳-۶-۱- روش ASR

ASR مخفف Aquifer Storage and Recovery به معنای تزریق آب درون یک چاه برای ذخیره و بازیافت از همان چاه می باشد که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است (Dillon & Molloy 2006, Murray et al. 2007, Murray & Harris 2010). این روش برای هر دو نوع آبخوان آزاد و محبوس مناسب است. در مناطقی که آب زیرزمینی شیب هیدورلیکی کمی دارد، بهینه است و به طور نسبی هزینه این طرح کم تا متوسط می باشد. معمولاً تصفیه زیاد است، شن و بار رسوبی باید حذف شوند تا انسداد چاه حداقل شود و نیازمند جدایش، لوله‌ی تغذیه و اتصالات در همان چاه می باشد. براساس تحقیقات Murray & Harris (۲۰۱۰) یک مورد مطالعاتی از این طرح در خرکامز (kharkams) یک روستای کوچک در منطقه نیمه خشک ناماقلند (Namaqualand) جنوب آفریقا که فقط وابسته به آب زیرزمینی می باشد، با هدف افزایش آبدهی و کاهش شوری آب زیرزمینی با استفاده از رواناب سطحی بررسی شده است. در این مطالعه برای تصفیه از فیلتراسیون ماسه استفاده شده، که نهایتاً با سه دوره‌ی زمانی منجر به افزایش آبدهی و کاهش شوری آب غیر قابل شرب با $EC=3000 \mu s/cm$ به آب قابل شرب با کیفیت خوب ($EC<1000 \mu s/cm$) شده است. اما تعمیر و نگهداری ضعیف فیلتر ماسه بازده عملیات را کاهش می دهد. سابقه استفاده از ASR در آمریکا و استرالیا بیشتر از سایر کشورها می باشد. به ویژه در دوده‌ی گذشته در آمریکا روی طرح‌های ASR متمرکز شده اند. یک افزایش قابل توجه در شمار طرح‌های ASR در طول ۲۰ سال گذشته وجود دارد. بررسی‌های اخیر نشان می دهد که در سال ۲۰۰۱، حدود ۳۰ طرح اجرایی و بیش از ۱۰ طرح آزمایشی در حال اجرا است. اغلب طرح‌های ASR، برای آب آشامیدنی و افزایش بازده بهره‌برداری سیستم آب طراحی شده- اند. بزرگترین عملیات ASR در حوزه‌ی آبی لاس وگاس (Las Vegas) وجود دارد. اغلب طرح‌ها در

ابتدا برای تأمین آب شهری و ذخیره‌ی فصلی استفاده می‌شوند و بسیاری از طرح‌ها مزایای ثانویه‌ای مانند بهبود تراز آب‌های زیرزمینی، پیشگیری از نفوذ آب شور، حفاظت از زیستگاه گونه‌های در معرض خطر، بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی و استفاده اختصاصی از آب‌های سطحی دارند. در اغلب موارد منبع آب مورد استفاده، آب سطحی است. بیش از یک قرن است که در کوه گمبیر (Gambier) در جنوب استرالیا طرح تغذیه مصنوعی از طریق چاه اجرا شده است. این شهرستان کوچک همه‌ی رواناب را با بیش از ۳۰۰ حلقه چاه که در سراسر شهر پراکنده شده به درون یک آبخوان کارستی می‌فرستد. تغذیه سالانه بین ۳/۶ تا ۶/۲ میلیون متر مکعب می‌باشد. تحقیقات قابل توجهی در رابطه با ASR اخیراً در استرالیا روی تغییرات کیفیت و میکروبیولوژیکی متمرکز شده که ناشی از اختلاط و ذخیره زیرسطحی رخ می‌دهد. یک بخش مهمی از این تحقیق به استفاده از فاضلاب باران، آب رودخانه و آب احیا شده مرتبط است. در سال ۲۰۰۲، ۲۵ طرح عملیاتی به منظور افزایش موارد استفاده از آب باران و یا آب احیا شده برای کشاورزی تحت توسعه یا بررسی بوده‌اند (Murray et al. 2007). از جمله مزایای ASR عبارتند از:

- حفاظت و استفاده‌ی مجدد از آب (به ویژه در کشورهایی که پساب تصفیه شده در ASR استفاده می‌شود).
- افزایش ظرفیت منابع آب برای برآوردن نیازهای آبی و در همان حال به حداقل رساندن اثرات محیطی
- تعادل بخشی به منابع آب زیرزمینی
- جلوگیری از پیشروی آب شور

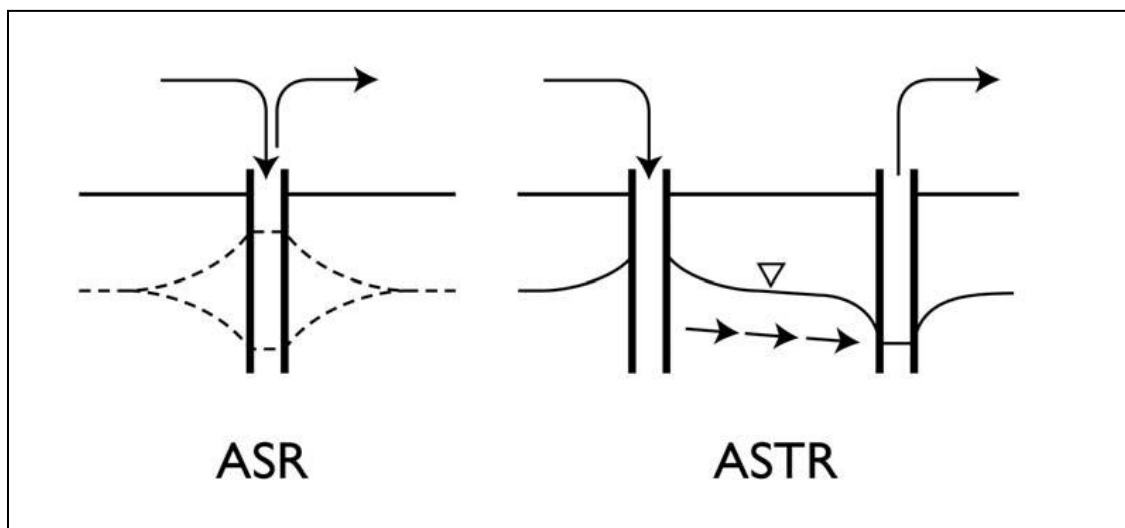
مهمترین مشکلاتی که در ASR وجود دارد عبارتند از:

- انسداد (به ویژه زمانی که آب تغذیه شده کیفیت آشامیدنی نداشته باشد).
- معمولاً آبدهی کمتر از آنچه انتظار است، می‌باشد.

- محدودیت‌های زمین شناسی (مانند نفوذپذیری کم، ظرفیت ذخیره کم، اطلاعات ضعیف از خصوصیات جریان آب زیرزمینی)
- مشکلات ژئوشیمیایی و تغییر کیفیت آب تغذیه شده

۲-۳-۶-۲- روش ASTR

ASTR مخفف Aquifer Storage Transfer and Recovery به مفهوم تزریق آب به درون یک چاه برای ذخیره و بازیافت همان آب از طریق یک چاه دیگر می‌باشد. در شکل (۲-۵) طرح شماتیکی از این روش نشان داده شده است. ASTR برای هر دو نوع آبخوان آزاد و محبوس مناسب است. هزینه نسبی آن متوسط تا زیاد است و تغذیه معمولاً در چاه‌های با شیب زیاد صورت می‌گیرد. در این روش تصفیه معمولاً در حد بالایی می‌باشد. شن و رسوبات معلق باید حذف شوند تا انسداد چاه به حداقل برسد. فرآیند انتقال کیفیت آب تغذیه شده را می‌تواند بهبود دهد (وزارت نیرو ۱۳۸۴، Murray & Harris 2010, Murray et al. 2007, Dillon & Molloy 2006). یک مطالعه‌ی موردی از ASTR در ویلیستن (Williston) آفریقا اجرا شده است. این شهر برای تأمین مصارف خانگی به آب زیرزمینی متکی است. این طرح با هدف افزایش بهره‌برداری چاه‌های استخراج موجود می‌باشد و منبع آب مورد استفاده برای طرح، از آبخوان مجاور است که نیاز به تصفیه هم ندارد. در نهایت با اجرای این روش به طور ویژه آبدهی دسترس پذیر دو برابر شد و موضوع مهم این که نظارت دوره‌ای، برای تعادل ترازهای آب زیرزمینی در آبخوان ضروری شد. قدیمی‌ترین طرح‌های ASTR نیز در استرالیا و آمریکا اجرا شده‌اند (Murray & Harris 2010). در کشور ما در طرح تغذیه مصنوعی ذاکر، در دشت زنجان پس از کاهش نفوذپذیری حوضچه‌های تغذیه، درون هر حوضچه یک یا دو چاه حفر شده و تغذیه از طریق چاه صورت گرفته است. حجم تغذیه سالیانه طرح ذاکر از طریق ۲۰ حلقه چاه، ۱۵ میلیون متر مکعب می‌باشد (عباسی ۱۳۷۸).



شکل ۲-۵) طرح شماتیکی از روش‌های ASR و ASTR برگرفته از (Dillon and Molloy 2006)

۲-۳-۷- تغذیه غیر مستقیم

روش غیر مستقیم برای تغذیه آب زیرزمینی با نفوذ مستقیم آب به درون سفره‌ها متفاوت است. اغلب روش‌های رایج در تغذیه واداری از منابع آب سطحی و یا روش‌های مدیریت شده تغذیه آبخوان می‌باشند (Chartterji 2007). در روش غیر مستقیم، در نزدیکی مناطقی که تخلیه آبخوان به درون منابع سطحی صورت گیرد، با به‌کارگیری ابزار و تأسیسات و پایین انداختن سطح آب در چاه‌های مجاور می‌توان باعث تغذیه مصنوعی آبخوان از منابع طبیعی آب، مانند رودخانه یا دریاچه گردید.

در تغذیه واداری یا نفوذ ساحلی (Bank infiltration) که روشی غیر مستقیم است، زمانی که آب از سازندهای زیرزمینی در طول یا نزدیک رودخانه عبور نماید، تصفیه می‌شود. این فرآیند غالباً تا زمانی که یک بهبود کلی در کیفیت آب به‌دست بیاید، استفاده می‌شود (Hofkes & Visscher 1987, Martin & Dillion 2002). بزرگترین مزیت این روش این است که در شرایط مطلوب هیدروژئولوژی، کیفیت آب سطحی به طور کلی بهبود می‌یابد؛ به علت مسیری که از طریق مواد آبخوان قبل از اینکه چاه پمپاژ تخلیه شود، طی می‌شود (Bahattacharya 2010). مزایای دیگر این روش حذف ذرات ریز باکتری، ویروس و حذف ساده‌ی ترکیبات زیست تجزیه پذیر شامل سموم جلبکی می‌باشند. این روش عمدتاً در اروپا و آمریکا بهره‌برداری می‌شود.

۲-۴- انسداد

انسداد به کاهش نفوذپذیری مساحت تأسیسات تغذیه، کاهش درحجم منافذ موجود و نفوذپذیری آبخوان برمی‌گردد. این پدیده‌ی پیچیده ناشی از ترکیب فرایندهای فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی می‌باشد. نتیجه انسداد سطح نفوذ در کاهش نرخ نفوذ یا تزریق مشاهده می‌شود (Bouwer 2002). در چاه‌های تزریق سطح مقطع کوچک است و پدیده‌ی انسداد می‌تواند سریع و برگشت ناپذیر باشد. انسداد معمولاً در حوضچه‌های تغذیه راحت‌تر مدیریت می‌شود. انسداد یک مشکل اجرایی بزرگ است که به کیفیت آب تغذیه مربوط می‌شود. اما شرایط خاص محل، همانند خواص آبخوان، آب زیرزمینی، ساختمان چاه و ابزار تغذیه همه روی فرایند انسداد مؤثرند. انسداد عامل اصلی تأثیر گذار روی تأسیسات پروژه‌های ASR با استفاده از منبع آب با کیفیت پایین می‌باشد. انسداد بیولوژیکی زمانی که آب احیا شده غنی از مواد مغذی به درون چاه‌ها تزریق شود، اهمیت ویژه‌ای دارد. اغلب در ۸۰ درصد از محل‌ها ASR بررسی شده، مشکلات انسداد گزارش شده است. اشکال مختلف انسداد هر کدام می‌توانند ترکیبی از فرایندهای فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی باشند که شامل نفوذ مواد معلق، رشد میکروبی، رسوب شیمیایی، تورم و پراکندگی رس، هوای بدام افتاده و اتصال گازها (رها شدن از محلول یا تولید گازها) می‌باشند. در نیمی از محل‌ها انسداد فیزیکی گزارش شده ناشی از نفوذ مواد معلق است. رشد میکروبی در ۱۵ درصد از محل‌ها و رسوب شیمیایی در ۱۰ درصد از محل‌ها مسبب انسداد بوده‌اند. تقریباً همه‌ی طرح‌های تغذیه مصنوعی توسط انسداد تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اگرچه نرخ و شدت مسئله متغیر خواهد بود. به همین دلیل همه‌ی نرخ‌ها باید تدارکاتی را برای اندازه‌گیری‌های مفید فراهم کنند. اما مارتین (2013) اثبات کرد که پیشگیری از باقی‌مانده بهترین روش است، در صورت اجبار از وجود روش‌های پیشرفته مصنوعی استفاده می‌شود. کیفیت آب تغذیه‌ای عامل کلیدی است و مواد معلق به عنوان معیار اصلی برای هر دو نوع طرح‌های نفوذ سطحی و تزریق چاه می‌باشد. پارامترهای مهم دیگر شامل pH، غلظت کربن آلی و مواد مغذی می‌باشند. در مورد تغذیه مصنوعی با تزریق از هوای بدام افتاده و تولید گاز باید اجتناب شود. شناخت

کافی و به موقع از انسداد، معمولاً فرصتی برای ترمیم ظرفیت اولیه طرح با استفاده از یک روش پیشرفته مناسب فراهم می‌کند. با وجود تلاش‌های بسیاری که با استفاده از پارامترهایی مانند مجموع مواد جامد معلق و کدورت برای انسداد فیزیکی و مجموع کربن آلی، کربن آلی حل شده و جذب شده برای انسداد بیولوژیکی صورت گرفته، پیش‌بینی انسداد نامشخص است. روش‌های عملی حمایت شده توسط (Bouwer 2002, Martin 2013) خواستار آزمون‌های آزمایشی محل برای تعیین پتانسیل انسداد به مدت ۲ سال یا بیشتر می‌باشند. آن‌ها عقیده دارند که اشکال دیگر انسداد (شامل آنهایی که توسط حباب گازها، واکنش‌های باکتریایی و شیمیایی ایجاد می‌شوند) می‌توانند پیشگیری شوند. آن‌ها ثابت کرده‌اند که انسداد فیزیکی می‌تواند پیش‌بینی و کنترل شود. علاوه بر انسداد سطح نفوذ و آبخوان انسداد در چاه‌های بازیافت همچنین ممکن است رخ دهد. از آزمایشات ستون آزمایشگاهی نیز برای پیش‌بینی انسداد استفاده می‌شود. Rinck- Pfeiffer و همکارانش (۲۰۱۳) از مطالعه‌ی ستون آزمایشگاهی برای پیش‌بینی انسداد در یک طرح تصفیه فاضلاب برای بازیافت و استفاده‌ی مجدد در کشاورزی در Bolivar استفاده نموده‌اند. نتایج پیش‌بینی کردند، انسداد فیزیکی مسبب اصلی انسداد در این موارد است. در سیستم نفوذ سطحی انسداد توسط خشک شدن دوره‌ای حوضچه‌ها، به‌صورت مکانیکی با خراشنده‌ها، لودرها یا بصورت دستی با شکاف دادن شیار حذف می‌شود (Bouwer 2002, Todd & Mays 2005). براساس مطالعات باور (2002) انسداد بیولوژیکی در حوضچه‌ها با حذف مواد مغذی و کربن آلی از آب کاهش می‌یابد. از بین بردن یا کاهش انسداد در چاه‌ها با روش‌های توسعه چاه از جمله پمپاژ متناوب، ضربه به آب چاه، هوای فشرده، استفاده از مواد ضدعفونی کننده همچون کلر و ... انجام می‌شود. به طور کلی براساس مطالعات انجام شده انسداد فیزیکی ناشی از وجود مواد معلق مهم‌ترین عامل کاهش نرخ نفوذ در پروژه‌های تغذیه مصنوعی می‌باشد.

۲-۵- طرح‌های تغذیه مصنوعی اجرا شده در کشور

در این بخش به چند مورد از طرح‌های تغذیه مصنوعی اجرا شده در کشور و اثرات آن‌ها اشاره می‌گردد

- طرح تغذیه مصنوعی دشت امامزاده جعفر در گچساران

دشت امامزاده جعفر با وسعتی بیش از ۶۰ کیلومتر مربع در شمال شرق شهرستان گچساران واقع است. این دشت برای کشاورزی بسیار خوب و مستعد می‌باشد. مطابق مطالعات انجام شده توسط ملائی و همکارانش (۱۳۸۶) اجرای طرح تغذیه مصنوعی با روش پخش سیلاب در این دشت، گامی مؤثر در جهت استفاده‌ی بهینه از نزولات جوی برای جبران افت ناشی از بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از خسارات سیل در پایین دست بوده است. همچنین تدبیری مفید برای مشکل خشکسالی و کاهش آثار زیانبار آن می‌باشد. ایجاد طرح‌های کنترل سیلاب در قالب حوضچه‌های تغذیه، گودال‌ها، خاکریزها و کانال‌های پخش در این دشت، سالیانه علاوه بر افزایش بیش از ۳۰ میلیون مترمکعب آب به ذخایر زیرزمینی منطقه، از ورود بیش از یکصد و شصت هزار تن رسوب به رودخانه زهره، ایجاد سیل و خسارت در پایین دست جلوگیری نموده است. این طرح باعث گردید، که مشکل کمبود آب شرب و کشاورزی منطقه حل گردد.

- طرح تغذیه مصنوعی چاه‌های آب در مجاورت نیروگاه حرارتی شهید مفتاح

این طرح در ۵۰ کیلومتری شهر همدان واقع شده است. هدف از اجرای این طرح، تغذیه منابع آب در محل چاه‌های آب نیروگاه و جبران کسری مخزن آب زیرزمینی به‌ویژه در زمان خشکسالی و کاهش محدودیت‌های تولید ناشی از آن در این نیروگاه می‌باشد. آبیگری این طرح از رودخانه قره‌چای با استفاده از یک بند انحرافی می‌باشد، حوضچه‌های تغذیه مجموعاً دارای ۲۰ حلقه چاه تغذیه به عمق ۶۵ متر می‌باشند. اجرای این طرح باعث افزایش آبدهی چاه‌ها از ۱۰۲۰ به ۱۰۳۰ مترمکعب در ساعت و تزریق ۶/۶ میلیون مترمکعب آب به سفره‌های زیرزمینی شده است (شیخی ۱۳۸۶).

- طرح تغذیه مصنوعی جارمه در دشت اندیمشک

این طرح با روش پخش سیلاب در محدوده‌ای به مساحت ۳۲۰۰ مترمربع اجرا شده است. بعد از اجرای طرح، رعیت پیشه (۱۳۸۰) با توجه به هیدروگراف واحد دشت ملاحظه کرد، که سطح آب زیرزمینی علیرغم خشک‌سالی‌های اخیر و بهره‌برداری‌های به عمل آمده، بالا آمده و آبخوان با افزایش حجم روبرو بوده است. سطح آب زیرزمینی ۳/۳۸ متر افزایش و حجم آب آن ۲۷/۰۴ میلیون مترمکعب افزایش داشته است، که نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت تغذیه سفره بر وضعیت آب زیرزمینی دشت بوده است.

- طرح تغذیه مصنوعی دشت قزوین

دشت قزوین از پتانسیل خوبی برای کشاورزی برخوردار است. طرح تغذیه مصنوعی در دشت قزوین، شامل یک کانال انتقال آب، ۴ تا ۶ حوضچه تغذیه و یک حوضچه رسوبگیر می‌باشد. سالانه ۱۷۰ میلیون متر مکعب آب از سد طالقان از طریق کانال به دشت قزوین منتقل شده، که ۱۶ میلیون مترمکعب از آب انتقالی، از طریق حوضچه‌های تغذیه در آبخوان دشت تغذیه می‌شود. این میزان تغذیه آب باعث تقویت سفره آب زیرزمینی منطقه و مانع افت بیشتر سطح آب زیر زمینی می‌گردد (عباسی ۱۳۷۸).

- طرح تغذیه مصنوعی دشت سهرین قره چای زنجان

طرح تغذیه مصنوعی در این دشت از طریق پخش سیلاب انجام می‌گردد. برای ارزیابی عملکرد این طرح، بیات موحد و همکارانش (۱۳۸۴) تأثیر این طرح بر تغییرات دبی یک رشته قنات واقع در عرصه پخش و مقایسه آن با قنات شاهد را مورد بررسی قرار دادند. تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت و چند حلقه چاه مشاهده‌ای منطقه طی هفت سال بعد از احداث طرح نیز مورد بررسی قرار گرفت. بررسی تغییرات بده هر دو قنات (قنات شاهد و قنات واقع در عرصه پخش) در هفت دوره آبی نشان داد، که بده قنات عرصه کاملاً تحت تأثیر استحصال سیلاب بوده و هم‌زمان با پخش سیلاب اندازه دبی آن نیز تغییر قابل ملاحظه‌ای داشته است. اندازه‌گیری‌ها در سه حلقه چاه مشاهده‌ای در

حریم و پایین دست عرصه نشان داد که سطح آب زیرزمینی در آن‌ها تحت تأثیر خشکسالی قرار نگرفته و ضمن جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی باعث افزایش سطح آب آن‌ها به مقدار ۰/۵ متر نیز گردید. در حالیکه در چاه شاهد ۴/۵ متر کاهش ثبت گردید. تغذیه مصنوعی آبخوان در ترسالی می‌تواند از کاهش سطح ایستابی بر اثر بهره‌برداری از آب زیرزمینی جلوگیری کرده و از این راه مدیریت نسبتاً پایداری را برای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی تحقق بخشد.

فصل سوم

روش انجام کار

۳-۱- جمع آوری آمار و اطلاعات بارندگی و دما

برای ارزیابی وضعیت اقلیمی منطقه آمار و اطلاعات بارندگی و دما از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ از اداره هواشناسی استان خوزستان به صورت حضوری اخذ گردید که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲- بررسی‌های زمین شناسی

از مهم‌ترین اطلاعات موجود برای یک منطقه، نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی است. نقشه‌های زمین‌شناسی توسط شرکت نفت و نقشه توپوگرافی منطقه، توسط سازمان جغرافیایی کشور تهیه شده است. بررسی‌های زمین‌شناسی با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ شرکت نفت صورت پذیرفته است. حوضه‌ی آبریز منطقه با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی (Dem) منطقه در محیط Global mapper ۱۴ تهیه شده است. در محیط ArcGIS ۱۰ با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مارون و مسجد سلیمان و نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ اهواز، نقشه زمین‌شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه تهیه گردید.

