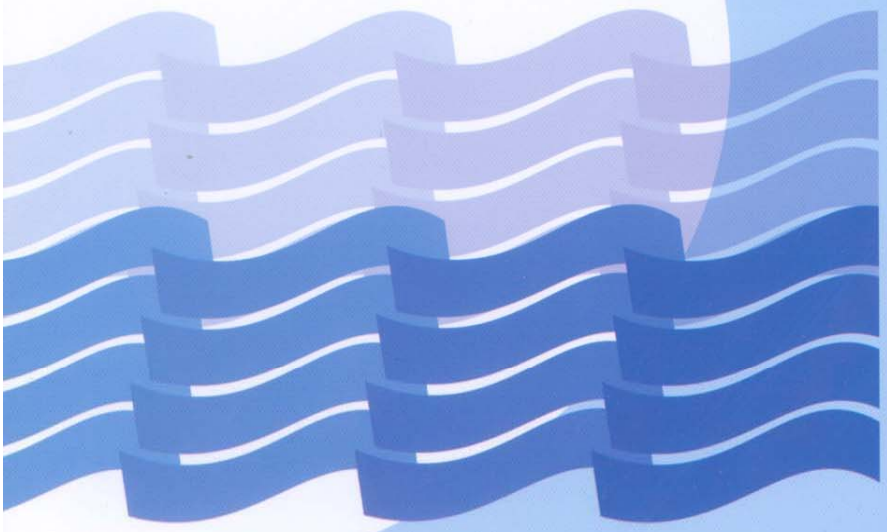
وزارت نیرو
معاونت امور آب و آبفا
دفتر مهندسی و معیارهای فنی
آب و آبفا

پیش‌نویس

راهنمای چگونگی بررسی نشست زمین در نتیجه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی



نشریه شماره ۳۴۱- الف

خرداد ماه ۱۳۸۸

پیش‌نویس

راهنمای چگونگی بررسی نشست زمین در نتیجه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی

نشریه شماره ۳٤۱- الف

خرداد ماه ۱۳۸۸

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی – تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط ومعیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو با همکاری معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور به منظور تامین اهداف زیر اقدام به تهیه استانداردهای صنعت آب نموده است :

- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور

تدوین استانداردهای صنعت آب با در نظر داشتن موارد زیر صورت می‌گیرد :

- استفاده از تخصص ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه کننده استاندارد

استانداردها ابتدا به صورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات دریافتی پس از بررسی تیم تهیه‌کننده و گروه نظارت در نسخه نهایی منظور خواهد شد.

امید است کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشته از صنعت آب مرتبط می باشد، با توجهی که مبذول می‌فرمایند این پیش‌نویس را مورد بررسی دقیق قرار داده و با ارائه نظرات و راهنمایی های ارزنده خود به دفتر طرح، این دفتر را در تنظیم و تدوین متن نهایی یاری و راهنمایی فرمایند.

ترکیب اعضای تهیه‌کننده، کمیته و ناظران تخصصی

پیش‌نویس این راهنما در معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت معلم با مسئولیت آقای دکتر فاطمی‌عقدا تهیه شده است، اسامی افرادی که در تهیه این پیش‌نویس همکاری نموده‌اند به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر می‌باشد:

علیرضا علییاری	شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)	فوق‌لیسانس مهندسی زمین‌شناسی
جعفر غیومیان	مرکز تحقیقات حفاظت خاک وآبخیزداری	دکترای زمین‌شناسی مهندسی
سیدمحمود فاطمی عقدا	دانشگاه تربیت معلم	دکترای رسوب‌شناسی و سنگ رسوبی
محمد نخعی	دانشگاه تربیت معلم	دکترای آب‌های زیرزمینی

گروه نظارت که مسئولیت نظارت تخصصی بر تدوین این پیش‌نویس را به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
فیروزه امامی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	لیسانس زمین‌شناسی
ماشااله خامه‌چیان	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای زمین‌شناسی

اسامی اعضای کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی که بررسی و تایید راهنمای حاضر را به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

احمد ابریشم‌چی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای منابع آب
عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
فیروزه امامی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	لیسانس زمین‌شناسی
صدیقه ترابی پلت‌کله	وزارت نیرو	دکترای منابع آب
بهرام ثقفیان	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	دکترای منابع آب
فضلعلی جعفریان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	لیسانس زمین‌شناسی
عباسقلی جهانی	کارشناس آزاد	فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولوژی
پیمان دانش‌کارآراسته	دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی	دکترای علوم و مهندسی آبیاری
چنگیز فولادی	شرکت پیماب	دکترای هیدرولیک
جمشید موسوی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای منابع آب

لازم به یادآوری است که در تهیه پیش نویس این راهنما، اقای مهندس احمد رجایی و خانم مهندس مریم رحیمی فراهانی نیز همکاری داشته‌اند

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
فصل ۱- کلیات	۳
۱-۱- هدف	۵
۱-۲- دامنه کاربرد	۵
فصل ۲- نشست زمین در اثر بهره‌برداری از آبخوان‌های مختلف	۷
۲-۱- علل نشست زمین	۹
۲-۲- نشست زمین در اثر بهره‌برداری از آبخوان‌ها	۱۰
۲-۳- تئوری نشست زمین	۱۰
۲-۴- نحوه تشخیص نشست زمین در اثر بهره‌برداری از آبخوان	۱۰
فصل ۳- اثرات و خسارات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی نشست زمین	۱۱
۳-۱- تبیین عوارض نشست	۱۳
۳-۲- پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی عوارض نشست	۱۳
۳-۲-۱- پیامدهای اقتصادی	۱۳
۳-۲-۲- پیامدهای اجتماعی	۱۴
۳-۲-۳- پیامدهای زیست محیطی	۱۴
فصل ۴- نشست زمین در ایران	۱۵
۴-۱- کلیات	۱۷
۴-۲- عوارض نشست در ایران و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن	۱۷
۴-۳- عوامل نشست در ایران	۱۷
۴-۴- نقشه جانمایی نشست‌های انجام شده در ایران	۱۸
فصل ۵ – سیستم پایش (زمان و مکان)، ابزارها و دستگاه‌های موردنیاز	۲۱
۵-۱- کلیات	۲۳
۵-۲- تعیین عوامل پایش	۲۳
۵-۳- وسایل و ابزار مورد نیاز برای پایش	۲۳
فصل ۶- الگوی مطالعه نشست زمین	۲۵
۶-۱- کلیات	۲۷
۶-۲- مطالعات دفتری	۲۷
۶-۳- مطالعات میدانی	۲۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶-۳-۱- بررسی‌های مقدماتی	۲۹
۶-۳-۲- بررسی‌های توپوگرافی	۲۹
۶-۳-۳- نقشه برداری عوارض	۲۹
۶-۴- طراحی مطالعات میدانی تکمیلی	۳۱
۶-۴-۱- تعیین برنامه و نقاط اندازه‌گیری برای رفتار سنجی	۳۱
۶-۴-۲- برنامه‌ریزی حفاری‌ها و آزمایش‌های صحرایی ژئوتکنیکی	۳۳
۶-۵- سنجش های آزمایشگاهی	۳۴
۶-۶- تحلیل اطلاعات و داده‌ها	۳۴
۶-۷- مدل‌سازی نشت	۳۶
۶-۷-۱- کلیات	۳۶
۶-۷-۲- مراحل ساخت مدل یک دشت با نرم افزار PMWIN5.3	۳۷
۶-۷-۳- معرفی ارتفاع سقف و کف لایه‌ها	۴۱
۶-۷-۴- معرفی زمان	۴۱
۶-۷-۵- معرفی بار هیدرولیکی اولیه	۴۱
۶-۷-۶- معرفی پیزومترها و گمانه‌ها	۴۲
۶-۷-۷- معرفی هدایت هیدرولیکی افقی و قابلیت آب‌گذاری	۴۲
۶-۷-۸- معرفی تخلخل مؤثر	۴۲
۶-۷-۹- معرفی ذخیره ویژه، ضریب ذخیره و آب‌دهی ویژه	۴۳
۶-۷-۱۰- اجرای مدل ساخته شده و نتیجه گیری از آن	۴۳
۶-۸- ارائه راه‌کارهای مدیریتی (روش‌های کنترل یا جلوگیری از نشست)	۴۳
۶-۹- نتایج قابل انتظار از مطالعات نشست	۴۴
فصل ۷- قوانین مربوط به نشست زمین در اثر برداشت آب‌زیرزمینی	۴۵
۷-۱- کلیات	۴۷
پیوست الف – پرسش‌نامه بررسی خسارت‌های اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی نشست در کشور	۴۹
پیوست ب – فرم پایش ترک‌خوردگی سطح زمین یا سازه	۹۳
پیوست پ- (اطلاعاتی) – مثال کاربردی از مدل‌سازی نشست	۵۹
۱- موقعیت جغرافیایی	۶۱
۲- حدود دشت	۶۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳- آب و هوای منطقه	۶۲
۴- زمین شناسی منطقه	۶۳
۵- بررسی‌های ژئوفیزیکی	۶۳
۶- هیدروژئولوژی دشت کبودرآهنگ	۶۵
۷- هیدروگراف معرف آبخوان دشت کبودرآهنگ:	۶۹
۸- هیدروشیمی:	۷۰
۹- نقشه منحنی‌های هم ضخامت آبرفت:	۷۰
۱۰- مدل‌سازی دشت:	۷۱
پیوست ت - تصاویری از عوارض نشست در ایران	۸۳
منابع و مراجع	۸۹

مقدمه

نشست، تغییرات قابل مشاهده قائم سطح زمین است که معمولا به شکل صفحه‌ای یا بشقابی به صورت جابه‌جایی‌های رو به پایین دیده می‌شود. اگر سطح اولیه زمین حرکت رو به پایین داشته باشد، جابه‌جایی سطحی جانبی را نیز شامل خواهد شد. اینکه چه مقدار از این نشست‌ها برای سازه‌ها خطرناک هستند به میزان نشست بستگی دارد.

اثر نشست بر سازه‌ها به مقیاس نسبی ابعاد سازه و ناحیه تحت نشست، بستگی دارد. یک نشست بشقابی شکل با قطر چندین کیلومتر بجز اثر بر تعدادی خانه که در محل نشست واقعند، اثر کمی بر سازه‌های دیگر خواهد داشت و بیش‌تر باعث هدایت رواناب به منطقه و افزایش خطر سیل‌گیری منطقه می‌شود. با این وجود، سازه‌های بزرگی مثل کانال‌ها یا احتمالا پل‌های بزرگ یا سدها، ممکن است به شدت در اثر چنین جابه‌جایی‌هایی تحت تنش قرار بگیرند. در مجموع عامل وقوع نشست بسیاری از سازه‌ها، فعالیت‌های مختلف انسانی است. این فعالیت‌ها در محدوده زمانی قابل قیاس با طول عمر سازه‌ها به وقوع می‌پیوندد. در بررسی‌های خطرات نشست، مکانیزم، بزرگی، جابه‌جایی و محدوده زمانی آن باید شناخته شوند.

در این مجموعه منظور از نشست، تغییرات سطح زمین ناشی از بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی است و سعی شده است که مطالب به اختصار و کاربردی تهیه و ارائه شود.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- هدف

از آنجا که پدیده نشست به تنهایی نسبت به دیگر خطرات زیست محیطی نظیر زمین لرزه، زمین لغزش، سیل و آتشفشان خسارات جانی کم‌تری به همراه دارد، کم‌تر نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. در قرن گذشته افزایش جمعیت و همچنین توسعه صنعت باعث نیاز بیش‌تر به آب و در نتیجه بهره‌برداری بی‌رویه از ذخایر آبخوان ها به عنوان یکی از منابع آبی شده است. پاسخ طبیعی چنین عملکردی به صورت نشست زمین بروز می نماید که خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی ناشی از آن در مواردی حتی غیر قابل جبران است. به همین دلیل و به منظور آشنایی بیش‌تر مسئولین با عوارض این پدیده و خسارات ناشی از آن و همچنین یکسان‌سازی نحوه مطالعات این پدیده نزد کارشناسان و متخصصین ذیربط، مجموعه حاضر تهیه شده است.

۱-۲- دامنه کاربرد

مجموعه حاضر می‌تواند مورد استفاده کارشناسان وزارت‌های نیرو، راه و ترابری، جهاد کشاورزی، مهندسین مشاور، طراحان صنعتی و متخصصین زمین شناسی مهندسی، آب‌های زیرزمینی، ژئوتکنیک، سازه، خاک‌شناسی و ... قرار گیرد.

فصل ۲

نشست زمین در اثر بهره‌برداری از آبخوان‌های مختلف

۲-۱- علل نشست زمین

بیش‌تر زمین‌ها، پتانسیلی برای نشست ندارند، اما چندین موقعیت ویژه زمین‌شناسی وجود دارد که در آن‌ها نشست‌های آهسته و یا ناگهانی به وقوع می‌پیوندد. در جدول ۲-۱، انواع خاک‌ها و سنگ‌هایی که استعداد نشسست در آن‌ها وجود دارد ارائه شده است.

نشست زمین می‌تواند به طور طبیعی و مصنوعی اتفاق بیفتد که در هر دو صورت باعث خسارات زیادی خواهد شد [۷]. نشست‌های طبیعی شامل نشست بر اثر استخراج آب‌های زیرزمینی و ایجاد فضاها و حفرات زیرزمینی است.

جدول ۲-۱- انواع محیط‌های زمین‌شناسی و خطرات نشست محتمل در این نوع محیط‌ها که باید به عنوان پتانسیل خطر در نظر گرفته شوند [۱۳].

خطرات نشست								
شرایط محیط / نوع سنگ یا خاک		برداشت آب زیرزمینی	نفوذ زهکش	هر شرایطی	معادن قدیمی	معادن روباز پر شده	معدنکاری مدرن	خطرناکترین وضعیت
خاک‌ها	تورب	■		□				زهکش سطحی
	رس و سیلت		■					آبیاری نواحی خشک
	رس مونتموریلونیت	■						آبخوان‌های معلق ماسه‌ای
	دیگر رس‌ها	□				□		آبخوان‌های معلق ماسه‌ای
	لایه رسی روی آهک	▲	▲	△				رسیدن سطح ایستابی به درز و شکاف‌های سنگ بستر آهکی
	لایه ماسه‌ای روی آهک	■	■	□				رسیدن سطح ایستابی به درز و شکاف‌های سنگ بستر آهکی
	ماسه			□		□		جورشدگی خوب+ زمین لرزه
سنگ‌های رسوبی	رس سنگ	□				□		
	ماسه سنگ				△	□		سازه سنگی
	سنگ آهک			▲	△	□		کارست حفره دار
	گچ				△	□		
	ژیپس		△		△	□		
	نمک		△	□			□	
	سنگ آهن				△	□		
	ذغال		△		▲	□	□	عمق کم‌تر از ۵۰ متر
سنگ‌های دیگر	گرانیت					□		
	بازالت			△				گدازه های جوان
	سنگ‌های آتشفشانی			□				
	کانی‌های رگه‌ای				△	□		کارگاه‌های بزرگ استخراج شده
	اسلیت					□		
□ نشست آهسته- خطر ضعیف						△ پتانسیل ریزش- محدود		
■ نشست آهسته- خطر قوی						▲ پتانسیل ریزش- شدید		

۲-۲- نشست زمین در اثر بهره‌برداری از آبخوان‌ها

نشست زمین در مناطقی اتفاق می افتد که آبخوان اصلی ترین منبع تامین آب مورد نیاز جامعه است، این پدیده یکی از معضلات جدی چنین نواحی است. مثال‌هایی از نشست ناشی از برداشت آب زیرزمینی در کشورهای مختلف در جدول ۲-۲، نشان داده شده است.

جدول ۲- ۲- نمونه‌هایی از نشست زمین در اثر برداشت آب زیرزمینی[۳، ۸، ۹، ۱۱]

دوره برداشت	نشست زمین (متر)	مـــحل
۱۹۷۳-۱۹۳۰	۰/۱۵	ونیز
۱۹۶۸-۱۹۳۸	۸	مکزیکوسیتی
۱۹۳۱-۱۸۶۵	۰/۱۸	لندن
۱۹۹۲-۱۹۱۸	۴/۵۴	توکیو
۱۹۹۲-۱۹۳۵	۲/۹	اوزاکا
۱۹۹۲-۱۹۵۷	۱/۰۹	دشت ساگا (ژاپن)
۱۹۹۴-۱۹۵۹	۱/۵	زیان (چین)
۱۹۹۷ تا	۴/۶	آریزونا- منطقه الوی
۱۹۹۷ تا	۱/۸	لاس وگاس
۱۹۹۷ تا	۸/۸	جنوب‌غرب مندوتا
۲۰۰۰ تا	۰/۹	رفسنجان
* ۲۰۰۲ تا	۰/۷	همدان
* ۲۰۱۲ - ۲۰۰۲	/۶۵.	همدان

*. رجوع شود به پیوست شماره سه.

۲-۳- تئوری نشست زمین

علت اساسی نشست و جابه‌جایی قائم سطح زمین، افزایش تنش موثر در مواد سازنده زمین است. این افزایش موجب تراکم و فشردگی افقی و یا عمودی لایه‌های زمین می‌شود. عامل اصلی افزایش تنش موثر در مواد سازنده زمین کاهش سطح ایستابی است و یا به عبارتی خالی شدن فضاهای موجود در زمین از آب در اثر برداشت آن و کاهش خلل و فرج موجود در خاک که باعث فشردگی لایه خاک و تراکم آن می‌شود.

۲-٤- نحوه تشخیص نشست زمین در اثر بهره‌برداری از آبخوان

نشست زمین در اثر بهره‌برداری آب زیرزمینی با تغییرات ریخت‌شناسی که در سطح زمین ایجاد می‌شود قابل شناسایی است. این تغییرات، با توجه به کاربری اراضی در منطقه‌ای که تحت تاثیر نشست قرار گرفته است، متفاوت است. مهم‌ترین این تغییرات شامل ترک خوردگی سطح زمین، به وجود آمدن حفره فروکش، بیرون ماندن لوله جدار چاه‌های آب از سطح زمین و وارد شدن خسارت به ساختمان‌ها است. مسلما نحوه ترک خوردن ساختمان‌ها در اثر نشست با ترک خوردن و خسارت دیدن آن‌ها در اثر اعمال نیروهای برشی کاملا متفاوت است.

فصل ۳

اثرات و خسارات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی نشست زمین

۳-۱- تبیین عوارض نشست

نشست ناشی از استخراج منابع آب زیرزمینی می‌تواند خسارات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی زیادی را در پی داشته باشد. نوع، وسعت و شدت این خسارات بستگی به میزان نشست و منطقه تحت تاثیر آن دارد. به هر حال بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی اثرات منفی زیادی بر محیط زیست دارد. اهم این اثرات عبارتند از:

- کاهش سطح آب زیرزمینی و خالی شدن آبخوان
- نشست زمین
- نفوذ آب شور به آبخوان‌ها و کاهش کیفیت آب

از مهم‌ترین عوارض نشست می توان به گودافتادگی های ناحیه ای، تخریب و خسارت به راه‌های ارتباطی، ترک خوردگی زمین، فروریزش‌های ناگهانی سطح زمین، سیل گیر شدن زمین، آسیب دیدن و در معرض خطر قرار گرفتن شریان های حیاتی و ... اشاره کرد.

۳-۲- پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی عوارض نشست

۳-۲-۱- پیامدهای اقتصادی

- تحت فشار قرار گرفتن جداره چاه‌ها و تخریب آن‌ها
- شکسته شدن لوله‌های پمپاژ آب
- شکسته شدن و انحراف کانال‌های آبیاری
- به زیر آب رفتن مناطق ساحلی و سیل‌گیر شدن مناطق نشست کرده و در نتیجه خسارت به سازه‌های موجود در این مناطق
- از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و بلا استفاده شدن آن‌ها
- وارد آمدن خسارات به زیرسازی و روسازی سطح وسیعی از معابر و ایجاد گسیختگی در زمین
- نفوذ نشت آب و فاضلاب و یا جریان شدید آن‌ها به شالوده ساختمان‌ها و اماکن و ایجاد زمینه تخریب آن‌ها
- شکسته شدن یا از بین رفتن آب‌بندی لوله‌های آب، فاضلاب، گاز و غیره و ایجاد قطع مکرر جریان برای مشترکین
- ترک‌های ناشی از نشست در پی‌ها و دیوارها (این اتفاق می‌تواند با گیرکردن درها و پنجره‌ها و صداهای گوش‌خراش و تیز، ناشی از ترک‌خوردگی در داخل و یا زیرسازه که غالبا با آسیب دیدن پی همراه می‌باشد)
- درهم پیچیدن و حتی قیچی شدن خطوط انتقال آب و فاضلاب، نفت و گاز
- خرابی خطوط راه‌آهن
- افت ناگهانی، خمیدگی و کج شدگی یا پیچ و تاب در بزرگراه‌ها، نرده‌های محافظ آن‌ها و غیره و لزوم تعمیر آن‌ها و همچنین حرکات رو به پایین سازه‌های عمودی با قطر کم مثل تیرهای تلفن یا تیرهای برق
- نشت گاز و آتش‌سوزی و خسارات ناشی از این سوانح

۳-۲-۲- پیامدهای اجتماعی

- ایجاد دست‌انداز، راه‌بندان و مشکلات دیگر در مسیر عبور و مرور خودروها و تاثیر منفی در ترافیک شهری و بین شهری و احتمال بروز خطر (به طور مثال ترک‌های ایجاد شده در بستر جاده یزد – اردکان که هر سال باعث بروز خسارات قابل توجه به جاده و خودروهای عبوری می شوند)
- از دست دادن شغل و سرپناه و سرمایه‌های بسیاری از افراد در اثر تخریب زمین
- ایجاد بهانه برای به تاخیر انداختن لکه‌گیری و آسفالت مجدد قسمت‌های حفاری شده (برای کوبیده شدن آن‌ها در جریان عبور و مرور در طول زمان)
- عدم وجود عبور و مرور ایمن برای کودکان، بزرگسالان، دوچرخه و موتورسوران به خاطر وجود چاله‌های به وجود آمده در اثر نشست‌ها، لغزیدن و در گل گرفتار شدن خودروها مخصوصا در زمستان
- آسیب رساندن به دیگر تاسیسات شهری و درگیری سازمان‌های مربوطه با یکدیگر
- متهم شدن اکثر کارکنان و مدیران به ندانم کاری یا بی‌توجهی به اصول فنی که موجب بروز دوباره کاری یا چندباره کاری گشته و تزلزل در ایمان مردم نسبت به مسئولین
- ایجاد گودافتادگی‌هایی روی سنگ‌فرش‌ها که باعث جمع شدن آب در آن منطقه

۳-۲-۳- پیامدهای زیست محیطی

- ایجاد ترک در جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و بناها
- به زیر آب رفتن مناطق ساحلی
- شکست دریاچه‌های مصنوعی، آلودگی ناشی از نفوذ آب دریاچه‌های مصنوعی به داخل چاه‌های آب و شیوع بیماری‌ها
- نفوذ آب شور دریاها به آبخوان‌ها و کاهش کیفیت آب آن‌ها
- آلودگی منابع آب زیرزمینی در نتیجه گسیختگی لوله های فاضلاب و نفت

فصل ۴

نشست زمین در ایران

٤-۱- کلیات

در اثر برداشت بی‌رویه و کنترل نشده از منابع آبی زیرزمینی و عدم اعمال مدیریت بهینه در این خصوص، پدیده نشست زمین در دشت‌های مختلف کشور مشاهده و گزارش شده است. در برخی موارد، با توجه به اثرات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی آن، تحقیقات و مطالعات گسترده‌تری صورت پذیرفت و یا در دست اجرا است. این پدیده در استان کرمان (دشت‌های کرمان، سیرجان، رفسنجان و زرند)، استان یزد (دشت‌های اردکان و یزد)، استان اصفهان (دشت‌های مهیار و مبارکه)، استان خراسان (دشت‌های نیشابور، مشهد و تربت حیدریه)، استان همدان (دشت مرکزی و کبودرآهنگ)، استان فارس (دشت حاجی‌آباد) ، استان آذربایجان شرقی (هادی‌شهر)، استان سمنان(دشت‌های سرتنگه پرور، سمنان و دامغان)، استان قزوین و استان تهران (مناطق شهریار و ورامین) گزارش شده است.

٤-۲- عوارض نشست در ایران و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن

از مهم‌ترین عوارض نشست در مناطق یاد شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- گودافتادگی های ناحیه ای، بیرون ماندن لوله جدار چاه‌های بهره‌برداری و بریده شدن موتور پمپ (در دشت‌های استان کرمان)،
- خسارت به بستر راه ارتباطی و ایجاد مشکل برای عبور و مرور مطمئن (دشت اردکان – یزد)
- ترک‌خوردگی زمین‌های کشاورزی و ایجاد مشکل در بهره‌برداری از زمین (دشت نیشابور)
- فروریزش‌های ناگهانی سطح زمین و نا امن شدن فعالیت در منطقه و حتی نا امن شدن زندگی در منطقه (دشت مرکزی همدان)
- سیل‌گیر شدن زمین و خسارات مالی فراوان به تعداد زیادی از واحد های مسکونی و تجاری (منطقه لار، قیر، کازرین و حاجی‌آباد فارس)
- خسارت شدید ناشی از ترک‌خوردگی و باز شدگی ترک‌ها به خیابان ها شامل زیرسازی و روسازی آسفالت، جداول کنار خیابان و آسیب دیدگی شدید منازل و واحدهای تجاری (هادی شهر تبریز)
- آسیب دیدن تاسیسات انتقال آب شهر و در خطر بودن سایر شریان‌های حیاتی از جمله خطوط انتقال گاز، شیب‌دار شدن زمین و افزایش آسیب‌پذیری اراضی جنوب شهر در برابر سیل (جنوب تهران)

لازم به توضیح است که تصاویر تهیه شده از بعضی از عوارض نشست در نقاط مختلف کشور در پیوست شماره ۴، آمده است

٤-۳- عوامل نشست در ایران

بر اساس بررسی‌های انجام شده، مهم‌ترین عامل نشست در دشت‌های ایران، بهره‌برداری بی‌رویه از آب زیرزمینی و افت شدید سطح آب زیرزمینی در این مناطق است. به عنوان مثال کل برداشت از آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان که از قدیمی‌ترین دشت‌های کشور است که با پدیده نشست روبروست، از سال ۱۳۴۸ تاکنون به شرح جدول ۴-۱، است.

جدول ٤- ١- میزان برداشت از آب های زیرزمینی دشت رفسنجان در یک دوره ۳۷ ساله [۱۱]

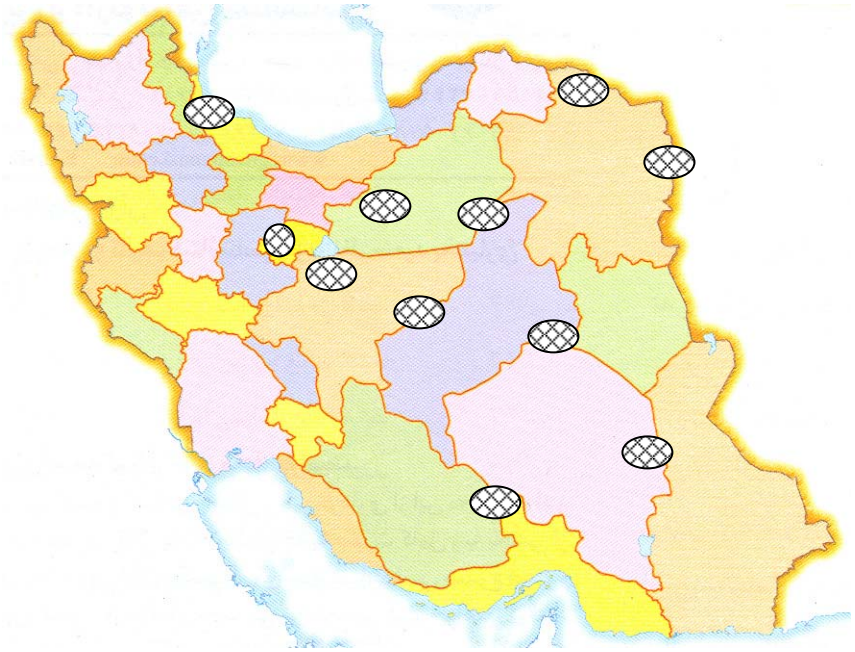
سال	برداشت (میلیون متر مکعب)	تعداد چاه‌ها
۱۳۴۸	۱۴۹	۲۰۹
۱۳۵۰	۳۳۷	۵۸۷
۱۳۵۲	۳۲۰	۶۲۵
۱۳۵۴	۳۹۳	۹۰۸
۱۳۵۵	۴۲۴	۱۰۳۲
۱۳۶۰	۷۱۳	۱۵۰۳
۱۳۶۲	۶۵۲	۱۲۵۸
۱۳۶۵	۶۸۶	۱۴۷۸
۱۳۶۸	۷۶۰	۱۵۳۹
۱۳۷۲	۷۹۹	۱۶۲۱
۱۳۷۵	۸۲۱	۱۷۱۹
۱۳۷۸	۸۳۹	۱۷۹۸
۱۳۸۵*	۶۰۲	۱۳۵۲

* گزارش مطالعات آب زیرزمینی دشت رفسنجان، ۱۳۸۵، مهندسین مشاور کاوآب.

به طوری‌که در این جدول مشاهده می‌شود، تعداد چاه‌های بهره‌برداری از ۲۰۹ چاه در سال ۱۳۴۸ به ۱۷۹۸ در سال ۱۳۷۸ رسیده است، که ۱۵۱ چاه از این تعداد به منظور آب آشامیدنی، ۱۵۲۶ چاه به منظور کشاورزی و ۱۲۱ چاه به منظور نیازهای صنعتی حفاری شده‌اند. به عبارت دیگر نیاز شدید کشاورزان باعث افزایش شدید بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی این دشت از طریق حفر چاه‌های جدید و در نتیجه آن افت ۲۵ متری سطح آب زیرزمینی شده است. چنین برداشتی از آب زیرزمینی باعث نشست زمین در این دشت تا ۰/۹ متر شده است. ترک‌خوردگی سطح زمین، افزایش شوری آب زیرزمینی، ترک‌خوردگی ساختمان‌ها و جاده‌ها و همچنین تخریب تجهیزات بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی از جمله خسارات ناشی از نشست زمین در این دشت است[۱۱] . آمار تهیه شده توسط مهندسین مشاور کاوآب در سال ۱۳۸۵ نشان دهنده کاهش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و در نتیجه کاهش میزان بهره‌برداری از دشت رفسنجان است. یکی از دلایل عمده کاهش تعداد چاه‌های بهره‌برداری می تواند خشک شدن این چاه‌ها باشد.

٤-٤- نقشه جانمایی نشست‌های انجام شده در ایران

بر اساس اطلاعات به دست آمده از نشست‌های آب منطقه‌ای، و بررسی‌های به عمل آمده توسط گروه مطالعاتی نگارنده، استآن‌های تحت تاثیر نشست شناسایی شده و نقشه جانمایی نشست در ایران ارائه شده است (شکل ۴-۱).



شکل ٤-۱- نقشه پراکنش تقریبی استآن‌های تحت تاثیر نشست در اثر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی

فصل ۵

سیستم پایش (زمان و مکان)، ابزارها و دستگاه‌های موردنیاز

۵-۱- کلیات

سیستم پایش نشست زمین در مناطق مختلف کشور با توجه به نوع و علل پدیده و امکانات و تجهیزات در اختیار، متفاوت است که بررسی کامل آن در این استاندارد آمده است. ولی آنچه که مسلم است برای ایجاد یک سیستم کارآمد و مناسب پایش نشست زمین دانستن اطلاعات زیر ضروری است:

توپوگرافی محل، ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، وضعیت لایه‌های زیرسطحی، وضعیت آب زیرزمینی و خصوصیات مصالح سازنده آبخوان، مشخص کردن روش مناسب رفتارسنجی (که شامل روش نقطه‌ای، خطی و یا شبکه‌ای) و برنامه‌ریزی مناسب برای رفتارسنجی با توجه به شیوه مورد نظر.

این برنامه‌ریزی می تواند به صورت زیر انجام شود:

- بررسی‌های صحرایی برای مشخص کردن عوامل مورد نیاز اندازه‌گیری پدیده نشست
- انتخاب ابزارهای مناسب اندازه‌گیری با توجه به بررسی‌های صحرایی
- تهیه نقشه محلی و تعیین محل نصب ابزارهای رفتارسنجی
- انجام عملیات اندازه‌گیری و رفتارسنجی در مورد حرکت‌های عمودی واقعی زمین، شکاف‌های عمده و میزان بازشدگی آن‌ها
- بررسی الگوی شکاف‌ها در منطقه و تعیین جهت حرکت زمین
- تحلیل داده‌های ثبت شده

۵-۲- تعیین عوامل پایش

عواملی که لازم است در طول بررسی محدوده تحت تاثیر نشست مورد پایش قرار گیرند به طور کلی شامل دگرشکلی‌های سطحی، دگرشکلی‌های زیرسطحی و فشار آب زیرزمینی است. برای اندازه‌گیری هر یک از این پارامترها ابزار و دستگاه‌های مختلفی وجود دارند که در ادامه به طور مختصر ارائه می‌شوند.

۵-۳- وسایل و ابزار مورد نیاز برای پایش

ابزارهای زیادی برای رفتارسنجی نشست به کار می‌روند. این ابزارها براساس نوع استفاده به سه دسته: ابزارهای اندازه‌گیری سطحی دگرشکلی‌ها، ابزارهای اندازه‌گیری زیرسطحی دگرشکلی‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. ابزارهای مناسب برای ارزیابی پایداری زمین در جدول ۵-۱، آورده شده‌اند.

رفتارسنجی دگرشکلی‌ها در سطح به منظور تعیین مرزهای نشست، ابعاد، شدت فعالیت، جهت حرکت و نیز مشخص کردن بلوک‌های منفرد ناپایدار در نشست اصلی صورت می‌گیرد. توجه به ترک‌های موجود در مناطق تحت تاثیر نشست ، برای ارزیابی پتانسیل وقوع نشست در آینده مفید است. رفتارسنجی دگرشکلی اغلب به اندازه‌گیری‌های سطحی محدود می‌شود. دگرشکلی‌های افقی و عمودی به طور معمول توسط روش‌های نقشه‌برداری، EDM یا GPS انجام می‌شود. اندازه‌گیری دگرشکلی باید در اطراف

محدوده تحت تاثیر نشست و بیرون از آن انجام شود به طوری که کرنش سطحی که باعث توسعه ترک‌ها می‌شود قابل رفتارسنجی باشد. ترک‌های کششی موجود در زمین ممکن است اولین علامت ناپایداری باشند، بنابراین جابه‌جایی‌های قائم و عرضی این ترک‌ها نیز باید رفتارسنجی شوند. اندازه‌گیری ترک‌ها نشانه ای برای تعیین رفتار زمین است به طوری که جهت حرکت زمین با استفاده از الگوی ترک‌ها به ویژه با تطابق لبه‌های نامنظم ترک‌ها، قابل تعیین است در بعضی مواقع تکنیک‌های انعکاس صوتی در گمانه‌های کم‌عمق در یک منطقه وسیع، توسط اشخاص مجرب، برای تشخیص روند دگرشکلی و مناطق دگرشکل شده به کار می‌رود. از گیج‌های چند نقطه‌ای با ترازیاب مایع برای رفتارسنجی دگرشکلی قائم و اعلام هشدار درباره هر نوع ناپایداری استفاده می شود. اندازه‌گیری دگرشکلی‌های زیرسطحی در صورتی انجام می‌شود که نشست رخ داده باشد و عمق لایه تحت تاثیر نشست با اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات سطحی مشخص نشود. اندازه‌گیری دگرشکلی زیرسطحی قائم به مراتب مهم‌تر از اندازه‌گیری دگرشکلی زیرسطحی افقی است. با توجه به دقت مورد نیاز و مقدار جابه‌جایی، ابزار مناسب انتخاب می‌شود. به منظور رفتارسنجی آب زیرزمینی از پیزومترهای لوله قائم باز استفاده می‌شود. اگر نیاز به نتایج در کوتاه مدت باشد پیزومترهای دیافراگمی به کار گرفته می‌شود.

گروه مطالعاتی نشست باید حداقل مجهز به سیستم نقشه برداری توتال استیشن، ترک سنج، کشش سنج و عمق یاب باشد. در صورت نیاز و به تشخیص گروه مطالعاتی، استفاده از دیگر دستگاه‌های معرفی شده در جدول ۵-۱، پیشنهاد می‌شود.

جدول ۵- ۱- ابزارهای مناسب برای رفتارسنجی نشست زمین[٦].

پارامتر قابل اندازه‌گیری	ابزار مناسب
دگرشکلی سطحی	روش‌های نقشه برداری ترک سنج‌ها تیلت مترها ترازیاب مایع چندنقطه‌ای
دگر شکلی زیر سطحی	انحراف‌سنج‌ها کشش‌سنج گمآن‌های ثابت کشش‌سنج زمین نشانگر سطح برش سیستم مرکب از پیزومتر ـ انحراف‌سنج
سطح آب زیرزمینی	پیزومتر تک‌نقطه‌ای پیزومتر چندنقطه‌ای سیستم مرکب از پیزومتر ـ انحراف‌سنج

فصل ۶

الگوی مطالعه نشست زمین

٦-١- کلیات

با توجه به اینکه پدیده نشست زمین در اثر برداشت بی‌رویه و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی حادث شده و خسارت‌های ناشی از آن علاوه بر گود افتادگی زمین و سیل‌گیر شدن آن، ترک‌خوردگی ساختمان‌ها و حتی تخریب آن‌ها و نیز خسارت به زمین‌های کشاورزی و مراکز صنعتی را در بر خواهد داشت نیاز است که گروه بررسی کننده‌ای به شرح زیر تشکیل شده و طبق الگوی ارائه شده در نمودار ۶-۱، به بررسی این پدیده بپردازند،

- کارشناس زمین‌شناسی حداقل با ۱۰ سال سابقه کار
- کارشناس آب‌های زیرزمینی آشنا با مدل حداقل با ۷ سال سابقه کار
- کارشناس ژئوتکنیک با تخصص مکانیک خاک حداقل با ۷ سال سابقه کار
- کارشناس زمین‌شناسی مهندسی حداقل با ۵ سال سابقه کار
- کارشناس نقشه برداری حداقل با ۵ سال سابقه کار
- کارشناس ژئوتکنیک با تخصص ابزار دقیق حداقل با ۷ سال سابقه کار
- کارشناس ارزیابی خسارت‌های وارده (کارشناس حقوق) حداقل با ۱۰ سال سابقه کار
- تکنیسین نقشه برداری مسلط به سیستم توتال و GPS برای برداشت‌های صحرایی حداقل با ۳ سال سابقه کار
- تکنیسین ژئوتکنیک برای انجام آزمون‌های صحرایی ژئوتکنیکی و همچنین اندازه‌گیری‌های مربوط به سیستم پایش حداقل با ۳ سال سابقه کار
- تکنیسین آب‌های زیرزمینی برای بررسی‌های صحرایی حداقل با ۳ سال سابقه کار

اهداف و مراحل انجام مطالعات مربوط به نشست زمین به شرح زیر است:

- مطالعات دفتری
- مطالعات میدانی
- طراحی مطالعات میدانی تکمیلی
- سنجش‌های آزمایشگاهی
- تحلیل اطلاعات و داده‌ها
- ساخت مدل
- ارائه راهکارهای مدیریتی

٦-٢- مطالعات دفتری

این مطالعات، به منظور شناسایی داده‌ها و اطلاعات موجود و مورد نیاز بررسی پدیده نشست، شامل بررسی کلیه آمار و اطلاعات موجود از وضعیت آب زیرزمینی، بررسی نقشه‌های موجود شامل توپوگرافی، مرزهای دشت، زمین‌شناسی، بررسی عکس های هوایی منطقه و در نهایت بررسی کلیه اطلاعات ژئوتکنیکی موجود از محدوده دشت انجام می‌شود. این مطالعات برای برنامه‌ریزی مناسب و

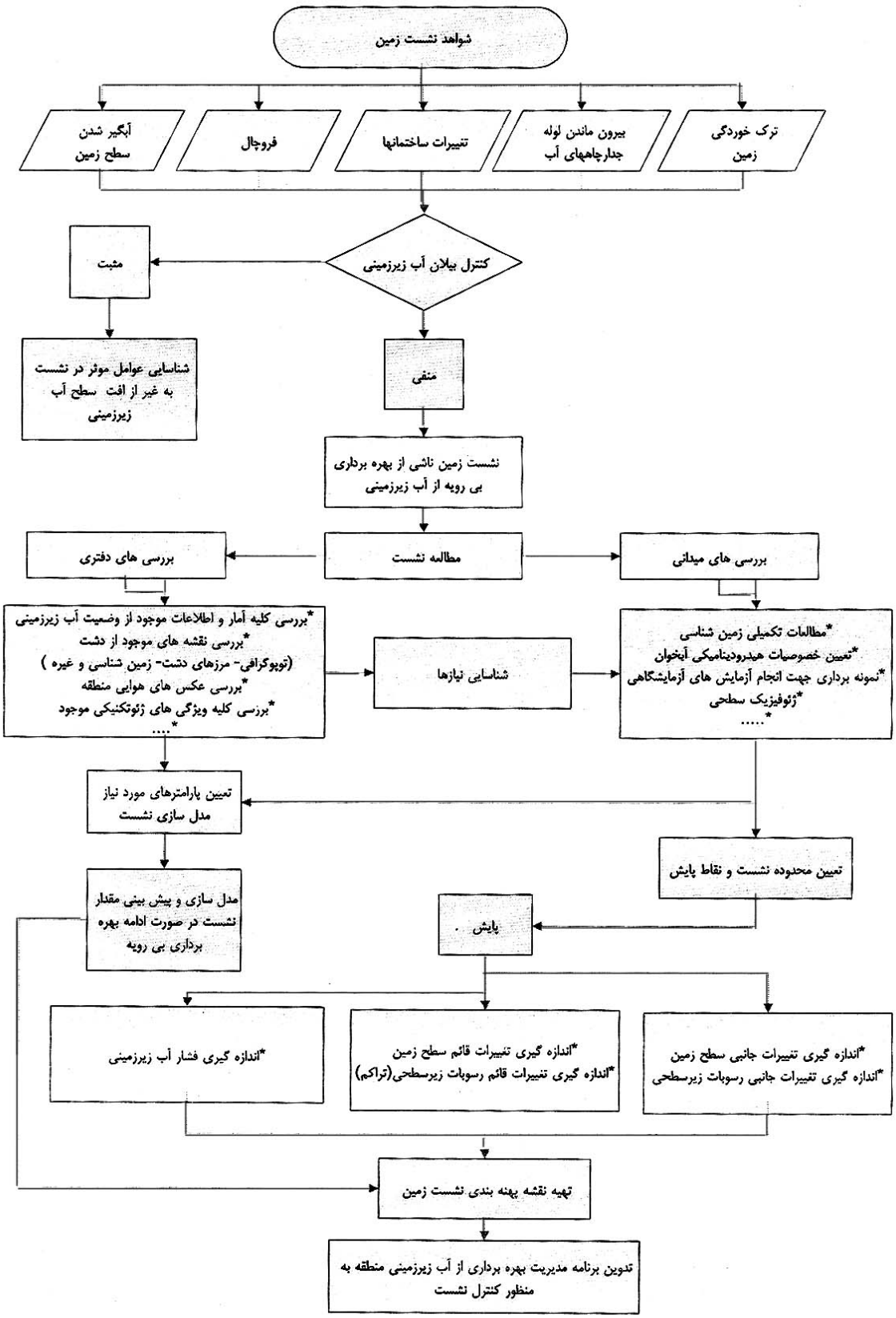
بهینه بررسی‌های تکمیلی میدانی لازم است، انجام شود. فهرست اطلاعات لازم برای طرح ریزی این مطالعات در جدول ۶-۱، ارائه شده است.

جدول ٦- ١- فهرست اطلاعات لازم برای طرح ریزی مطالعات میدانی[٤]

اطلاعات مورد نیاز	توضیحات
اطلاعات توپوگرافی منطقه	تهیه نقشه‌های مناسب از منطقه، درصورت عدم وجود، استفاده از عکس‌های هوایی به منظور تهیه نقشه پایه توصیه می‌شود. اطلاعات بیش‌تر (درصورت نیاز) با ترازیابی قابل دستیابی است.
اطلاعات زمین شناسی	تهیه اطلاعات کافی درخصوص تعیین مرزهای آبخوان مورد بررسی، بررسی ضرورت تهیه نقشه زمین شناسی اضافی و بررسی نیاز به حفر گمانه‌های جدید.
سطوح تراز آب زیرزمینی	بررسی نقشه موقعیت کلیه چشمه‌ها، چاه‌ها و گمانه‌ها به منظور بررسی‌های صحرایی، بررسی مناطق تراوش از روی عکس های هوایی، بررسی احتمال ترسیم خطوط تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های موجود، بررسی نیاز به حفر گمانه‌های جدید.
اندازه‌گیری جریان‌های سطحی	بررسی محل مناسب برای اندازه‌گیری و روش‌های آن.
بارندگی و تبخیر	بررسی تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و کفایت داده‌های آن، بررسی نزدیک ترین ایستگاهی که تبخیر را ثبت می کند. بررسی نیاز به نصب دستگاه‌های جدید هواشناسی در منطقه مورد نیاز با کمبود اطلاعات
مقدار آب زیرزمینی مصرفی	تهیه اطلاعات مربوط به مقدار و حجم بهره‌برداری از آب زیرزمینی در محل هر چاه.
شیمی آب زیرزمینی	بررسی نمونه‌های شیمی آب و برنامه‌ریزی کار نمونه‌برداری بیش‌تر درصورت لزوم.