۳-۳- بازدیدهای انجام شده در منطقه مطالعاتی

جهت آشنایی با منطقه مطالعاتی، آگاهی از محل قرارگیری چاه و وضعیت زمین‌شناسی بازدید علمی از منطقه مطالعاتی لازم و ضروری است. در این تحقیق ۷ مرتبه بازدید صورت گرفت، که در هر بازدید اهداف مختلفی دنبال شد. در ادامه بحث هدف از هر بازدید به طور مختصر ارائه گردیده است. اولین بازدید در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۸ جهت آشنایی با منطقه مطالعاتی، محل قرارگیری چاه و مشاهده سیستم تزریق از پیش طراحی شده در محل انجام گردید. مقادیر pH و EC آب چاه در این تاریخ به ترتیب ۷/۶ و ۶۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر اندازه‌گیری شد. دومین بازدید ۱۳۹۲/۶/۱۶ با هدف

تغییر مسیر تزریق، اندازه‌گیری مسافت لوله گذاری محل عبور رواناب تا چاه و برداشت نمونه‌های خاک حفاری شده موجود در محل صورت گرفت. در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۱۸ لوله گذاری مسیر رواناب از محل ورود رواناب به درون مرغداری تا دهانه چاه و همچنین قرار دادن باران سنج تهیه شده در محل برای اندازه‌گیری باران در منطقه انجام گردید. بازدید چهارم جهت بررسی سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه مطالعاتی، اندازه‌گیری شیب، جهت شیب و فاصله چاه تا سازند میشان در تاریخ ۱۳۹۲/۹/۲۵ انجام شد. در تاریخ ۱۳۹۳/۱/۶ نمونه‌برداری خاک از درون چاه با استفاده از بالابر و تزریق آب به درون چاه صورت گرفت. در این بازدید دو بار تزریق آب انجام گردید. جهت تزریق مجدد آب به درون چاه و بررسی تغییرات سطح آب در چاه، در ۱۳۹۳/۱/۲۵ یک بازدید دیگر صورت گرفت. آخرین بازدید در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۱۲ به همراه کارشناس سازمان آب و برق (جناب آقای مهندس داموغ) و کارشناس شرکت نفت (جناب آقای مهندس حق‌پرست) جهت بررسی زمین‌شناسی و تعیین مسیر حرکت آب‌زیرزمینی (آب تزریق شده) در محل انجام گردید. با توجه به ریز بافت بودن لایه‌های سطحی چاه (نزدیک به سطح) و بیرون‌زدگی سازندهای میشان و گچساران در اطراف بخش آبرفتی منطقه و در محل زهکش اصلی منطقه، جهت جریان به سمت زهکش اصلی منطقه تعیین شد.

۴-۳- تعیین بافت خاک

به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از چاه آزمایشی ASR حفاری شده در منطقه، با استفاده از بالابر از عمق‌های مختلف چاه نمونه خاک تهیه گردید (شکل ۳-۱). در آزمایشگاه نمونه‌های خاک با استفاده از الک‌های استاندارد و شیکر به روش الک خشک و تر دانه‌بندی شدند. برای دانه‌بندی ذرات ریز سیلت و رس از روش هیدرومتری استفاده شد. برای این کار نمونه‌های خاک با استفاده از دو نوع ترازوی دیجیتال Sartorius با دقت ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. ترازوی با دقت بالاتر برای آزمایش هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفت. وسایل مورد نیاز برای انجام آزمایش هیدرومتری شامل: هیدرومتر 152H، دماسنج جیوه‌ای، استوانه مدرج، هم‌زن برقی، آب مقطر، کرنومتر و محلول هگزا

متافسفات سدیم ۴٪ می باشد (شکل ۳-۲). با استفاده از دانه بندی نمونه ها، بافت خاک و لاگ حفاری چاه تهیه و هدایت هیدرولیکی چاه محاسبه گردید.



الف



ب

شکل ۳-۱) الف و ب برداشت نمونه های خاک با استفاده از بالابر



شکل ۳-۲) وسایل مورد استفاده در آزمایش هیدرومتری

۳-۴-۱- روش الک خشک

در این روش پس از کوبیدن کلوخه‌هایی که در اثر از دست دادن رطوبت، ذرات ریز خاک بههم چسبیده و آن‌ها را تشکیل داده‌اند، نمونه‌ها وزن گردید. سپس آن را روی الک‌های استاندارد ۵، ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ مش ریخته و اگر نیاز باشد الک‌های بزرگتر هم استفاده شده و به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر قرار داده تا ذرات ریز و درشت از هم جدا شوند. پس از شیکر شدن، نمونه باقی‌مانده روی الک را وزن کرده و براساس وزن نمونه و وزن کل؛ درصد عبوری و باقی‌مانده روی هر الک محاسبه شد.

۳-۴-۲- روش الک تر

ذرات رس و سیلت نمونه‌های ریزدانه با از دست دادن رطوبت، بههم چسبیده و تشکیل کلوخه می‌دهند. به همین سبب نمونه را وزن کرده و اگر نمونه فقط از رس و سیلت تشکیل شده آن را روی الک ۲۳۰ ریخته و با آب شست و شو داده تا زمانی که آب تمیز از الک ۲۳۰ عبور نماید. نمونه را درون آون با

درجه حرارت ۱۰۰ درجه‌ی سانتی گراد به مدت ۴ ساعت قرار داده تا نمونه کاملاً خشک گردد. اما اگر نمونه درشت دانه‌تر باشد ابتدا آن را روی الک‌های استاندارد ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر قرار داده تا ذرات با اندازه‌های مختلف از یکدیگر تفکیک شوند. پس از الک کردن ۵۰ گرم از نمونه عبوری از الک ۲۳۰ جهت انجام آزمایش هیدرومتری کنار گذاشته می‌شود. سپس ذرات باقیمانده روی الک ۶۰ وزن شده و همانند ذرات رس و سیلت روی الک ۲۳۰ شسته و خشک شود (شکل ۳-۳). در مرحله‌ی بعد نمونه خشک شده را همانند روش الک خشک دانه بندی نموده و درصد عبوری محاسبه می‌گردد.



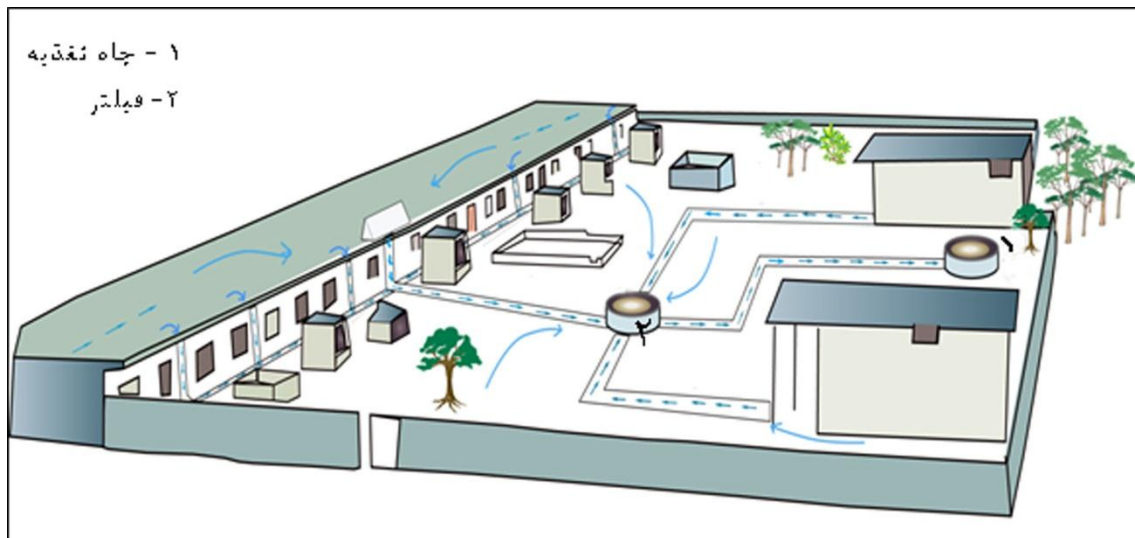
شکل ۳-۳) دانه‌بندی به روش الک تر

۳-۵- طراحی سیستم و تزریق آب

در این تحقیق هدف ذخیره رواناب در چاه تزریق و بازیابی آن بوده است. ۵۰ متر لوله ۲ اینچ پلی اتیلن تهیه و در مسیر تعبیه شده بود تا رواناب ایجاد شده را مستقیماً به درون چاه وارد نماید. به دلیل کمبود بارندگی در منطقه فقط یکبار رواناب در محل ایجاد شد که میزان آن کم و اطلاعات آن قابل استفاده نبوده است. از این رو در سه مرحله تزریق آب توسط تانکر صورت گرفته است (شکل ۳-۴). آب مورد نیاز جهت تزریق همان آب آشامیدنی روستاهای اطراف است، که توسط اداره آب و فاضلاب روستایی شهرستان هفتگل تأمین گردید. علاوه بر تزریق مستقیم که در طول این تحقیق انجام شد، ۶ مرحله تزریق رواناب در سالهای ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ نیز صورت گرفت. تزریق رواناب از طریق مسیر تعبیه شده (شکل ۳-۵) وارد حوضچه ته‌نشست شده (شکل ۳-۶) و سپس به درون یک چاهک ۲ متری که فیلتر در آن تعبیه شده وارد می‌گردد. فیلتر از ذرات شن و ماسه تشکیل شده تا میزان مواد معلق و املاح ورودی به چاه را کاهش دهد (شکل ۳-۷). زیرا در چاه ASR انسداد یکی از عوامل عمده کاهش دهنده نرخ نفوذ می‌باشد.



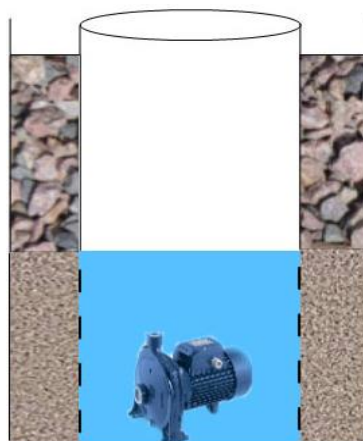
شکل ۳-۴) تزریق مستقیم آب به درون چاه با استفاده از تانکر



شکل ۳-۵) مسیر حرکت رواناب و تزریق آن به درون چاه



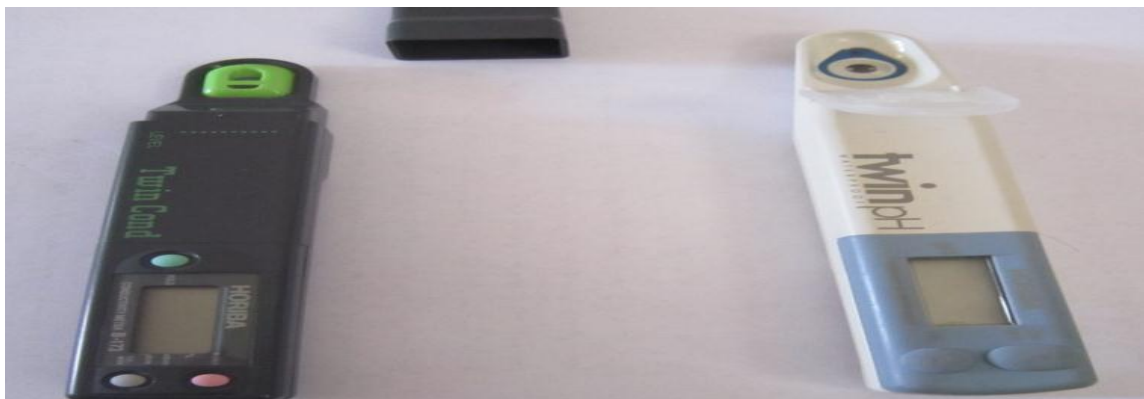
شکل ۳-۶) حوضچه ته نشینی



شکل ۳-۷) فیلتر تعبیه شده در مسیر رواناب

۳-۶- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل

از میان پارامترهای اندازه‌گیری شده، پارامترهایی همانند هدایت الکتریکی، اسیدیته، زمان، سرعت بالا آمدن آب در هنگام تزریق و سپس نرخ پایین رفتن آب بعد از تزریق اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط EC متر ساخت کمپانی Twin Cond با دقت میکروموس بر سانتی متر صورت پذیرفته است. از دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل اسیدیته می‌باشد که بصورت pH بیان می‌شود و با دستگاه pH متر مدل Twin pH با دقت ۰/۱ اندازه‌گیری شده است (شکل ۳-۸). افت و خیز آب توسط عمقیاب الکتریکی ساخت کشور آلمان با دقت ۱ سانتی متر اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۹). لازم به ذکر است که در ۶ مرحله تزریق رواناب تغییرات سطح آب با طناب اندازه‌گیری شده، که از دقت کمتری برخوردار است.



شکل ۳-۸) pH متر و EC متر



شکل ۳-۹) عمقیاب الکتریکی

فصل چهارم

دانه‌بندی نمونه‌های خاک

اعماق مختلف و محاسبه

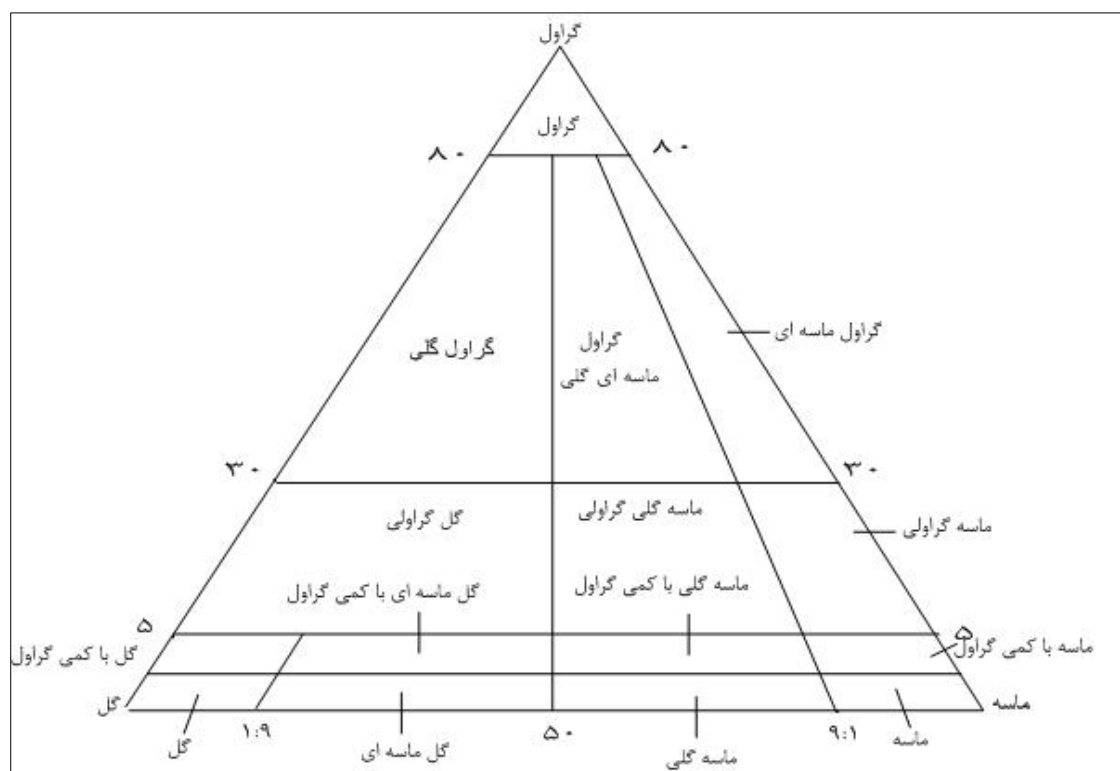
هدایت هیدرولیکی

۴-۱- تعیین نوع بافت خاک

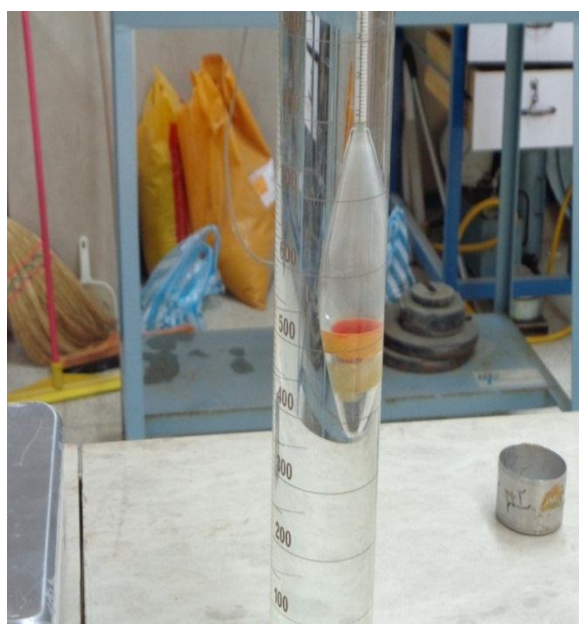
برای تعیین نوع بافت نمونه‌های خاک، ابتدا دانه بندی آن را انجام داده و سپس با توجه به درصد ذرات درشت و ریز نمونه و براساس مثلث دانه بندی فولک نوع بافت خاک مشخص گردید (شکل ۴-۱). برای بعضی از نمونه‌ها آزمایش هیدرومتری نیز استفاده گردید. جهت دانه‌بندی نمونه‌های خاک برداشت شده از اعماق مختلف چاه (بخش آبرفتی چاه)، دو روش الک خشک و تر مورد استفاده قرار گرفت. دانه‌بندی خاک برای ۱۵ نمونه ۲ بار انجام گردید. نتایج حاصل از دانه‌بندی مرحله اول در جدول (۴-۱) نشان داده شده است. بدلیل رضایت بخش نبودن نتایج حاصل از دانه بندی به روش خشک مجدداً دانه‌بندی به روش الک تر انجام گردید، که نتایج آن در جدول (۴-۲) ملاحظه می‌شود. برای دستیابی به این هدف از الک‌های استاندارد ۵، ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ مش استفاده شد. الک ۵ مرز بین گراول و ماسه خیلی درشت می‌باشد و در مواردی که درصد ذرات باقی‌مانده روی الک ۵ مش زیاد بود از الک‌های ۲/۵، ۲، ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ اینچ نیز استفاده گردید. درصد عبوری از هر الک توسط معادله (۴-۱) محاسبه شده است.

$$(۴-۱) \quad \text{درصد عبوری} = \frac{\text{وزن مانده روی همان الک} - \text{وزن عبوری از الک قبلی}}{\text{وزن کل}} \times 100$$

الک ۲۳۰ مرز بین ماسه خیلی ریز و گل می‌باشد. در نمونه‌های مورد مطالعه در صورتی که درصد عبوری از الک ۲۳۰ بیش از ۱۵ درصد بوده، آزمایش هیدرومتری انجام شده است (شکل ۴-۲). دلیل این موضوع این است، که جهت محاسبه هدایت هیدرولیکی، قطرهایی که ۱۰ و ۲۰ درصد ذرات (d_{10} و d_{20}) از آن‌ها عبور کرده باشند، لازم است.



شکل ۴-۱) مثلث طبقه‌بندی رسوبات براساس اندازه‌ی ذرات تشکیل دهنده‌ی آن‌ها (برگرفته از موسوی حرمی ۱۳۸۳)



شکل ۴-۲) آزمایش هیدرومتری

جدول ۴-۱) بافت خاک در اعماق مختلف آبرفت با استفاده از دانه بندی به روش الک خشک

عمق (متر)	% شن	% ماسه خیلی درشت	% ماسه درشت	% ماسه متوسط	% ماسه ریز	% ماسه خیلی ریز	% گل	بافت خاک
۱	۱۲/۲۱	۲۰/۵۳	۱۶/۶۳	۱۵/۵۲	۱۹/۲۰	۸/۱۳	۷/۵۴	ماسه گراولی
۲	۳/۶۸	۳۴/۰۲	۲۳/۶۸	۱۴/۲۶	۱۲/۹۵	۴/۸۳	۳/۹۱	ماسه
۳	۷/۳	۱۶/۸۱	۱۴/۸۶	۱۴/۵۸	۲۵/۹۵	۱۱/۵۵	۱۲/۲۲	ماسه گلی گراولی
۴	۴۲/۲۲	۱۳/۵۰	۱۰/۴۸	۹/۴۴	۱۲/۱۳	۷/۱۳	۵/۳۷	گراول ماسه‌ای
۵	۵/۴	۱۹/۷۶	۱۸/۴۲	۱۳/۲۷	۱۹/۲۱	۱۳/۲۷	۱۱/۴۵	ماسه گلی گراولی
۶	۵۵/۶۴	۱۱/۱۸	۸/۲۱	۶/۰۶	۶/۸۲	۶/۹۹	۲/۱۹	گراول ماسه‌ای
۷	۲۱/۸۸	۱۳/۷۳	۱۶/۴۶	۱۶/۳۳	۱۷/۷۴	۶/۷۲	۸/۰۲	ماسه گلی گراولی
۸	۱۳/۹۴	۱۴/۰۹	۹/۶۲	۷/۵۳	۲۵/۵۹	۱۷/۹۹	۱۱/۲۷	ماسه گلی گراولی
۹	۱۴/۸۷	۱۴/۲۷	۱۰/۶۲	۹/۲۴	۱۹/۰۷	۲۴/۷۵	۷/۱۸	ماسه گراولی
۱۰	۷۴/۱۹	۶/۷۷	۶/۸۸	۴/۸۸	۳/۵۸	۲/۰۹	۱/۴۳	گراول ماسه‌ای
۱۱	۳۲/۴۹	۱۴/۴۰	۱۰/۶۳	۸/۳۸	۱۴/۲۱	۱۱/۲۷	۸/۲۴	گراول ماسه‌ای گلی
۱۲	۲۷/۷۴	۱۹/۹۶	۱۲/۸۱	۸/۸۳	۱۴/۷۱	۸/۷۹	۷/۶۳	ماسه گلی گراولی
۱۳	۲۳/۳۹	۲۱/۸۷	۱۶/۱۳	۱۰/۳۴	۱۳/۰۲	۷/۹۰	۷/۰۱	ماسه گراولی
۱۴	۴۹/۲۴	۱۳/۷۹	۹/۴۰	۵/۰۸	۴/۱۸	۲/۹۷	۲/۶۶	گراول ماسه‌ای
۱۵	۶۵/۹۵	۱۰/۵۰	۶/۶۵	۴/۳۱	۲/۸۳	۲/۱۰	۲/۴۷	گراول ماسه‌ای

جدول ۴-۲) بافت خاک در اعماق مختلف آبرفت در مرحله دوم دانه بندی به روش الک تر

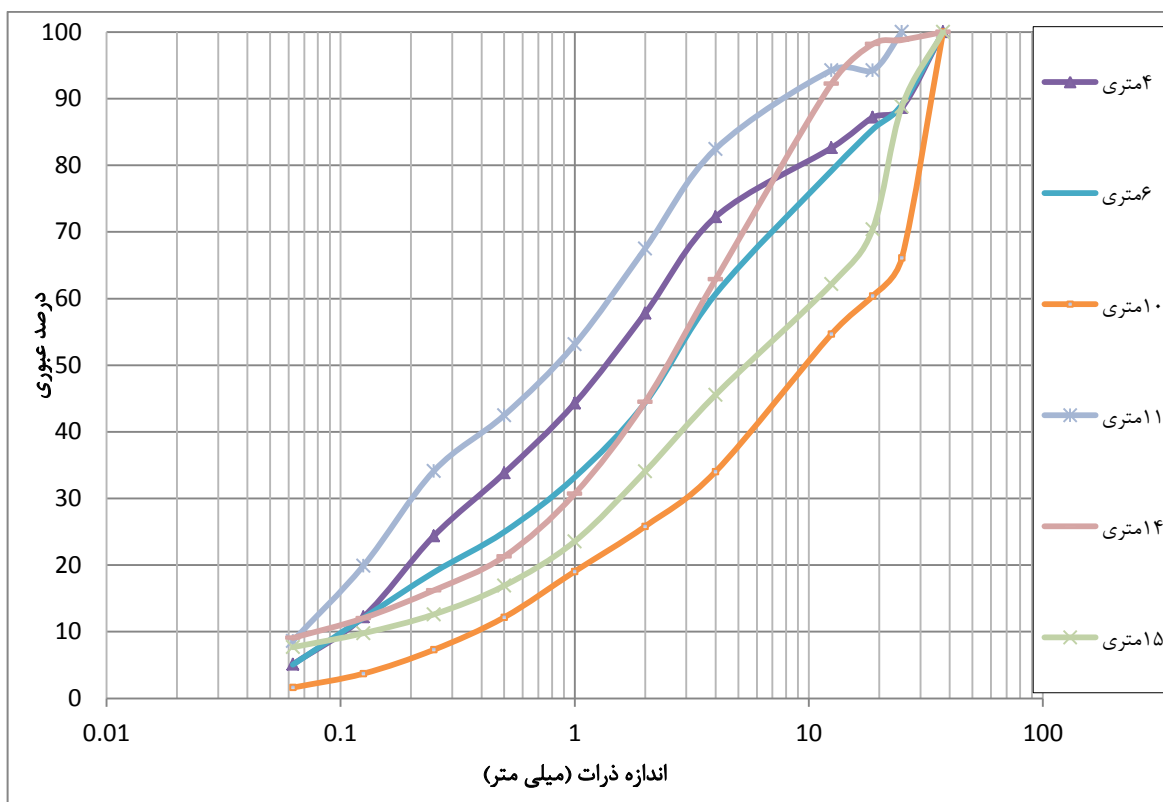
عمق (متر)	% شن	% ماسه خیلی درشت	% ماسه درشت	% ماسه متوسط	% ماسه ریز	% ماسه خیلی ریز	% گل	بافت خاک
۱	۰/۷۳	۲/۳۶	۳/۹۵	۱۶/۶۸	۲۳/۲۴	۱۸/۵۷	۲۷/۹۵	ماسه گلی
۲	۰/۹۳	۵/۲۸	۴/۲۰	۱۵/۸۳	۱۴/۹۲	۱۳/۵۱	۴۴/۸۸	ماسه گلی
۳	۰/۱۴	۲/۲۴	۳/۵۳	۱۹/۹۴	۲۷/۸۳	۹/۷۶	۳۶/۵۶	ماسه گلی
۵	۱/۱۸	۲/۵۵	۳/۴۴	۱۵/۳۶	۲۰/۴۲	۲۵/۱۸	۳۱/۸۸	ماسه گلی
۷	۱/۲۰	۳/۵۴	۸/۱۸	۲۲/۷۶	۲۶/۲۱	۱۸/۱۹	۱۹/۹۱	ماسه گلی
۸	۰/۲۳	۰/۸۱	۱/۲۶	۸/۱۸	۱۴/۴۱	۳۷/۱۲	۳۸/۰۰	ماسه گلی
۹	۰/۹۲	۲/۰۶	۳/۶۷	۱۰/۹۱	۲۵/۲۹	۲۲/۱۱	۳۴/۲۹	ماسه گلی
۱۲	۱/۷۶	۱/۹۶	۴/۱۶	۱۰/۴۰	۱۹/۴۵	۲۴/۰۶	۳۷/۱۳	ماسه گلی
۱۳	۷/۸۸	۳/۱۲	۵/۸۴	۳/۳۲	۹/۲۹	۱۲/۰۵	۵۸/۰۸	گل گراولی