٦-٣- مطالعات میدانی

بررسی‌های میدانی به منظور تعیین و تدقیق محدوده نشست و عوارض آن و مشخص کردن نقاط پایش و همچنین برآورد عوامل مورد نیاز مدل‌سازی انجام می‌شود. در طی این بررسی‌ها ضمن تعیین محدوده تحت تاثیر نشست کلیه عوارض ناشی از این پدیده نیز ثبت می‌شوند. بررسی وضعیت آب زیرزمینی و محاسبه مقدار کل آب زیرزمینی موجود در یک منطقه ضرورت دارد. پمپاژ از چاه‌های جدید ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای از آب‌دهی چاه‌های اطراف بکاهد و یا کم شدن آب‌دهی چشمه‌های محلی را موجب شود، که در نهایت باعث نشست می‌شود. یک کارشناس وقتی می‌تواند، چنین تاثیراتی را پیش‌بینی کند که شناخت صحیحی از سامانه آب زیرزمینی مبتنی بر مشاهدات صحرایی کافی را داشته باشد[۴]. این مطالعات شامل موارد زیر است (نمودار ۶-۱):



نمودار ٦-١- مراحل مختلف مطالعه و بررسی نشست زمین

٦-۳-۱- بررسی‌های مقدماتی

این بررسی‌ها شامل تکمیل پرسش‌نامه بررسی خسارت‌های اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی نشست در کشور (پیوست الف) توسط کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای است. علاوه بر تکمیل پرسش نامه، بررسی کلیه گزارش‌های هیدروژئولوژی موجود ضروری است. در صورت عدم وجود گزارش، تهیه گزارش مقدماتی هیدروژئولوژی دشت ضروری است. در مورد دشت‌هایی که تاکنون در آن‌ها عوارض نشست مشاهده نشده و گزارشی از وجود این‌گونه عوارض وجود ندارد ارائه گزارش‌ها کافی است.

٦-۳-۲- بررسی‌های توپوگرافی

این بررسی‌ها به منظور تعیین محدوده دشت و مشخص کردن عوارض احتمالی نشست است. این مرحله شامل موارد زیر می‌شود:

- بررسی عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ به منظور تعیین محدوده دشت و ثبت کردن عوارض نشست در صورت مشاهده
- در مواردی که عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ موجود نباشند، می‌توان از عکس‌های با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای (استفاده از ترکیب رنگی) استفاده کرد
- برای مناطق وسیع استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به طور هم‌زمان توصیه می‌شود
- ثبت کردن محدوده و موقعیت عوارض بر روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰
- تعیین منطقه تحت تاثیر نشست

٦-۳-۳- نقشه برداری عوارض

در طی عملیات نقشه‌برداری لازم است یک نفر متخصص زمین‌شناسی مهندسی برای هدایت اکیپ و تهیه مقاطع، گروه را همراهی کند. مراحل و اقدامات لازم به شرح زیر است:

- نقشه‌برداری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ از محدوده تحت تاثیر نشست و محدوده‌های اطراف
- نقشه برداری توسط EDM و یا GPS
- ثبت محل پیزومترهای حفر شده در دشت روی نقشه
- ثبت کلیه عوارض غیرطبیعی نظیر گودشدگی‌ها و مناطق برآمده
- ثبت کلیه گسیختگی‌ها و ترک‌ها و مشخص کردن دقیق طول آن‌ها
- ثبت موقعیت چاه‌هایی که لوله جدار آن‌ها رشد داشته است
- تهیه پروفیل‌های طولی و عرضی توپوگرافی و زمین‌شناسی
- این پروفیل با توجه به برداشت‌های میدانی و لوگ چاه‌های منطقه تهیه می‌شود

بررسی‌های صحرایی همچنین شامل تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان، نمونه‌برداری و سایر داده‌های مورد نیاز برای تحلیل است.

٦-٤- طراحی مطالعات میدانی تکمیلی

پس از اتمام مطالعات دو مرحله قبلی و به منظور مطالعه تکمیلی و تهیه کلیه عوامل مورد نیاز مدل‌سازی نشست زمین، با توجه به کلیه داده‌های جمع‌آوری شده و بررسی‌های میدانی صورت گرفته باید برنامه تکمیلی مطالعات میدانی با توجه به نواقص موجود، طراحی شود. در این مرحله از مطالعات برنامه مناسب رفتارسنجی نشست و همچنین برنامه مطالعات تکمیلی مورد نیاز ژئوتکنیکی باید تهیه شود.

٦-٤-١- تعیین برنامه و نقاط اندازه‌گیری برای رفتار سنجی

طراحی مطالعات و عملیات رفتارسنجی براساس مطالعات صحرایی و ماهیت نشست صورت می‌گیرد. بررسی‌های صحرایی اساسی‌ترین بخش یک طرح شناسایی مناطق مستعد نشست، مطالعه یک نشست خاص و نهایتا مطالعات رفتارسنجی و پیشگیری است. بررسی‌های صحرایی برای شناسایی و توصیف و تشریح عوامل مؤثر در ایجاد نشست انجام می‌شوند. در مناطقی که قبلا نشست رخ داده است، مطالعات صحرایی و بررسی عوامل مؤثر در ایجاد نشست، اتخاذ تدابیر و اقدامات مناسب برای جلوگیری یا به حداقل رساندن حرکات را در پی دارد. از آنجا که نشست یک پدیده پویا با ویژگی‌های متغیر است، نمی‌توان بررسی‌های صحرایی را به زمان‌ها و مکان‌های مختلف تعمیم داد. داده‌های جدید حاصل از تغییرات ایجاد شده در وضعیت نشست، باید مجددا مورد تحلیل قرار بگیرند، بنابراین مطالعات نشست معمولا در طول یک دوره زمانی انجام می‌گیرد. این دوره زمانی از زمان وقوع نشست و مراحل مختلف آن تا انجام تدابیر کنترلی، اصلاحی و بعد از آن ادامه می‌یابد. نقاط اندازه‌گیری به نقاطی اطلاق می‌شود که احتمال حرکت دارند، این نقاط همان نقاط مشاهده‌ای هستند. در پروژه‌های رفتارسنجی نقاط اندازه‌گیری ممکن است بر روی سازه یا سطح زمین قرار گرفته باشند. مهم‌ترین ویژگی این نقاط، پایداری در مدت زمان انجام پروژه است. نقاط موقت که بعدها توسط نقاط دایمی جایگزین می‌شوند، نبایدبه عنوان نقاط اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرند.نقاط اندازه‌گیری باید دارای یک علامت و نشان مشخص برای اندازه‌گیری باشند. به عنوان مثال در ترازیابی، یک ورقه فلزی صیقلی و ضدزنگ برای استقرار شاخص، پیش‌بینی می‌شود و تکیه‌گاه نقاط اندازه‌گیری، در زیر عمق‌یخبندان خاک و تغییرات فصلی رطوبت قرار می‌گیرد. پس از بررسی‌های صحرایی نقشه توپوگرافی منطقه که حاوی کلیه جزییات مربوط به دشت و عوارض غیرطبیعی و عوارض نشست در آن است، تهیه می‌شود. این نقشه توسط گروه بررسی نشست مورد تحلیل قرار می‌گیرد و بر مبنای عوارض موجود و تعداد پیزومترهای حفر شده در دشت نقاط پایش مشخص می‌شوند. رفتار سنجی مناطق تحت تاثیر نشست و یا مناطقی که دارای چنین استعدادی هستند شامل رفتار سنجی سطحی، رفتار سنجی زیرسطحی و رفتار سنجی آب زیرزمینی می‌باشند. تعیین نقاط مناسب برای هر یک از انواع رفتار سنجی در ادامه ارائه شده است.

٦-٤-١-١- پایش سطحی

در این مرحله لازم است نقاط مناسب برای بررسی دگرشکلی‌های سطحی مشخص شوند. برای این منظور با توجه به عوارض موجود حداقل سه مورد از گسیختگی‌های اصلی در مناطق مختلف محدوده تحت تاثیر نشست انتخاب می‌شوند. در صورت وجود عوارض قابل اندازه‌گیری نظیر بیرون زدگی لوله جدار چاه‌ها، کج شدگی، عوارض ایجاد شده بر سازه‌های موجود در دشت و ... ، این

تغییرات نیز لازم است مورد پایش قرار گیرند. از عواملی که قرار است مورد پایش قرار گیرند عکس تهیه شده و فرم ارائه شده در پیوست ۲، که حاوی مشخصات آن است تکمیل می‌شود.

٦-٤-١-٢- دگرشکلی های زیرسطحی

در مناطقی که عوارض نشست در سطح زمین بسیار محدود باشند، لازم است حداقل دو نقطه در دشت انتخاب و دگرشکلی زیرسطحی با استفاده از انحراف سنج مورد پایش قرار گیرند. محل چاه‌های مورد پایش زیرسطحی توسط گروه نشست و با توجه به تمرکز چاه‌های پمپاژ و ویژگی‌های لوگ چاه‌ها تعیین می‌شود.

٦-٤-١-٣- فشار آب زیرزمینی

در صورتی که چاه پیزومتری در دشت حفر نشده باشد لازم است حداقل سه چاه پیزومتر حفر و تجهیز شود. در مورد دشت‌های با وسعت بیش از ۳۰ کیلومترمربع به ازای هر سه کیلومترمربع یک گمانه اضافه می‌شود.

٦-٤-١-٤- مراحل پایش

پایش در چهار مرحله به شرح زیر انجام می‌شود:

- بررسی مقدماتی شامل مروری بر مناطق مسئله‌دار از نظر زمین‌شناسی، برداشت آب از آبخوان‌های آبدار منطقه، مسائل مرتبط با نشست که نتایج این ارزیابی اولیه به عنوان راهنما در برنامه‌ریزی مراحل بعدی مطالعات به کار می‌رود.
- مرحله تفصیلی شامل حفاری‌ها، نمونه‌برداری و به کارگیری دیگر روش‌های دستیابی به داده‌های موردنیاز است.
- مرحله مطالعات تکمیلی شامل به دست آوردن اطلاعات جدید موردنیاز است که در برنامه‌ریزی اولیه در نظر نبوده‌است. تجربه نشان داده است که در این مرحله ۳۰ تا ۵۰ درصد بیش از برآورد اولیه به اطلاعات جدید نیاز است.
- مرحله نظارت بر محدوده تحت تاثیر نشست و محدوده‌های پایدار که، این مرحله باید حداقل به مدت یک دوره سالانه آب و هوایی ادامه پیدا کند.
- دوره زمانی این مراحل شامل موارد زیر است:
- بررسی‌های مقدماتی که این مرحله شامل تکمیل پرسش‌نامه و جمع‌آوری کلیه اطلاعات هیدروژئولوژی دشت است. این برنامه در مدت حداکثر سه ماه انجام می‌شود.
- مرحله دوم شامل نقشه‌برداری و تعیین عوارض ناشی از نشست و تعیین نقاط پایش و حفاری‌های مورد نیاز است. طول این مدت با توجه به ضرورت یا عدم ضرورت برای حفاری متفاوت بوده و حداکثر شش ماه پیش‌بینی می‌شود.
- مرحله سوم شامل پایش داده‌ها و ارزیابی نتایج و مطالعات تکمیلی است. این مرحله نیز شش ماه برآورد می‌شود.
- مرحله نظارت بر محدوده تحت تاثیر نشست و محدوده‌های پایدار که لازم است حداقل به مدت یکسال برداشت‌ها انجام شود.

٦-٤-١-٥- تعیین فواصل زمانی برای قرائت

فاصله زمانی انجام قرائت‌ها به سرعت تغییر عوامل مورد اندازه‌گیری و نیازمندی‌های عملیات تفسیر داده‌ها بستگی دارد. قرائت‌های زیاد که در فواصل زمانی کم انجام می‌شود، باعث تراکم فراوان داده‌ها و خارج شدن عملیات تفسیر از حد ظرفیت می‌شود. از طرف دیگر تعداد کم داده‌ها که در فواصل زمانی زیاد گردآوری شود، ممکن است باعث نادیده گرفتن غیرعمدی حوادث و تغییر شکل‌های عمده‌ای شود که در هنگام تفسیر داده‌ها حایز اهمیت بوده و در نتیجه‌گیری نهایی و تعیین رفتار آن بسیار مؤثر و سودمند است. به همین دلیل قضاوت صحیح برای تعیین یک فاصله زمانی مناسب، کاملا حیاتی است. در مورد فواصل زمانی قرائت عوامل پایش نشست، موارد زیر پیشنهاد می‌شوند:

الف - فواصل زمانی برای قرائت دگرشکلی‌های سطحی

- فواصل زمانی قرائت برای توپوگرافی سطحی به صورت ماهانه است. در صورت عدم تغییرات سطح، قرائت به صورت فصلی ثبت می‌شوند.
- قرائت کشش سنج‌ها و کلیه عوارض مشخص شده دو مرتبه در ماه انجام می‌شود. در صورت عدم تغییرات، قرائت‌ها به صورت ماهانه ثبت می‌شوند.

ب - فواصل زمانی برای قرائت دگرشکلی‌های زیرسطحی

- فواصل زمانی قرائت برای دگرشکلی‌های زیرسطحی به صورت دو مرتبه در ماه است. در صورت عدم تغییرات، این قرائت‌ها نیز به صورت ماهانه ثبت می‌شوند.

ج - فواصل زمانی برای قرائت فشار آب

- تغییرات فشار آب نیز به صورت ماهانه ثبت می‌شود.

٦-٤-٢- برنامه‌ریزی حفاری‌ها و آزمایش‌های صحرایی ژئوتکنیکی

طراحی نقاط حفاری باید به گونه‌ای صورت گیرد، که علاوه بر تهیه اطلاعات ژئوتکنیکی مورد نیاز، در نهایت برای چاه‌های پیزومتر و رفتارسنجی فشار آب زیرزمینی نیز مورد استفاده قرار گیرد. به طور متوسط در دشت‌هایی با وسعت بیش از ۳۰ کیلومتر مربع در هر ۳ کیلومتر مربع نیاز به حفر یک گمانه است. توصیه می شود به منظور بررسی ستون کامل خاک، حفاری‌های ژئوتکنیکی تا رسیدن به سنگ بستر و به روش نمونه‌گیری ممتد، ادامه یابد (چنانچه در نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد میزبان دشت را سنگ های آهکی با مشخصات کارست تشکیل دهد، بهتر است حفاری‌های اکتشافی به منظور شناسایی ویژگی‌های دقیق تر زیرسطحی آهک‌ها درون سنگ بستر نیز ادامه یابد. مهم‌ترین نتیجه این کار شناسایی پتانسیل نشست‌های محلی (فروچال) است).

ویژگی‌های مهندسی خاک معمولا با آزمون‌های برجا تعیین می‌شوند. از مهم‌ترین آزمون‌های صحرایی می توان به انجام آزمون لوفران به منظور تعیین نفوذپذیری خاک در عمق‌های مختلف، پیمایش دقیق لایه‌ها و تهیه نمونه‌های دست نخورده و دست خورده مورد نیاز برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی اشاره کرد.

٦-٥- سنجش های آزمایشگاهی

بررسی‌های صحرایی رسوبات تشکیل دهنده آبخوان منجر به تهیه نمونه‌هایی می‌شود که ممکن است مستقیما و به طور برجا (درمحل) آزمایش شده و یا برای بررسی به آزمایشگاه ارسال شوند. اندازه‌گیری ویژگی‌های رسوبات برای شناسایی و تعیین روابطی که بین ویژگی‌های فیزیکی مختلف خاک وجود دارد انجام می‌شود. ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک‌ها به چهار گروه ویژگی‌های اساسی، ویژگی‌های شاخص، ویژگی‌های هیدرولیکی و مکانیکی تقسیم می‌شوند. مجموعه ویژگی‌های هیدرولیکی و مکانیکی، که به نام ویژگی‌های مهندسی نیز شناخته شده‌اند، پایه‌ای برای تمام تجزیه و تحلیل‌های مهندسی هستند. بررسی آزمایشگاهی خاک‌ها بیش‌تر به منظور تعیین ویژگی‌های اساسی و شاخص آن‌ها صورت می‌گیرد[۱].

بررسی لوگ گمانه‌های اکتشافی و توصیف اولیه خاک که شامل چگالی (دانسیته) نسبی یا تراکم، بافت، رنگ، اجزای تشکیل دهنده، دانه‌بندی و درجه زاویه دار بودن، نوع و منشا زمین‌شناسی خاک، قدم اول در بررسی‌های آزمایشگاهی است. از مهم‌ترین آزمون‌های آزمایشگاهی مورد نیاز در مطالعات نشست زمین نیز می توان به آزمون دانه‌بندی خاک و اندازه‌گیری‌های چگالی (دانسیته)، تخلخل و ضریب هدایت هیدرولیکی خاک اشاره کرد. به منظور آشنایی با نحوه انجام آزمون‌های مورد اشاره مطالعه کتاب‌های مرجع مکانیک خاک نظیر [۵ و ۱۲] و همچنین استانداردهای موجود نظیر [۲] پیشنهاد می‌شود.

قدم بعدی در این مرحله از مطالعات، تعیین ویژگی‌های فیزیکی – مکانیکی آبخوان است که از مهم‌ترین آن‌ها شکل هندسی آبخوان، وضعیت توپوگرافی و موقعیت رودخانه‌ها، مناطق تخلیه و تغذیه و همچنین عواملی نظیر تخلخل، چگالی (دانسیته) نسبی و وزن واحد حجم است که برای آشنایی با نحوه اندازه‌گیری هر یک مطالعه مراجع مذکور، توصیه می‌شود.

٦-٦- تحلیل اطلاعات و داده‌ها

داده‌ها و اطلاعاتی که باید در این مطالعات مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند شامل زمین‌شناسی، ژئوفیزیک سطحی، چاه پیمایی، حفاری‌های اکتشافی، خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان، نوع آبخوان و ... است که می تواند باعث برنامه‌ریزی بهتر برای بررسی‌های صحرایی مورد نیاز شود. در بسیاری از موارد، داده‌های استخراج شده از مطالعات قبلی به دلیل اشتباهات تایپی و یا ابزار کار نامناسب قابل اعتماد نیستند و باید کنترل شوند. نحوه تحلیل این سری از داده‌ها از نظر صحت سنجی با ابزارهای مناسبی نظیر بسته های نرم افزاری گرافیکی و آماری همچون SPSS و EXCEL امکان پذیر است.

تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده نظیر نحوه بررسی لوگ‌ها، منحنی‌های دانه‌بندی خاک، چگالی (دانسیته) خاک، تخلخل خاک، ضریب هدایت هیدرولیکی خاک، ویژگی‌هایی فیزیکی و مکانیکی آبخوان، شکل هندسی آبخوان، مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان، وضعیت توپوگرافی و موقعیت رودخانه‌ها در منطقه که از موسسه‌های ذیربط، شرکت‌های مهندسین مشاور و ادارات مربوط اخذ شده است، از ضروریات طرح است.

تجزیه و تحلیل نگارهای (لوگ‌های) زمین شناسی و رسم مقاطع زمین شناسی و سنگ‌شناسی و ترسیم نمودارهای نرده‌ای[1] با استفاده از نرم افزارهای کاربردی زمین شناسی مانند ROCKWORK 2004 و LOGPLOT 2005 از شرکت نرم افزاری ROCKWARE می‌تواند انجام شود. این داده‌ها برای تهیه مدل تفهیمی آبخوان بسیار حایز اهمیت هستند، زیرا تعداد آبخوان‌ها و نوع آن‌ها را می‌توان با استفاده از مدل تفهیمی تعیین کرد.

تجزیه و تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی خاک به منظور بررسی لیتولوژی آبخوان، تعیین لایه‌های موثر در نشست در اثر برداشت آب، تخمین اولیه ضرایب هیدرو دینامیکی آبخوان نظیر S و T و K در نقاطی که اندازه‌گیری صورت نگرفته است، مفید است. با استفاده از منحنی دانه‌بندی ابتدا قطر موثر دانه‌ها یا d_{10} تعیین شده و با استفاده از روش‌های تجربی موجود K و T تخمین زده می‌شوند.

چگالی (دانسیته)، تخلخل و ضریب هدایت هیدرولیکی خاک نیز برای تعیین میزان نشست در مدل PMWIN 5.3 از عوامل ضروری هستند. این مقادیر به طور مستقیم و بدون محاسبات اضافی بر روی آن‌ها وارد مدل می‌شوند. از نقشه‌های توپوگرافی دیجیتالی یا مدل ارتفاعی رقومی (DEM) می‌توان برای تهیه نقشه توپوگرافی سطح آبخوان استفاده کرد. این نقشه با ایجاد یک نقطه ارتفاعی سطح زمین در هر سلول مدل، کار را بسیار راحت و اقتصادی می‌کند. با استفاده از نرم افزارهای کاربردی GIS نظیر Arc GIS 9.0 به راحتی این نقشه ارتفاعی سطح زمین را می‌توان تهیه کرد.

معمولا داده‌های ابعاد هندسی آبخوان نیز که عموما توسط روش‌های ژئوفیزیکی به دست می‌آیند تقریبی بوده و باید توسط لوگ‌های زمین شناسی چاه‌های منطقه، کنترل شوند. موقعیت رودخانه‌ها و زهکش‌ها، مناطق تغذیه و تخلیه از روی نقشه‌های توپوگرافی به صورت فایل‌های با پسوند DXF توسط نرم افزارهایی نظیر SURFER 8.0 ، Auto CAD 2005 تهیه و به مدل PMWIN وارد می‌شوند تا موقعیت هندسی مرزهای مدل‌سازی دشت برای بررسی نشست مشخص شود.

تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از آزمون‌های صحرایی نظیر آزمون‌های پمپاژ با ابزار نرم افزاری خاص خود نظیر Aquifer Test 3.1 و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش‌های نمونه‌های آزمایشگاهی با نموگرام ها، نرم افزارها و جداول مخصوص خود انجام می‌شود. برای هر آزمون و روش صحرایی یا آزمایشگاهی یک کتابچه استاندارد وجود دارد که بسیاری از آن‌ها در کتابخانه‌های وزارت نیرو موجود است و برای موارد خاص که کتابچه راهنمای استاندارد وجود نداشته باشد، می‌توان به استانداردهای بین المللی[2] ASTM مراجعه کرد. نقشه‌های موجود نیز با بررسی‌های صحرایی باید تایید شوند. برای کنترل داده‌های سری زمانی کافی است با استفاده از روش‌های گرافیکی و با رسم ساده آن کنترل اولیه انجام شود و بررسی تحلیلی سری‌های زمانی را با نرم افزارهای مخصوص این کار نظیر VARIOGRAM برای تعیین مدل برازشی حاکم بر داده‌ها می‌توان انجام داد. برای داده‌های نقطه‌ای آزمون پمپاژ نظیر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان کافی است با یک روش دیگر مثلا با استفاده از ردیابی رنگی، تهیه منحنی دانه‌بندی آبخوان و انجام روش‌های ژئوفیزیکی دقیق‌تر (برای آبخوان‌های با ضخامت کمتر از ۶۰ متر) نظیر ژئورادار[3] مقدار آن تخمین زده شود و بزرگی داده‌ها کنترل شود.

1- Fence Diagram
2- American Society Of Testing Methods
3- Ground Penetration Radar

در بحث پایش، تحلیل داده‌ها به صورت نقشه‌ها و نمودارهای مربوط خواهد بود. تهیه نقشه‌های هم پتانسیل سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف می‌تواند کمک مناسبی در شناسایی مناطق احتمالی نشست باشد. طبیعی است مناطقی که با افت سطح آب زیرزمینی بیش‌تری مواجهند، بیش‌تر در معرض خطر نشست قرار خواهند داشت.

نتایج حاصل از قرائت‌های انجام شده در یک محدوده زمانی توسط روش ترازیابی را می‌توان به صورت منحنی‌های هم ارزش نشست نشان داد. با بررسی این نقشه‌ها، میزان نشست در در محدوده زمانی برداشت‌ها و تغییرات آن در محدوده مورد مطالعه قابل تفسیر خواهند بود. برای بررسی الگوی تغییرات زمانی نشست ناشی از برداشت آب زیرزمینی و یا ارتباط آن با میزان برداشت، می‌توان تغییرات ارتفاع زمین در طول زمان را ثبت کرد.

با توجه به تحلیل داده‌ها و اطلاعات به دست آمده جمع بندی آن‌ها در قالب نقشه‌ها و نمودارها و جداول تهیه شده، نتایج زیر قابل دستیابی است:

- تعیین محدوده‌های بحرانی در معرض خطر،
- تعیین نوع نشست و میزان آن،
- پیش بینی وضعیت آینده منطقه،
- شناسایی مناطق دارای بیشترین برداشت آب زیرزمینی و چاه‌های مربوط،
- شناسایی شرایطی که علیرغم رعایت ضوابط و مقررات و دستورالعمل‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی باعث نشست شده‌اند، مانند وضعیت خاص لیتولوژیکی و یا دیگر شرایط زیرسطحی منطقه و آبخوان نظیر وجود مناطق (زون‌های) گسلش، بالاآمدگی سنگ کف و ... ،آماده سازی اطلاعات برای مدل‌سازی پدیده نشست،
- ارائه روش‌های کنترل و جلوگیری از گسترش نشست و کاهش آثار و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن با توجه به شرایط موجود منطقه،
- ارزیابی های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نشست در منطقه به منظور برنامه‌ریزی های توسعه ای و اقدامات حقوقی و قضایی مورد نیاز.

٦-٧- مدل‌سازی نشست

٦-٧-١- کلیات

مدل، نمایش ساده و خلاصه شده از یک سیستم فیزیکی واقعی پیچیده همراه با فرایندها و پدیده‌های درون آن است. لذا هر زمان که بررسی سامانه‌های (سیستم‌های) واقعی با پدیده‌های پیچیده آن همراه باشد و یا نیاز به پیش‌بینی‌هایی راجع به وضعیت آینده آن باشد از مدل استفاده می‌شود.

مدل‌های مورد استفاده در مطالعات آب‌های زیرزمینی بر اساس روش حل موضوع به دو نوع، مدل‌های تحلیلی و مدل‌های عددی تقسیم می‌شوند که هر کدام دارای ویژگی‌های خاص خود هستند. برای آشنایی بیشتر با این مدل‌ها، دامنه کاربرد آن‌ها و مزایا و معایب هر یک پیشنهاد می‌شود، به نشریه تهیه شده در طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور با عنوان "راهنمای تهیه مدل آب‌های زیرزمینی" مراجعه شود.

بنا به شرایط آبخوان در دشت‌های ایران که اغلب اشکال هندسی پیچیده و آبخوان‌های چند لایه‌ای دارند (شرایط ناهمگن) باید از مدل‌های عددی استفاده شود. از میان مدل‌های عددی موجود، مدل تفاضل‌های محدود و اجزای محدود هر کدام مزایا و معایب خود را دارا هستند. مدل‌های اجزای محدودنظیر (FEMWATER) به دلیل انعطاف پذیری در شبکه‌بندی، دامنه حل و دقت بسیار زیاد در ایجاد سلول‌های مثلثی چند وجهی و مربعی شکل و دقت محاسبات بالاتر نسبت به مدل‌های تفاضل محدود نظیر (MODFLOW) مزیت دارند. ولی هنوز در این مدل‌ها فرآیند شبیه‌سازی نشست زمین وارد نشده است و نمی‌توان از آن‌ها برای پروژه‌های و تحلیل نشست زمین استفاده کرد، اگرچه دقت آن‌ها در شبیه‌سازی جریان، بالاتر از مدل‌های تفاضل محدود است. در حال حاضر نرم‌افزار PMWIN یک نرم افزار با قابلیت مناسب است که با استفاده از مدل جهانی MODFLOW علاوه بر شبیه‌سازی جریان ، نشست زمین را نیز در اثر برداشت آب زیرزمینی پیش‌بینی می‌کند. از همین رو مدل PMWIN5.3 که به صورت تجاری تحت عنوان PMWIN7 شناخته می‌شود، به عنوان مدل پیشنهادی برای شبیه‌سازی نشست در ایران معرفی می‌شود.

مراحل ساخت مدل شامل تعیین اهداف مدل، تهیه داده‌ها و طراحی مدل است. برای مدل‌سازی در نرم افزار MODFLOW عوامل زمان، چاه‌های مشاهده‌ای، مشاهدات، هدایت هیدرولیکی افقی آبخوان، ضریب انتقال، ضریب هدایت هیدرولیکی عمودی، ضریب نشت عمودی، تخلخل موثر، ذخیره ویژه، ضریب ذخیره ویژه، آبدهی ویژه، چگالی (دانسیته)، زهکش، تبخیر و تعرق و ذخیره درون لایه مورد نیازند.

٦-٧-٢- مراحل ساخت مدل یک دشت با نرم افزار PMWIN5.3

٦-٧-٢-١- چگونگی ایجاد یک مدل جدید

از منوی File گزینه New Model انتخاب می‌شود. کادر محاوره‌ای New Model آشکار می‌شود. پوشه‌ای برای ذخیره داده‌های مدل انتخاب می شود. یک مدل باید همواره پسوند pm5. داشته باشد. تمام نام‌های معتبر تحتWindows 95/98/NT/XP با حداکثر ۱۲۰ کاراکتر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. روش صحیح آن است که هر مدل را در پوشه جداگانه‌ای که حاوی داده‌ها و خروجی‌های آن است، ذخیره کنند. این کار اجازه اجرای چندین مدل را به منظور شبیه‌سازی، فراهم می کند.

٦-٧-٢-٢- تخصیص ورودی‌های مدل

گام دوم در اجرای شبیه‌سازی جریان، ایجاد یک مش (Grid)، مشخص کردن شرایط مرزی و اختصاص عوامل مدل به شبکه مدل است PMWIN حین فرایند مدل‌سازی، به واحدهای سازگار نیاز دارد. به عنوان مثال اگر واحدهای طول (L) و زمان(T) به ترتیب بر حسب متر و ثانیه در نظر گرفته شوند، هدایت هیدرولیکی بر حسب m/s، مقادیر پمپاژ بر حسب m^3/s و فواصل بر حسب m بیان خواهد شد. در MODFLOW، یک سامانه (سیستم) آبخوان، با یک دامنه تقسیم‌بندی شده که شامل آرایه‌ای از گره‌ها و بلوک‌های (سلول‌های) تفاضل محدود مربوط است، جایگزین می‌شود. شبکه گره‌ها، چارچوب و اسکلت مدل عددی را تشکیل می‌دهند. واحدهای هیدرواستراتیگرافیک را می‌توان به صورت یک یا چند لایه در مدل نشان داد. ضخامت هر یک از سلول‌های مدل و عرض هر یک از ستون‌ها و ردیف‌ها می‌تواند متغیر باشد. موقعیت سلول‌ها توسط یک آرایه [J,I,K] مشخص می‌شود. به عنوان مثال سلول واقع شده در ستون دوم، ردیف ششم لایه اول به صورت [2,6,1] نمایش داده می‌شود.

٦-٧-٢-٣- شبکه بندی مدل

از منوی Grid، گزینه Mesh Size را انتخاب کرده و تعداد لایه‌ها، ستون‌ها و ردیف‌ها را برای دامنه مورد نظر وارد می‌شود. به منظور تعریف نوع لایه‌ها، گزینه Layer Type را از منوی Grid انتخاب کرده و در کادر محاوره‌ای باز شده، نوع لایه‌ها را از نظر محصور یا آزاد بودن مشخص می‌شود. در اینجا باید توجه شود که لایه اول همواره یک لایه آزاد و غیر محصور است و لایه‌های دیگر محصور هستند. MODFLOW یک مدل چند لایه‌ای است. لایه‌ها بر اساس اصول نشت[1] با یکدیگر جفت می‌شوند. عبارات نشت و نشت عمودی[2] برای محاسبه مقدار نشت به کار می روند. از آن‌جایی که در محاسبه قابلیت آب‌گذاری و نشت، از هدایت هیدرولیکی و ابعاد هندسی شبکه استفاده می‌شود، بنابراین متغیرهای ورودی اولیه که باید مشخص شوند، هدایت هیدرولیکی افقی و عمودی است. سپس شرایط مرزی اصلی برای مدل جریان مشخص می‌شود. آرایه اصلی شرایط مرزی (آرایه IBOUND) شامل یک کد برای هر یک از سلول‌های مدل است که نشانگر یکی از سه وضعیت زیر هستند:

کد۱(یک): بار هیدرولیکی محاسبه می‌شود(سلول بار متغیر یا سلول فعال).

کد ۱- (منهای یک): بار هیدرولیکی در یک مقدار داده شده، ثابت نگه‌داشته می‌شود (سلول بار ثابت یا سلول بار مشخص متغیر با زمان).

کد ۰(صفر): هیچ جریانی درون سلول وجود ندارد (سلول غیرفعال).

٦-٧-٢-٤- تعریف شرایط مرزی در مدل جریان

برای تعریف شرایط مرزی ابتدا باید یک فایل DXF از مرزهای موجود تهیه کرد. سپس این فایل DXF در برنامه بارگذاری (Load) می‌شود. برای بارگذاری (Load) آن، در محیط Boundary Condition از منوی Options گزینه Maps انتخاب شده و در کادر باز شده Vector Graphics Tab انتخاب می‌شود. در اینجا امکان وارد کردن پنج فایل DXF وجود دارد. با وارد کردن فایل DXF ، که قبلا توسط نرم افزار AutoCAD تهیه شده است، مرزهای رسم شده در این فایل، در محیط IBOUND قابل مشاهده می‌شود. با توجه به مرزهای موجود با کلیک راست بر روی هر سلول می‌توان یکی از سه کد ۱، ۱- و یا صفر را به آن سلول اختصاص داد و آن مقدار را در هر سلول مورد نظر دیگری، کپی کرد. MODFLOW دارای چندین بسته نرم افزاری است که برای شبیه‌سازی شرایط مرزی به کار می روند.

- مرز زهکش[3]

برای شبیه‌سازی مرز زهکش باید به هر سلول زهکش سه عامل اختصاص داده شود:

- هدایت هیدرولیکی زهکش(C_d) با بعد L^2T^{-1}
- ارتفاع زهکش(d) با بعد L
- شماره عامل (پارامتر)

1-Leakage
2- Vertical Leakage
3- Drain

شماره عامل (پارامتر) جهت قرار دادن C_d به عنوان یک عامل برای واسنجی خودکار توسط مدل‌های حل معکوس PEST یا UCODE به‌کار می‌رود. این مقادیر برای یک دوره تنش ثابت هستند. در شبیه‌سازی جریان ناپایداری که شامل چندین دوره تنش است، این مقادیر می‌توانند از دوره ای به دوره دیگر متفاوت باشند.

هنگامی که بار هیدرولیکی(h) در یک سلول زهکش بیش‌تر از ارتفاع زهکش باشد، آب در زهکش جریان پیدا کرده و از مدل آب زیرزمینی حذف می‌شود. هنگامی که بار هیدرولیکی کم‌تر یا مساوی ارتفاع زهکش باشد، زهکشی صفر است. بدون در نظر گرفتن بار هیدرولیکی در آبخوان، تغذیه از زهکش همواره صفر است. نرخ تخلیه از زهکش (Q_d) از معادله ۶-۱، محاسبه می‌شود:

$$Q_d = C_d .(h-d) \qquad (۱-۶)$$

و معادله ۶-۲، مقدار C_d سلول زهکش را به دست می‌دهد:

$$C_d = K.L \qquad (۲-۶)$$

که L طول زهکش درون یک سلول است. K مقدار هدایت هیدرولیکی معادل است که تمامی افت بار هیدرولیکی بین زهکش و آبخوان را نشان می‌دهد. مقدار k به مواد سازنده و خصوصیات زهکش و نیز محیط جانبی آن بستگی دارد. مقدار C_d عموما نامعلوم بوده و باید هنگام واسنجی مدل تنظیم شود.

- مرز بار عمومی[1]

بسته نرم افزاری مرز بار عمومی که به اختصار GHB نامیده می‌شود، برای شبیه‌سازی مرزهای جریان وابسته به بار (شرایط مرزی نیوتن یا کوشی) مانند بسته نرم افزاری زهکش به کار می‌رود. یک سلول مرز بار عمومی (سلولGHB) بوسیله سه مقدار زیر تعریف می‌شود:

- هدایت هیدرولیکی GHB (C_b) با بعد L^2T^{-1}
- بار هیدرولیکی در مرز (h_b) با بعد L
- شماره عامل (پارامتر)

در اینجا نیز مانند زهکش، شماره عامل برای قرار دادن C_b به عنوان یک عامل برای واسنجی خودکار به‌کار می‌رود. جریان از مرز بار عمومی(GHB) با Q_b نشان داده شده و از معادله ۶-۳، محاسبه می‌شود:

$$Q_b = C_b .(h_b - h) \qquad (۳-۶)$$

که h بار هیدرولیکی در آبخوان است. در صورتی که C_b خیلی زیاد در نظر گرفته شود، آن‌گاه سلول GHB معادل سلول بار ثابت خواهد بود. مقادیر C_b و h_b در طول یک دوره تنش ثابتند. برای آن‌دسته از شبیه‌سازی‌های جریان ناپایدار که دارای چندین دوره تنش هستند، می‌توان C_b و h_b را از هر دوره به دوره دیگر، متفاوت در نظر گرفته و تغییر داد. با این کار می‌توان حین فرایند شبیه‌سازی جریان ناپایدار، بار هیدرولیکی را در مرزهای بار ثابت تغییر داد.

1- General-Head Boundary

- تغذیه[1]

بسته نرم افزاری تغذیه برای شبیه‌سازی تغذیه توزیع شده به سامانه (سیستم) آب زیرزمینی طراحی شده است. تغذیه با اختصاص داده‌های زیر به هر ستون عمودی و یا سلول، تعریف می‌شود:

- فلاکس تغذیه (IR) با بعد LT-1
- شناساگر لایه (IRCH)
- شماره عامل (پارامتر)

که شماره عامل (پارامتر) برای قرار دادن فلاکس تغذیه(I_R) به عنوان یک عامل برای واسنجی خودکار به کار می‌رود. MODFLOW مقدار I_R را برای محاسبه نرخ جریان تغذیه (Q_R) با بعد L^3T^{-1} در سلول‌های مدل به کار می برد. مقدار Q_R از معادله ۶-۴، محاسبه می‌شود:

$$Q_R = I_R . DELR . DELC \qquad (۴-۶)$$

که DELR . DELC مساحت سلول مدل است. نرخ جریان Q_R بر یک سلول واحد درون یک ستون عمودی از سلول‌ها عمل می‌کند. کاربر مجبور نیست لایه‌ای را که تغذیه باید در آن صورت گیرد، از پیش تعیین کند. لایه مناسب به‌طور خودکار توسط بسته نرم افزاری انتخاب می‌شود. اگر بالاترین سلول فعال، یک سلول بار ثابت باشد، تغذیه قطع شده و نمی‌تواند از آن سلول پایین تر رود.

- مرز چاه[2]

یک چاه تغذیه یا تخلیه با اختصاص دو مقدار به یک سلول مدل، تعریف می‌شود:

- نرخ تغذیه چاه (Q) با بعد L^3T^{-1}
- شماره عامل (پارامتر)

از مقادیر منفی نرخ تغذیه چاه، برای نشان دادن چاه‌های پمپاژ و تخلیه استفاده می‌شود و مقادیر مثبت، نشان دهنده چاه تغذیه است. شماره عامل برای قرار دادن Q به عنوان یک عامل برای واسنجی خودکار مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرخ برداشت یا تغذیه از/به یک چاه، در طول یک دوره تنش داده شده، ثابت بوده و مستقل از مساحت سلول و بار هیدرولیکی در سلول است. فرض مدل MODFLOW بر این است که یک چاه در تمام ضخامت یک سلول نفوذ کرده است، در این صورت باید برای هر لایه نرخ تزریق یا پمپاژ مشخص شود. نرخ کلی تزریق یا پمپاژ برای یک چاه چند لایه‌ای برابر مجموع نرخ‌های تک تک لایه‌هاست.

راه دیگر برای شبیه‌سازی یک چاه چند لایه‌ای، اختصاص یک مقدار بسیار بزرگ هدایت هیدرولیکی عمودی ، مثلاً ۱m/s به تمام سلول‌های چاه است. در این حالت کل نرخ پمپاژ به پایین‌ترین سلول چاه اختصاص داده می‌شود. برای این کار می‌توان یک نرخ بسیار کوچک تغذیه ($-۱\times۱۰^{-۱۰} m^3/s$) را به دیگر سلول‌های چاه اختصاص داد. با این روش می‌توان نرخ استخراج دقیق هر لایه را که چاه در آن نفوذ کرده، به صورت مطلق محاسبه کرد که این مقدار نهایتا می‌تواند برای محاسبه بیلان آب[3] مورد استفاده قرار گیرد.

1- Recharge
2 -Well
3- Water Budget Calculating

٦-٧-٣- معرفی ارتفاع سقف و کف لایه‌ها

یکی از اساسی‌ترین موارد مورد نیاز برای ساخت مدل، داشتن ارتفاع سقف و کف لایه و نتیجتا ضخامت هر لایه است. از آن‌جای که هم سقف و هم کف لایه‌ها یک سطح مستوی نبوده و دارای پستی و بلندی است، ضخامت لایه در نقاط مختلف متغیر بوده و باید محاسبه و به مدل وارد شود. ارتفاع کف لایه‌ها با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک و لوگ اکتشافی چاه‌ها و با کمک گرفتن از یک برنامه نظیر Surfer که مختصات (X,Y,Z) هر نقطه از یک منطقه را در یک گرید[1] وارد می‌کند، به صورت یک فایل گرید در آمده و به برنامه وارد می‌شود. برای وارد کردن ارتفاع سقف لایه نیز از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس مورد نظر برای ساخت فایل گرید مربوط استفاده می‌شود. در این مطالعه از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است.

٦-٧-٤- معرفی زمان[2]

در این مرحله واحد اندازه‌گیری زمان که شامل ثانیه، دقیقه، ساعت، روز، هفته، ماه و سال است، تعیین می‌شود. در MODFLOW شبیه‌سازی جریان به چندین دوره تنش[3] تقسیم می‌شود. هر دوره تنش به بازه زمانی‌ای گفته می‌شود که در آن تنش‌های وارد بر آبخوان، نظیر مقدار تغذیه و تخلیه، به آبخوان و یا از آن ثابت باشد. هریک از این دوره‌های تنش، خود به بازه‌های زمانی کوچک‌تری تقسیم می‌شود که گام زمانی[4] نامیده می‌شود.

٦-٧-٥- معرفی بار هیدرولیکی اولیه[5]

برای شروع محاسبات و اجرا[6] برنامه، باید یک بار هیدرولیکی فرضی به سلول‌ها داده شود. حین شبیه‌سازی جریان، بار هیدرولیکی اولیه در سلول‌های با بار ثابت، بدون تغییر و ثابت نگه‌داشته می‌شود و برای دیگر سلول‌های تحت محاسبه، با توجه به خصوصیات هیدرولیکی آبخوان و بار هیدرولیکی مرزهای GHB، حد آن به مقدار واقعیش نزدیک می‌شود. برای شبیه‌سازی جریان ناپایدار، بارهای هیدرولیکی در نقاط مختلف باید مقادیر واقعی باشد. در شبیه‌سازی جریان در حالت پایدار، بارهای هیدرولیکی اولیه، مقادیر تقریبی برای شروع حل معادلات به روش تکرار است. نباید فراموش کرد که بار هیدرولیکی در سلول‌های با بار ثابت باید واقعی باشند. برای یک لایه غیر محصور (لایه تیپ ۱ یا ۳)، بار هیدرولیکی اولیه در یک سلول با بار ثابت باید بیش‌تر از ارتفاع کف سلول باشد، زیرا MODFLOW یک سلول با بار ثابت خشک را به سلول غیرفعال تبدیل نمی کند. در صورتی که هر یک از سلول‌های با بار ثابت، خشک شوند، روند شبیه‌سازی جریان متوقف خواهد شد.

1- Grid
2 -Time
3- Stress Period
4- Time Step
5- Initial Hydraulic Heads
6- Run

٦-٧-٦- معرفی پیزومترها و گمانه‌ها

مرحله بعدی معرفی نام و مختصات جغرافیایی و خصوصیات پیزومترها و چاه‌های مشاهده‌ای برای مدل است. یک چاه مشاهده‌ای را می‌توان فعال یا غیرفعال کرد. پس از شبیه‌سازی، PMWIN نتایج شبیه‌سازی را با چاه‌های مشاهده‌ای درون‌یابی خواهد کرد که این نتایج، حین فرایند شبیه‌سازی، برای مشاهده پیشرفت کار به صورت گراف و برای مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی با یکدیگر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمان مشاهده که در آن اندازه‌گیری صورت گرفته است، از ابتدای شبیه‌سازی جریان اندازه‌گیری می‌شود. زمان‌های مشاهده باید به صورت صعودی مرتب شوند. در صورتی که برای واسنجی شبیه‌سازی جریان پایدار با یک دوره تنش (می‌توان شبیه‌سازی جریان پایدار را برای چندین دوره تنش انجام داد)، از مدل‌های حل معکوس PEST و یا UCODE استفاده شود، باید طول دوره در قسمت زمان مشاهده وارد شود.

وزن[1] هر چاه مشاهده‌ای، سطح اطمینان نسبی به مقدار مشاهده شده است. هرچه این مقدار بیش‌تر باشد، اندازه‌گیری بهتر بوده و درنتیجه مشاهدات آن چاه، ضریب بیش‌تری در واسنجی خواهد داشت. وزن یک چاه مشاهده‌ای می‌تواند مقداری برابر صفر باشد (به این معنی است که مشاهدات آن چاه، درفرایند واسنجی منظور نخواهد شد)، ولی این مقدار نمی‌تواند منفی باشد. مقدار افت دریک زمان مشاهده شده معین با h_0-h تعریف می‌شود که h_0 بار هیدرولیکی اولیه و h بار هیدرولیکی در زمان مشاهده است.

٦-٧-٧- معرفی هدایت هیدرولیکی افقی و قابلیت آب‌گذاری

هدایت هیدرولیکی افقی، هدایت هیدرولیکی در طول ردیف‌های مدل است. حاصل‌ضرب این مقدار در یک فاکتور آنیزوتروپی[2]، هدایت هیدرولیکی در طول ستون‌های مدل است. هدایت هیدرولیکی افقی برای لایه‌های تیپ ۱ یا ۳ و قابلیت آب‌گذاری[3] برای لایه‌های تیپ صفر یا ۲ مورد نیاز است. PMWIN از هدایت هیدرولیکی افقی و ضخامت لایه برای محاسبه ضریب آب‌گذاری استفاده می‌کند. همچنین در صورت معلوم بودن ضریب آب‌گذاری، می‌توان آن را برای استفاده در شبیه‌سازی، مستقیما وارد برنامه کرده و به کار گرفت.

٦-٧-٨- معرفی تخلخل موثر[4]

اگر v حجم کل یک توده خاک، به دو قسمت یعنی حجم قسمت جامد توده خاک (Vs) و حجم فضاهای خالی(Vv) تقسیم شود، تخلخل(n) به صورت نسبت حجم حفرات به حجم کل تعریف می‌شود. تخلخل موثر خاک (که جریان از درون آن صورت می‌گیرد) به طور طبیعی کم‌تر از تخلخل کل خاک است زیرا قسمتی از سیال در فضاهای خالی غیر مرتبط و یا تا حدودی غیر مرتبط وجود دارد. این پدیده ممکن است در یک محیط دانه ریز که چسبندگی (مثلا جذب ملوکول‌های سیال مجاور به سطح مواد جامد محیط) مهم است، رخ دهد.