جدول ۴-۳) نتایج آزمایش هیدرومتری بر روی بعضی از نمونه‌های خاک

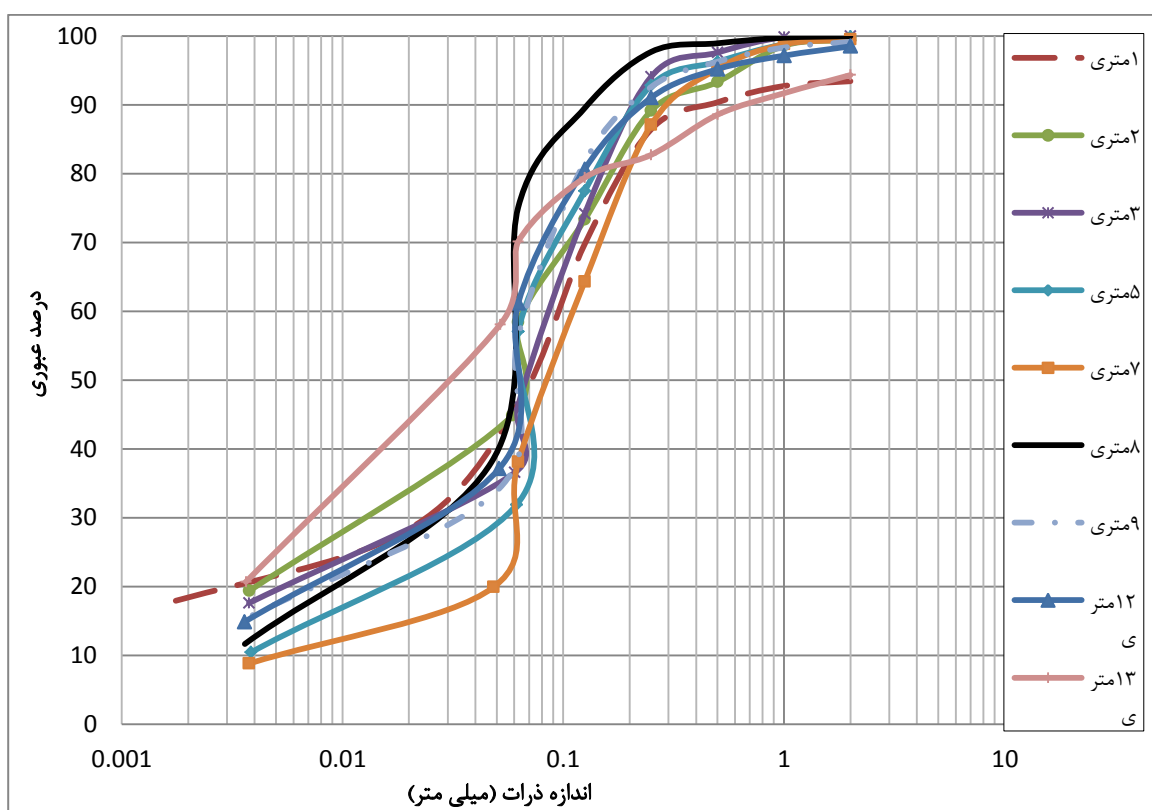
عمق (متر)	% سیلت	% رس	قطر ذرات سیلت (میلی‌متر)	قطر ذرات رس (میلی‌متر)
۱	۱۰/۷۵	۱۷/۲۰	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۱۴۶
۲	۲۵/۵	۱۹/۴۹	۰/۰۵۸۹	۰/۰۰۳۷۸
۳	۱۸/۹۵	۱۶/۳۸	۰/۰۶۰۳	۰/۰۰۳۷۷
۵	۲۰/۴۴	۱۰/۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۰۳۸۵
۷	۸/۸۲	۱۱/۱۰	۰/۰۵۸۳	۰/۰۰۳۷۷
۸	۲۶/۳۴	۱۱/۶۷	۰/۰۴۷۱	۰/۰۰۳۶۱
۹	۱۹/۰۵	۱۵/۲۴	۰/۰۵۱۴	۰/۰۰۳۵۹
۱۲	۲۲/۲۸	۱۴/۸۵	۰/۰۵۱۲	۰/۰۰۳۵۹
۱۳	۳۷/۳۹	۲۰/۶۹	۰/۰۵۱۸	۰/۰۰۳۶۵

۴-۱-۱ نمودار توزیع دانه‌بندی

نمودار توزیع ذرات خاک برای تمام اعماق در شکل‌های (۴-۳ و ۴-۴) نشان داده شده است. شکل (۴-۳) نمودار توزیع ذرات خاک، در نمونه‌هایی که به روش الک خشک دانه‌بندی شده‌اند، را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد، که نمونه خاک عمق ۱۴ متری از همه یکنواخت‌تر می‌باشد. همچنین این شکل نشان می‌دهد، که نمونه‌ی عمق ۱۰ متری از همه دانه‌درشت‌تر است و دارای ۷۴/۱۹ درصد شن می‌باشد. به علاوه عمق ۱۱ متری کمترین میزان شن را در بین نمونه‌های دانه بندی شده به روش خشک دارد؛ ولی درصد ماسه‌ی آن از همه نمونه‌ها بیشتر می‌باشد. در شکل (۴-۴) نمودار توزیع ذرات خاک برای نمونه‌هایی که به روش الک تر و هیدرومتری دانه‌بندی شده‌اند دیده می‌شود.



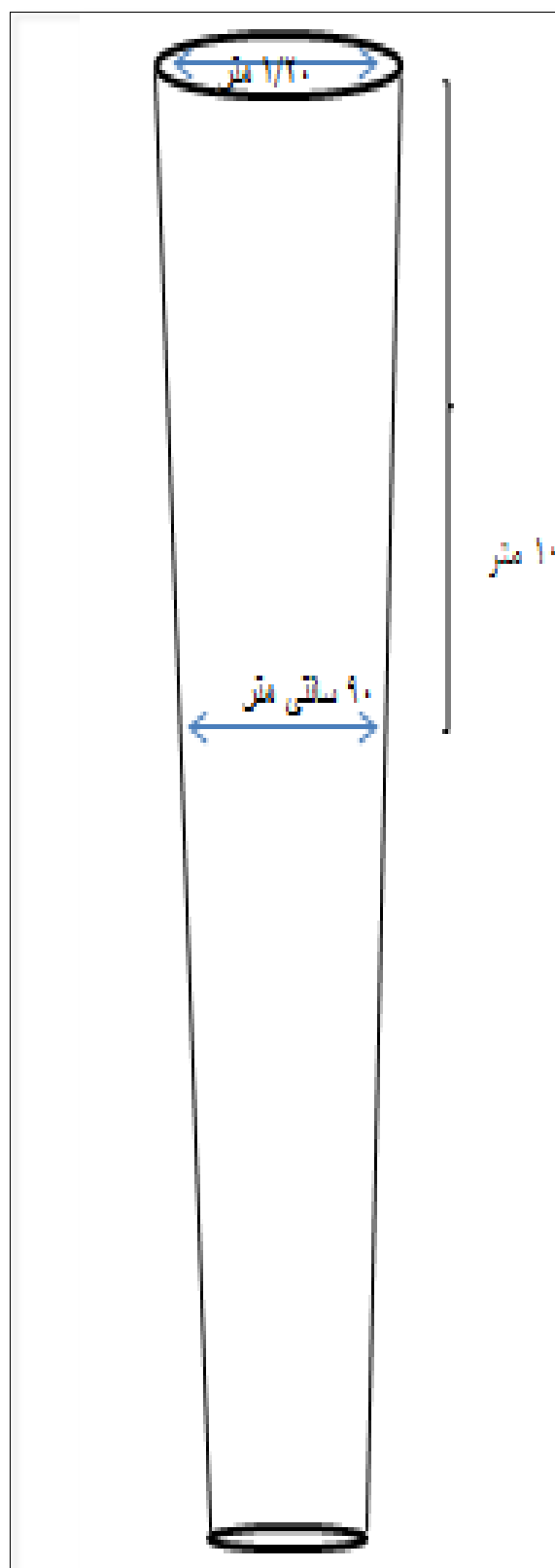
شکل ۳-۴ نمودار توزیع ذرات خاک با روش الک خشک



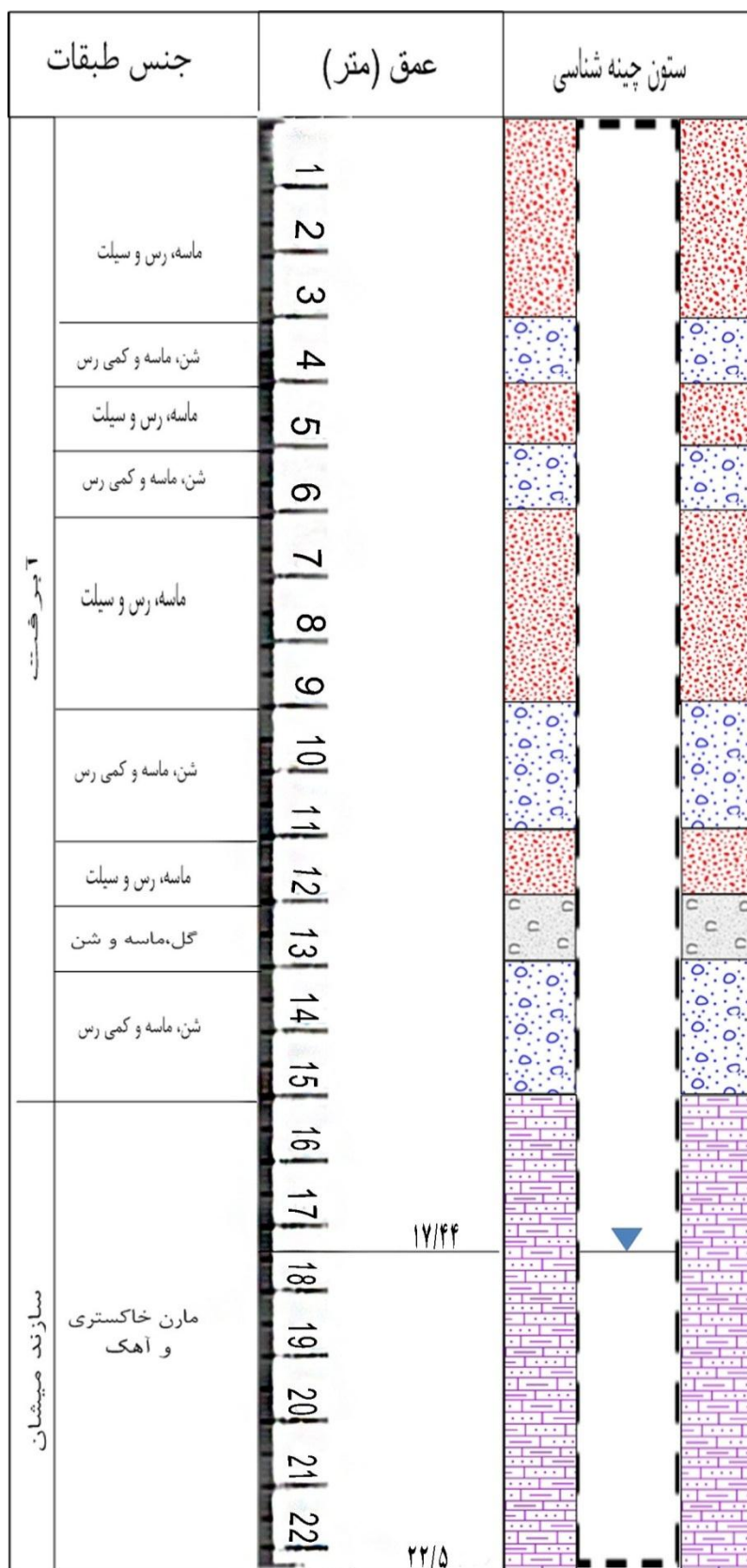
شکل ۴-۴ نمودار توزیع ذرات خاک به روش الک تر و هیدرومتری

۴-۱-۲- لاگ حفاری

چاه مورد مطالعه بصورت دستی حفر شده و قطر دهانه‌ی آن تا عمق ۱۰ متری، ۱/۲۰ متر و در اعماق پایین‌تر از ۱۰ متر ۹۰ سانتی متر می‌باشد (شکل ۴-۵). با توجه به این که چاه با قطر زیاد حفاری شده، نمونه‌های خاک توسط بالابر و بطور مستقیم از درون چاه تهیه شده است. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها و تعیین بافت هر نمونه خاک در آزمایشگاه به روش‌های ذکر شده در بحث (۴-۱)، با استفاده از نرم‌افزار Surfer11 لاگ حفاری چاه ترسیم شده است، لازم به ذکر است که از عمق ۱۵ متر به پایین‌تر، تا کف چاه، سازند می‌شان قرار دارد که از مارن خاکستری متمایل به سبز تشکیل شده است (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۵) مقطع شماتیکی از ستون چاه



شکل ۴-۶) لاگ حفاری چاه تزریق

۴-۲- محاسبه هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک یکی از خصوصیات مهم فیزیکی آبخوان در بحث حرکت آب در خاک و در انتقال املاح می‌باشد. اطلاع از چگونگی تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک (K) نسبت به مکان و زمان برای بهینه‌سازی مدیریت منابع آب و خاک بسیار ضروری می‌باشد. هدایت هیدرولیکی به عوامل مختلفی نظیر بافت و ساختار خاک، درصد رطوبت اولیه نمونه خاک، درجه اشباع، توزیع اندازه خلل و فرج، خصوصیات شیمیایی سیال عبوری، نسبت تخلخل، جهت جریان، اندازه نمونه مورد آزمایش، چسبندگی و تراکم خاک بستگی دارد (حیدرپور و محمدزاده ۱۳۸۵، قبادیان و محمدی ۱۳۸۹). تاکنون تکنیک‌های مختلفی برای اندازه‌گیری این خصوصیت هیدرولیکی در زیر سطح ایستابی (منطقه اشباع) و بالای آن (منطقه غیر اشباع) پیشنهاد شده است. اندازه‌گیری مستقیم با روش‌های آزمایشگاهی (بار افتان و بار ثابت) و روش‌های صحرایی (آزمایش پمپاژ، آزمایش ردیاب، آزمایش چاه معکوس و پرماترگلف) که معمولاً زمان‌بر و هزینه‌بردار هستند، انجام می‌شود. براساس مطالعات انجام شده توسط قبادیان و محمدی (۱۳۸۹)، کشکولی و کشکولی (۱۳۸۹) در میان روش‌های صحرایی آزمایش پمپاژ و پرماترگلف از دقت بالاتری برخوردارند. اساس آزمایش پرماترگلف بار ثابت است. پرماتر گلف وسیله علمی ساده و کم خرجی است، که یک سیستم ماریوت ساده است. با استفاده از پرماتر می‌توان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و پتانسیل ماتریک خاک را در هر عمقی بالای سطح ایستابی محاسبه کرد. این دو پارامتر با روش پرماتر، با استفاده از تحلیل‌های چند عمقی و دو عمقی به‌دست می‌آید. مزایای این روش علاوه بر سهولت جابه‌جایی دستگاه، تسریع در زمان انجام آزمایش، کاهش مصرف آب و کاهش نیروی انسانی به یک نفر می‌باشد. با توجه به ارتباط هدایت هیدرولیکی با اندازه ذرات و نحوه توزیع دانه‌بندی محققین فرمول‌های (معادلات) تجربی مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند. از جمله روش‌های تجربی که در این مطالعه نیز استفاده شده‌اند، فرمول‌های کازنی-کارمن، اسلیچر، بریر، ترزاقی، الیمانی و شن و روش USDA می‌باشند.

وکوویچ و سورو (1992) براساس مطالعه روش‌های مختلف معادله کلی (۲-۴) را برای تخمین هدایت هیدرولیکی ارائه دادند.

$$K = \frac{g}{v} \cdot c \cdot f(n) \cdot d_e^2 \quad (2-4)$$

در این فرمول K ، هدایت هیدرولیکی، g ، شتاب جاذبه‌ی زمین، v ، ویسکوزیته سینماتیک، c ، ضریب جورشدگی، $f(n)$ ، تابع تخلخل، که میزان تخلخل از فرمول (۳-۴) برآورد می‌گردد و d_{10} ، قطر مؤثر ذرات می‌باشد.

$$n = 0.255(1 + 0.83^U) \quad (3-4)$$

در اینجا U ضریب یکنواختی ذرات است که به صورت زیر محاسبه می‌شود (معادله ۴-۴):

$$U = \left(\frac{d_{60}}{d_{10}} \right) \quad (4-4)$$

ویسکوزیته سینماتیک به لزجت دینامیکی (μ) و چگالی سیال آب (ρ) بستگی دارد و از معادله (۴-۵) محاسبه می‌گردد.

$$v = \mu / \rho \quad (5-4)$$

معادله اسلیچر (۶-۴) بیشتر برای اندازه ذرات بین ۰/۰۱ تا ۵ میلی‌متر قابل استفاده است.

$$K = \frac{g}{v} \times 1 \times 10^{-2} \times n^{3.287} \times d_{10}^2 \quad (6-4)$$

معادله کازنی-کارمن (۷-۴) یکی از متداول‌ترین و گسترده‌ترین معادلات پذیرفته شده است، که با استفاده از نتایج تخلخل به‌عنوان تابعی از ویژگی‌های خاک استفاده می‌شود. این معادله در اصل توسط کازنی (۱۹۲۷) پیشنهاد شد و سپس توسط کارمن (۱۹۳۷ و ۱۹۵۶) تغییر یافته و تبدیل به معادله

کازنی- کارمن شد. برای خاک‌هایی که دارای اندازه یا قطر مؤثر بالاتر از ۳ میلی متر یا برای خاک- های رسی (کریر ۲۰۰۳)^۱ مناسب نیست.

$$K = \frac{g}{v} \times 8.3 \times 10^{-3} \times \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] \times d_{10}^2 \quad (۷-۴)$$

معادله (۸-۴)، معادله‌ی ترزاقی است، که در آن C_t ، ضریب جورشدگی و بین مقادیر $۱۰^{-۳} \times ۱/۶$ و $۱۰^{-۳} \times ۱۰/۷$ می‌باشد. فرمول ترزاقی بیشتر برای شن و ماسه دانه درشت قابل استفاده است (Cheng and Chen 2007). در اکثر مطالعات از جمله Odong (۲۰۱۳) و حیدری (۱۳۸۹) از مقدار متوسط C_t استفاده شده است.

$$K = \frac{g}{v} \times C_t \times \left(\frac{n-0.13}{\sqrt[3]{1-n}} \right) \times d_{10}^2 \quad (۸-۴)$$

بریر (۹-۴) تخلخل را در نظر نمی‌گیرد، بنابراین تابع تخلخل برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. فرمول بریر اغلب برای مواد با توزیع ناهمگن و غیریکنواخت، جورشدگی ضعیف و با ضریب یکنواختی بین ۱ تا ۲۰ و اندازه مؤثر ذرات بین ۰/۰۶ و ۰/۶ میلی متر قابل استفاده است (Odong 2013).

$$K = \frac{g}{v} \times 10^{-4} \times \log \frac{500}{U} d_{10}^2 \quad (۹-۴)$$

معادله (۱۰-۴) توسط وزارت کشاورزی آمریکا^۱ پیشنهاد شده که مستقل از تخلخل می‌باشد. در این فرمول هدایت هیدرولیکی بر حسب cm/s محاسبه می‌شود.

$$K = 0.36 \times d_{20}^{2.3} \quad \text{USDA (۱۰-۴)}$$

در معادله الیمانی و شن (۱۱-۴)، K ضریب هدایت هیدرولیکی (متر در روز)، I_0 محل تقاطع شیب منحنی حاصل از خط اتصال d_{10} و d_{50} منحنی توزیع دانه‌ها، d_{10} قطر مؤثر دانه (میلی‌متر) و d_{50} متوسط قطر دانه‌ها (میلی‌متر) است. لازم به ذکر است که شرایط در فرمول بالا دارای واحدهای

^۱) U.S. Department of Agriculture formula

مشخصی برای یکنواختی و غلظت است. این فرمول یک حالت استثنایی است، که از شکل کلی معادله ۲-۴ تبعیت نمی‌کند. با این حال، این معادله نیز یکی از معادلات شناخته شده است، که دقت آن به دقت آنالیز اندازه دانه‌ها وابسته است.

$$K = 1300 \times [I_0 + 0.025(d_{50} - d_{10})]^2 \quad (۱۱-۴)$$

با توجه به منحنی توزیع ذرات در شکل‌های (۴-۴ و ۵-۴) قطر ذرات خاک در ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۶۰ درصد عبوری مشخص شده است و ضرایب یکنواختی، محل تقاطع شیب منحنی حاصل از خط اتصال d_{50} و d_{10} و مقادیر تخلخل با استفاده از معادله (۴-۴) محاسبه شده است. این پارامترها در جدول (۴-۴) نشان داده شده است. با استفاده از کلیه‌ی این نتایج، ضریب هدایت هیدرولیکی با ۶ فرمول تجربی بحث شده در بالا محاسبه و در جدول (۵-۴) ارائه شده است. نتایج نشان داد، که هدایت هیدرولیکی محاسبه شده توسط معادله اسلیچر در تمام موارد کمتر از روش‌های دیگر است (جدول ۵-۴)، که با نتایج به‌دست آمده توسط وکویچ و سورو (1992)، چنگ و چن (2007)، آدانگ (2013) و حیدری (۱۳۸۹) سازگار است. روش اسلیچر برای نمونه‌های ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۳ مناسب نیست به‌دلیل این-که قطر مؤثر ذرات آن‌ها کمتر از ۰/۰۱ میلی متر می‌باشد. روش ترزاقی نتایج مشابه کمتری را نسبت به روش‌های دیگر می‌دهد، که ممکن است به علت استفاده از مقدار متوسط $(8/4 \times 10^{-3})$ ضریب مرتب سازی (C_t) در فرمول باشد. روش الیمانی و شن بسیار به شکل نمودار دانه‌بندی حساس است و برای نمونه‌های با دانه‌بندی خوب بسیار دقیق است. مناسب‌ترین فرمول برای این نمونه‌ها فرمول USDA می‌باشد.