1- Weight
2 - Anisotropy Factor
3 -Transmisivity
4- Effective Porosity

٦-٧-٩- معرفی ذخیره ویژه، ضریب ذخیره و آب‌دهی ویژه

در شبیه‌سازی در حالت ناپایدار، MODFLOW به عوامل ذخیره‌ای بدون بعد که برای هر لایه از مدل مشخص شده باشند، نیاز دارد. در شبیه‌سازی حالت پایدار، این موارد مورد نیاز نیستند.

در یک لایه محصور، عبارت ذخیره با ضریب ذخیره محصور[1] Storativity = ذخیره ویژه (L^{-1})× ضخامت لایه (L) یا مشخص می‌شود. حدود ذخیره ویژه از $۳/۳\times۱۰^{-۶} m^{-1}$ در سنگ‌ها، تا $۲/۰\times۱۰^{-۲} m^{-1}$ در رس پلاستیک متغیر است [۱۶]. برای لایه‌های تیپ صفر و ۲و ۳ ضریب ذخیره محصور مورد نیاز است. PMWIN با استفاده از ذخیره ویژه و ضخامت لایه، ضریب ذخیره محصور را محاسبه می کند. همچنین می‌توان با قرار دادن تنظیمات ضریب ذخیره در حالت User Specified و انتخاب ضریب ذخیره از منوی Parameters ، ضریب ذخیره محصور را به صورت مستقیم وارد برنامه کرد. آب‌دهی ویژه تابعی از تخلخل است و الزاماً با تخلخل مساوی نیست زیرا مقداری از آب در خاک نگه‌داشته شده و نمی‌تواند در اثر زهکشی ناشی از گرانش، از خاک خارج شود. معرفی آب‌دهی ویژه برای لایه‌های تیپ ۱، ۲و۳ لازم است.

٦-٧-١٠- اجرای مدل ساخته شده و نتیجه گیری از آن

با استفاده از مدل ساخته شده و وارد کردن اطلاعات تهیه شده به مدل و اجرای آن، میزان نشست دشت در شرایط مختلف مانند افزایش بهره‌برداری، کاهش بهره‌برداری، افزایش یا کاهش تغذیه آبخوان و دیگر شرایط مورد نظر قابل محاسبه است. پس از محاسبه نشست توسط مدل نقشه‌های هم ارزش نشست برای دشت تهیه می‌شود. با استفاده از این نقشه‌ها می توان نسبت به اعمال مدیریت بهینه و واقع بینانه منابع آب زیرزمینی منطقه اقدام کرد.

٦-٨- ارائه راهکارهای مدیریتی (روش‌های کنترل یا جلوگیری از نشست)

روش‌های کنترل و یا جلوگیری از نشست شامل کاهش میزان برداشت (پمپاژ) از آبخوان، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها از سطح زمین و بازیابی فشار آبخوان‌ها توسط چاه‌ها یا ترکیبی از این روش‌ها است. هدف از این روش‌ها، اعمال مدیریت کلی بر تامین آب و توزیع آن است به طوری‌که سطح آب در چاه‌هایی که در آبخوان حفر شده‌اند، تثبیت و یا تا حدودی افزایش یابد. به عبارت دیگر، هدف کنترل و مدیریت تامین آب است به نحوی که تنش موثر بر سامانه (سیستم) آبخوان که تاکنون بر آبخوان وارد شده، بیش‌تر نشود. شرایط زمین‌شناسی منطقه تعیین کننده این موضوع است که کدام‌یک از روش‌های کاهش بهره‌برداری، تغذیه مصنوعی از سطح زمین و یا بازیابی فشار آبخوان توسط تزریق از طریق چاه‌ها، برای این منظور مناسب خواهد بود.

به منظور جلوگیری از وخیم‌تر شدن وضعیت آبخوان‌های کشور راه‌کارهای اجرایی زیر قابل بررسی و اقدام سریع‌اند، که در صورت اجرا می تواند تا حدود زیادی به بهبود اوضاع کمک کند:

- کشف و مسدود کردن چاه‌های غیرمجاز،
- جلوگیری از برداشت‌های غیرمجاز و کنترل آب‌های به حساب نیامده،

1 - confined storage coefficient

- کنترل میزان برداشت‌های غیرمجاز با استفاده از تکنولوژی‌های جدید،
- تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب و اجرای سدهای زیرزمینی،
- به کارگیری روش‌های نوین استحصال آب مانند تصفیه آب و یا آب شیرین کن،
- حمایت از طرح‌های صنعتی برای راه اندازی بخش صنعت و به کارگیری افرادی که در بخش کشاورزی هستند و جایگزینی صنعت به جای کشاورزی در مناطق کم آب تا در شرایط موجود، وضعیت منطقه از نظر اشتغال نیز بحرانی نشود،
- حمایت از طرح‌های کاهش مصرف آب شرب و بهداشتی،
- حمایت از کارخانه های آب شرب و بسته بندی برای جایگزینی آب شرب و استفاده از آب تصفیه شده در منازل برای موارد دیگر،
- ارزش گذاری آب و مشخص کردن آب بهای مناسب برای مصرف بهتر و صرفه جویی لازم به طوری که کشاورزان بعد از برداشت، به میزان مندرج در پرونده بهره‌برداری، استفاده از آب برایشان صرفه اقتصادی نداشته باشد.

٦-٩- نتایج قابل انتظار از مطالعات نشست

حاصل نهایی مطالعات نشست زمین که در یک ناحیه سازماندهی می شود، به صورت گزارشی خواهد بود که در آن اطلاعات زیر در اختیار سازمان‌های مربوط قرار می گیرد:

- ارائه نقشه پهنه بندی نشست زمین،
- تدوین برنامه مدیریت بهره‌برداری از آب زیرزمینی منطقه به منظور کنترل نشست،
- تنظیم برنامه بررسی خسارت‌های ناشی از نشست زمین به اموال خصوصی و دولتی،
- تعیین نوع و میزان خسارت‌های ناشی از نشست زمین،
- تشخیص و تمایز عوارض و پیامدهای ناشی از نشست با دیگر عوامل به وجود آورنده خسارت به سازه‌ها و زمین،
- شناسایی چاه‌های بهره‌برداری موثر در نشست زمین،
- ارائه نظرات کارشناسی در دعاوی حقوقی و محاکم قضایی در مورد پدیده نشست.

فصل ۷

قوانین مربوط به نشست زمین در اثر برداشت آب‌زیرزمینی

۷-۱- مقدمه

با وجود آشکار بودن تاثیرات ناشی از استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در بروز مشکلات زیست محیطی و پیامدهای ناگوار آن در جامعه و علیرغم وجود بعضی قوانین، دستورالعمل‌ها و آیین نامه‌های برداشت و استحصال آب، هنوز قانون مدنی برای نحوه برداشت آب به طوری که از پدیده نشست جلوگیری کند یا نحوه شکایت و ادعای خسارت‌های ناشی از آن تدوین نشده است. نیاز به قوانین، ضوابط و احکام قضایی کارآمد در این زمینه روز به روز محسوس تر می شود. بررسی‌های صورت گرفته نشان دهنده آن است که در خصوص نشست زمین قوانین مشخص و مدونی که خاص این پدیده باشد، وجود نداشته و عمده قوانین موجود مربوط به بهره‌برداری از آبخوان‌ها هستند. به طورکلی قانون اساسی، مصوبه مجلس شورای اسلامی، قانون توزیع عادلانه آب و آیین نامه‌های اجرایی آن و آیین نامه‌های اجرایی بندهای الف و ب ماده ۱۷ قانون برنامه چهارم توسعه، مراجع اصلی در خصوص ضوابط و مقررات بهره‌برداری از منابع آبی در صنعت آب کشور هستند. با توجه به این امر که یکی از آثار بهره‌برداری بی‌رویه از آب زیرزمینی پدیده نشست است، قوانین موجود در خصوص تخلفات استفاده از آب زیرزمینی می تواند به عنوان یکی از اهرم های موثر در جلوگیری از این پدیده، مورد توجه قرار گیرد. در این خصوص راه‌کارهای اجرایی‌تر شدن قوانین موجود به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

- در خصوص صدور پروانه حفر و بهره‌برداری موضوع ماده ۳ فصل دوم قانون توزیع عادلانه آب، پیشنهاد می‌شود پس از بررسی‌های مورد نیاز با توجه به اینکه امکان صدور پروانه حفر و بهره‌برداری در مناطقی که دارای پتانسیل نشست هستند، وجود دارد. برای استعلام و ارائه نظرات کارشناسی و جلوگیری از هرگونه قضاوت غیرکارشناسی و به دور از واقعیت لازم است، از مدل پیشنهادی استفاده شود و به هیچ وجه از نتیجه مدل عدول نشود.
- در رابطه با ماده ۴ فصل دوم قانون توزیع عادلانه آب (شرایط اعلام مناطق ممنوعه) پیشنهاد می گردد، با کنترل دائم دشت‌های کشور، با استفاده از نقشه‌های به روز شده به دست آمده از مدل پیشنهادی، مناطقی که در آینده احتمال بیلان منفی و به وقوع پیوستن یا افزایش میزان نشست را دارند نیز ممنوعه اعلام شود.
- در رابطه با ماده ۱۲ فصل دوم قانون توزیع عادلانه آب لازم به توضیح است که گرچه این ماده قانونی از اهمیت و کارآمدی خاصی برخوردار است، ولی هنوز به طور کامل اجرا نشده است. ضرورت دارد برای بررسی مشکلات عدم اجرای این ماده، راه‌کارهای تسریع در اجرای آن ارائه شود.
- براساس ماده ۵ فصل چهارم قانون توزیع عادلانه آب پیشنهاد می‌شود، با توجه به اینکه صدور حکم قضایی در خصوص مسائل بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، نیازمند دانش و آگاهی کامل قاضی از موضوع، اهمیت آن و عوارض و پیامدهای منفی ناشی از آن است، لازم است در این خصوص شعبات اختصاصی رسیدگی به تخلفات بهره‌برداری از منابع آبی زیرزمینی تشکیل شود.
- به منظور اجرایی شدن ماده ۲۵ فصل چهارم قانون توزیع عادلانه آب پیشنهاد می شود که ضمن اینکه مامورین حفاظت وزارت نیرو نسبت به شناسایی تخلفات صورت گرفته اقدام می‌کنند، وزارت جهاد کشاورزی نیز نسبت به اجرای کامل این ماده اقدام کند.

- به منظور اجرایی شدن ماده ۲۶ فصل چهارم قانون توزیع عادلانه آب پیشنهاد می‌شود، که صدور مجوز میزان بهره‌برداری از آبخوان از سوی وزارت نیرو منوط به ارائه گزارش کتبی وزارت جهاد کشاورزی در خصوص میزان آب مورد نیاز محصول کشاورزی مورد نظر بهره‌بردار باشد.
- در خصوص ماده ۳۱ فصل چهارم قانون توزیع عادلانه آب پیشنهاد می‌شود، دستورالعمل‌های اجرایی واضح و روشن و هماهنگ با مراجع قضایی تهیه و ابلاغ شود تا پس از اجرای دستورات وزارت نیرو و سازمان‌های مربوطه توسط مامورین نیروی انتظامی، امکان خنثی شدن اقدامات از طریق مراجع قضایی توسط متخلفین سلب شود.
- در خصوص مصوبه سال ۱۳۸۴ مجلس شورای اسلامی و لغو دریافت حق النظاره از چاه‌های کشاورزی و مجانی کردن آب مصرفی کشاورزان با توجه به اینکه حجم آب استفاده شده برای شرب توسط مردم با حجم آب مصرفی توسط کشاورزان غیرقابل مقایسه است ضمن اینکه کشاورزانی هستند که درآمد سالانه آن‌ها بسیار قابل توجه است، عدم پرداخت آب‌بها هیچ توجیهی ندارد. پیشنهاد می‌شود مصوبه فوق اصلاح شده و از کشاورزان بر اساس بده بهره‌برداری و ساعت کار موتور هزینه دریافت شود و برای رشد صنعت، چاه‌های صنعتی از پرداخت هزینه به وزارت نیرو معاف شوند. در ضمن می‌توان برای دریافت هزینه آب از کشاورزان، نوع کشت را نیز مد نظر قرارداد.

پیوست الف

پرسش‌نامه بررسی خسارت‌های اقتصادی–اجتماعی و زیست محیطی نشست در کشور

۱- موقعیت دقیق محدوده تحت تاثیر نشست

استان: نام شهرستان: نام شهر: نام دشت:

موقعیت جغرافیایی طول عرض

در صورت امکان شماره و عنوان نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ ذکر شود.

۲- وسعت منطقه تحت تاثیر نشست

۲-۱- ☐ ناحیه‌ای به صورت شکاف، گسیختگی زمین، فروافتادگی‌های ناحیه‌ای

۲-۲- ☐ محلی حفرهای فروکش Sinkhole

۳- خسارت‌های اقتصادی- اجتماعی ناشی از پدیده نشست

۳-۱- ☐ آبگیر شدن زمین (تجمع آب) وسعت تقریبی محدوده تجمع آب ..... مترمربع

۳-۲- ☐ ترک‌خوردگی زمین ۱- تعداد ترک‌ها ..... مورد ۲- طول بلندترین ترک ..... متر

۳- طول متوسط متر میزان بازشدگی به طور متوسط..... سانتی‌متر

میزان جابه‌جایی قائم به طور متوسط ..... سانتی‌متر

۳-۳- ☐ تشکیل فروچال تعداد ..... ابعاد تقریبی شامل عمق ..... متر. قطر..... متر

۳-۴- ☐ تخریب ساختمان‌ها

☐ اداری تعداد ..... باب

☐ مسکونی تعداد ..... باب

☐ تجاری تعداد ..... باب

۳-۵- میزان تخریب ساختمان

☐ تخریب کامل

☐ خسارت کلی

☐ ایجاد درز و شکاف

☐ کج شدگی ساختمان

۳-۶- خسارت به شریان‌های حیاتی شامل

☐ آسفالت ..... کیلومتر

نوع راه ☐ خاکی ..... کیلومتر

خطوط انتقال نفت ..... کیلومتر

خطوط انتقال نیرو ..... کیلومتر

خطوط انتقال گاز ..... کیلومتر

خطوط انتقال آب ..... کیلومتر

مخازن آب: نوع مخزن ..... حجم تقریبی آن ..... مترمکعب

مخازن نفت: نوع مخزن ..... حجم تقریبی آن ..... مترمکعب

۳-۷- تعویض منزل مسکونی ☐ بلی ☐ خیر تعداد خانوار .....

مهاجرت ☐ بلی ☐ خیر تعداد خانوار ..... تخلیه کامل روستا با ..... خانوار

۴- وضعیت آبخوان

عمق آب زیرزمینی در شرایط فعلی ..... متر

عمق آب زیرزمینی در ده سال گذشته ..... متر

میزان افت در طول ..... سال ..... متر

۴-۱- تعداد منابع آب: چاه عمیق و نیمه‌عمیق ..... قنوات .....

۴-۲- میزان برداشت کنونی..... مترمکعب در سال

۴-۳- بیلان دشت .....

۵- معضلات اجتماعی ناشی از پدیده نشست

از دست دادن شغل به علت تخریب محل کسب ..... مورد

موارد دیگر:

۵-۱- خسارت‌های به زمین‌های کشاورزی

☐ خیر

خسارت‌های ناشی از تغییر ریخت‌شناسی زمین .....

☐ بلی

خسارت‌های وارده به زمین‌های زراعی ..... هکتار

کمبود آب و در نتیجه خسارت‌های وارده به باغات ..... درخت یا تعداد باغ .....

خسارت‌های منابع طبیعی ..... هکتار

۵-۲- خسارت‌های چاه‌های آب

خسارت به لوله‌های جدار ..... مورد

خسارت به موتور پمپ ..... مورد

بریدگی شفت ..... مورد

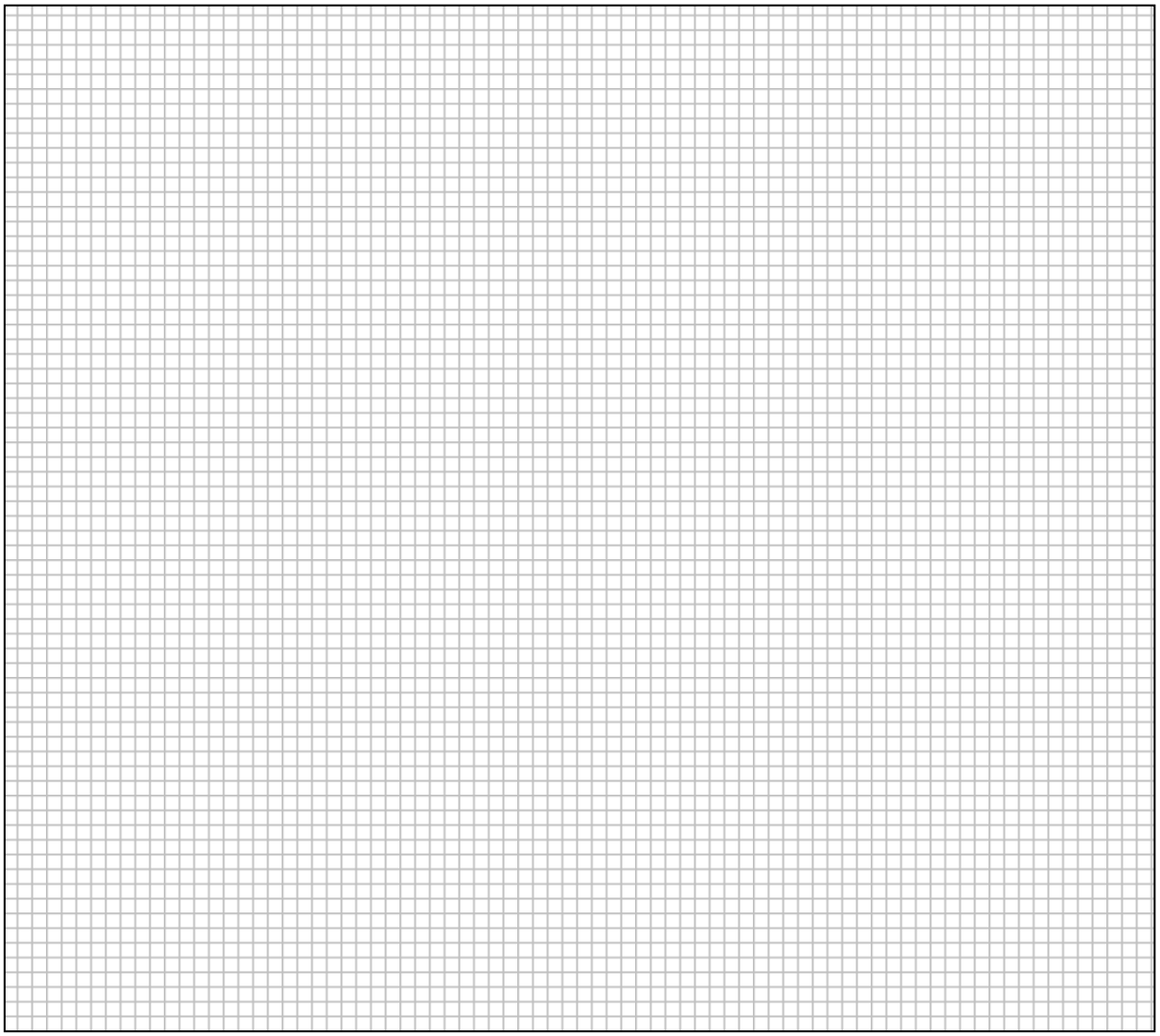
تغییر مکان چاه به علت خشک شدن ..... مورد

خسارت‌هایی که در این پرسش‌نامه به آن‌ها اشاره نشده است را در زیر بنویسید. در صورت نیاز از پشت صفحه۱ استفاده کنید.

توجه:

از تمام عوارض و خسارت‌ها عکس تهیه شود.

کروکی منطقه نشست رسم شود.



پیوست ب

فرم پایش ترک‌خوردگی سطح زمین یا سازه

شماره نقطه پایش:

تکمیل کننده:

تاریخ اولین ثبت:

تاریخ ثبت:	مختصات	مشخصات ترک					ملاحظات
		طول (m)	عرض باز شدگی (m)			یک قطعه عکس از ترک خوردگی سطح زمین یا سازه که دارای مقیاس باشد در این محل قرار می گیرد.	
			بیشینه	کمینه	متوسط		

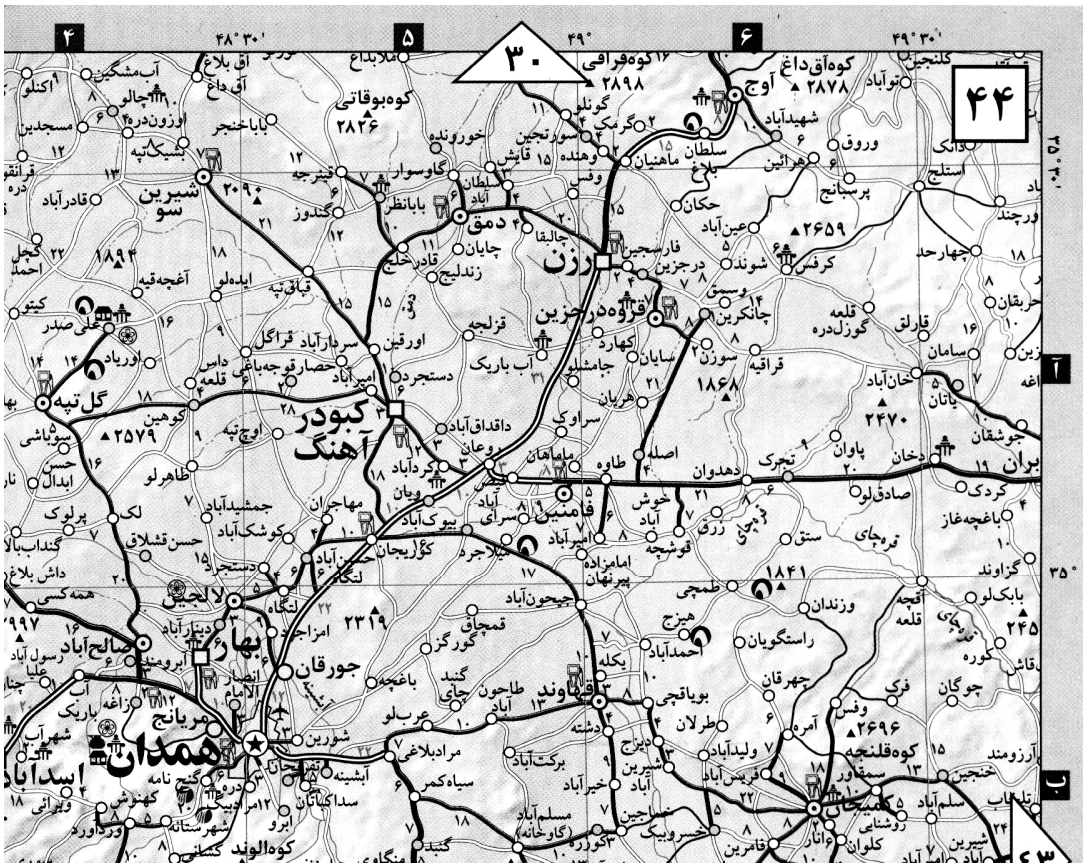
پیوست پ– (اطلاعاتی)