جدول ۴-۴) پارامترهای آماری نمونه‌های مختلف با استفاده از نمودار توزیع ذرات مربوطه

عمق نمونه (متر)	d ₁₀	d ₂₀	d ₃₀	d ₅₀	d ₆₀	U	n(%)
۱	—	۰/۰۰۴	۰/۰۲۴۶	۰/۷۴۱	۰/۱	—	—
۲	—	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۶	۰/۰۶۴	—	—
۳	—	۰/۰۰۶	۰/۰۲۸۷	۰/۰۷۱	۰/۰۹	—	—
۴	۰/۱	۰/۲	۰/۳۹	۱/۳۶	۲/۱۵	۲۱/۵۰	۲۵/۹
۵	۰/۰۰۳۷	۰/۰۱۵۵	۰/۰۴۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۱۸/۹۲	۲۶/۲
۶	۰/۱	۰/۳	۰/۸	۲/۵۱	۴	۴۰	۲۵/۵
۷	۰/۰۰۶	۰/۰۵۱۸	۰/۰۶۴۴	۰/۰۸	۰/۱۲۵	۲۰/۸۳	۲۶/۱
۸	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳۱۶	۰/۰۰۶۶	۰/۰۶۷	۲۱/۹۳	۲۵/۹
۹	—	۰/۰۰۷	۰/۰۳۷۳	۰/۰۶	۰/۰۷	—	—
۱۰	۰/۳۳۴	۱	۳	۱۰	۱۷/۳	۵۱/۸۰	۲۵/۵
۱۱	۰/۱۳۳	۰/۲۴	۰/۴	۱/۷۳	۲/۶۸	۲۰/۱۵	۲۶
۱۲	—	۰/۰۰۷۹	۰/۰۳	۰/۰۷۱	۰/۰۸۹	—	—
۱۳	—	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۳۳۴	۰/۰۶	—	—
۱۴	۰/۰۷	۰/۴	۰/۹	۲/۷۲	۳/۶۷	۵۲/۴۳	۲۵/۵
۱۵	۰/۱۱	۰/۷	۱/۴۹	۵/۴۸	۱۱/۰۵	۱۰۰/۴۵	۲۵/۵

l: ضریب یکنواختی

n: تخلخل

—: نشان دهنده‌ی غیر قابل محاسبه بودن پارامتر

فصل چهارم: دانه‌بندی نمونه‌های اعماق مختلف و محاسبه هدایت هیدرولیکی

جدول ۴-۵) مقادیر هدایت هیدرولیکی (K) برآورد شده با استفاده از ۶ فرمول تجربی متفاوت

USDA (m/day)	الیمانی و شن (m/day)	اسلیچر (m/day)	ترزاقی (m/day)	بریر (m/day)	کازنی-کارمن (m/day)	K عمق (متر)
۰/۰۰۰۱	—	—	—	—	—	۱
۰/۰۰۰۱	—	—	—	—	—	۲
۰/۰۰۰۲	—	—	—	—	—	۳
۰/۷۷	۱۱/۶۱	۱	۲/۸۵۰	—	۲/۲۲۰	۴
۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۵
۱/۹۵	۱۵/۸۰	۰/۹۴	۲/۷۳۰	—	۲/۰۸۰	۶
۰/۰۳۴۳	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۰	۰/۰۲۵	۰/۰۰۸۰	۷
۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲۰	۸
۰/۰۰۰۳	—	—	—	—	—	۹
۳۱/۱۰	۲۱۴/۹۷	۱۰/۴۷	۳۰/۴۲۰	—	۲۳/۱۸۰	۱۰
۱/۱۷	۱۴/۸۶	۱/۷۹	—	—	۴/۰۰۰	۱۱
۰/۰۰۰۵	—	—	—	—	—	۱۲
۰/۰۰۰۱	—	—	—	—	—	۱۳
۳/۷۸	۱۲/۸۱	۰/۴۶	۱/۳۴۰	—	۱/۰۲۰	۱۴
۱۳/۶۹	۴۳/۶۵	۱/۱۴	۳/۳۰۰	—	۲/۵۴۰	۱۵

فصل پنجم

محاسبه نرخ نفوذ بر اساس

داده‌های آزمایش تزریق

۵-۱- بررسی نرخ نفوذ

نرخ نفوذ یکی از پارامترهای اصلی و بسیار مهم در برآورد میزان تغذیه در یک طرح تغذیه مصنوعی می‌باشد. جهت محاسبه نرخ نفوذ در چاه ASR مورد نظر؛ ۱۰ مرحله تزریق از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ انجام گردید. هدف تزریق رواناب به‌درون چاه بوده است، که به علت کمبود بارندگی در منطقه در چند مورد تزریق از طریق تانکر صورت گرفته است و آب مستقیماً به‌درون چاه تزریق شده است.

pH آب تزریق شده با تانکر در مراحل ۷ تا ۱۰ برابر با ۸ و EC آن ۱۶۳۰ میکروموس بر سانتی متر بوده است. در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ علیرغم بارش بالا در منطقه مطالعاتی به‌دلیل شدت کم بارندگی و همچنین پوشش گیاهی خوب، رواناب قابل توجهی در منطقه ایجاد نشد. تغییرات سطح آب در حین و پس از تزریق توسط عمق‌یاب الکتریکی ثبت گردید. تغییرات سطح آب در حین تزریق در جداول (۵-۱ تا ۵-۳) نشان داده شده است (این تغییرات فقط برای سه مرحله ثبت شده). نرخ نفوذ با توجه به تغییرات سطح آب پس از تزریق و در حین پایین رفتن آب نسبت به زمان برآورد شده و تغییرات آن نسبت به عمق نیز بررسی شده است (جداول ۵-۴ تا ۵-۱۳). نرخ نفوذ با گذشت زمان کاهش می‌یابد، تا به یک نرخ ثابت (نفوذ پایه) برسد. نوساناتی که در نرخ نفوذ ملاحظه شده است، احتمالاً ناشی از تغییر بافت همراه با افزایش عمق می‌باشد. در ۶ مرحله اول، تزریق از طریق رواناب صورت گرفته و حجم زیادتری از آب به‌درون چاه تزریق شده است. مقادیر نرخ نفوذ ثبت شده در مراحل ۱، ۳، ۴ و ۵ تزریق یک روند طبیعی کاهشی را نشان داده به علت این که نرخ نفوذ در اعماقی با بافت یکسان برآورد شده‌اند. در بین مراحل ۱ تا ۶ تزریق که در سال ۹۰ و ۹۱ انجام شده، مرحله ۱ حداکثر نرخ نفوذ را نشان داده که ناشی از خشک بودن دیواره‌ی چاه می‌باشد (چاه در سال ۹۰ حفر گردید). در سایر مراحل تزریق، افزایش نرخ نفوذ معمولاً در اعماقی که بافت خاک درشت دانه‌تر شده به‌خصوص در اعماق ۱۰ و ۱۱ متری ملاحظه می‌شود (شکل‌های ۵-۱ تا ۵-۱۰). عمق‌های ۱۰ و ۱۱ متری دارای بافت درشت دانه‌ی گراول ماسه‌ای و گراول ماسه‌ای گلی بوده، که از بالا و پایین در

بین خاک‌های ریزدانه ماسه‌ی گلی با نفوذپذیری کم قرار گرفته‌اند. تغییرات سطح آب در مراحل ۷ تا ۱۰ با دقت بیشتر و در فواصل زمانی کوتاه‌تری نسبت به ۶ مرحله قبل ثبت شده‌اند. در این مراحل نیز حداکثر نرخ نفوذ در اعماق ۱۰ و ۱۱ متری ملاحظه شده که با مقادیر هدایت هیدرولیکی (فصل قبل) نیز سازگار می‌باشد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته نرخ نفوذ برآورد شده در مراحل ۷ تا ۱۰ خیلی بیشتر از مراحل قبلی بوده است. در این مراحل (۷ تا ۱۰) اختلاف هدایت ایجاد شده کمتر بوده و آب تا عمق ۸ متری بالا آمده و با توجه به ریز بافت بودن خاک در اعماق نزدیک به سطح زمین و هدایت هیدرولیکی کم نرخ نفوذ کم بوده است. براساس عدم لوله گذاری در چاه، آب در تمام لحظات با دیواره‌ی چاه در تماس بوده و نفوذ فقط از همان عمقی که سطح ایستابی قرار دارد انجام نمی‌شود، بلکه از سایر اعماقی که در تماس با آب هستند نیز نفوذ روی می‌دهد. اما بیشترین نرخ نفوذ برای عمقی که سطح ایستابی در آن قرار دارد در نظر گرفته شده است. علت کاهش نرخ نفوذ در اعماق ۱۴ و ۱۵ متری علیرغم هدایت هیدرولیکی زیاد می‌تواند اشباع شدن خاک در این لایه‌ها باشد. زیرا مدت زمان بیشتری در تماس با آب بوده و اجازه نفوذ بیشتری را می‌دهد. علت دیگر احتمالاً آب تزریق شده در حین تماس با دیواره چاه، گل و لای کنده شده از دیواره را در خود حل نموده و همراه خود وارد منافذ کرده و از نفوذ بیشتر آب جلوگیری نموده است. علاوه بر موارد ذکر شده کاهش نرخ نفوذ پس از عمق ۱۰ متری، می‌تواند به دلیل کاهش سطح مقطع چاه باشد. در عمق ۱۰ متری سطح مقطع بزرگتر، حجم آب بیشتری در خود جای می‌دهد و هدایت هیدرولیکی بیشتری دارد. اما وقتی سطح مقطع کمتر شود، ستون آب فشار بیشتری به لایه‌ها وارد می‌کند و از طرفی نفوذپذیری کم لایه‌ها باعث کاهش نرخ نفوذ می‌شود. براساس مطالعات انجام شده، عمق ۱۶ متری و پایین‌تر از جنس مارن‌های خاکستری می‌شان بوده که نفوذناپذیر می‌باشند (شکل ۵-۱۱). در مراحل مختلف تزریق تا عمق ۱۷ متری نفوذ آب وجود داشته است. ولی میزان نفوذ خیلی کم بوده و معمولاً این مقدار کم در طی چند روز رخ داده است. با در نظر گرفتن این که عمق ۱۶ متری محل گذر بین آبرفت و سازند می‌باشد و این نوع سطح تماس‌ها بهترین مکان برای گریز آب هستند،

نفوذ در مارن‌های خاکستری مشاهده شده است. نرخ نفوذ پس از عمق ۱۶/۵ متری کمتر از ۱ سانتی‌متر در ساعت محاسبه شده است. حداکثر افت در مراحل ۸ و ۱۰ تزریق، در طی ۷ روز انجام شده است و پس از آن نرخ نفوذ خیلی ناچیز بوده است. در سایر مراحل تزریق این مدت زمان متغیر بود.

جدول ۵-۱) تغییرات سطح آب در حین تزریق در مرحله‌ی هفتم تزریق

زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ بالا آمدن (cm/min)
۰	۱۹	—
۵	۱۵	۸۰
۱۰	۱۳/۴	۳۲
۱۵	۱۲/۶	۱۶
۲۰	۱۲/۳	۶
۲۵	۱۲/۵	۴
۳۰	۱۲/۸	۶
۵۰	۱۰/۷	۱۰/۵

جدول ۵-۲) تغییرات سطح آب در حین تزریق در مرحله‌ی هشتم تزریق

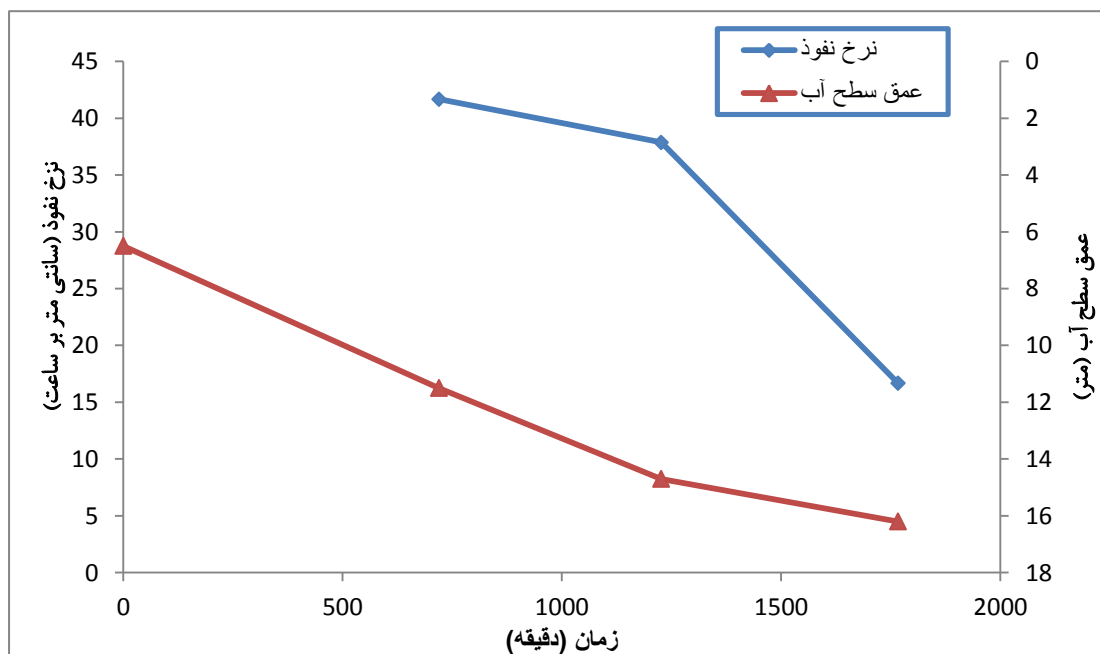
زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ بالا آمدن (cm/min)
۰	۱۴/۵	—
۳	۱۲/۲	۷۶/۶
۵	۱۱	۶۰
۷	۱۰/۲	۴۰
۹	۹/۶	۳۰
۱۰	۹/۴۵	۱۵
۱۲	۸/۸۵	۳۰
۱۵	۸/۶	۸/۳

جدول ۵-۳) تغییرات سطح آب در حین تزریق در مرحله دهم تزریق

زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ بالا آمدن (cm/min)
۰	۱۷/۱	—
۳	۱۴/۷	۸۰
۵	۱۳/۹	۴۰
۱۵	۱۰/۸	۳۱
۱۸	۱۰/۵	۱۰
۲۰	۱۰/۴	۵
۲۳	۱۰/۷۵	۱۱/۶
۲۵	۱۰/۷	۲/۵
۲۷	۱۰/۶۶	۲
۳۰	۱۰/۵۵	۳/۶
۳۳	۱۰/۱	۱۵
۳۵	۱۰/۶	۲۵

جدول ۵-۴) مشخصات مرحله اول تزریق

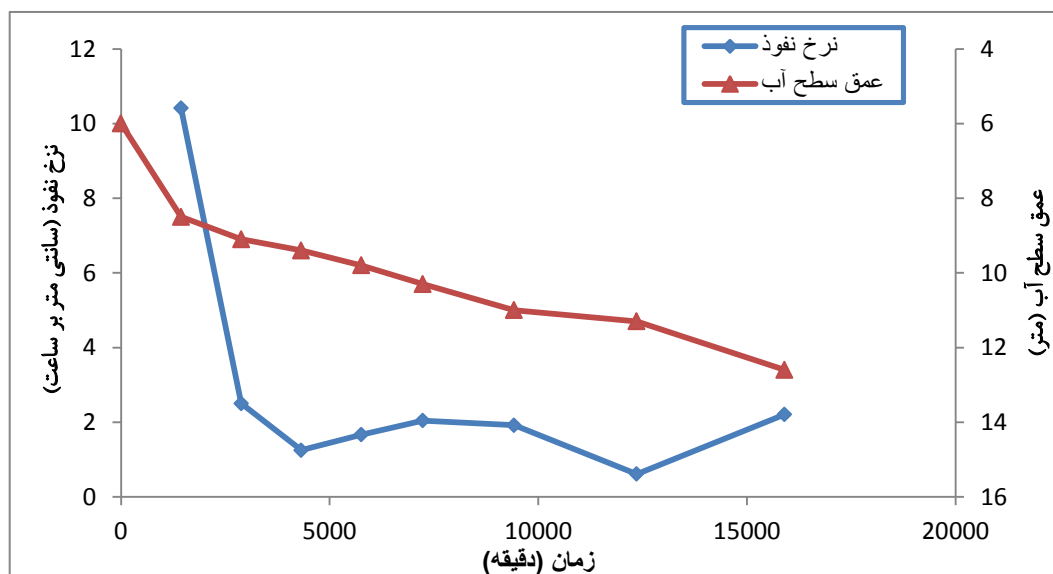
نرخ نفوذ (cm/h)	عمق سطح آب (m)	زمان (min)	تاریخ اندازه گیری
۰	۶/۵۰	۰	۱۳۹۰/۱۱/۱
۴۱/۶۷	۱۱/۵۰	۷۲۰	۱۳۹۰/۱۱/۱
۳۷/۸۷	۱۴/۷۰	۱۲۲۷	۱۳۹۰/۱۱/۲
۱۶/۶۷	۱۶/۲۰	۱۷۶۷	۱۳۹۰/۱۱/۳



شکل ۵-۱) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله اول تزریق آب در چاه

جدول ۵-۵) مشخصات مرحله‌ی دوم تزریق

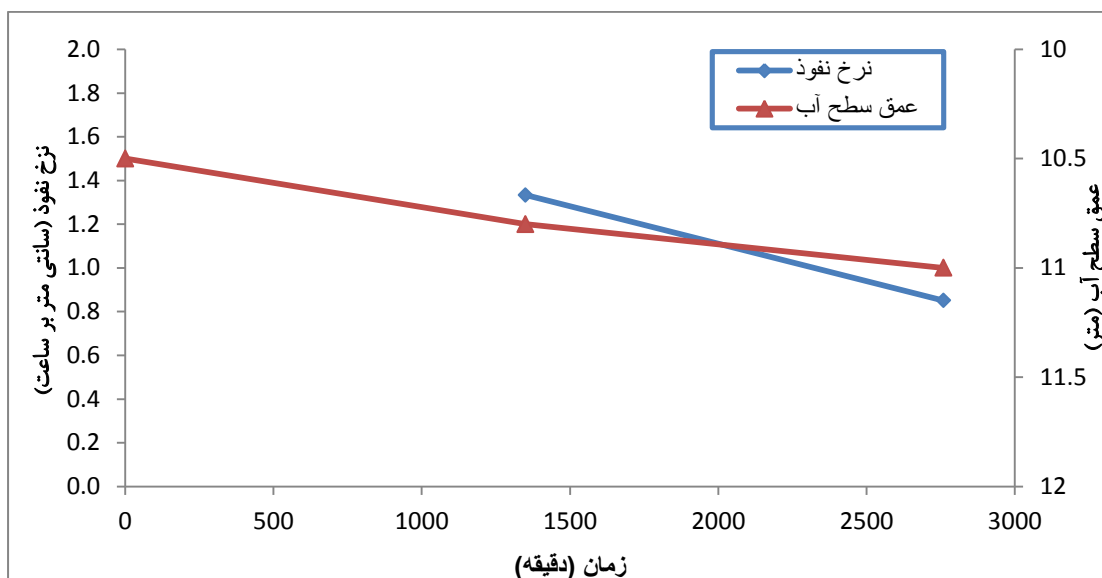
نرخ نفوذ (cm/h)	عمق سطح آب (m)	زمان (min)	تاریخ اندازه‌گیری
۰	۶	۰	۱۳۹۱/۹/۶
۱۰/۴۱	۸/۵	۱۴۴۰	۱۳۹۱/۹/۷
۲/۵۰	۹/۱	۲۸۸۰	۱۳۹۱/۹/۸
۱/۲۵	۹/۴	۴۳۲۰	۱۳۹۱/۹/۹
۱/۶۶	۹/۸	۵۷۶۰	۱۳۹۱/۹/۱۰
۲/۰۴	۱۰/۳	۷۲۳۰	۱۳۹۱/۹/۱۱
۱/۹۲	۱۱	۹۴۲۰	۱۳۹۱/۹/۱۳
۰/۶۱	۱۱/۳	۱۲۳۶۰	۱۳۹۱/۹/۱۵
۲/۲۰	۱۲/۶	۱۵۹۰۰	۱۳۹۱/۹/۱۷



شکل ۵-۲) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله دوم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۶) مشخصات مرحله‌ی سوم تزریق

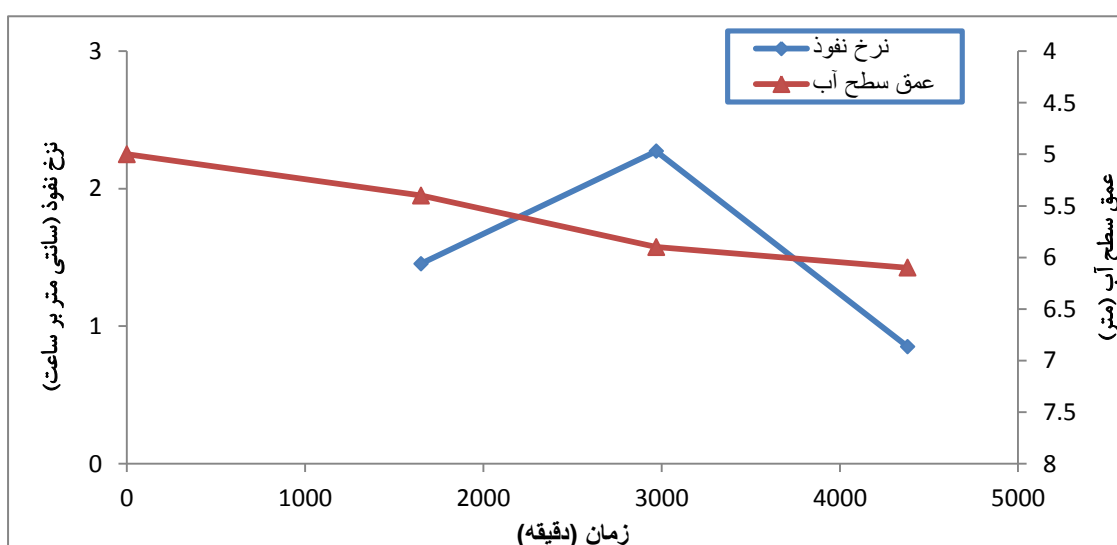
نرخ نفوذ (cm/h)	عمق سطح آب (m)	زمان (min)	تاریخ اندازه‌گیری
۰	۱۰/۵	۰	۱۳۹۱/۹/۱۸
۱/۳۳	۱۰/۸	۱۳۵۰	۱۳۹۱/۹/۱۹
۰/۸۵	۱۱	۲۷۶۰	۱۳۹۱/۹/۲۰



شکل ۵-۳) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله سوم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۷) مشخصات مرحله‌ی چهارم تزریق

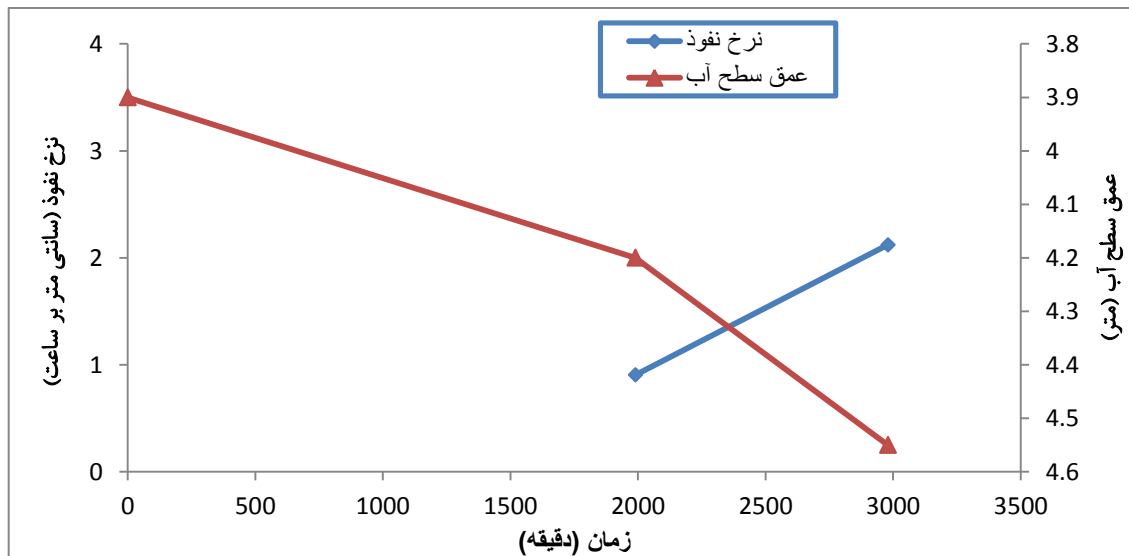
تاریخ اندازه‌گیری	زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ نفوذ (cm/h)
۱۳۹۱/۹/۲۱	۰	۵	۰
۱۳۹۱/۹/۲۲	۱۶۵۰	۵/۴	۱/۴۵
۱۳۹۱/۹/۲۴	۲۹۷۰	۵/۹	۲/۲۷
۱۳۹۱/۹/۲۷	۴۳۸۰	۶/۱	۰/۸۵



شکل ۵-۴) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله چهارم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۸) مشخصات مرحله‌ی پنجم تزریق

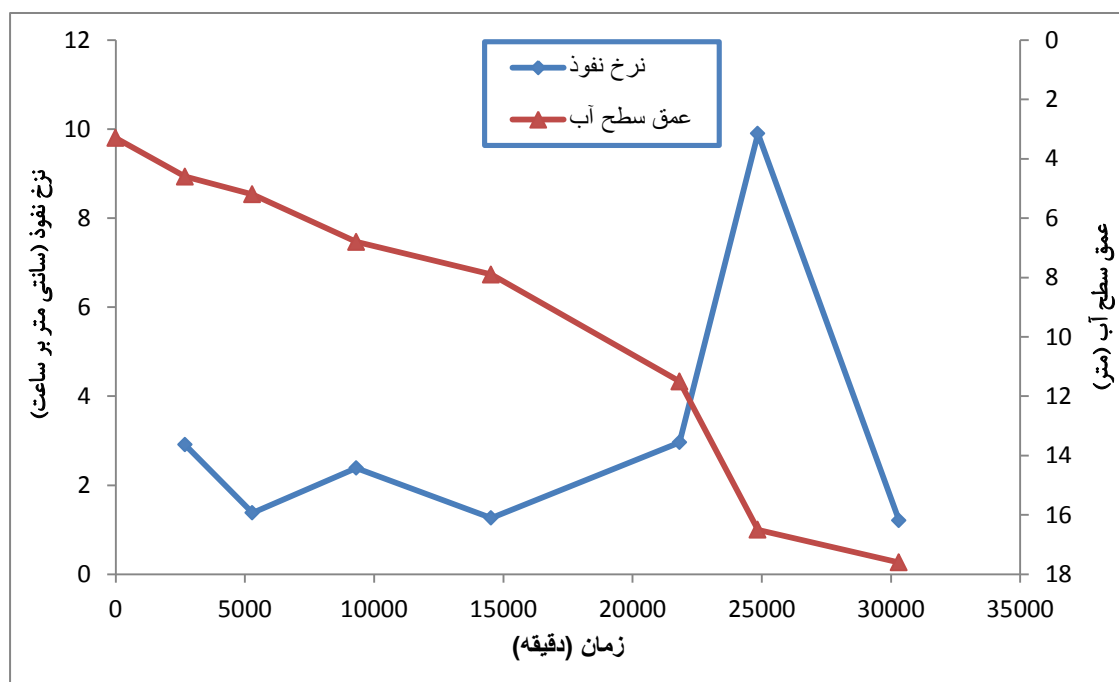
نرخ نفوذ (cm/h)	عمق سطح آب (m)	زمان (min)	تاریخ اندازه‌گیری
۰	۳/۹	۰	۱۳۹۱/۱۰/۲
۰/۹۰	۴/۲	۱۹۹۰	۱۳۹۱/۱۰/۳
۲/۱۲	۴/۵۵	۲۹۸۰	۱۳۹۱/۱۰/۵



شکل ۵-۵) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله پنجم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۹) مشخصات مرحله‌ی ششم تزریق

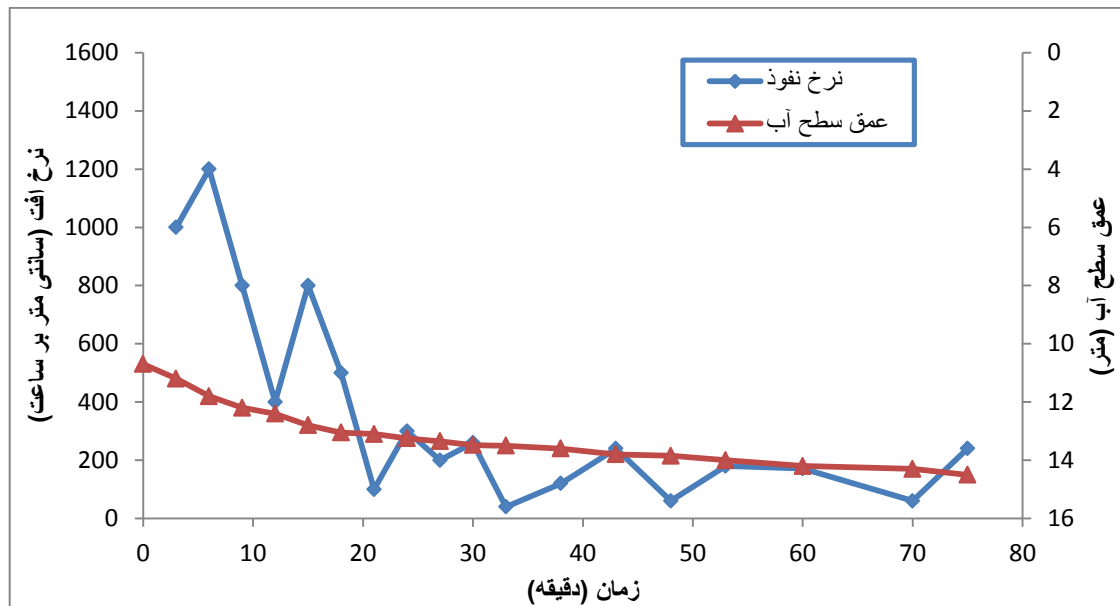
نرخ نفوذ (cm/h)	عمق سطح آب (m)	زمان (دقیقه)	تاریخ اندازه‌گیری
۰	۳/۳	۰	۱۳۹۱/۱۰/۷
۲/۹۲	۴/۶	۲۶۸۰	۱۳۹۱/۱۰/۹
۱/۳۷	۵/۲	۵۲۹۰	۱۳۹۱/۱۰/۱۱
۲/۳۹	۶/۸	۹۳۱۰	۱۳۹۱/۱۰/۱۴
۱/۲۶	۷/۹	۱۴۵۳۰	۱۳۹۱/۱۰/۱۸
۲/۹۶	۱۱/۵	۲۱۸۲۰	۱۳۹۱/۱۰/۲۳
۹/۹۰	۱۶/۵	۲۴۸۵۰	۱۳۹۱/۱۰/۲۵
۱/۲۱	۱۷/۶	۳۰۳۱۰	۱۳۹۱/۱۰/۲۹



شکل ۵-۶) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله ششم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۱۰) مشخصات مرحله‌ی هفتم تزریق

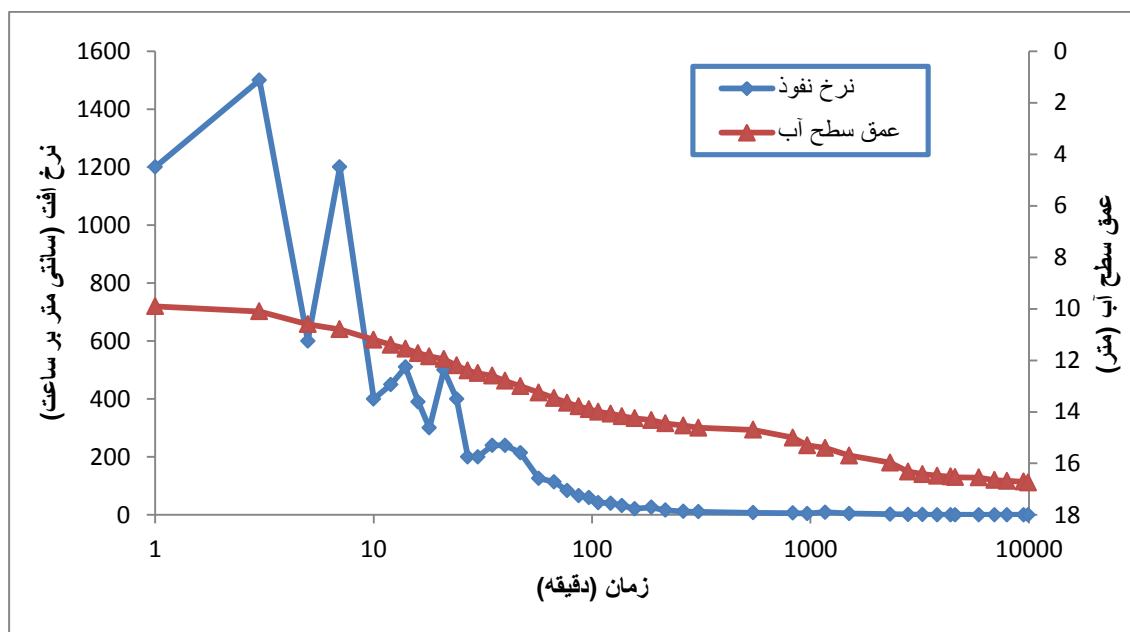
نرخ نفوذ (cm/h)	عمق سطح آب (m)	زمان (min)	نرخ نفوذ (cm/h)	عمق سطح آب (m)	زمان (min)
۲۶۰	۱۳/۴۸	۳۰	۰	۱۰/۷	۰
۴۰	۱۳/۵	۳۳	۱۰۰۰	۱۱/۲	۳
۱۲۰	۱۳/۶	۳۸	۱۲۰۰	۱۱/۸	۶
۲۴۰	۱۳/۸	۴۳	۸۰۰	۱۲/۲	۹
۶۰	۱۳/۸۵	۴۸	۴۰۰	۱۲/۴	۱۲
۱۸۰	۱۴	۵۳	۸۰۰	۱۲/۸	۱۵
۱۷۱/۴۳	۱۴/۲	۶۰	۵۰۰	۱۳/۰۵	۱۸
۶۰	۱۴/۳	۷۰	۱۰۰	۱۳/۱	۲۱
۲۴۰	۱۴/۵	۷۵	۳۰۰	۱۳/۲۵	۲۴
			۲۰۰	۱۳/۳۵	۲۷



شکل ۵-۷) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله هفتم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۱۱) مشخصات مرحله‌ی هشتم تزریق

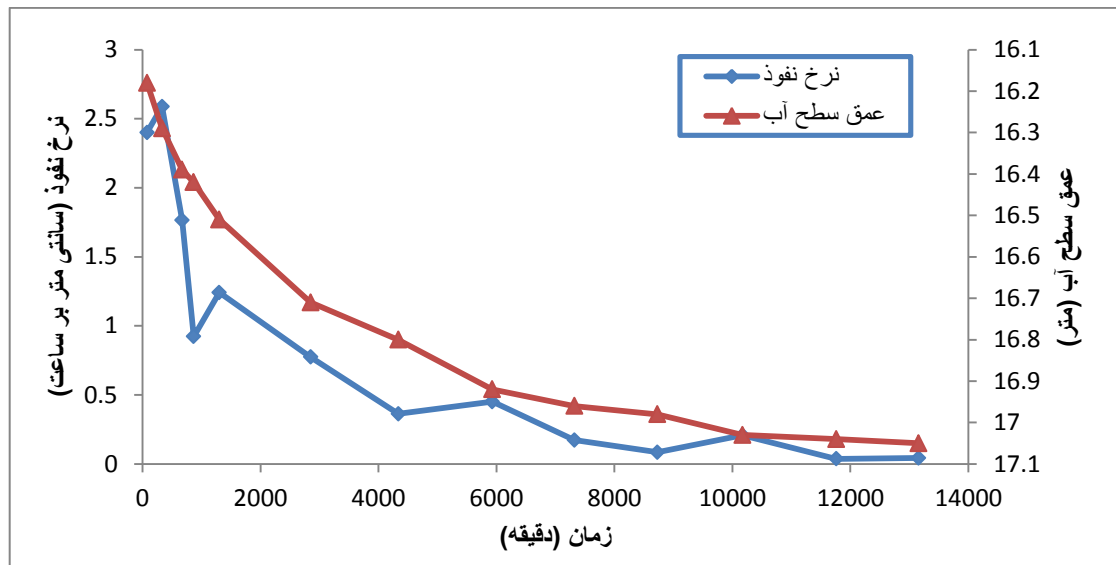
زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ نفوذ (cm/h)	زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ نفوذ (cm/h)
۰	۹/۹	—	۱۲۲	۱۴/۱۷	۴۰
۱	۱۰/۱	۱۲۰۰	۱۳۷	۱۴/۲۵	۳۲
۳	۱۰/۶	۱۵۰۰	۱۵۷	۱۴/۳۲	۲۱
۵	۱۰/۸	۶۰۰	۱۸۷	۱۴/۴۵	۲۶
۷	۱۱/۲	۱۲۰۰	۲۱۷	۱۴/۵۳	۱۶
۱۰	۱۱/۴	۴۰۰	۲۶۲	۱۴/۶۲	۱۲
۱۲	۱۱/۵۵	۴۵۰	۳۰۷	۱۴/۷	۱۰/۶۶
۱۴	۱۱/۷۲	۵۱۰	۵۴۷	۱۵	۷/۵
۱۶	۱۱/۵۸	۳۹۰	۸۳۲	۱۵/۳	۶/۳۲
۱۸	۱۱/۹۵	۳۰۰	۹۶۷	۱۵/۴	۴/۴۴
۲۱	۱۲/۲	۵۰۰	۱۱۶۷	۱۵/۷	۹
۲۴	۱۲/۴	۴۰۰	۱۵۰۷	۱۵/۹۷	۴/۷۶
۲۷	۱۲/۵	۲۰۰	۲۳۱۷	۱۶/۳۲	۲/۵۹
۳۰	۱۲/۶	۲۰۰	۲۷۹۷	۱۶/۴۲	۱/۲۵
۳۵	۱۲/۸	۲۴۰	۳۲۶۲	۱۶/۴۸	۰/۷۷
۴۰	۱۳	۲۴۰	۳۸۱۲	۱۶/۵۱	۰/۳۳
۴۷	۱۳/۲۵	۲۱۴/۲۹	۴۳۸۷	۱۶/۵۴	۰/۳۱
۵۷	۱۳/۴۶	۱۲۶	۴۵۹۷	۱۶/۵۵	۰/۲۹
۶۷	۱۳/۶۵	۱۱۴	۵۹۰۷	۱۶/۶۵	۰/۴۶
۷۷	۱۳/۷۹	۸۴	۶۹۶۷	۱۶/۶۸	۰/۱۷
۸۷	۱۳/۹	۶۶	۷۹۵۷	۱۶/۷۱	۰/۱۸
۹۷	۱۴	۶۰	۹۴۵۷	۱۶/۷۵	۰/۱۶
۱۰۷	۱۴/۰۷	۴۲	۹۹۲۷	۱۶/۷۸	۰/۳۸



شکل ۵-۸) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله هشتم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۱۲) مشخصات مرحله ی نهم تزریق

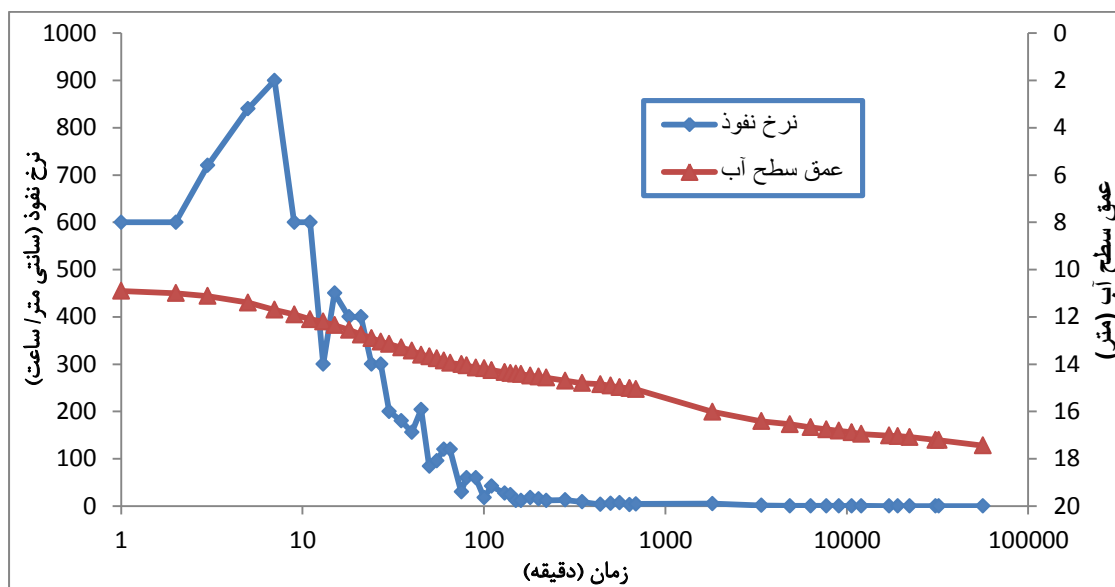
زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ نفوذ (cm/h)
۰	۱۶/۱۵	۰
۷۵	۱۶/۱۸	۲/۴
۳۳۰	۱۶/۲۹	۲/۵۹
۶۷۰	۱۶/۳۹	۱/۷۶
۸۶۵	۱۶/۴۲	۰/۹۳
۱۳۰۰	۱۶/۵۱	۱/۲۴
۲۸۵۰	۱۶/۷۱	۰/۷۷
۴۳۳۵	۱۶/۸	۰/۳۶
۵۹۳۰	۱۶/۹۲	۰/۴۵
۷۳۲۰	۱۶/۹۶	۰/۱۷
۸۷۳۰	۱۶/۹۸	۰/۰۸
۱۰۱۷۰	۱۷/۰۳	۰/۲۱
۱۱۷۵۹	۱۷/۰۲	۰/۰۴
۱۳۱۵۹	۱۷/۰۵	۰/۰۴



شکل ۵-۹) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله نهم تزریق آب در چاه

جدول ۵-۱۳) مشخصات مرحله‌ی دهم تزریق

زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ نفوذ (cm/h)	زمان (min)	عمق سطح آب (m)	نرخ نفوذ آب (cm/h)
۰	۱۰/۸	—	۱۴۰	۱۴/۳۸	۲۴
۱	۱۰/۹	۶۰۰	۱۵۰	۱۴/۴۰	۱۲
۲	۱۱	۶۰۰	۱۶۰	۱۴/۴۲	۱۲
۳	۱۱/۱۲	۷۲۰	۱۸۰	۱۴/۴۸	۱۸
۵	۱۱/۴	۸۴۰	۲۰۰	۱۴/۵۳	۱۵
۷	۱۱/۷	۹۰۰	۲۲۰	۱۴/۵۷	۱۲
۹	۱۱/۹	۶۰۰	۲۸۰	۱۴/۷	۱۳
۱۱	۱۲/۱	۶۰۰	۳۴۷	۱۴/۸	۸/۹۵
۱۳	۱۲/۲	۳۰۰	۴۳۸	۱۴/۸۵	۳/۳۰
۱۵	۱۲/۳۵	۴۵۰	۴۹۸	۱۴/۹۱	۶
۱۸	۱۲/۵۵	۴۰۰	۵۵۸	۱۴/۹۸	۷
۲۱	۱۲/۷۵	۴۰۰	۶۳۳	۱۵/۰۲	۳/۲
۲۴	۱۲/۹	۳۰۰	۶۸۷	۱۵/۰۶	۴/۴۴
۲۷	۱۳/۰۵	۳۰۰	۱۸۱۲	۱۶/۰۱	۵/۰۷
۳۰	۱۳/۱۵	۲۰۰	۳۳۷۱	۱۶/۴۱	۱/۵۴
۳۵	۱۳/۳۰	۱۸۰	۴۸۴۶	۱۶/۵۴	۰/۵۳
۴۰	۱۳/۴۳	۱۵۶	۶۳۱۷	۱۶/۶۷	۰/۵۳
۴۵	۱۳/۶۰	۲۰۴	۷۷۰۸	۱۶/۷۶	۰/۳۹
۵۰	۱۳/۶۷	۸۴	۹۰۲۸	۱۶/۸۲	۰/۲۷
۵۵	۱۳/۷۵	۹۶	۱۰۶۰۰	۱۶/۸۸	۰/۲۳
۶۰	۱۳/۸۵	۱۲۰	۱۲۰۱۸	۱۶/۹۵	۰/۳۰
۶۵	۱۳/۹۵	۱۲۰	۱۷۰۸۵	۱۷/۰۲	۰/۰۸
۷۵	۱۴	۳۰	۱۹۰۶۱	۱۷/۰۴	۰/۰۶
۸۰	۱۴/۰۵	۶۰	۲۲۱۴۴	۱۷/۰۸	۰/۰۷
۹۰	۱۴/۱۵	۶۰	۳۰۸۱۵	۱۷/۲۰	۰/۰۸
۱۰۰	۱۴/۱۸	۱۸	۳۲۰۳۴	۱۷/۲۱	۰/۰۵
۱۱۰	۱۴/۲۵	۴۲	۵۶۱۷۶	۱۷/۴۴	۰/۰۶
۱۳۰	۱۴/۳۴	۲۷			



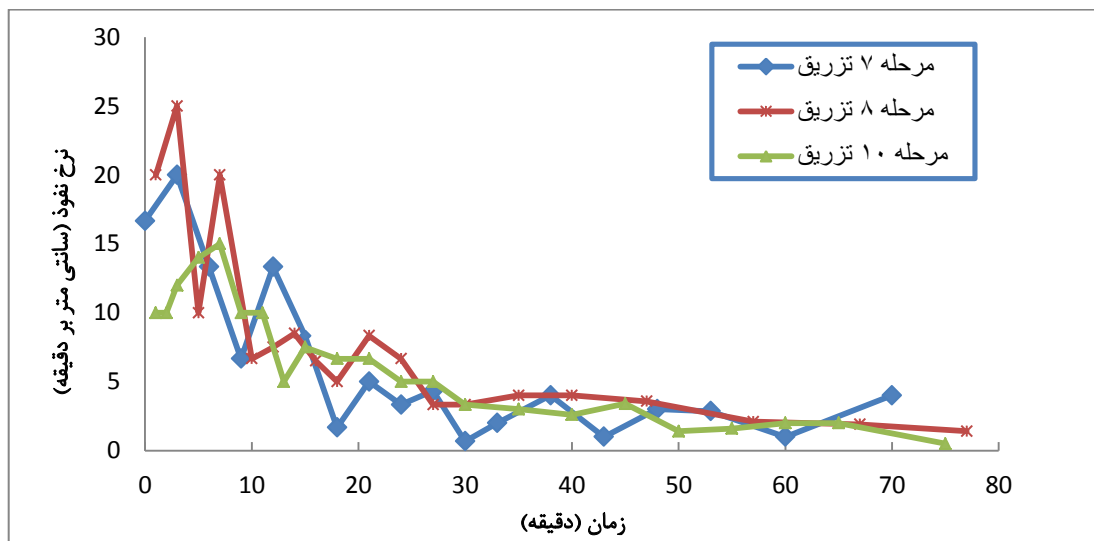
شکل ۵-۱۰) تغییرات نرخ نفوذ نسبت به زمان و عمق در مرحله دهم تزریق آب در چاه



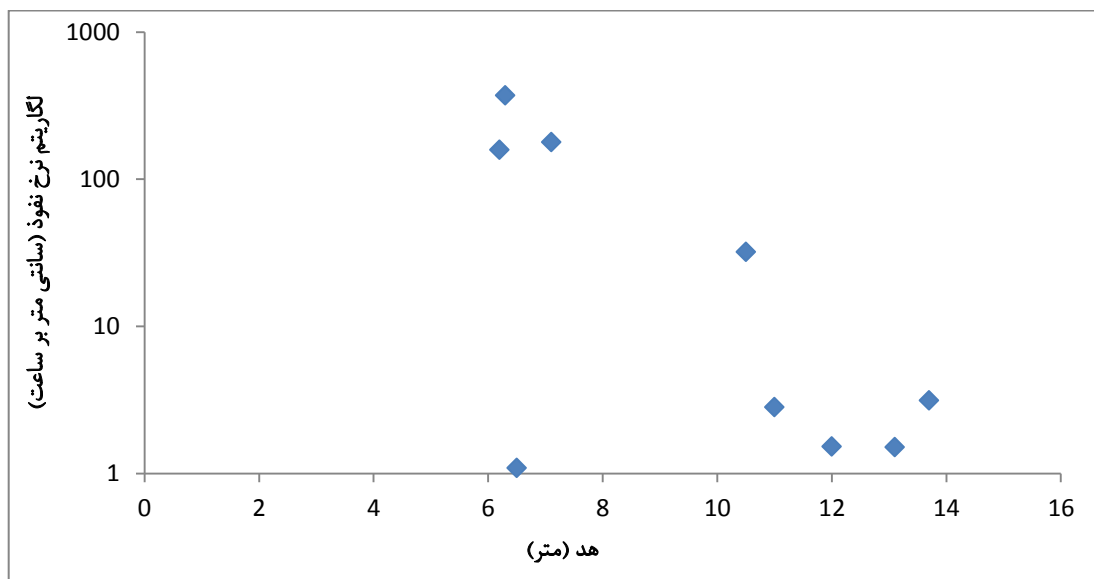
شکل ۵-۱۱) مارن‌های خاکستری سازند میشان

نرخ نفوذ در ۸۰ دقیقه اول پس از تزریق در مراحل ۷، ۸ و ۱۰ تزریق با هم مقایسه شده است (شکل ۵-۱۲). سطح آب پس از تزریق در مراحل ۷، ۸ و ۱۰ به ترتیب تا اعماق ۱۰/۷، ۸/۶ و ۱۰/۶ متر صعود کرده است. با توجه به بالا آمدن سطح آب هد ایجاد شده در مرحله ۸ از همه بیشتر و نرخ نفوذ نیز

در این مرحله بیشتر از سایر مراحل تزریق می‌باشد. براساس شکل (۵-۱۲) هرچه هد ایجاد شده در چاه بیشتر باشد، نرخ نفوذ نیز بیشتر می‌باشد. نرخ نفوذ در مرحله ۷ تا دقیقه ۱۴ بیشتر از مرحله ۱۰ بوده و پس از آن کاهش یافت، این امر ممکن است به دلیل اشباع نبودن خاک رخ داده باشد. لازم به ذکر است که هد ایجاد شده و نرخ نفوذ در همه مراحل با هم مقایسه شدند (به استثنا مرحله ۹) و نتایج نشان داد که هد ایجاد شده با نرخ نفوذ به صورت لگاریتمی ارتباط معکوس دارد (شکل ۵-۱۳).