مثال کاربردی از مدل‌سازی نشست

بررسی نشست زمین در آبخوان دشت کبودرآهنگ و به کار گیری مدل پیشنهادی با توجه به مفاد این راهنما

۱- موقعیت جغرافیایی

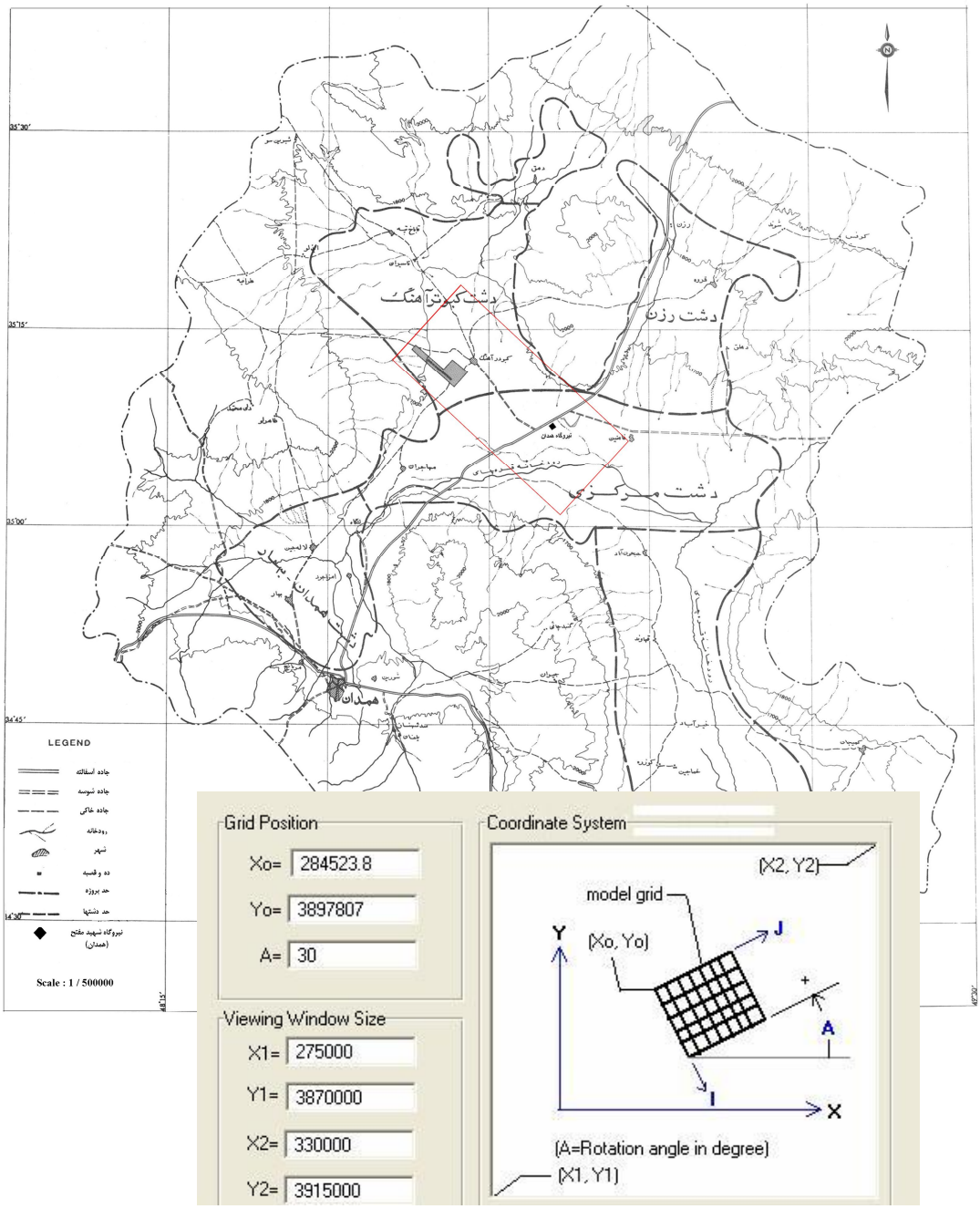
حوضه آبریز کبودرآهنگ با مساحتی حدود ۲۰۷۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۰,۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز دهق ، شمال غرب و غرب به حوضه شیرین سو ، از جنوب به حوضه آبریز قهاوند و بهار و از شرق به حوضه آبریز رزن محدود شده است. از کل مساحت حوضه حدود ۱۰۲۶ کیلومترمربع وسعت دشت را تشکیل می‌دهد. شکل ۱ ، راه‌های دسترسی به دشت را نشان می‌دهد [۱] .



شکل۱- راه‌های دسترسی به دشت کبودرآهنگ [۱]

۲- حدود دشت

دشت کبودرآهنگ با امتداد شمال غرب – جنوب‌شرق به وسعت ۱۰۲۶ کیلومتر مربع است که ۶۳۰ کیلومتر مربع از وسعت آن که آبخوان اصلی دشت کبودرآهنگ را تشکیل می‌دهد با مختصات چهار گوش UTM ۲۹۹۵۲۳ و ۳۸۷۱۸۲۵ ، ۲۸۴۵۱۷ و ۳۸۹۷۷۹۷ ، ۳۱۷۷۱۲ و ۳۸۸۲۳۳۱ ، ۳۰۲۷۰۶ و ۳۹۰۸۲۹۳ مدل‌سازی شده است. شکل ۲، نقشه دشت‌های استان همدان و مختصات منطقه مدل‌سازی شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- نقشه دشت‌های استان همدان و موقعیت محدوده مدل شده [٤]

۳- آب و هوای منطقه

این منطقه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با باران بهاره در منطقه دشت و کوهستانی سرد در ارتفاعات است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، جز مناطق با آب و هوای نیمه‌خشک محسوب شده و بر اساس طبق بندی آمبرژه، در منطقه نیمه خشک سرد واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه حوزه حدود ۲۷۵ میلی‌متر است.

٤- زمین شناسی منطقه

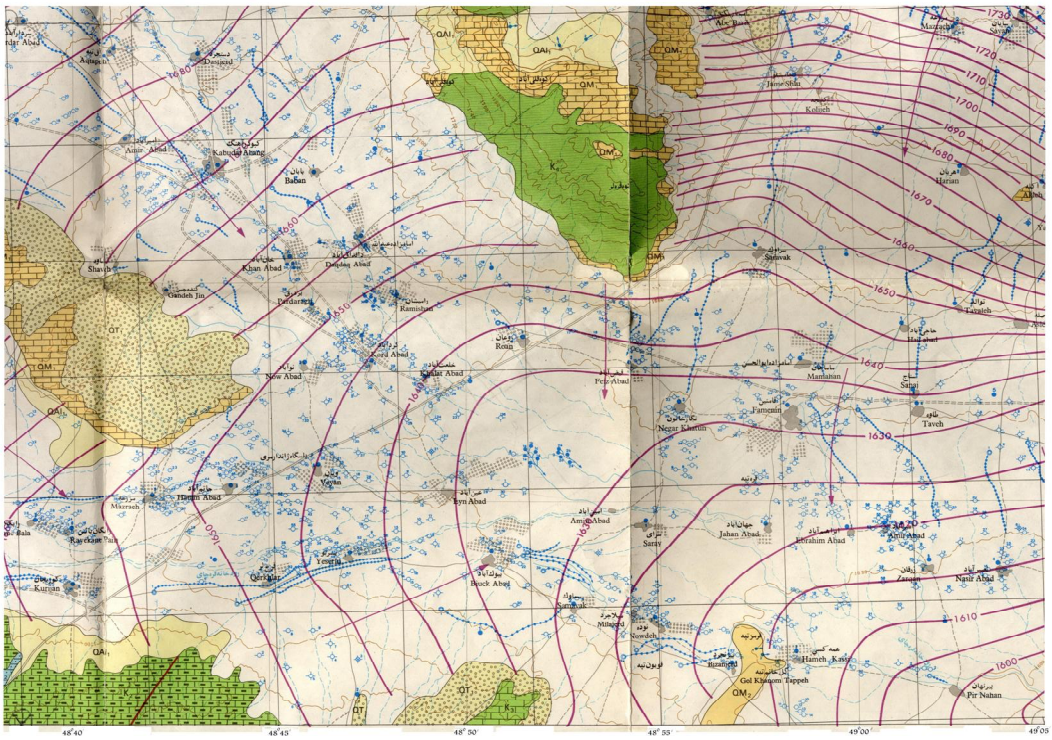
هدف از انجام مطالعات و بررسی‌های زمین‌شناسی، شناسایی بلندی‌های پیرامون دشت و مشخص کردن واحدهای سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی است که اهمیت ویژه‌ای در بررسی‌های منابع آب‌های زیرزمینی منطقه دارد. طبقات رسوبی محدوده دشت کبودرآهنگ در نقشه زمین‌شناسی ارائه شده در شکل ۳، نشان داده شده است[۲].

٥- بررسی‌های ژئوفیزیکی

به منظور شناسایی وضعیت زیرسطحی وضعیت سنگ کف و ضخامت آبرفت، مطالعات ژئوالکتریک به روش سونداژ الکتریکی قائم[1] با طول خط جریان AB=1000 m در منطقه صورت گرفته است. مطالعات ژئوالکتریکی دشت کبودر آهنگ شامل ۱۷۰ سونداژ الکتریکی قائم است که در سال ۱۳۸۰ انجام شده است و نتایج این مطالعات به شرح زیر است:

- سنگ بستر منطقه مورد مطالعه از جنس مارن یا آهک الیگوسن – میوسن (سازند قم) است.
- وجود عدسی‌های فراوان در سازندهای آبرفتی دشت احتمالا مبین محیط رسوبی رودخانه‌ای است.
- یک گسل احتمالی مدفون با جهت شمال غرب– جنوب‌شرق در امتداد مسیر کبودرآهنگ – خلعت آباد – عبور می‌کند که مرز بارز بین سنگ بستر آهکی و مارنی نمایانگر آن است، منطقه (زون) برشی ناشی از این گسل احتمالی سبب ایجاد حفره فروکش‌ها در یک راستا شده است. جریان آب زیرزمینی دشت در راستای گسل مزبور باعث فرار مصالح ریزدانه و تشکیل هسته اولیه حفرها می‌شود [۴].

1- V.E.S.



سن		علایم	شرح سنگ شناسی
دوران چهارم		QAl_2	آبرفت‌های جوان و تراس های جدید و مخروط های
		QAl_1	تراس های نسبتا قدیمی و واریزه ها و پوشش های آبرفتی
		QT_2	تراس های قدیمی (سنگ جوش)
دوران سوم	الیگومیوسن	QM_2 QM_1	سازند قم شیل، مارن و آهک آهک (به طور محلی مطبق)
دوران دوم		K_3	شیل، آهک مارنی با فسیل اینوسراموس به طور محلی
	کرتاسه زیرین	K_2	آهک توده ای و مطبق اربیتولین دار
		K_2	آهک مارنی، آهک فشرده به طور
		K_1	سنگ جوش، ماسه سنگ و دولومیت

1600 ارتفاع سطح آب زیرزمینی بر حسب متر

جهت جریان آب

شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه [۲].

۶- هیدروژئولوژی دشت کبودرآهنگ

کبودرآهنگ دشتی است تقریبا مستطیلی شکل و با امتداد شمال‌غربی – جنوب‌شرقی که در شمال دشت بهار واقع شده است. وسعت حوضه آبریز این دشت ۲۰۷۰ کیلومترمربع و وسعت دشت ۱۰۲۶ کیلومترمربع است. این دشت از سه طرف توسط ارتفاعات احاطه می‌شود و تنها معبر خروجی جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی درجنوب‌شرقی آن، محل تلاقی با دشت وسیع مرکزی است. سازندهای زمین شناسی ارتفاعات جنوب، جنوب‌غرب و غرب منطقه را که ادامه همان بیرون‌زدگی‌های شمال و غرب دشت بهار است، می‌پوشاند. در این قسمت سنگ‌های تشکیل دهندهٔ حواشی دشت اغلب از رسوبات ژوراسیک متشکل از شیل، شیست، ماسه سنگ با عدسی‌های آهکی است و به جز نقاط پراکنده و محدود، رسوبات آهکی الیگومیوسن توسعه چندانی ندارند.

در منتـــهی الیه غرب دشت، آنجای‌که پهنه‌های وسیع کنگلومرای دوران چهارم گسترش دارند، بیرون‌زدگی‌هایی از آهک و آهک دولومیتی پرمین وجود دارد که غارهایی در آن‌ها تشکیل شده که اهم آن‌ها غارهای علی صدر و سراب است که عمق و طول آن‌ها هنوز به خوبی مشخص نشده و قسمتی از آن‌ها مملو از آب است که احتمالا منشا چشمه‌هایی درکنار روستاهایی به همان نام است. در شمال‌شرق و شمال این دشت پهنه‌هایی از آهک میوسن و آهک‌های مارنی کرتاسه ارتفاعات این نواحی را به وجود آورده‌اند. همچنین درشمال دشت، رسوبات ماسه سنگ و شیل با عدسی‌های آهکی ژوراسیک و کرتاسه و در قسمت‌هایی آهک‌های مارنی الیگومیوسن، گسترش دارند. از قسمتی از سنگ‌های تشکیل دهنده ارتفاعات حواشی دشت مخصوصا بیرون‌زدگی‌های غربی و شمال‌غربی که از نوع شیست و شیل هستند نمی‌توان انتظار تغذیه آبخوان آب‌های زیرزمینی را داشت ولیکن، احتمال مقدار کمی تغذیه از ناحیه سنگ‌های آهکی پرمین در غرب و الیگومیوسن در شرق و شمال‌شرق بعید به‌نظر نمی‌رسد.

بررسی آب‌های زیرزمینی منطقه همدان برای اولین مرتبه درسال۱۳۴۴ توسط اکیپ مطالعات اداره کل آب‌های زیرزمینی وزارت‌نیرو شروع شده و دشت‌های کبودرآهنگ، رزن و فامنین نیز جز منطقه مورد مطالعه بوده است.

در دشت کبودرآهنگ آبخوان‌های آب زیرزمینی در لایه‌های آبرفتی ایجاد شده است، ولی در بعضی مناطق طبقات آهکی دارای چشمه‌هایی است که حوضه آبریز آن در داخل منطقه نسبتا کوچک است. در دشت کبودرآهنگ، آب‌های زیرزمینی دارای جریان شمال غرب به جنوب‌شرق به سمت دشت مرکزی و سپس به طرف رودخانه سیمینه‌رود است.

درسال ۱۳۴۶ به منظور تعیین وضع طبقات آهکی، سه حلقه پیزومتر اکتشافی حفر شده که از پمپاژ آن‌ها توسط هوای فشرده نتیجه‌ای اخذ نشده است، لذا برای شناسایی وضعیت آهک‌ها در سایر نقاط محدوده دشت مبادرت به حفر سه حلقه پیزومتر به قطر $۵\frac{۵}{۸}$ اینچ شده است که درخاتمه حفاری اقدام به آزمایش آب‌دهی آن‌ها توسط هوای فشرده شده است. چون نتایج به دست آمده از آزمایش آب‌دهی نشان از قدرت آب‌دهی کم این آهک‌ها است، از گشاد کردن و نصب لوله در آن‌ها خودداری شده و چاه به صورت پیزومتر تکمیل شده است.

اولین چاه اکتشافی حفر شده در دشت کبودر آهنگ در سال ۱۳۴۶ چاه داقداغ آباد با مشخصات جدول ۱، است[۵]:

جدول ۱- مشخصات چاه اکتشافی داقداغ آباد

نام دشت	نام محل	عمق به متر	سطح ایستابی	عمق سنگ کف	جنس سنگ کف
کبودر آهنگ	داقداغ آباد	۱۱۲	۴	۹۳	آهک مارنی

میزان بهره‌برداری کل سالانه از آب‌های زیرزمینی در این دشت و در سال ۱۳۵۴ به ۱۰۴ میلیون مترمکعب رسیده است میزان بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ برحسب میلیون مترمکعب در یک دوره ۱۰ ساله، در جدول ۲، نمایش داده شده است [۵].

جدول ۲- میزان برداشت از آبخوان دشت کبودرآهنگ از سال ۱۳٤۵ تا ۱۳٥٤

	سال									
روش بهره‌برداری	۱۳۴۵	۱۳۴۶	۱۳۴۷	۱۳۴۸	۱۳۴۹	۱۳۵۰	۱۳۵۱	۱۳۵۲	۱۳۵۳	۱۳۵۴
چاه عمیق و نیمه‌عمیق	۸/۱۹	۱۶/۰۸	۳۳/۹۴	۳۸/۴۷	۵۱/۵۳	۶۰/۰۵	۶۳/۹۳	۶۹/۶۰	۷۷/۹۳	۸۱/۳۴
قنات	۲۲/۰۰	۲۱/۱۷	۱۸/۹	۱۸/۲۷	۱۲/۸۳	۱۳/۵۵	۱۶/۹۰	۱۵/۸۸	۱۴/۹۷	۱۹/۷۶
چشمه	۳/۹۲	۳/۸۷۷	۳/۶۴	۳/۴۱	۳/۳۳	۳/۰۵	۲/۹۱	۳/۹۰	۲/۸۰	۳/۳۰
جمع	۳۴/۱۱	۴۱/۱۲	۵۶/۴۸	۶۰۱۵	۶۷/۶۹	۷۷/۱	۸۳/۷۴	۸۹/۳۸	۹۵/۷۰	۱۰۴/۴

در دشت کبودرآهنگ سطح آب زیرزمینی به طور ماهانه در ۳۰ حلقه چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۶ اندازه‌گیری شده که تعداد ۲۲ حلقه درآبخوان آبده اصلی و بقیه درآبخوان‌های محلی واقع شده‌اند. مساحت آبخوان اصلی آبده دشت کبودر آهنگ درحدود ۶۳۰ کیلومترمربع است که در محدوده مدل‌سازی واقع شده است..

عمق سطح آب زیرزمینی درنقاط مختلف دشت متفاوت است. مثلا درناحیه شرقی عمق آب زیرزمینی در اردیبهشت سال ۱۳۵۵ بین ۲/۵ متر تا ۵ متر بوده است. به طرف شمال به تدریج به عمق آب زیرزمینی افزوده می‌شود تا درحد شمال‌غربی که به حـــدود ۴۰ تا ۵۰ متری سطح زمین می‌رسد. در وسط دشت درحوالی دهکده‌های تاسیران – اورقین و دستجرد عمق آب زیرزمینی بین ۵ تا ۱۵ متر متغیر است. آبخوان در این دشت عموما آزاد بوده و عمق آب در چاه‌های اکتشافی حفر شده با چاه‌های مشاهده‌ای تغییری نشان نمی‌دهد. تغییرات فصلی سطح آب زیرزمینی درقسمت‌های جنوبی دشت در دهانه خروجی نزدیک دهکده‌های داقداق آباد و خان‌آباد درحدود ۲ تا ۲/۵ متر و درقسمت‌های شمالی حوالی قاپاخ تپه و تاسیران بین ۱/۵ متر تا ۲/۵ متر است. تغییر سطح آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۵ درتمام دشت یکنواخت نیست مثلا درقسمت شمالی دشت سطح آب درحدود ۷۰ سانتی‌متر و درقسمت جنوبی درحدود ۳۰ سانتی‌متر بالا آمده است. درناحیه مرکزی به علت تعدادی چاه عمیق در نزدیکی کبودرآهنگ ، سطح آب زیرزمینی حدود ۶۰ سانتی‌متر پایین رفته است [۵] .

متوسط وزنی تغییرات سطح آب درطول مدت ۱۰ سال افتی درحدود ۲ سانتی‌متر را نشان می‌دهد که در حقیقت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سطح آب زیرزمینی تغییری نکرده است. جهت جریان آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ موازی محور دشت یعنی ازشمال‌غربی به طرف جنوب‌شرقی است. شیب آب زیرزمینی متفاوت و درناحیه جنوبی در اطراف دهکده‌های داقداق آباد بین ۲/۵ تا ۲/۹ در هزار و در حد شمال‌غربی آبخوان در حدود ۳ درهزار و درجنوب دهکده‌های چورمن و قزل آباد به ۵ تا ۷ در هزار

می‌رسد. ارتفاع سطح آب زیرزمینی تا سال ۱۳۵۶ بین ۱۷۵۰ متر درنزدیکی روستای چورمن و دندلیچ و ۱۶۵۵ متر در دهانه خروجی دشت درحوالی دهکده‌های داقداق آباد و خان‌آباد متغیر است. ارتفاع آب در سال ۱۳۸۱ در همین مناطق به ترتیب ۱۶۸۰ تا ۱۶۱۰ متر تغییر یافته است. این تغییرات از حدود ۷۰ تا ۴۵ متر در جاهای متفاوت دشت در طول ۲۵ سال و به طور متوسط سالانه از ۲/۸ متر تا ۱/۸ متر در سال بوده است. جالب توجه اینکه تغییر سطح آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۵ در قسمت جنوبی دشت حدود ۳۰ سانتی‌متر افزایش نشان می‌دهد. با توجه به این نکته برداشت‌های بی‌رویه از سال ۱۳۵۷ به بعد در اثر حفر چاه‌های غیرمجاز بی‌شمار بعد از انقلاب سبب افت شدید شده است.

٦-١- آب‌های سطحی ورودی به دشت کبودر آهنگ

در حوضه آبریز دشت کبودرآهنگ ایستگاه هیدرومتری تا سال ۱۳۵۶ وجود نداشته و بده مخصوص حوضه را مستقیما از اندازه‌گیری‌های انجام شده به دست آورده‌اند. مقدار بده مخصوص برابر ۳/۳ لیتر بر ثانیه بر کیلومتر است. سطح قسمت کوهستانی حوضه آبریز این دشت ۹۱۰ کیلومترمربع است و به این ترتیب حجم جریان متوسط سالانه که وارد دشت می‌شود درحدود ۹۵ میلیون کیلومتر مکعب برآورد می‌شود. از طرف دیگر جریان حوضه دشت دهق– گاوسوار پس از تغذیه آبخوان کوچک دهق، به وسیله رودخانه دهق و انشعابات دیگر وارد دشت کبودرآهنگ می‌شود که می‌توان آنرا حدود ۳۱ میلیون متر مکعب در سال تعیین تخمین زد. در نتیجه مجموع آب‌های ورودی به دشت کبودر آهنگ حدود ۱۲۶ میلیون مترمکعب است[۶].

٦-٢- ضرایب هیدرودینامیک آبخوان دشت کبودر آهنگ

درتعدادی از چاه‌های عمیق شخصی موجود درمنطقه و کلیه چاه‌های اکتشافی حفر شده، آزمایش افت و برگشت انجام شده است. باتوجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده، قابلیت انتقال آبخوان، بین ۴۰۰ تا ۲۴۰۰ مترمربع بر روز است. در ناحیه مرکزی دشت به علت زیاد شدن ضخامت آبخوان که به حدود ۸۰ تا ۹۰ متر می‌رسد (چاه اکتشافی داقداق آباد) قابلیت انتقال آب به حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر مربع بر روز که نشان دهنده ضریب نفوذپذیری ۵ تا ۱۰ متر بر روز است، می‌رسد [۶].