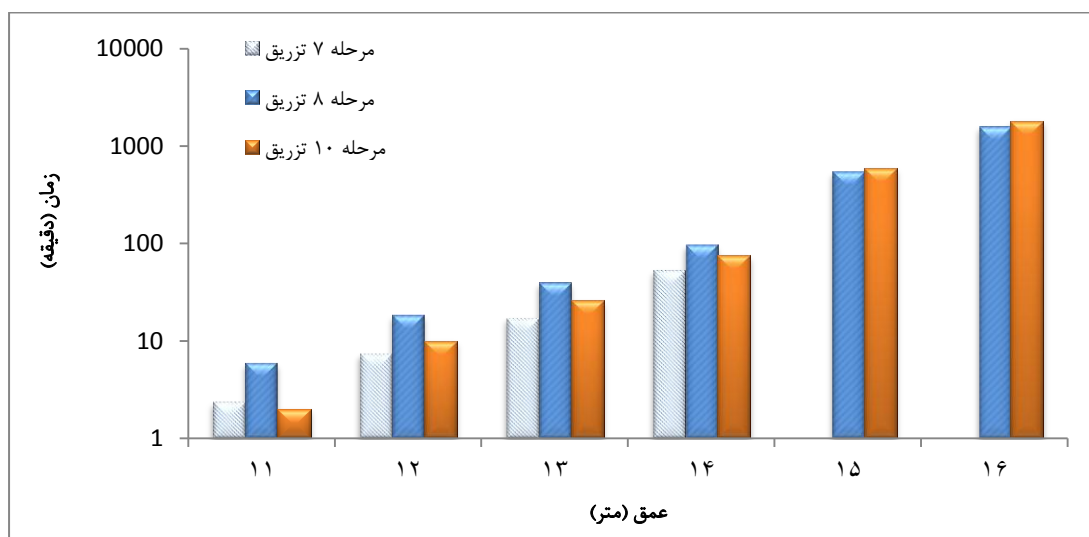
شکل (۵-۱۲) مقایسه‌ی تغییرات نرخ نفوذ مراحل ۷، ۸ و ۱۰ تزریق با یکدیگر



شکل (۵-۱۳) مقایسه بین حداکثر هد ایجاد شده و نرخ نفوذ در چاه تزریق

۵-۲- بررسی تغییرات افت نسبت به عمق

با اندازه‌گیری تغییرات سطح ایستابی پس از تزریق آب، نرخ افت آب در چاه محاسبه گردید. سرعت افت در هر مرحله به هد ایجاد شده در چاه بستگی دارد. در مراحل ۷، ۸ و ۱۰ تزریق سرعت افت تا عمق ۱۴ متری خیلی زیاد بوده و در مدت زمانی کمتر از دو ساعت ۴ تا ۵ متر افت در چاه رخ داده است (شکل ۵-۱۴). مقدار افت در اعماق پایین‌تر از ۱۴ متر خیلی کمتر است. افت سطح ایستابی تا عمق ۱۶ متری حداکثر ۳ روز پس از هر مرحله تزریق به طول می‌انجامد. براساس بررسی‌های انجام شده به طور متوسط ۷ روز طول می‌کشد تا حداکثر افت در چاه روی داده و سطح آب به انتهای عمق ۱۶ متری برسد. سطح ایستابی تا هر عمقی که صعود کرده باشد، به میزانی افت خواهد نمود، که در نهایت به عمق ۱۷ متری (سطح ایستابی اولیه) برسد. سرعت کم افت در تزریق‌های سال ۹۰ و ۹۱ که سطح ایستابی تا ۳/۹ متر نیز بالا آمده بود؛ احتمالاً به دلیل وجود لایه‌های با نفوذپذیری کم می‌باشد.

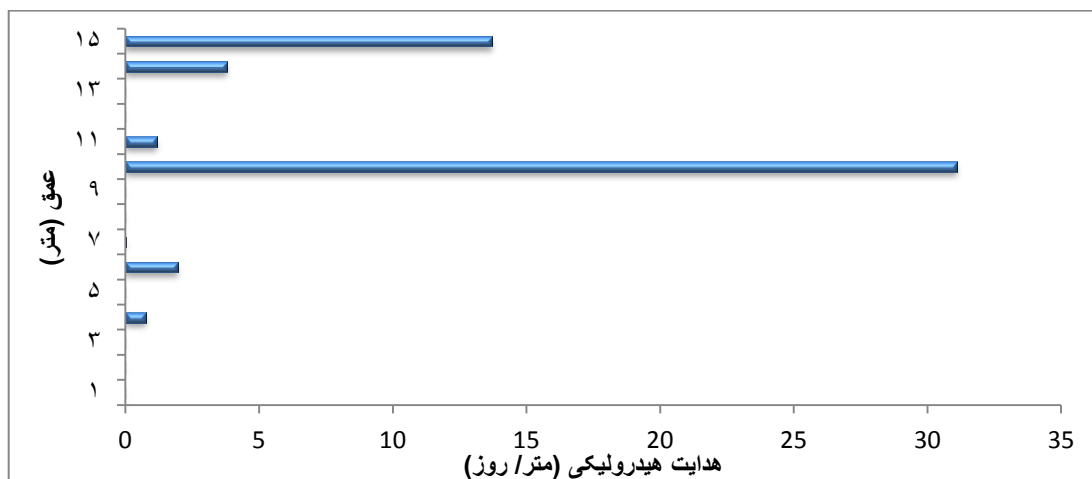


شکل ۵-۱۴) زمان طی شده پس از تزریق تا رسیدن سطح آب به اعماق مختلف

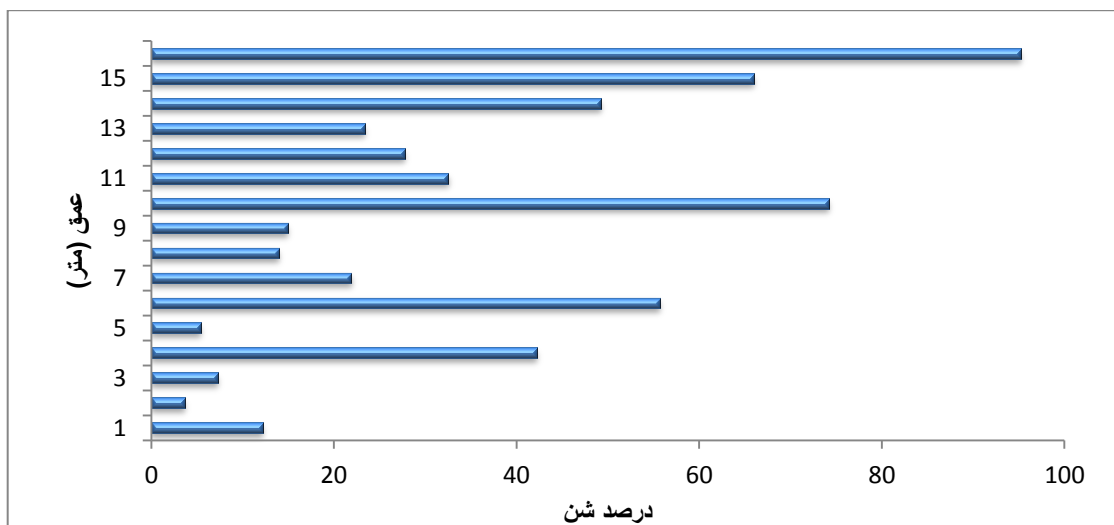
۵-۳- بررسی تغییرات هدایت هیدرولیکی نسبت به عمق

هدایت هیدرولیکی عمق‌های مختلف با استفاده از فرمول‌های تجربی در بخش ۴-۳ محاسبه گردید. شکل (۵-۱۵) مقادیر هدایت هیدرولیکی برآورد شده از فرمول USAD در اعماق مختلف را نشان

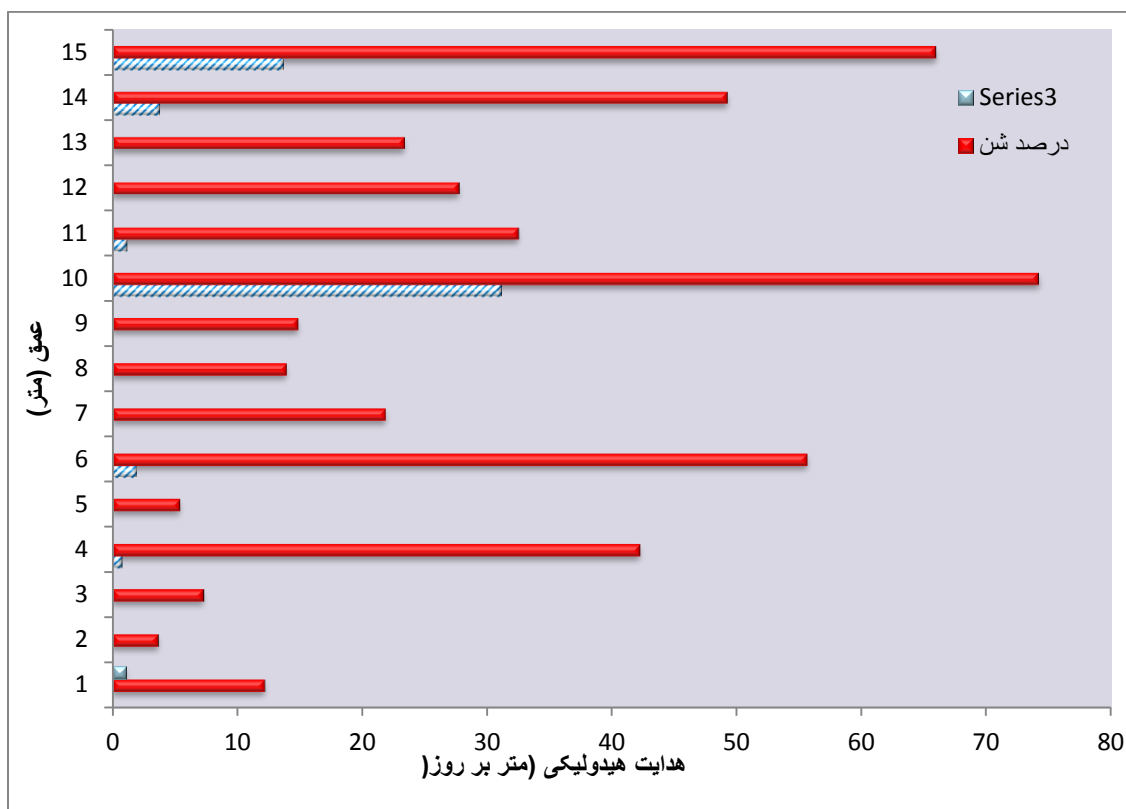
می‌دهد. حداکثر هدایت هیدرولیکی در عمق ۱۰ متری مشاهده می‌شود. درصد شن در اعماق مختلف نیز نشان داده شده است (شکل ۵-۱۶)، که حداکثر میزان شن در عمق ۱۰ متری ملاحظه می‌شود. با ترکیب دو شکل (۵-۱۵) و (۵-۱۶) مقادیر هدایت هیدرولیکی و درصد شن در اعماق مختلف به صورت هم‌زمان در شکل (۵-۱۷) نشان داده شده است. هرچه درصد شن در نمونه بیشتر باشد هدایت هیدرولیکی نیز بیشتر است. در این مورد یک استثنا وجود دارد و آن هم این است، که درصد شن عمق ۱۱ متری کمتر از عمق ۱۴ متری می‌باشد، ولی هدایت هیدرولیکی آن بیشتر است. این مورد احتمالاً به دلیل وجود ماسه بیشتر در عمق ۱۱ متری می‌باشد.



شکل ۵-۱۵) مقادیر هدایت هیدرولیکی نسبت به عمق در بخش آبرفتی چاه



شکل ۵-۱۶) درصد شن در اعماق مختلف بخش آبرفتی چاه



شکل ۵-۱۷) تغییرات هدایت هیدرولیکی و درصد شن در اعماق مختلف بخش آبرفتی چاه

فصل ششم

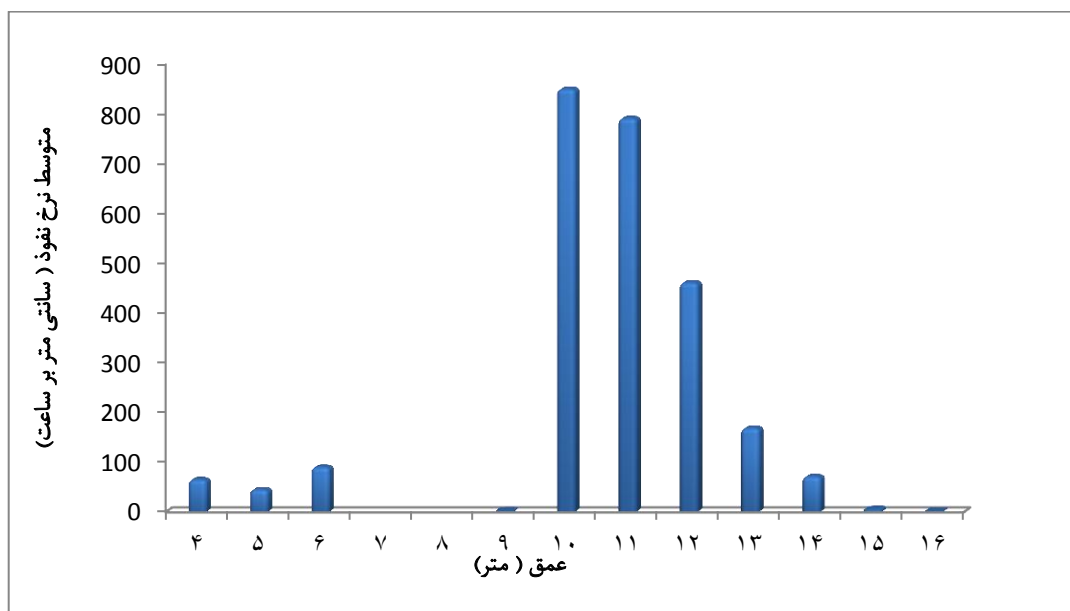
امکان سنجی ذخیره رواناب در

آبرفت

در این فصل با آنالیز داده‌های سطح آب ناشی از تزریق، به بررسی ارتباط بین هدایت هیدرولیکی، تأثیر کیفیت آب، نرخ نفوذ، مقایسه تغییرات افت در سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ با سال ۱۳۹۳، تعیین جهت جریان، برآورد دبی تزریق، محاسبه حجم آبرفت، تخمین افت در چاه و بررسی ذخیره رواناب در یک دوره طولانی پرداخته شده است.

۱-۶- بررسی ارتباط بین هدایت هیدرولیکی و نرخ نفوذ

براساس جداول مبحث (۱-۵) متوسط نرخ نفوذ در اعماق ۱۰ و ۱۱ متری بیشتر از سایر بخش‌های آبرفتی چاه می‌باشد. باتوجه به شکل (۱-۶) حداکثر نرخ نفوذ در عمقی ملاحظه شده، که دارای حداکثر هدایت هیدرولیکی می‌باشد. بنابراین هر عمقی که هدایت هیدرولیکی بالاتری دارد؛ نرخ نفوذ بیشتری دارد به استثنا اعماق ۱۴ و ۱۵ متری که با هدایت هیدرولیکی زیاد نرخ نفوذ کمی را نشان داده‌اند. این مورد به علت تماس بیشتر آب با این دو عمق بوده که باعث اشباع شدن آن‌ها گردیده است و نرخ نفوذ کمتری را در تمام مراحل نشان داده‌اند. علت نرخ نفوذ بالاتر در عمق ۱۱ متری نسبت به ۶ متری، دانه درشت‌تر بودن رسوبات در عمق ۱۱ متری می‌باشد.



شکل ۱-۶) متوسط نرخ نفوذ در اعماق مختلف

۶-۲- بررسی تأثیر مواد معلق آب روی نرخ نفوذ

در چاه ASR، انسداد مهمترین عامل کاهش نرخ نفوذ در چاه می‌باشد. هر چه میزان مواد معلق آب کمتر باشد، انسداد دیرتر رخ می‌دهد و نرخ نفوذ بالاتر می‌رود. در این تحقیق دو نوع آب رواناب و آب تانکر با کیفیت متفاوت به درون چاه تزریق شد. رواناب تزریقی نسبت به آب تانکر دارای املاح و مواد معلق بیشتری می‌باشد. اما آب تانکر با سرعت بالاتری به درون چاه تزریق شده و موجب آشفته‌گی بیشتری در حین تزریق می‌گردد. آشفته‌گی آب نفوذپذیری را کاهش می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان داد، که علیرغم آشفته‌گی، نرخ نفوذ محاسبه شده ناشی از تزریق آب تانکر خیلی بیشتر از نرخ نفوذ رواناب تزریقی است. این مورد به دلیل کیفیت مناسب‌تر آب تانکر است، که عاری از مواد معلق بوده است. با توجه به مساحت محوطه چاه (محوطه مرغداری که سیستم تزریق در آن طراحی شده) و متوسط بارش سالانه، متوسط حجم بارش در محدوده طراحی شده برای تغذیه برابر ۳۰۰۰ مترمکعب می‌باشد. اگر حداقل نصف آن به رواناب تبدیل و به درون چاه تزریق شود، می‌تواند باعث اشباع شدن بخشی از آبرفت گردد. با این محاسبات اگر حداقل رواناب در محدوده ایجاد شود حدوداً ۳۰ برابر کل حجم آبی است که با تانکر تزریق شده است.

۶-۳- مقایسه نرخ افت در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ با سال ۱۳۹۳

در سال ۹۰-۹۱ طی ۶ مرحله رواناب به درون چاه تزریق شد ولی در سال ۹۳ آب تانکر به طور مستقیم درون چاه تغذیه تزریق شد. بنابراین لازم است که تغییرات افت مراحل مختلف تزریق باهم مقایسه شوند. لازم به ذکر است، که چاه تزریق پس از حفر کاملاً خشک بوده، بنابراین حداکثر هد در مرحله‌ی اول تزریق ایجاد شده است. در این مرحله از تزریق سطح آب تا ۶ متری بالا آمده و افت به دلیل ظرفیت جذب بالا درون خاک‌های با نفوذپذیری کم با سرعت بالاتری صورت گرفته است. هد ایجاد شده در مراحل ۲ تا ۶ تزریق که در سال ۹۱ صورت گرفته، همچنان خیلی بیشتر از سال ۹۳ می‌باشد. هرچه میزان هد ایجاد شده بیشتر باشد، برای رسیدن به سطح ایستابی اولیه افت بیشتری

ایجاد می‌شود. اما در مراحل ۲ تا ۶ فاصله تزریق‌ها کوتاه بوده و برای هر مرحله میزان افت کمتری ثبت شده است. در مرحله‌ی سوم تزریق در سال ۹۱، ۰/۵ متر افت (از عمق ۱۰/۵ تا ۱۱ متری) طی ۲ روز انجام شده در حالیکه افت در سال ۹۳ در همان عمق در کمتر از ۵ دقیقه رخ داده است. در سال‌های ۹۰ و ۹۱ تزریق در بهمن، آذر و دی ماه صورت گرفته که دمای هوا سردتر و تبخیر از سطح زمین کمتر بوده ولی در سال ۹۳ تزریق در فروردین ماه که هوا گرم‌تر و تبخیر زیادتر می‌باشد انجام شده است. البته باید ذکر کرد که محاسبه مقدار اثر تبخیر بر روی نفوذ نیاز به اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق از سطح آب دارد (در حد میلی‌متر).

۴-۶- محاسبه دبی تزریق

دبی تزریق با در نظر گرفتن حجم آب تزریق شده و مدت زمان تزریق از فرمول ۱-۶ برای تمام مراحل تزریق برآورد شده و در جدول ۱-۶ ارائه شده است.

$$Q = \frac{v}{t} \quad (۱-۶)$$

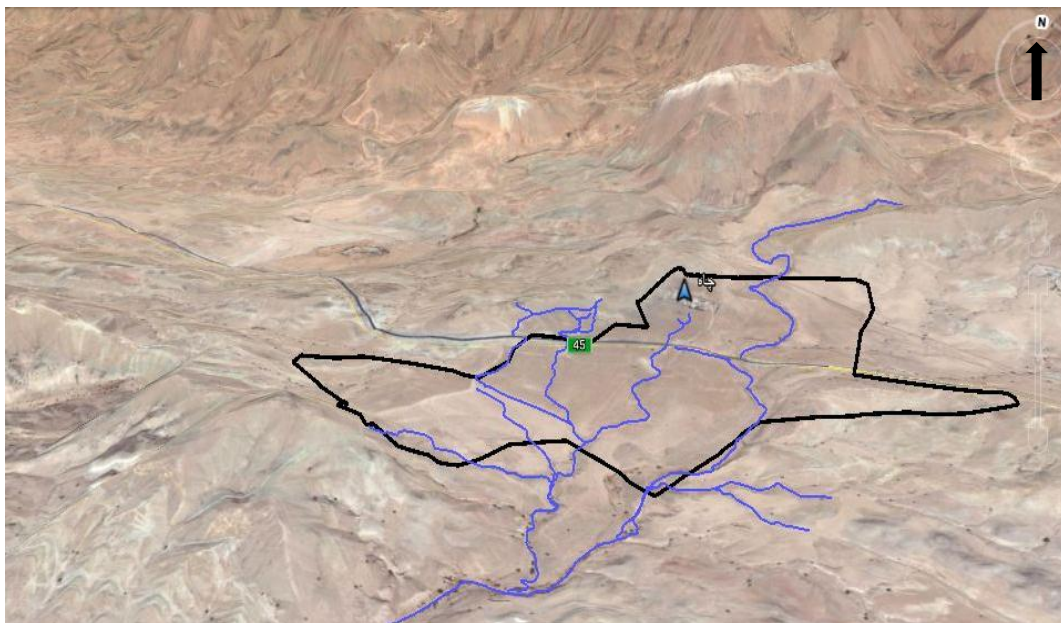
در فرمول ارائه شده Q ، دبی تزریق (متر مکعب در روز)، v حجم آب تزریق شده (متر مکعب) و t مدت زمان تزریق (روز)

جدول ۱-۶) مشخصات دبی و حجم آب در مراحل ده‌گانه تزریق

مرحله‌ی تزریق	تاریخ تزریق	مدت زمان تزریق (دقیقه)	دبی (مترمکعب/ساعت)	حجم آب تزریقی (مترمکعب)
۱	۱۳۹۰/۱۱/۱	۱۲۰	۱۵	۳۰
۲	۱۳۹۱/۹/۴	۸۴۰	۳/۵	۴۹
۳	۱۳۹۱/۹/۱۸	۳۰۰	۳/۵	۱۷/۵
۴	۱۳۹۱/۹/۲۱	۴۸۰	۳/۵	۲۸
۵	۱۳۹۱/۱۰/۱	۳۰۰	۳/۵	۱۷/۵
۶	۱۳۹۱/۱۰/۶ و ۵	۱۲۰	۳/۵	۷
۷	۱۳۹۳/۱/۶	۵۰	۲۰/۴	۱۷
۸	۱۳۹۳/۱/۶	۱۷	۶۰	۱۷
۹	۱۳۹۳/۱/۱۳	۳۰	۰/۴۸	۰/۶
۱۰	۱۳۹۳/۱/۲۵	۳۷	۲۷/۵	۱۷

۶-۵- جهت جریان

تعیین مسیر حرکت آب زیرزمینی برای بدست آوردن پارامترهای هیدرولیکی و مدیریت آبخوان مهم است. همچنین تعیین جهت حرکت آب‌های سطحی برای بررسی‌های هیدرولوژیکی مهم می‌باشد. با توجه به نقشه‌های توپوگرافی و آبراهه‌ها در منطقه جهت جریان به سمت جنوب غرب چاه تزریق می‌باشد (شکل ۶-۲). در شکل (۶-۲) محدوده آبرفت با رنگ مشکی مشخص شده است.