در چاه اکتشافی تاسیران به علت درصد بیش‌تر شن در طبقات قابلیت انتقال آب در آزمایش تاثیر ۲۴۰۰ مترمربع بر روز به دست آمده که آن را می‌توان به صورت محلی در نظر گرفت که برای منطقه بسیار محدودی دراطراف آن صادق است، به این دلیل که در شمال‌غربی آن در چاه اکتشافی ایده لو که ضخامت آبخوان در آن به ۶۸ متر می‌رسد قابلیت انتقال درحدود ۱۰۰۰ مترمربع بر روز و ضریب نفوذپذیری درحدود ۱۲ متر در روز است. چاه اکتشافی داقداق آباد در کف به لایه‌های آهکی برخورد کرده و با وجود اینکه ۱۲ متر در این لایه حفاری شده ولی بده مخصوص آن نسبت به چاه‌های دیگر دشت کم‌تر و در حدود ۶ متر مکعب در ساعت در متر است.

٦-٣- بررسی وضعیت آب‌دهی سنگ آهک و امکان تغذیه آبرفت از سوی آن‌ها در دشت کبودرآهنگ

درتشکیلات آهکی الیگومیوسن (بیرون زدگی شمال‌شرقی) و نزدیکی روستای قاپاخ تپه مبادرت به حفر چاه اکتشافی به قطر $۸\frac{۱}{۲}$ اینچ شد. این چاه مستقیما برروی سنگ‌های آهکی حفر شده و تاعمق ۱۵۰ متر که عمق نهایی است تماما، در سنگ‌های آهکی روشن و خاکستری حفاری ادامه یافته است. در پروفیل زمین شناسی چاه هیچ‌گونه آثاری از سایر سنگ‌ها دیده نمی‌شود. سطح

برخورد به آب در زمان حفاری درعمق ۷۹ متری و آب‌دهی در این عمق برابر با ۰/۵ لیتر بر ثانیه بوده است. درعمق ۹۲ متری آب‌دهی تاحدود ۸ لیتر بر ثانیه افزایش یافته و تا عمق نهایی تغییری در این آب‌دهی حاصل نشد. در خاتمه حفاری سطح آب تاعمق ۵۸/۵ متر بالا آمده و نتایج حاصل از آزمایش پمپاژ توسط هوای فشرده نشان دهنده، حداکثر آب‌دهی ۹ لیتر بر ثانیه و افت حدود ۸ متر بوده است. بررسی و مقایسه ارتفاع سطح آب این چاه با سطح آب چاه مشاهده‌ای روستای قاپاخ تپه نشان می‌دهد که اختلاف سطح آب بین این دو نقطه حدود ۴۵ متر است. با این توضیح معلوم می‌شود که تغذیه از ناحیه آهک‌ها به آبرفت نمی‌تواند چندان قابل توجه باشد. در شرق بخش کبودرآهنگ و نزدیک روستای داقداق آباد، آهک‌های کرتاسه تشکیل دهنده ارتفاعات هستند، چاه اکتشافی داقداق آباد درعمق ۱۰۰ متری به آهک برخورد کرده است. به منظور تعیین آب‌دهی این آهک‌ها، حفاری از این عمق تا ۱۱۲ متر توسط آب خالص در آهک‌ها بعمل آمده و نتیجه آزمایش پمپاژ مبین آن است که آهک‌ها نقش عمده ای در آب‌دهی چاه نداشتند، زیرا بده مخصوص این چاه (۶ متر مکعب درساعت درمتر)، تقریبا معادل بده مخصوص سایر چاه‌های منطقه است که در آهک حفاری نشده‌اند. این موضوع عدم کمک قابل ملاحظه آهک‌ها را در آب‌دهی چاه مشخص می‌کند. علت ضعف آب‌دهی این آهک‌ها را شاید بتوان در غیر پیوسته بودن و عدم توسعه آن‌ها در ارتفاعات تشکیل دهنده این دشت دانست. رسوبات متراکم کنگلومرا و تراس های قدیمی دوران چهارم تقریبا در دامنه تمامی ارتفاعات دشت گسترده شده‌اند، مخصوصا در قسمت‌های غربی و شمال‌غربی این گستردگی بیش‌تر شده به طوری‌که قسمت اعظم این نواحی پوشیده از این نوع رسوبات است.

به‌نظر می‌رسد به غیر از تغذیه ضعیفی که از ناحیه آهک‌های غرب و شمال غرب به آبرفت صورت می‌گیرد، از سایر سازندهای موجود در حواشی دشت تغذیه قابل توجهی به آبخوان صورت نگیرد. از طرفی در این دشت رودخانه دایمی که منبعی برای تغذیه باشد جریان ندارد، بدین ترتیب به‌نظر می‌رسد اهم تغذیه به توسط جریان‌های موسمی و ریزش‌های جوی انجام شود. نوع، ضخامت و قابلیت آب‌دهی آبرفت در تمامی دشت یکسان نیست. به طورکلی می‌توان افزایش ضخامت را از کوهپایه به مرکز و از غرب به سمت شرق دشت دانست با این حساب ضخامت آبرفت در مرز دشت کبودر آهنگ و دشت مرکزی دارای بیش‌ترین ضخامت آبرفت است و روستاهای خان‌آباد و نوآباد و کردآباد در این منطقه قرار دارند.

درحوالی بخش کبودرآهنگ و جنوب آن از مقدار ضخامت آبرفت کاسته می‌شود. نوع و جنس مواد تشکیل دهنده آبرفت در تمامی دشت یکنواخت نیست، ولی بطور کلی مخلوطی است از رسوبات آبرفتی رس همراه با ماسه و شن که بر حسب موقعیت و نحوه رسوب‌گذاری درصد این مواد متغیر است. در قسمت‌های مرکزی و شمالی دشت ضخامت آبرفت بیش‌تر و در عین حال دانه درشت تر بوده و بالعکس در نواحی جنوب درصد مواد ریز بیش‌تر است.

در اطراف دهکده داقداق آباد قسمت‌های سطحی و کم عمق آبرفت را یک لایه کم ضخامت کنگلومرا که احتمالا بقایای تراس است، پوشانده است. این کنگلومرا چندان متراکم نیست و تاثیر بسزایی در آب‌دهی چاه‌ها ندارد. نوع سنگ کف در قسمت اعظم دشت مارن بوده و فقط در کنار بیرون‌زدگی‌های آهکی الیگومیوسن و کرتاسه مخصوصا قسمت‌های شمالی و شرقی از نوع آهک است که آب‌دهی مناسبی ندارد. آبخوان آب در تمامی دشت چندان ضخیم نیست و لایه‌های غیر قابل نفوذ در بین لایه‌های نفوذپذیر توسعه نیافته است و به‌همین دلیل احتمال پدیده آرتزین در این دشت بسیار ضعیف است. از آزمایش پمپاژ چاه‌ها چنین استنباط می‌گردد که در بسیاری نقاط به استثنا حوالی روستای داقداق آباد که نیمه تحت فشار است، آبخوان آب آزاد است.

٦-٤- اطلاعات حاصل از گزارش آمار منابع آب زیرزمینی دشت کبودر آهنگ در سال ۱۳۷۱:

دشت کبودر آهنگ بزرگترین دشت همدان بوده و بیش‌ترین تعداد چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و بیش‌ترین حجم برداشت آب از این دشت است. از سال ۱۳۵۷ برداشت آب رشد سریعی داشته و از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۱ (در یک دوره ده ساله) تقریبا دو برابر گشته است به طوری‌که در سال ۱۳۷۱ بهره‌برداری آب از بده قابل اطمینان بیش‌تر بوده است (وضعیت بحرانی).

مجموع چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق طبق آمار رسمی در سال ۱۳۵۹ تعداد ۱۲۷۶ حلقه، در سال ۱۳۶۴ تعداد ۱۵۲۰ حلقه و در سال ۱۳۷۱ تعداد ۲۳۶۰ حلقه است. در همین مدت میزان تخلیه سالیانه از ۲۲۹ میلیون متر مکعب به ۴۸۰ میلیون متر مکعب رسیده است. میزان برداشت از آبخوان دشت کبودرآهنگ در سال ۱۳۷۱ مطابق جدول ۳، است.

جدول ۳- میزان برداشت از آبخوان دشت کبودرآهنگ در سال ۱۳۷۱

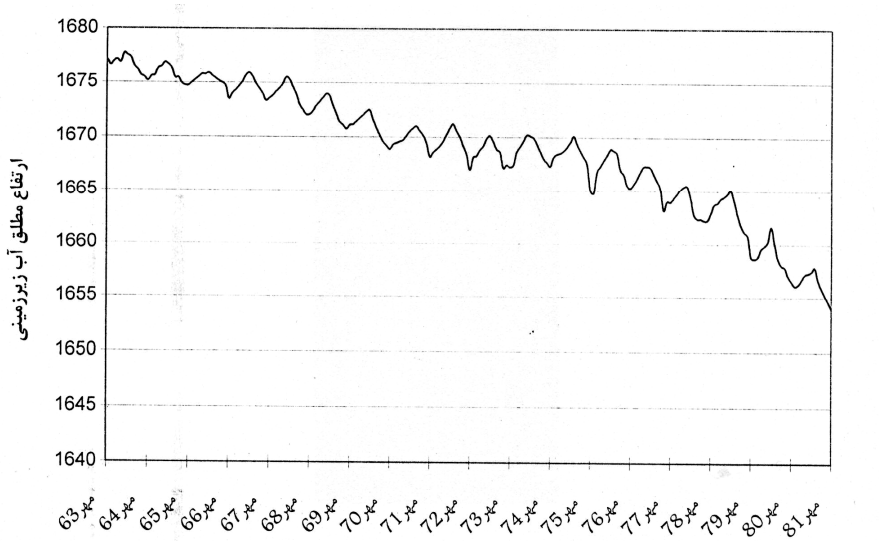
نوع برداشت	تعداد	حجم تخلیه (میلیون مترمکعب)
چاه کم عمق	۱۲۳۱	۷۶
چاه عمیق	۱۱۲۹	۴۰۳
چشمه	۸۱۹	۵۹
قنات	۱۵۶	۴۲

بر اساس آمار سال ۱۳۶۴ از تعداد ۱۵۲۰ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق مجموعا ۳۳۱/۴ میلیون مترمکعب آب تخلیه شده است. از تعداد کل چاه‌های بهره‌برداری در دشت کبودرآهنگ ۸۰ ٪ آن‌ها بعد از سال ۱۳۵۷ حفاری شده‌اند. در فاصله بین سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۶۶ بیش از ۵۵ ٪ چاه‌ها حفر شده‌اند، به عبارت دیگر بیش از نصف چاه‌ها در فاصله زمانی هفت ساله، در دشت حفاری شده‌اند. از تعداد ۱۱۲۹ چاه عمیق موجود در سال ۱۳۷۱ عمق ۳۰ ٪ آن‌ها بین ۶۰ تا ۷۹ متر و ۲۸/۵ ٪ آن‌ها عمق بین ۸۰ تا ۹۹ متر و ۱۸/۵ ٪ آن‌ها عمق بین ۱۰۰ تا ۱۱۹ متر و ۱۲ ٪ بقیه عمق تا ۱۲۰ متر را دارا هستند [۶].

بر اساس اطلاعات و آمار وزارت نیرو از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۱ به طور متوسط افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ ۱۴ متر و کاهش حجم مخزن به میزان ۶۳ میلیون مترمکعب بوده است. خطوط تراز سطح آب‌های زیرزمینی عمود بر مرزهای شرقی و غربی طبقه آبده که به ترتیب از آهک‌های مارنی و شیست تشکیل شده است ، این موضوع نشان می‌دهد که لایه‌های مذکور آبخوان منطقه را تغذیه قابل ملاحظه‌ای نمی‌نمایند.

۷- هیدروگراف معرف آبخوان دشت کبودرآهنگ:

نمودار ۱، هیدروگراف معرف دشت کبودرآهنگ را از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۱ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود به دلیل برداشت بی‌رویه از آبخوان، منحنی سیر نزولی دارد. این سیر نزولی که نشانگر ۲۲ متر افت آب در آبخوان است، زنگ خطر جدی برای نابودی آبخوان در آینده نه چندان دور خواهد بود [۶].



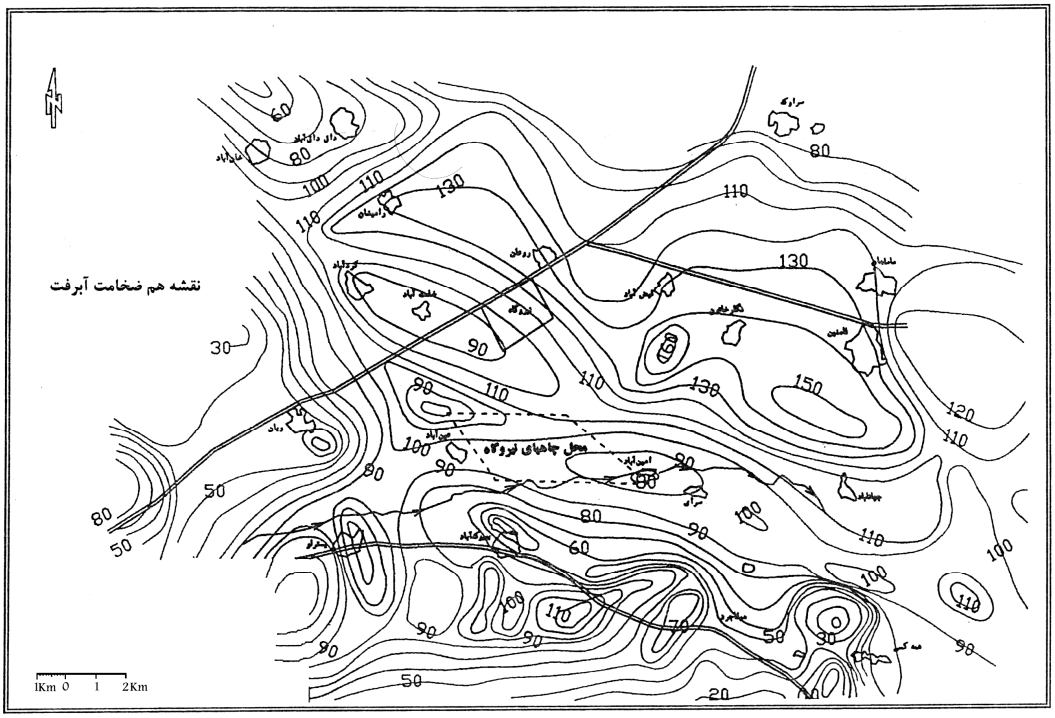
نمودار ۱- هیدروگراف معرف تصحیح شده دشت کبودرآهنگ

۸- هیدروشیمی

در دشت کبودرآهنگ به علت وجود سنگ‌های آهکی و مارنی در حوالی غرب دشت و طولانی بودن مسیر حرکت آب در آبخوان میزان مواد شیمیایی محلول در آب افزایش یافته، به طوری‌که مقدار کلر بر اساس آزمایشات سال ۱۳۷۱ در حاشیه دشت از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسیده و بر طبق آخرین آزمایشات هیدروشیمی انجام شده در سال ۱۳۸۱ میزان کلر به ۲۹۸ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است. همچنین مقدار مجموع املاح محلول از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش یافته است. میزان هدایت هیدرولیکی از ۵۰۰ میکروموس به ۱۷۵۰ افزایش یافته است [۵ و۶].

۹- نقشه منحنی‌های هم ضخامت آبرفت

در شکل ۴، منحنی‌های هم ضخامت آبرفت یا به عبارت دیگر آبخوان آزاد دشت کبودر آهنگ نشان داده شده است. این شکل نشان دهنده بیش‌ترین ضخامت در حوالی غرب روستای فامنین به ضخامت ۱۵۰ متر و کمترین ضخامت در حوالی روستای میلاجرد در جنوب‌غربی دشت به میزان ۵۰ متر و در قسمت شمال غرب دشت تا ۳۰ متر است.



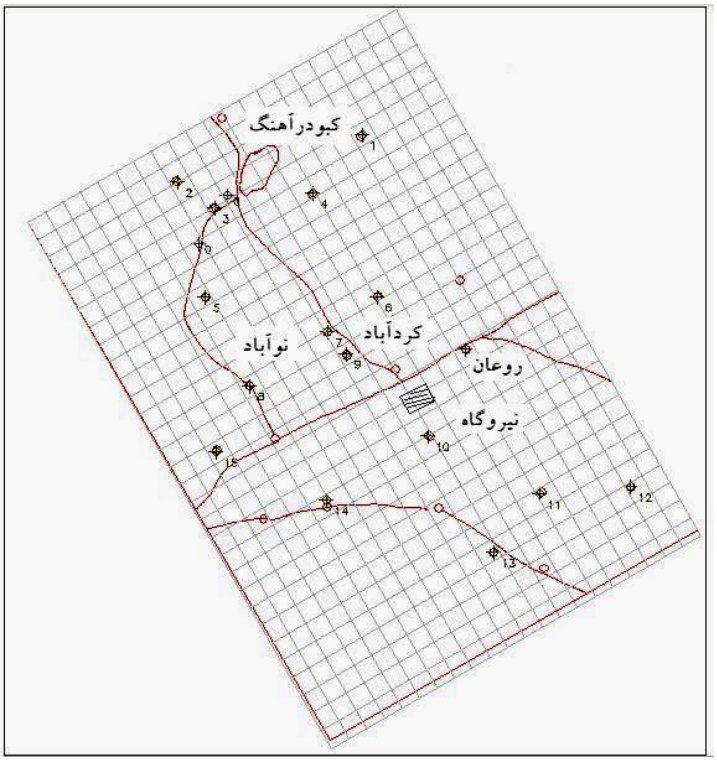
شکل ٤- منحنی‌های هم ضخامت آبرفت [۳]

۱۰- مدل‌سازی دشت

۱۰-۱- اندازه سلول‌های شبکه [1]

به طور کلی در مدل دشت کبودرآهنگ، یک شبکه ۳۰ ردیف در ۲۱ ستون با اندازه سلول ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر تعیین شده است. ابعاد منطقه مدل‌سازی شده ۳۰ در ۲۱ کیلومتر است. تعداد کل سلول‌ها در این مدل ۶۳۰ عدد است. در شکل ۵، مدل دشت کبودرآهنگ نشان داده شده است.

1-. Mesh Size



شکل ۵- نحوه شبکه بندی دشت مورد مطالعه

۱۰-۲- نوع لایه[1]

محاسبات عددی که توسط بسته نرم افزاری (BCF) انجام می‌شود، نیاز به مشخص کردن نوع لایه آبدار در مدل دارد. در این دشت از لایه نوع ۲ یعنی لایه قابل تبدیل از محبوس به آزاد و بالعکس استفاده شده است. اگر لایه کاملا اشباع باشد. از ضریب ذخیره لایه در محاسبات استفاده می‌شود و اگر لایه غیر اشباع باشد از آب‌دهی ویژه آبخوان در محاسبات عددی استفاده می‌شود.

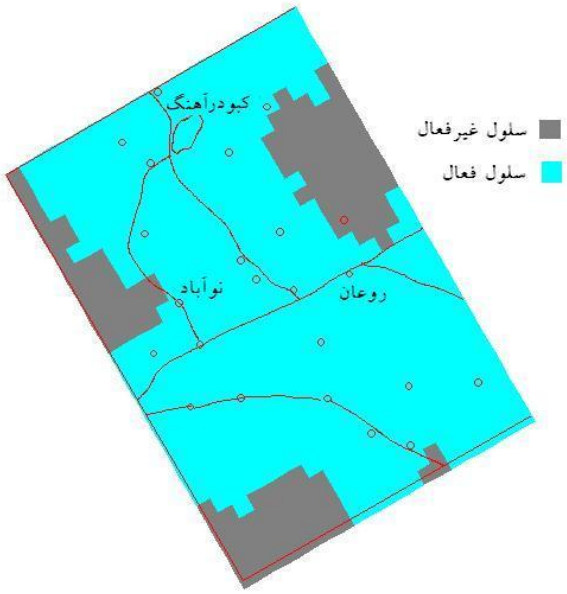
۱۰-۳- ضریب ناهمسانی[2]

ضریب ناهمسانی مقدار نسبت ضریب انتقال و ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان را در جهات X و Y نشان میدهد. در این دشت این ضریب برابر ۱، انتخاب شده است، به این دلیل که هیچ تغییری در مقدار ضرایب یاد شده در جهات مختلف در سطح افق مشاهده نشده است .

1.- Layer Type
2.- Anisotropy factor

۱۰-٤- شرایط مرزی[1]

شرایط مرزی آبخوان را با معین کردن کد مربوط به هر سلول در شبکه می‌توان تعیین کرد. این کار توسط آرایه IBOUND انجام می‌گیرد. برای مقدار مثبت IBOUND، سلول فعال است. مقدار منفی IBOUND یعنی سلول بار آبی ثابت و مقدار صفر، سلول غیرفعال را مشخص می نماید. شکل ۶، سلول‌های فعال (رنگ روشن) و غیرفعال (رنگ تیره) در مدل دشت کبودرآهنگ را نشان می‌دهد.



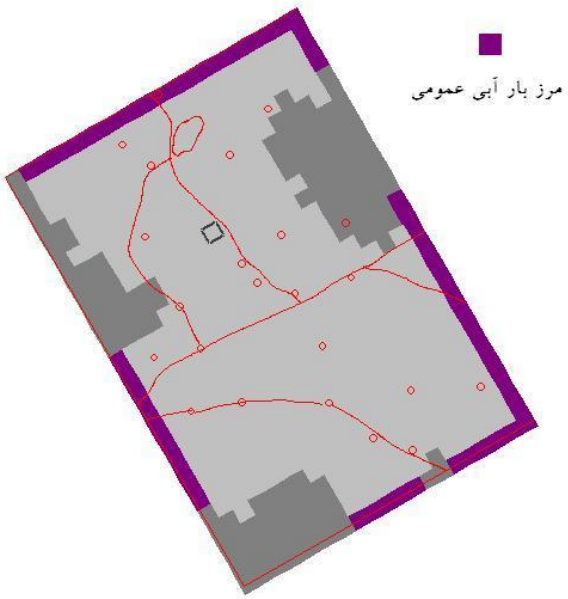
شکل ٦- شرایط مرزی آبخوان دشت کبودرآهنگ

۱۰-۵- شرایط مرزی بار آبی عمومی[2]

شکل ۷، شرایط بار آبی عمومی در شمال، جنوب و جنوب‌شرق و جنوب‌غرب دشت را نشان می‌دهد.

1.- Boundary Condition

2.- GHB

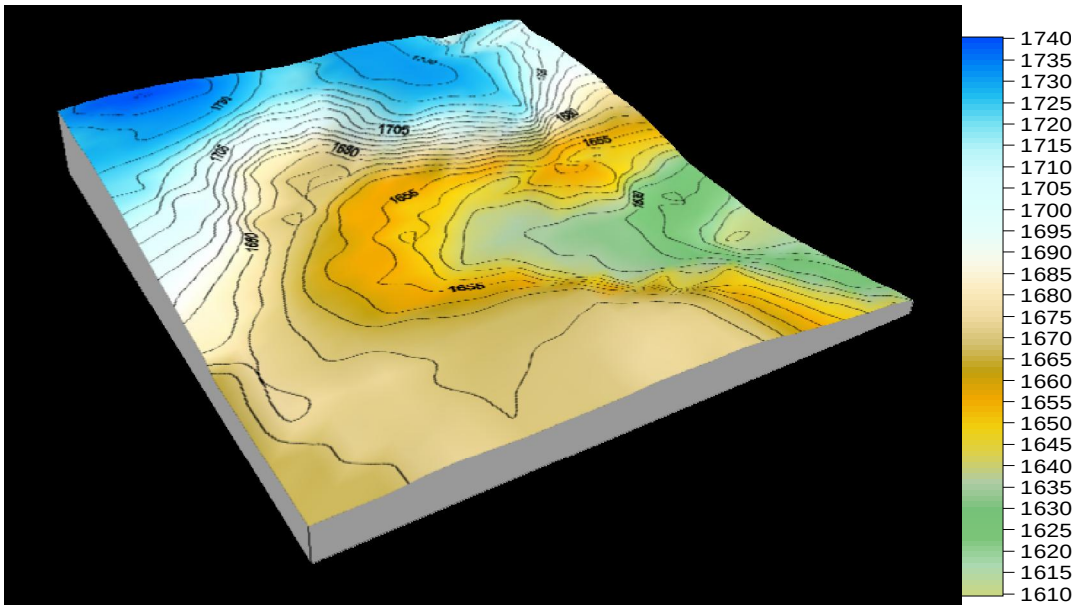


شکل ۷- شرایط مرزی زهکش و بار آبی عمومی

۱۰-٦- شرایط توپوگرافی سطح بالای آبخوان[1]

در صورتی‌که در فرایند مدل‌سازی یک دشت، لایه نوع ۲، انتخاب شود، باید ارتفاع بالای آبخوان مشخص گردد. شکل ۸، شرایط توپوگرافی سطح بالای آبخوان را نشان می‌دهد.