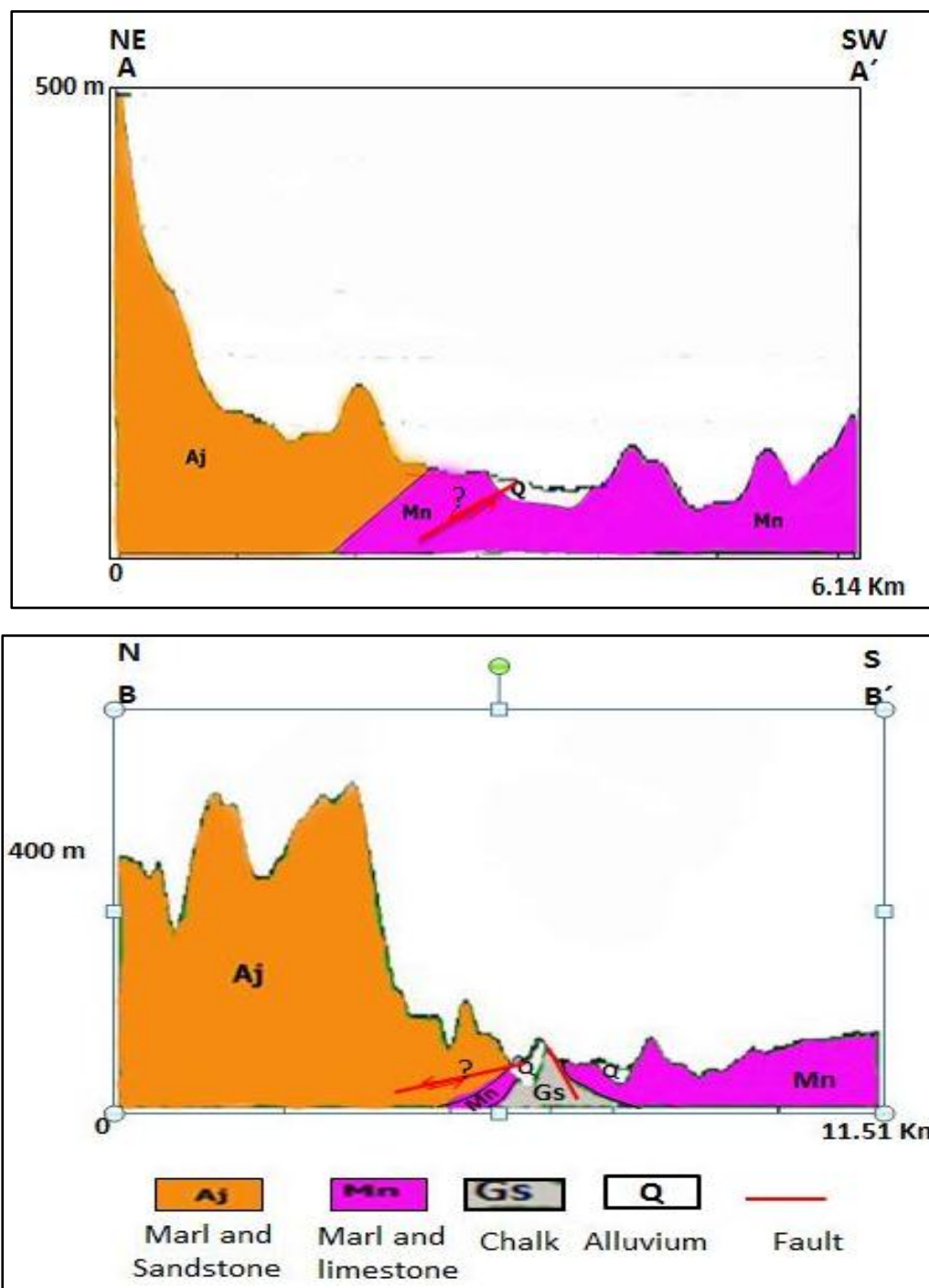
شکل ۶-۲) محدوده‌ی آبرفت و جهت آبراهه‌ها (با اقتباس از Google Earth)

براساس بیرون‌زدگی‌های سازند میشان و گچساران در اطراف آبرفت به نظر می‌رسد که مسیر حرکت آب زیرزمینی در جهت زهکش اصلی منطقه می‌باشد. در انتهای دشت در جنوب غربی چاه در محل زهکش اصلی منطقه بیرون‌زدگی به ارتفاع ۶ متر از ذرات دانه ریز و در مقابل آن سازند گچساران رخنمون دارد. در بخش شرقی چاه در فاصله ۱۰۰ متری در شرق چاه در بریدگی یک آبراهه ، یک رخنمون ۳ متری از آبرفت مشاهده می‌شود که در قسمت تحتانی این رخنمون سازند میشان وجود دارد (اشکال ۶-۳ و ۶-۴). بیرون‌زدگی و ارتفاعات سازند میشان در بخش‌های شمالی و شرقی چاه دلیل بر عدم حرکت آب زیر زمینی به این جهت می‌باشد. جریان آب زیرزمینی نیز از توپوگرافی

سطحی طبیعت نموده و در جهت زهکش اصلی منطقه می‌باشد. در دو مسیر AA' و BB' مقطع زمین‌شناسی از محدوده مورد مطالعه تهیه شده و در شکل (۴-۶) مشخص شده است. شکل (۵-۶) نمای کلی از دشت (آبرفت) را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶) رخنمون آبرفت در دیواره آبراهه اصلی منطقه الف: بیرون زدگی در بخش جنوب غربی دشت ب: بیرون‌زدگی در بخش شرقی دشت



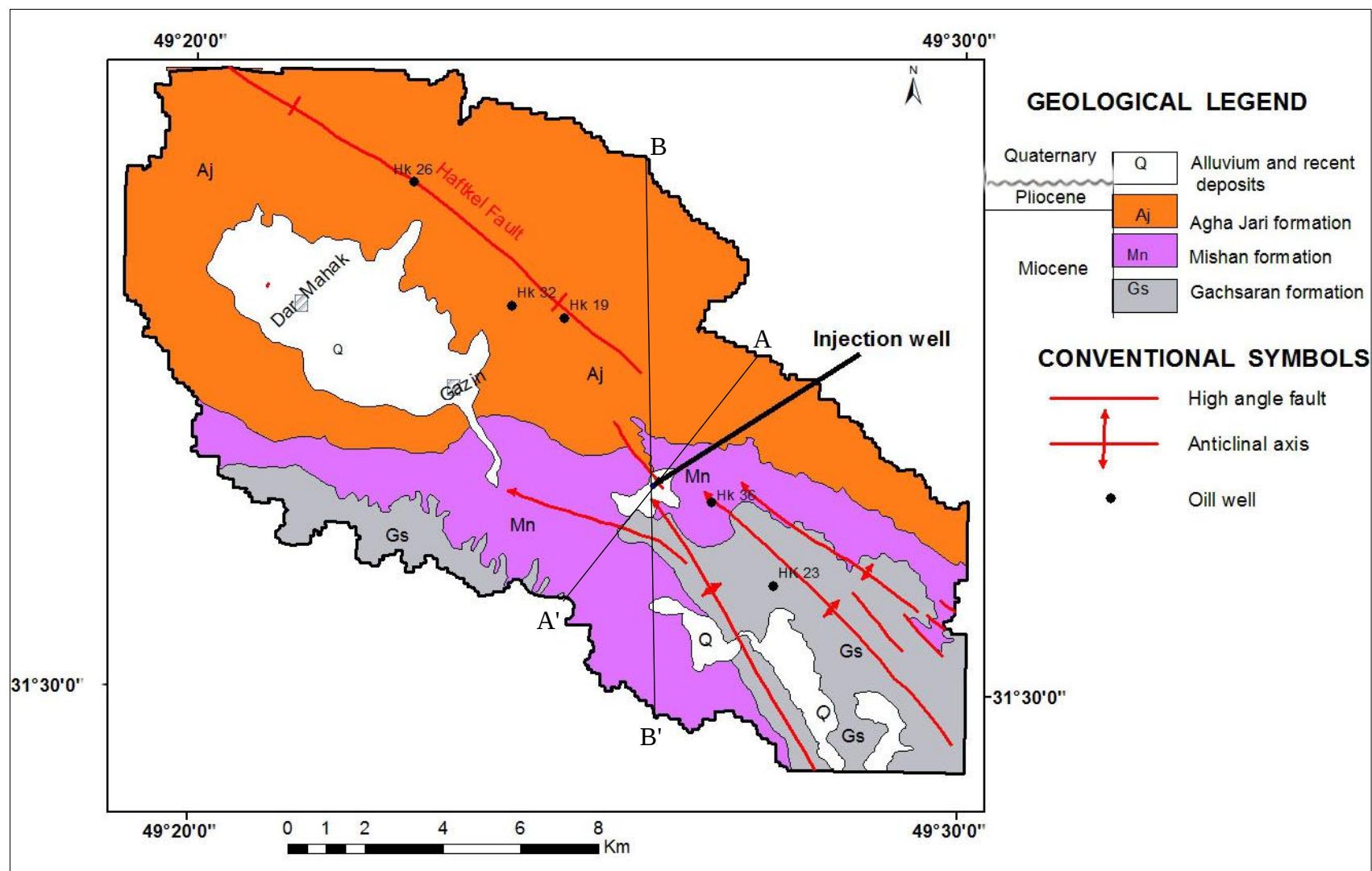
شکل ۶-۴) مقاطع زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (محل مقطع در نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است)



شکل ۵-۶) نمای کلی از آبرفت در اطراف مرغداری و چاه تغذیه در جهت جنوب

۶-۶- حجم آبرفت

مساحت آبرفت در محیط Arc GIS و Google Earth، برابر با ۰/۷۱۵ کیلومتر مربع محاسبه شده است. به دلیل عدم وجود پیژومتر (چاه) در آبرفت و در محدوده‌ی مطالعاتی، از اطلاعات چاه‌های نفت میدان نفتی هفتگل، که در کمترین فاصله از چاه قرار دارند، استفاده شده است. براساس عمق برخورد به سازند میشان در چاه‌های نفتی و چاه آب نقشه هم ضخامت منطقه تهیه گردید و ضخامت آبرفت به طور میانگین ۱۵ متر محاسبه گردید (شکل ۶-۶). حجم آبرفت باتوجه به ضخامت و مساحت آن، ۱۰،۷۲۵،۰۰۰ مترمکعب تعیین شده است. اسامی چاه‌های نفت مذکور شامل Hk ۳۲، Hk ۲۵، Hk ۲۶، Hk ۱۹ و Hk ۳۶ می‌باشد که عمق برخورد به سازند میشان در این چاه‌ها به ترتیب ۱۱۷، ۳۰، ۴۷۰، ۱۷۳ و ۰ متر می‌باشد (Hk مخفف هفتگل می‌باشد).



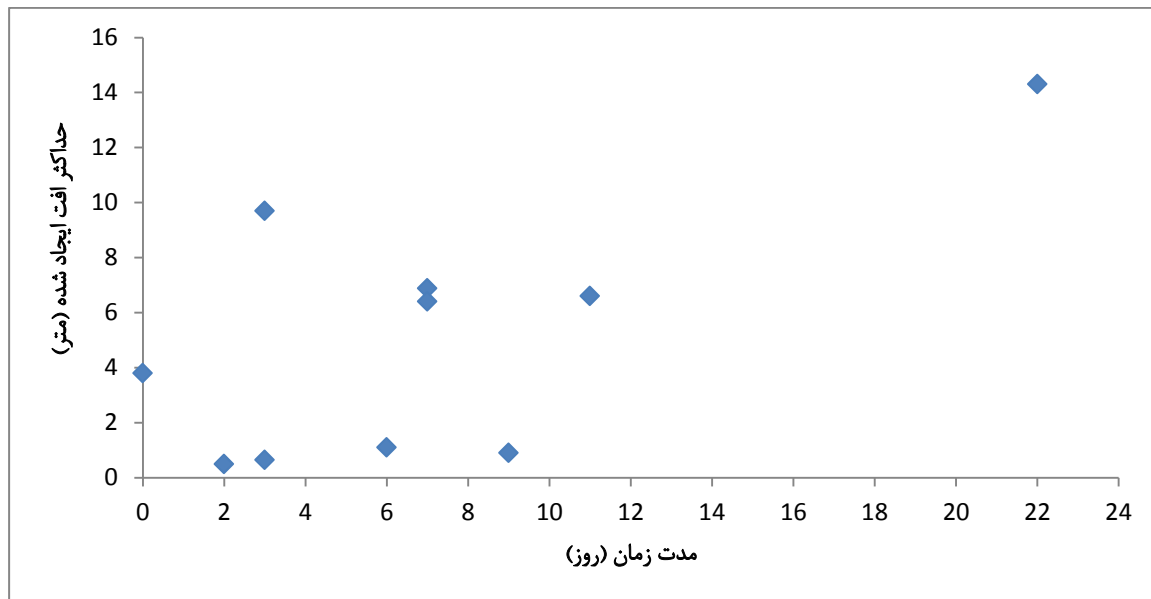
شکل ۶-۶ نقشه زمین‌شناسی منطقه و محل قرارگیری چاه‌های نفت

۶-۷- رابطه بین ارتفاع سطح آب در چاه و میزان افت آب

بسته به ارتفاع سطح ایستابی در چاه (ارتفاع پشته‌ی تغذیه)، نرخ افت و نرخ نفوذ در چاه متفاوت می‌باشد. حداکثر میزان افت در مراحل ده‌گانه تزریق و مدت زمانی که به طول انجامیده تا این افت در چاه رخ دهد در جدول (۶-۱) ارائه شده است. حداکثر مدت زمان افت ناشی از تزریق رواناب ۲۲ روز و ناشی از تزریق آب تانکر (آب تصفیه شده) ۹ روز طول کشید. لازم به ذکر است که بعد از آخرین تزریق، با توجه به تدریجی بودن افت پس از عمق ۱۶ متری، سطح آب پس از گذشت پنج ماه به ۱۷/۴۴ متر رسید. لذا لازم است، که میزان افت و نرخ نفوذ در چاه در سطح ایستابی‌های مختلف محاسبه شود. از بین مراحل ده‌گانه تزریق، میزان افت و نرخ نفوذ در مراحل ۷ تا ۱۰ با دقت بیشتری ثبت گردیده است. براساس داده‌های موجود میزان افت به ازاء ۱ متر ارتفاع پشته تغذیه (بالاآمدگی سطح آب) در مراحل ۸ و ۱۰ در زمان‌های مساوی برآورد شده است. با این محاسبات میزان افت در مراحل ۸ و ۱۰ به ازاء یک متر ارتفاع پشته به ترتیب ۸۱/۹ و ۹۲/۱۵ سانتی متر می‌باشد. براساس این اعداد پیش‌بینی می‌شود که متوسط افت سطح آب ناشی از ۱ متر بالاآمدگی سطح ایستابی ۸۶/۵ سانتی متر خواهد بود. با توجه به اینکه در مرحله‌ی نهم تزریق حداکثر ارتفاع پشته‌ی تغذیه ۱ متر می‌باشد و افت ناشی از آن برابر ۸۵ سانتی‌متر ثبت شده است. میزان افت ثبت شده برای مرحله ۹ به مقدار متوسط پیش‌بینی شده نزدیک است. بنابراین، براساس هد و افت ایجاد شده در چاه، می‌توان پیش‌بینی نمود که به ازاء هر میزان بالا آمدگی آب در چاه (هد) چه میزان افت در چاه خواهد داد. شکل (۶-۷) حداکثر افت ثبت شده در مراحل ده‌گانه تزریق و مدت زمانی که افت رخ داده را نشان می‌دهد.

جدول (۶-۲) حداکثر میزان افت ثبت شده در مراحل مختلف تزریق

مراحل تزریق	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
حداکثر افت (متر)	۹/۷	۶/۶۰	۰/۵	۱/۱	۰/۶۵	۱۴/۳	۳/۸	۶/۸۸	۰/۹	۶/۴
مدت زمان (روز)	۳	۱۱	۲	۶	۳	۲۲	-	۷	۹	۷



شکل ۶-۷ مدت زمان ایجاد افت در مراحل مختلف تزریق

۶-۸- بررسی ذخیره آب در یک دوره طولانی در منطقه مطالعاتی

هدف از ذخیره آب (تغذیه مصنوعی)، بازیابی و استفاده مجدد از آن در مواقع کم آبی و خشک‌سالی می‌باشد. برای دستیابی به آب ذخیره شده، نیاز به بررسی روند تزریق، شیب هیدرولیکی، بافت خاک، نفوذپذیری و غیره می‌باشد. براساس این که خاک در منطقه مطالعاتی اشباع نیست، در هر مرحله که آب به درون چاه تزریق شود، با توجه به حجم آب و هد ایجاد شده در چاه، یک شعاع مشخصی از اطراف چاه مرطوب می‌شود. در مرحله بعدی تزریق، نیروی مکش خاک آب را تا مسافت بیشتری برده و شعاع ترشدگی افزایش می‌یابد. برای محاسبه میزان اشباع شدن خاک، داده‌های رطوبت خاک لازم است، که در این مطالعه اندازه‌گیری نشده است. علاوه براین با توجه به ناچیز بودن سرعت حرکت آب زیرزمینی و با در نظر گرفتن این که مسافت طی شده در مراحل بعدی تزریق افزایش می‌یابد، بنابراین مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا این مسیر طی شود و نرخ نفوذ به مراتب کاهش می‌یابد. هر چه مدت زمان افت سطح آب تا رسیدن به سطح بالایی سازند نفوذناپذیر بیشتر باشد، در نتیجه احتمال بازیافت آب طی این دوره در صورت اشباع بودن خاک بیشتر می‌شود. اگر نرخ نفوذ با دور شدن از چاه کمتر شود، احتمال بازیافت و اشباع شدن بیشتر می‌گردد. اگر برای یک دوره طولانی در

زمستان به طور مداوم آب به درون چاه تزریق شود، نرخ نفوذ به دلیل آشفته‌گی آب و کاهش نفوذپذیری در اثر انسداد کم می‌شود. با کاهش نفوذپذیری مدت زمان افت سطح آب تا سازند نفوذناپذیر طولانی‌تر می‌شود. و لذا احتمال بازیافت آب هم بیشتر می‌شود. اما با توجه به اشباع نبودن آبرفت، افزایش زمان افت نمی‌تواند دلیل قاطعی بر ذخیره آب و قابل استحصال بودن آن در منطقه شود. افزایش زمان افت (کاهش نرخ افت)، احتمال بازیافت آب را طی همان دوره افزایش می‌دهد در صورتیکه ذخیره و بازیابی آب برای دوران خشک (تابستان) لازم است. برای آن که بتوان با قاطعیت بیشتری در مورد بازیافت آب اظهار نظر نمود، ضروری است که پمپاژ آب از چاه صورت گیرد. علاوه براین اگر یک یا دو چاه مشاهده‌ای دیگر درون آبرفت باشد با بررسی تغییرات سطح آب در آن پس از تزریق، مسیر حرکت آب زیرزمینی را به طور دقیق می‌توان تعیین کرد. همچنین راحت‌تر می‌توان در مورد امکان یا عدم امکان ذخیره رواناب بحث نمود.

فصل هفتم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۷-۱- نتیجه‌گیری

در این بخش نتایج حاصل از کلیه مراحل تحقیق شامل مطالعات بافت خاک، برآورد هدایت هیدرولیکی، نرخ نفوذ، ارتباط بین نرخ نفوذ و هدایت هیدرولیکی، جهت جریان آب زیرزمینی و نهایتاً امکان‌سنجی ذخیره رواناب در آبرفت به طور مختصر ارائه می‌شود.

۷-۱-۱- بافت خاک

براساس نتایج دانه‌بندی به روش الک خشک و تر، درصد شن، ماسه و گل همه‌ی نمونه‌ها محاسبه گردید. به طور کلی افق‌های مختلف بخش آبرفتی چاه، دارای سه نوع بافت ماسه‌ی گلی، گراول ماسه‌ای و گل گراولی ماسه‌ای می‌باشند. بخش زیادی از آبرفت (۸ متر) از ذرات دانه‌ریز با بافت ماسه-ی گلی تشکیل شده و براساس نمودار توزیع دانه‌بندی، ذرات عمق ۱۰ متری از همه اعماق درشت‌دانه‌تر می‌باشند.

۷-۱-۲- برآورد هدایت هیدرولیکی

همانطور که در بخش (۴-۲) بیان شد، بهترین روش‌های صحرایی برآورد هدایت هیدرولیکی، شامل آزمایش پمپاژ و روش پرما مترگلف و اقتصادی‌ترین روش، استفاده از فرمول‌های تجربی می‌باشد. در این تحقیق براساس اندازه ذرات خاک، فرمول تجربی USDA که توسط وزارت کشاورزی آمریکا ارائه شده، به دلیل به کارگیری قطر مؤثر d_{20} ذرات، برای ارزیابی تمام نمونه‌ها قابل استفاده و مناسب می‌باشد. با استفاده از این فرمول هدایت هیدرولیکی عمودی و افقی چاه به ترتیب $5/076$ و $0/0036$ متر بر روز برآورد گردید. کمترین مقادیر هدایت هیدرولیکی با استفاده از فرمول اسلیچر به دست آمد. تمام فرمول‌ها نشان دادند، که عمق ۱۰ متری دارای بالاترین هدایت هیدرولیکی می‌باشد.

۷-۱-۳- نرخ نفوذ

از بین ۱۰ مرحله تزریق انجام شده، بیشترین مقادیر نرخ نفوذ در مراحل ۷، ۸ و ۱۰ تزریق مشاهده شده است. حداکثر نرخ نفوذ نیز در این سه مرحله به ترتیب $۳۷۰/۶۳$ ، $۲۰۰/۷۲$ و $۱۵۸/۴۳$ سانتی‌متر بر ساعت محاسبه شده است. علاوه بر این بیشترین مقادیر نرخ نفوذ در تمام مراحل برای اعماق ۱۰ و ۱۱ متری به طور میانگین ۸۵۰ و $۷۹۱/۲۲$ سانتی متر بر ساعت می‌باشد؛ که درشت دانه‌ترین ذرات بخش آبرفتی چاه نیز در این اعماق قرار دارند. حداقل نرخ نفوذ در عمق ۱۶ متری ثبت گردید. لازم به ذکر است که عمق ۱۶ متری جز بخش مارنی سازند می‌باشد، که نفوذ ناپذیر می‌باشد، اما به دلیل این که سطح تماس بین آبرفت و سازند می‌باشد، لذا بهترین محل برای گذر آب بوده و علیرغم انتظار افت سطح آب در آن ملاحظه شد. علاوه بر این مقدار نرخ نفوذ به حد ایجاد شده در حین تزریق نیز وابسته است. حداکثر میزان نرخ نفوذ در مرحله ۸ ایجاد شده است.