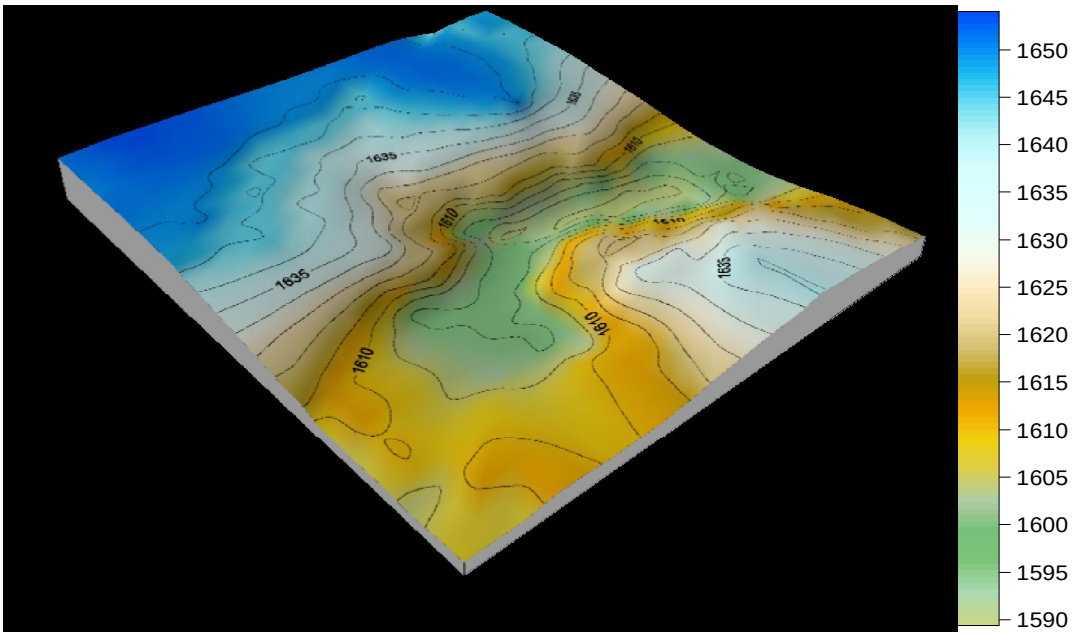
1.- Top of Layers (TOP)



شکل ۸- توپوگرافی سطح بالای آبخوان دشت کبودرآهنگ

۱۰-۷- شرایط توپوگرافی سطح پایین آبخوان[1]

در صورتی‌که در فرایند مدل‌سازی یک دشت لایه نوع ۲، انتخاب شود و در صورتی‌که ضریب انتقال توسط PMWIN محاسبه شود، باید ارتفاع سطح پایین آبخوان مشخص گردد تا ضخامت آبخوان در هر نقطه در دست باشد. شکل ۹، شرایط توپوگرافی سطح پایینی آبخوان را نشان می‌دهد.



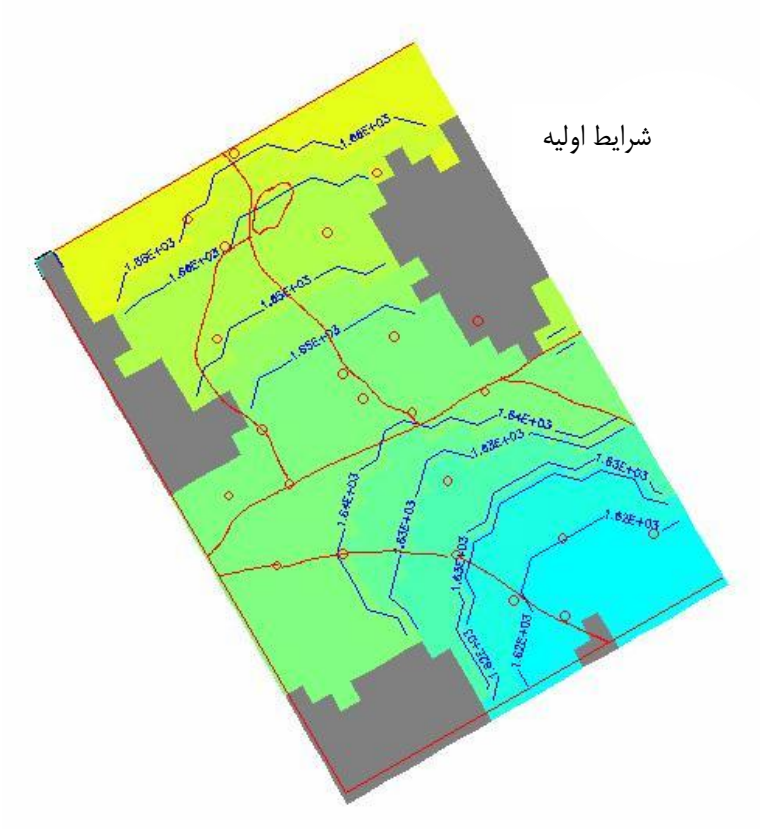
شکل ۹- توپوگرافی سطح پایین آبخوان دشت کبودرآهنگ

۱۰-۸- شرایط اولیه بار آبی[2]

برای شبیه‌سازی جریان ناپایدار با مدل MODFLOW نیاز به شرایط اوله بار آبی در شروع شبیه‌سازی است. این مقادیر باید شرایط واقعی آبخوان بوده و از روی نقشه هم پتانسیل دشت تهیه شده باشد. شکل ۱۰، شرایط اولیه بار آبی را نمایش می‌دهد.

1.- Bottom of Layers (BOT)

2-. Initial Hydraulic Heads

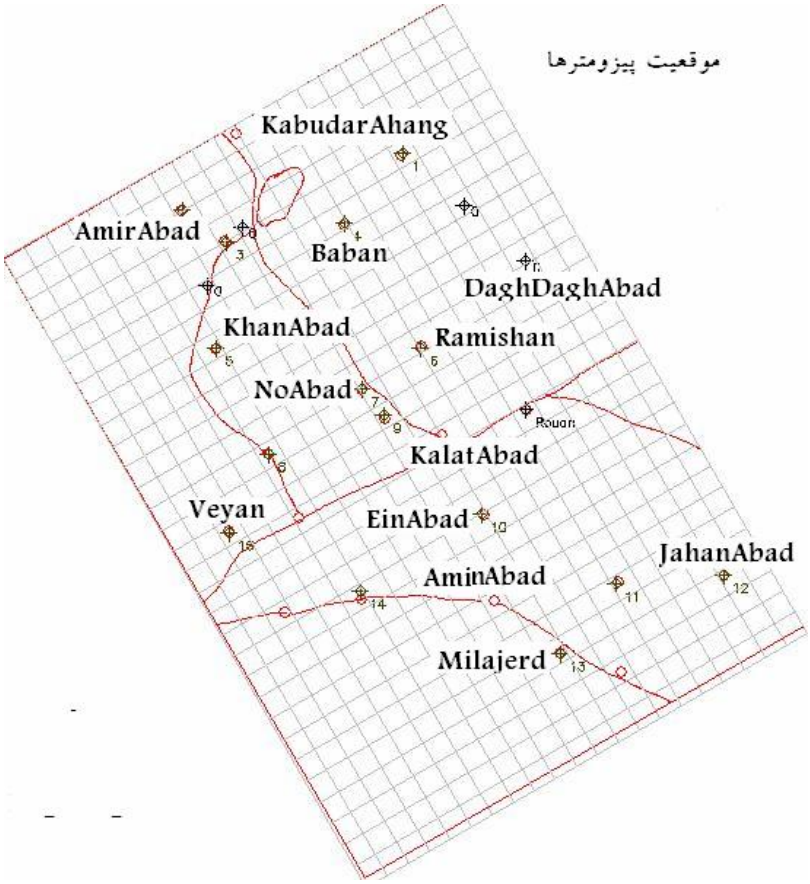


شکل ۱۰- شرایط اولیه بار آبی در آبخوان دشت کبودرآهنگ

۱۰-۹- چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای[1]

چاه‌های بهره‌برداری در دشت متجاوز از ۲۳۶۰ حلقه می باشند. گاهی فواصل آن‌ها از یکدیگر کمتر از ۱۵۰ متر است. با توجه به این تعداد و فواصل کم آن‌ها نمایش تمامی چاه‌ها در مدل میسر نیست. بدین ترتیب با محاسبه برداشت متوسط آب در دشت در مکان‌های متفاوت و تقسیم آن به هر سلول، مقدار بهره‌برداری چاه‌ها و دیگر منابع آب به کل دامنه به تمامی سلول‌های فعال شبکه مدل که تعداد آن‌ها ۵۳۰ سلول است، تقسیم شده است. این کار به دلیل نیاز به محاسبه نشست کلی در دشت ضروری است. از چاه‌های بهره‌برداری برای محاسبات بیلان آب و از چاه‌های مشاهده‌ای برای واسنجی مدل جریان و مدل نشست زمین استفاد می‌شود. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت کبودرآهنگ در شکل ۱۱، نشان داده شده است.

1.- Boreholes and Observations

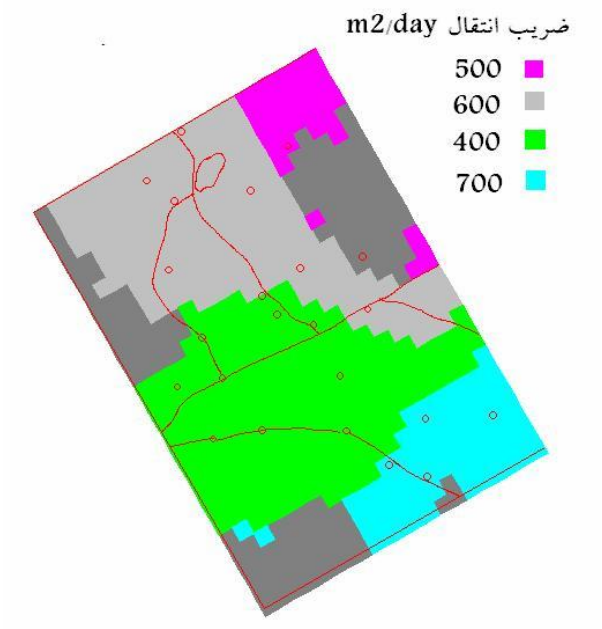


شکل ۱۱- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت کبودرآهنگ

۱۰-۱۰- ضریب انتقال[1]

برای محاسبات ضریب انتقال در مدل MODFLOW نیاز به ضریب هدایت هیدرولیکی و ضخامت لایه آبدار است. در صورتی‌که مقادیر ضریب انتقال از طریق آزمایشات پمپاژ در دست باشد، می‌توان مقادیر آن را به مدل وارد نمود. در دشت کبودرآهنگ ضریب انتقال در محدوده‌های متفاوت در دست است که مطابق شکل ۱۲، ناحیه‌بندی شده و در مدل وارد شده است.

1.- Transmissivity



شکل ۱۲- مقادیر ضریب قابلیت انتقال در دشت کبودرآهنگ

۱۰-۱۱- مناطق تغذیه آب زیرزمینی

شکل ۱۳، مناطق تغذیه آب زیرزمینی توسط آب نفوذی برگشتی از کشاورزی و باران است . فرض بر این است که در حدود ۱۵ درصد آب مصرفی کشاورزی مردم در سطح دشت کبودرآهنگ از طریق نفوذ به آبخوان بر می گردد و سالانه ۱۵ ٪ از متوسط باران منطقه (۳۶۰ میلی‌متر درسال) به عبارت دیگر ۵۴ میلی‌متر در سال از آب باران و برف به آبخوان نفوذ می‌کند.

شکل ۱۳- مناطق تغذیه آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ

۱۰-۱۲- میزان آب استخراجی از چاه‌های بهره‌برداری دشت کبودرآهنگ

بده خروجی از چاه‌های بهره‌برداری در دشت با توجه به بیلان آب آورده شده است. مهم‌ترین فاکتور مربوط به محاسبات حجم آب، تخلیه آب زیرزمینی منطقه، ساعات کارکرد سالانه و آب‌دهی چاه‌ها است. سقف ساعات کارکرد سالانه در مورد چاه‌های عمیق ۳۶۰۰ ساعت با کارکرد حداکثر ۲۰ ساعت در شبانه‌روز در نظر گرفته شده است. در مورد چاه‌های نیمه‌عمیق ساعات کارکرد سالانه ۱۸۰۰ ساعت است. با توجه به بده متوسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و بده چشمه و قنوات که تمامی سال جاری هستند، میزان برداشت سالانه از آبخوان جمعا ۵۸۱/۳ میلیون مترمکعب در سال است که ۸۳ ٪ آن معادل ۴۸۰ میلیون مترمکعب از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق است و مابقی ۱۰۱/۳ میلیون مترمکعب معادل ۱۷ ٪ از چشمه‌ها و قنوات است. بده بر حسب مترمکعب در روز است که با علامت منفی به منظور تخلیه از چاه به طور یکنواخت به تمامی سلول‌های مدل وارد شده است. با در نظر گرفتن تعداد ۲۳۶۰ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق در دشت و احتساب تمامی برداشت‌ها (جمعا ۵۸۱/۳ میلیون مترمکعب از چاه‌های منطقه – جانشینی چشمه و قنات با چاه) می‌توان متوسط برداشت از هر چاه را در سال برابر ۲۴۶۱۸۶ مترمکعب در نظر گرفت. (به عبارت دیگر ۶۷۵ مترمکعب در روز به ازا هر چاه) با احتساب این حجم آب به ازا هر چاه می‌توان برای پیش‌بینی بیلان و نشست و افت سطح آب در مدل به راحتی محاسبات را انجام داد.

۱۰-۱۳- اجرای مدل و پیش‌بینی نشست در دشت کبودرآهنگ

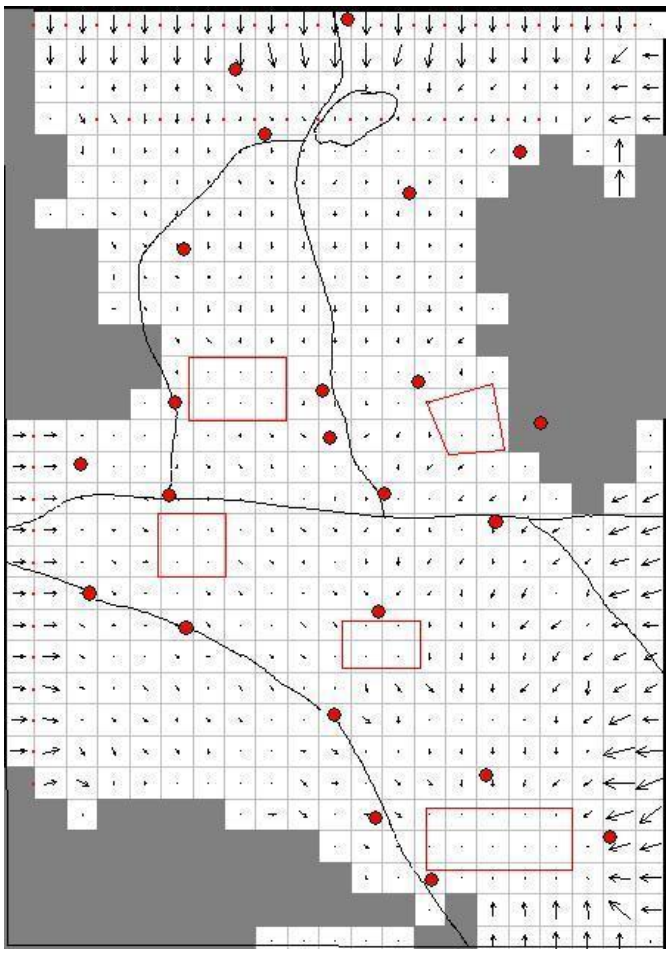
با استفاده از داده‌های شرح داده شده در فوق و در نظر گرفتن ضریب ذخیره ۰/۰۱۵ ، ذخیره ویژه برابر ۰/۰۵ و مقدار تخلخل موثر ۰/۱۷ و آب‌دهی ویژه ۰/۱۵ که در شرایط لایه اشباع در مدل توسط واسنجی به دست آمده‌اند، میزان نشست دشت در شرایط مختلف پیش‌بینی شده است.

الف – اگر هیچ‌گونه تغذیه‌ای از طریق تغذیه مصنوعی آب‌های سطحی در ۱۰ سال آینده صورت نگیرد و روال برداشت فعلی متوقف نشود، در این شرایط میزان افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ در ۱۰ سال آینده به میزان ۱۸ متر خواهد بود و میزان نشست با در نظر گرفتن فاکتور ذخیره الاستیکی درون لایه برابر ۰/۰۰۲ و فاکتور ذخیره غیره الاستیکی درون لایه برابر ۰/۰۰۹ (با واسنجی مدل به دست آمده‌اند)، به مقدار ۰/۶۵ متر به ازا ۱۸ متر افت سطح آب زیرزمینی پیش‌بینی شده است.

ب– در شرایط خوش بینانه اگر تغذیه از باران تغییری نیابد و آبخوان دچار خشکسالی نشود و برداشت از آبخوان به میزان ۱۰ ٪ کاهش یابد، به عبارت دیگر تعداد ۲۳۶ حلقه از چاه‌های بهره‌برداری عمیق و نیمه‌عمیق فعلی در آبخوان دشت کبودرآهنگ خاموش شود (بعید است چنین اتفاقی بیفتد) یا به عبارتی به میزان ۵۸ میلیون مترمکعب آب در سال از برداشت کاسته شود، سبب بالا آمدن سطح آب سالانه ۰/۶۱ متر خواهد شد. برای مثال برای جبران افت حاصله در آبخوان که از مهر ماه سال ۱۳۶۳ تا مهر ۱۳۸۱ به میزان ۲۲ متر بوده، نیاز است که به مدت ۳۶ سال برداشت از منابع آبی را در منطقه کنترل نمود، به عبارتی تا سال ۱۴۱۹ پمپاژ از ۲۳۶ حلقه چاه را قطع نمود.

ج– ادامه روند فعلی بدون توقف پمپاژ در چاه‌ها و بدون حفر چاه جدید سبب می‌شود که کل آبخوان در ۳۰ سال آینده به نابودی تمام و کمال برسد و سطح آب در ۹۵ ٪ از مساحت آبخوان به سنگ کف برسد.

د- شکل ۱۴، نشان دهنده جهت‌های جریان آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۱ (خروجی مدل کالیبره شده) است. همان‌طور که از این شکل مشهود است، بردارهای سرعت در محدوده چاه‌های نیروگاه شهید مفتح و روستاهای نوآباد و کردآباد و داق آباد سبب شده سطح آب حالت سکون را نشان دهد که نشانگر برداشت بی‌رویه در این نواحی و ایجاد منحنی‌های بسته هم پتانسیل است. طبق نقشه خروجی از مدل، پیشنهاد می‌شود برداشت آب از این نواحی که به صورت چهار وجهی‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند محدود شود.



شکل ١٤- جهت‌های جریان آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۱

پیوست ت

تصاویری از عوارض نشست در ایران

درز و شکاف ایجاد شده در دیوار یک واحد مسکونی (ناشی از نشست زمین در شریف‌آباد، ابتدای جاده زنگی آباد)

بیرون ماندن لوله جدار چاه آب (ناشی از نشست زمین در منطقه مابین شریف‌آباد و زنگی آباد)

فروچال ایجاد شده در منطقه اختیارآباد

شکاف‌های ایجاد شده در زمینه کشاورزی ساعدآباد و تخریب آن

شکاف ایجاد شده ناشی از نشست زمین در منطقه کاظم‌آباد

ترک‌های ناشی از نشست زمین در دشت نیشابور در اثر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی

خسارت‌های وارده به زمین‌های کشاورزی ناشی از نشست زمین در دشت کبودرآهنگ همدان

منابع و مراجع

۱- اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۲، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتا شناسی، چاپ امیر.

۲- شرکت آب و خاک، ۱۳۵۵، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کبودرآهنگ.

۳- طالب بیدختی، علیرضا، ۱۳۸۳، بررسی مکانیزم تشکیل حفره‌های فروکش حاشیه نیروگاه همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی همدان.

۴- علیاری، علیرضا، ۱۳۸۱، بررسی علل گسیختگی‌های زمین در گستره نیروگاه شهید مفتح همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۵- وزارت نیرو، ۱۳۷۱، شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب ، دفتر مطالعات منابع آب استان همدان، گزارش مطالعات آب های زیرزمینی چهار دشت همدان.

۶- وزارت نیرو، ۱۳۸۲، شرکت سهامی برق منطقه‌ای غرب ، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)، طرح تامین آب نیروگاه شهید مفتح همدان.

۷- معماریان، حسین، ۱۳۷۴، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران .

8- B.S.5930, 1981, Code of Practice for Site Investigation (formerly C.P.2001), British Standards Institution.

9- Bouwer , H., 1978, Ground Water Hydrology. MC Grow Hill Book Compan Newyork , N. Y., pp. 480.

10- Brassington, R., 1999, Field Hydrogeology, Willy & Sons, pp260.

11- Das, Braja M., 1997, Advanced Soil Mechanics, Taylor & Francis, pp. 457.

12- Dunicliff, C., 1993, Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performce", John wiley & Sons, New York., pp. 580.

13- Fookes, P.G. & Vaughan, P.R., 1986,A Handbook of Engineering Geomorphology, Surrey University Press, Chapman and Hall, pp. 334.

14- Khamechian, M., 1995, Study on Geotechnical and Geoinvironmental Aspects of Land Subsidence due to Withdrawal of Groundwater, Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering Systems and Technology, Saga University, Japan, 178 pp.

15- Leak, S.A., 1997, Land Subsidence from Groundwater Pumping, USGS, Internal Report.

16- Mousavi, S.M., 1999, Counter Effects Analysis of Hydraulic Parameters and Earth Subsidence by Drawing out of Groundwater. MSc. Thesis, Sharif University of Technology.

17- Mousavi, S.M., Shamsaei, A., El Naggar, M.H.E., Khamechian, M., 2001, A GPS – Based Monitoring Program of Land Subsidence due to Groundwater Withdrawal in Iran., Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 28, Num. 3, p. 452-464.

18- Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G., 1996, Soil Mechanics in Engineering practice", Third Edition, John Willy & Sons, pp. 540.

19- Waltham, A.C., 1989, Ground subsidence, Blocky, pp. 202.