۷-۱-۴- ارتباط بین نرخ نفوذ و هدایت هیدرولیکی

نتایج این مطالعه نشان داد، که نرخ نفوذ و هدایت هیدرولیکی ارتباط مستقیمی با هم دارند، به گونه‌ای که حداکثر نرخ نفوذ و هدایت هیدرولیکی در عمق ۱۰ متری محاسبه شده است. اما اگرچه اعماق ۱۴ و ۱۵ متری دارای هدایت هیدرولیکی زیادی بوده ولی نرخ نفوذ پایینی دارند (ارتباط معکوس). این موضوع به این دلیل است که در تمامی مراحل ده‌گانه تزریق بلا استثنا آب دو عمق فوق را پوشانده است. لذا زمان تماس آب با این دو عمق زیاد بوده و این مسئله باعث اشباع شدن آن‌ها گردیده و سرعت حرکت آب و نرخ نفوذ علیرغم هدایت هیدرولیکی بالا، کاهش یافته است.

۷-۱-۵- جهت جریان

پس از تعیین حوضه آبریز منطقه و براساس آبراهه‌ها، شیب لایه‌ها، توپوگرافی سطحی و بیرون‌زدگی‌های سازندهای می‌شان و گچساران در اطراف دشت، جهت جریان آب سطحی به سمت زهکش اصلی

منطقه، به سمت جنوب غرب چاه تعیین شد. گمان بر این است که جهت جریان آب زیرزمینی هم به همین سمت است.

۷-۱-۶- تأثیر کیفیت آب

نتایج تزریق در مراحل ۷ تا ۱۰ نسبت به ۶ مرحله دیگر نشان داد که هرچه میزان مواد معلق آب کمتر باشد، باعث افزایش نرخ نفوذ می‌گردد. کیفیت بهتر آب احتمال انسداد را کاهش می‌دهد.

۷-۱-۷- امکان سنجی ذخیره رواناب

با توجه به این که هدف مطالعه امکان‌سنجی ذخیره رواناب بوده است به دلایل زیر برای رسیدن به هدف این مطالعه و ارائه نظر قطعی نیاز به بررسی‌های بیشتری می‌باشد:

- ۱- عدم ایجاد رواناب ناشی از باران در طی مدت مطالعه: این مطالعه نشان داد که نرخ نفوذ برای آب‌های تزریقی از طریق تانکر بسیار متفاوت از نرخ نفوذ در حالتی که آب تزریقی رواناب است می‌باشد. لازم به ذکر است که داده‌های اندازه‌گیری شده از رواناب تزریقی (۶ مرحله اول) دقت کمتری نسبت به آب تزریقی از طریق تانکر داشته‌است.
- ۲- عدم امکان استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی برای تشخیص محدوده هاله نفوذ.
- ۳- حجم کم آب تزریقی از طریق تانکر، در صورتی که در حالت عادی رواناب ایجاد شده باید حداقل حدود ۱۵۰۰ مترمکعب باشد.
- ۴- دبی متفاوت تزریق آب توسط تانکر و رواناب.

۷-۲- پیشنهادها

به منظور بررسی بیشتر شرایط زیر سطحی منطقه و ارزیابی امکان ذخیره‌سازی آب در منطقه موارد زیر پیشنهاد می‌شود.

(۱) انجام آزمایش ژئوفیزیک برای بررسی تأثیر گسل کواترنری در مجاور چاه و تأثیر گسل روی فرار آب.

(۲) حفاری دو چاه دیگر در نزدیک چاه مورد نظر جهت تعیین بهتر جهت جریان آب زیرزمینی.

(۳) مسدود کردن چاه تا عمق ۱۳ متری جهت ذخیره‌ی رواناب.

پیوست‌ها

پیوست (۱): دانه‌بندی نمونه‌های اعماق ۱ تا ۱۵ متری

الف) دانه‌بندی نمونه عمق ۱ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰/۰۳	۹۳/۴۵
۱۰	۰/۷۰	۹۲/۷۵
۱۸	۲/۳۶	۹۰/۳۹
۳۵	۳/۹۲	۸۶/۴۴
۶۰	۱۶/۶۸	۶۹/۷۵
۱۲۰	۲۳/۲۴	۴۶/۵۱
۲۳۰	۱۸/۵۷	۲۷/۹۵
pan (سینی)	۲۷/۹۵	۰

ب) دانه‌بندی نمونه عمق ۲ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰/۱۱	۹۹/۴۴
۱۰	۰/۸۲	۹۸/۶۲
۱۸	۵/۲۸	۹۳/۳۴
۳۵	۴/۲۰	۸۹/۱۴
۶۰	۱۵/۸۳	۷۳/۳۱
۱۲۰	۱۴/۹۲	۵۸/۳۹
۲۳۰	۱۳/۵۱	۴۴/۸۸
pan (سینی)	۴۴/۸۸	۰

ج) دانه‌بندی نمونه عمق ۳ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰	۱۰۰
۱۰	۰/۱۴	۹۹/۸۶
۱۸	۲/۲۴	۹۷/۶۱
۳۵	۳/۵۳	۹۴/۰۸
۶۰	۱۹/۹۴	۷۴/۱۵
۱۲۰	۲۷/۸۳	۴۶/۳۲
۲۳۰	۹/۷۶	۳۶/۵۶
pan (سینی)	۳۶/۵۶	۰

د) دانه‌بندی نمونه عمق ۴ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۱/۵"	۰	۱۰۰
۱"	۱۱/۳۷	۸۶/۶۳
۳/۴"	۱/۴۵	۸۷/۱۸
۱/۲"	۴/۵۷	۸۲/۶۱
۵	۱۰/۳۶	۷۲/۲۵
۱۰	۱۴/۴۶	۵۷/۷۸
۱۸	۱۳/۵۰	۴۴/۲۸
۳۵	۱۰/۴۸	۳۳/۸۰
۶۰	۹/۴۴	۲۴/۳۶
۱۲۰	۱۲/۱۳	۱۲/۲۳
۲۳۰	۷/۱۳	۵/۱۰
pan (سینی)	۵/۳۷	۰

ه) دانه‌بندی نمونه عمق ۵ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰/۱۰	۹۹/۹۰
۱۰	۱/۰۸	۹۸/۸۲
۱۸	۲/۵۵	۹۶/۲۷
۳۵	۳/۴۴	۹۲/۸۳
۶۰	۱۵/۳۶	۷۷/۴۷
۱۲۰	۲۰/۴۲	۵۷/۰۵
۲۳۰	۲۵/۱۸	۳۱/۸۸
pan (سینی)	۳۱/۸۸	۰

و) دانه‌بندی نمونه عمق ۶ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۱/۵"	۰	۱۰۰
۱"	۱۰/۸۸	۸۶/۱۲
۳/۴"	۳/۷۵	۸۵/۳۷
۱/۲"	۶/۲۰	۷۹/۱۷
۵	۱۸/۴۹	۶۰/۶۷
۱۰	۱۶/۳۱	۴۴/۳۶
۱۸	۱۱/۱۸	۳۳/۱۸
۳۵	۸/۲۱	۲۴/۹۷
۶۰	۶/۰۶	۱۸/۹۱
۱۲۰	۶/۸۶	۱۲/۰۵
۲۳۰	۶/۹۹	۵/۰۶
pan (سینی)	۳/۱۹	۰

ز) دانه‌بندی نمونه عمق ۷ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰/۵۰	۹۹/۵۰
۱۰	۰/۷۰	۹۸/۸۰
۱۸	۳/۵۴	۹۵/۲۶
۳۵	۸/۱۸	۸۷/۰۸
۶۰	۲۲/۷۶	۶۴/۳۲
۱۲۰	۲۶/۲۱	۳۸/۱۰
۲۳۰	۱۸/۱۹	۱۹/۹۱
pan (سینی)	۱۹/۹۱	۰

ح) دانه‌بندی نمونه عمق ۸ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰	۱۰۰
۱۰	۰/۲۳	۹۹/۷۷
۱۸	۰/۸۱	۹۸/۹۶
۳۵	۱/۲۶	۹۷/۷۱
۶۰	۸/۱۸	۸۹/۵۳
۱۲۰	۱۴/۴۱	۷۵/۱۲
۲۳۰	۳۷/۱۲	۳۸
pan (سینی)	۳۸/۰۱	۰

(ط) دانه‌بندی نمونه عمق ۹ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰/۰۹	۹۹/۱۷
۱۰	۰/۸۳	۹۸/۳۴
۱۸	۲/۰۶	۹۶/۲۸
۳۵	۳/۶۷	۹۲/۶۰
۶۰	۱۰/۹۱	۸۱/۶۹
۱۲۰	۲۵/۲۶	۵۶/۴۰
۲۳۰	۲۲/۱۱	۳۴/۲۹
pan (سینی)	۳۴/۲۹	۰

(ی) دانه‌بندی نمونه عمق ۱۰ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۱/۵"	۰	۱۰۰
۱"	۳۳/۸۹	۶۶/۱۱
۳/۴"	۵/۷۴	۶۰/۳۷
۱/۲"	۵/۷۲	۵۴/۶۵
۵	۲۰/۶۲	۳۴/۰۳
۱۰	۸/۲۲	۲۵/۸۱
۱۸	۶/۷۷	۱۹/۰۵
۳۵	۶/۸۸	۱۲/۱۷
۶۰	۴/۸۸	۷/۲۹
۱۲۰	۳/۵۸	۳/۷۱
۲۳۰	۲/۰۹	۱/۶۲
pan (سینی)	۱/۴۳	۰

ک) دانه‌بندی نمونه عمق ۱۱ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۱"	۰	۱۰۰
۳/۴"	۵/۷۶	۹۴/۲۴
۱/۲"	۰	۹۴/۲۴
۵	۱۱/۷۹	۸۲/۴۵
۱۰	۱۴/۹۴	۶۷/۵۱
۱۸	۱۴/۴۰	۵۳/۱۱
۳۵	۱۰/۶۳	۴۲/۴۹
۶۰	۸/۳۸	۳۴/۱۰
۱۲۰	۱۴/۲۱	۱۹/۸۹
۲۳۰	۱۱/۲۷	۸/۶۲
pan (سینی)	۸/۲۴	۰

ل) دانه‌بندی نمونه عمق ۱۲ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۰/۴۰	۹۸/۵۲
۱۰	۱/۳۶	۹۷/۱۶
۱۸	۱/۹۶	۹۵/۲۰
۳۵	۴/۱۶	۹۱/۰۵
۶۰	۱۰/۴۰	۸۰/۶۵
۱۲۰	۱۹/۴۵	۶۱/۱۹
۲۳۰	۲۴/۰۶	۳۷/۱۳
pan (سینی)	۳۷/۱۳	۰

(م) دانه‌بندی نمونه عمق ۱۳ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۵	۵/۲۴	۹۴/۳۵
۱۰	۲/۶۴	۹۱/۷۰
۱۸	۳/۱۲	۸۸/۵۸
۳۵	۵/۸۴	۲۸/۷۴
۶۰	۳/۳۲	۷۹/۴۳
۱۲۰	۱۹/۲۹	۷۰/۱۴
۲۳۰	۱۲/۰۵	۵۸/۰۸
pan (سینی)	۵۸/۰۸	۰

(ن) دانه‌بندی نمونه عمق ۱۴ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۱/۵"	۰	۱۰۰
۱"	۱/۲۱	۹۸/۷۹
۳/۴"	۰/۶۲	۹۸/۱۸
۱/۲"	۵/۹۵	۹۲/۲۳
۵	۲۹/۳۶	۶۲/۸۷
۱۰	۱۸/۳۸	۴۴/۴۹
۱۸	۱۳/۷۹	۳۰/۶۹
۳۵	۹/۴۰	۲۱/۲۹
۶۰	۵/۰۸	۱۶/۳۱
۱۲۰	۴/۱۸	۱۲/۰۴
۲۳۰	۲/۹۷	۹/۰۷
pan (سینی)	۹/۰۷	۰

س) دانه‌بندی نمونه عمق ۱۵ متری

شماره الک	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری
۱/۵"	۰	۱۰۰
۱"	۱۱/۱۸	۸۸/۸۲
۳/۴"	۱۸/۴۳	۷۰/۳۹
۱/۲"	۸/۲۴	۶۲/۱۵
۵	۱۶/۶۰	۴۵/۵۶
۱۰	۱۱/۵۰	۳۴/۰۵
۱۸	۱۰/۵۰	۲۳/۵۵
۳۵	۶/۶۵	۱۶/۹۱
۶۰	۴/۳۱	۱۲/۶۰
۱۲۰	۲/۸۳	۹/۷۷
۲۳۰	۲/۱۰	۷/۶۸
pan (سینی)	۷/۶۸	۰

منابع

۱. اداره‌ی هواشناسی استان خوزستان، (۱۳۹۱)، آمار برداری محدوده‌ی استان خوزستان
۲. اداره‌ی هواشناسی استان خوزستان، (۱۳۹۲)، آمار برداری محدوده‌ی استان خوزستان
۳. اصغری پور دشت بزرگ، ن.، ثروتی، م. ر.، عظیمی، ف. و طاهری عبده‌وند، ز.، (۱۳۹۰)، " مکانیابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی در شمال اندیمشک"، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۳۲، سال هشتم، ص ۹۹-۱۱۲.
۴. اصغری مقدم، الف.، (۱۳۸۹)، "اصول شناخت آب‌های زیرزمینی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ۳۴۹ ص.
۵. امیری بختیار، ح.، (۱۳۸۷)، "بازنگری چینه‌شناسی زاگرس: سازندهای آغاچاری و میشان"، ماهنامه اکتشاف و تولید گاز و نفت، شماره ۱۱۰، ص ۳۹-۴۳.
۶. بیات موحد، ف.، مجتهدی، ق. و مهدیان، م. ح.، (۱۳۸۴)، "تأثیر گسترش سیلاب بر تغذیه آبخوان دشت سهرین- قره چریان زنجان"، جله علوم خاک و آب، شماره ۲، دوره ۱۹، ص ۲۹۱-۳۰۰.
۷. حیدرپور، م.، محمدزاده، ج.، (۱۳۸۵)، "مقایسه ضرایب هیدرولیکی به دست آمده از روش چاهک معکوس با روش پمپاژ به داخل چاهک"، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ص ۱۰۵۲-۱۰۵۸، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۸. حیدری، م.م.، (۱۳۸۹)، "تعیین ضریب نفوذپذیری براساس منحنی دانه‌بندی"، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۹. درویش‌زاده، ع.، (۱۳۸۲)، "زمین شناسی ایران"، جلد اول، چاپ دوم، انتشارات امیرکبیر، تهران، ۹۰۱ ص.

۱۰. درویش‌زاده، ع.، (۱۳۸۸)، "زمین‌شناسی ایران"، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات امیرکبیر، تهران، ۴۳۴ ص.
۱۱. رحمانی، ح.، (۱۳۷۷)، پایان نامه ارشد، "ارزیابی تغذیه مصنوعی جاشک- آبدان استان بوشهر"، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۲. رعیت پیشه، ع. ا.، (۱۳۸۰)، " تعیین قابلیت آبخوان جارمه از نظر راندمان تغذیه بعد از اجرای طرح"، نخستین همایش آبخیزداری و مدیریت استحصال آب در حوضه‌های آبخیز، ص ۸۲-۸۹، بوشهر.
۱۳. زینالی، ع.، (۱۳۷۸)، پایان نامه ارشد، "ارزیابی طراحی و عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت امامزاده جعفر گچساران"، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.
۱۴. سرکهکی، م.، (۱۳۸۷)، "بررسی عوامل فوران در چاه شماره ۴۱ میدان نفت سفید"، اولین همایش ملی نفت، گاز و پتروشیمی، گچساران.
۱۵. شیخی، ع.، (۱۳۸۶)، "پروژه تغذیه مصنوعی چاه‌های آب نیروگاه حرارتی شهید مفتاح"، برق منطقه‌ای باختر.
۱۶. شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، آمار چاه‌های میدان نفتی هفتگل.
۱۷. عباسی، ع. ا.، (۱۳۷۸)، "تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با نگرشی بر طرح‌های اجرا شده در کشور"، چاپ شده در روش‌های بهره‌برداری از سیلاب اولین کارگاه آموزشی بخش تحقیقات مدیریت و بهره‌برداری از سیلاب، وزارت جهاد سازندگی، ص ۱-۱۵.
۱۸. علیزاده، الف.، (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، جلد اول، چاپ سی و یکم، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۹۱۱ ص.
۱۹. قبادیان، ر.، محمدی، ک.، (۱۳۸۹)، "مقایسه روش‌های مختلف آنالیز پرماترگلف جهت محاسبه ضرایب هدایت هیدرولیکی صحرایی خاک لوم سیلتی دربالای سطح ایستابی"، نشریه آب و خاک، شماره ۳، دوره ۲۴، ص ۵۱۱-۵۰۱.

۲۰. کشکولی، ع. ا.، کشکولی، ح. ع.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی دو روش پرماترگلف و چاهک معکوس در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در دو خاک با بافت متفاوت"، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲۱. مطیعی، ه.، (۱۳۷۲)، "زمین‌شناسی ایران-چینه‌شناسی زاگرس"، جلد اول، چاپ اول، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ۵۷۲ ص.
۲۲. ملائی، ع.، شفیع، ا.، شهرپور، ع.، (۱۳۸۶)، "بررسی نقش تأسیسات کنترلی در مهار سیلاب دشت امامزاده جعفر گچساران"، www.Civilica.ir.
۲۳. موسوی حرمی، ر.، (۱۳۸۳)، "رسوب‌شناسی"، جلد اول، چاپ دهم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۷۴ ص.
۲۴. نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ اهواز، سازمان نقشه‌برداری کشور
۲۵. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مارون، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۲۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مسجدسلیمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۲۷. نوری، ب.، غیومیان، ج.، محسنی ساروی، م.، درویش‌صفت، ع. الف.، و فیض‌نیا، س.، (۱۳۸۲)، "تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی به روش حوضچه‌های تغذیه"، **مجله منابع طبیعی ایران**، شماره ۴، دوره ۵۷، ص ۶۳۴-۶۴۷.
۲۸. وزارت نیرو، (۱۳۸۴)، "راهنمای استاندارد در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی"، نشریه شماره ۱۵۰-ن، ۱۶۱ ص.
۲۹. وزارت نیرو، (۱۳۹۱)، "راهنمای طراحی، ساخت و بهره‌برداری سامانه‌های انحراف سیلاب"، نشریه شماره ۵۲۷، ۱۲۸ ص.

References:

1. Bhattacharya, A.K., (2010), “ Artificial ground water recharge with a special reference to India” **Artificial Ground Water Recharge.**, 4,2, pp 214-221
2. Bordenave, M.L., (2002), "The Middle Cretaceous to Early Miocene petroleum system in the Zagros Domain of Iran, and its prospect evaluation", **AAPG Annual Meeting**, Houston, Texas.
3. Bouwer, H., (2002), “Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering”, **Hydrogeology Journal**, Vol.10, pp.121-142.
4. Carrier, W.D., (2003), “Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman”, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.**,vol. 129, No. 11, pp.1054.
5. Chatterji, G., (2007), “**Manual on artificial recharge of groundwater**”, Government of India, New Delhi, pp.181.
6. Cheng, C. and Chen, X., (2007), “Evaluation of methods for determination of hydraulic properties in an aquifer- aquitard system hydro logically connected to river”, **Hydrogeology Journal**, Vol. 15, pp.669-678.
7. Dillon, P. and Molloy, R., (2006), “Technical guidance for ASR”, CSIRO Land and Water, pp.24.
8. Gale, I., Neumann. I., Calow, R. and Moench, M., (2007), “The effectiveness of artificial recharge of groundwater: a review”, **British Geological Survey**, pp.51.
9. Hofkes, E.H. and Visscher, J.T., (1986), “**Artificial groundwater recharge for water supply of medium-size communities in developing countries**”, International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation The Hague, The Netherlands, pp.40.
10. Kumar, N.N. and Aiyagari, N., (1997), “Artificial recharge of groundwater”, Groundwater Pollution Primer, Virginia Tech,
11. Martin, R., (2013), “ General manager, Australian groundwater technologies”, pp 4-9, In: “ **Clogging Issues Associated With Managed Aquifer Recharge Methods**”, Martin, R., IAH Commission on Managing Aquifer Recharge, Australia.

12. Martin, R. and Dillion, P., (2002), “**Aquifer storage and recovery future directions for south Australia**”, Department of Water, Land and Biodiversity Conservation, CSIRO, pp.61.
13. Ministry of water resources India, (2000), “**Guide on artificial recharge to ground water**”, Cenntal Ground Water Board, Ministry of Water Resources, Dellhi, pp. 75.
14. Murray, R., Tredoux, G., Ravenscroft, P. and Botha F., (2007), “**Artificial recharge strategy**”, vol 1.3, Water & forestry, South Africa, pp. 150.
15. Murray R., and Harris J., (2010), “**Water banking-a practical guide to using artificial groundwater recharge**”, vol .1., Department of Water Affairs, South Africa, pp. 23.
16. Odong, J., (2013), “Evaluation of empirical formulae for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis”, **International Journal of Agr**, Vol.1., pp .1-8.
17. Ravichandran, S., Sathish Kumar, S. and Singh, L., (2011). “Selective techniques in artificial ground water recharge through dug well and injection well methods”, **Chem Tech**, Vol. 3., pp. 1050-1053.
18. Rinck- Pfeiffer, S., Dillon, P., Ragusa, S., Hutson, J., Fallowfoeld, H., de Marsily, G., and Pavelic, P., (2013), “ Reclaimed water for aquifer storage and recovery: A column study of well clogging”, pp. 26-33, In: “ **Clogging Issues Associated With Managed Aquifer Recharge Methods**”, Martin, R., IAH Commission on Managing Aquifer Recharge, Australia.
19. Singh, L., and Ravichandran, S., (2011), “Studies on estimative methods and their role in artificial groundwater recharge”, **International Journal of ChemTech Research**, Vol .3 (1), pp. 435-440.
20. Todd, D.K., Mays, L., (2005), “**Groundwater hydrology**”, John Wiley & Sons, Inc, pp.636.
21. Vukovic, M. and Soro, A., (1992), “**Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition**”, Water Resources Publications, Littleton, Colorado. pp. 54.

Abstract:

In most parts of the country, due to unevenness and seasonality of rainfall and scarcity of surface water resources, groundwater resources are extracted for different purposes. Methods of artificial recharge to mitigate water scarcity are considered as effective solutions. Different methods of artificial recharge techniques are available and applicability of each method depends upon regions characteristics, such as climate, topography, geology, hydrology, hydrogeology, erosion and sedimentation load of watershed and so on. In this study, due to the lack of space and fine texture of surface soils, the feasibility of storing runoff into injection and recovery well has been investigated. A pilot injection well is located in a dry shallow alluvium, 14 km to the city Haftkel in Khuzestan province. Direct injection of water into the well was done in ten steps and changes in water level during the injection was recorded and then with the use of this changes infiltration rate was calculated. Maximum infiltration rate recorded in steps 7,8 and 10 is 370.63,200.72 and 158.43 cm/h, respectively. For further investigation soil samples were collected from all depths of the well and the texture of each sample was determined according to Folk grain size table. According to grain size, soil generally have three types of texture: muddy sand, sandy gravel and muddy gravelly sand. In the next step, with the particle size distribution curve and empirical formulas such as Kazny- Carmen, Alymany And the Sen, Hazen and etc. Hydraulic conductivity was estimated in all depths of the well. USDA formula is the most appropriate empirical formula for estimating the hydraulic conductivity. According to this formula, horizontal and vertical hydraulic conductivity is estimated 5.076 and 0.00036 m/day, respectively. It should be noted that the maximum hydraulic conductivity of all the formulas is calculated for depth of 10 meters. Maximum changes of infiltration rates were recorded for 10 and 11 meters depth, on average 850 and 791.22 cm / h, both of which have a coarse texture and are included gravel. By analyzing all the data and information, due to lack of sufficient runoff during the study period, the feasibility of storing water in the alluvium can not be definitely known.

Key words: (Shallow alluvium, Injection and recovery well, Infiltration rate, Hydraulic conductivity)



University of Shahrood
Faculty of Earth Sciences
Hydrogeology and Environmental Geology Group

MSc. Thesis

**The feasibility study of storing rainwater in a thin alluvium: A case study in Gazin
village, Haftkel, Khozestan**

By

Kobra Sheikh Leiveci

Supervisor:

Dr. Gholam Abbas Kazemi

Advisor:

Noorali Damough

Dec. 2014