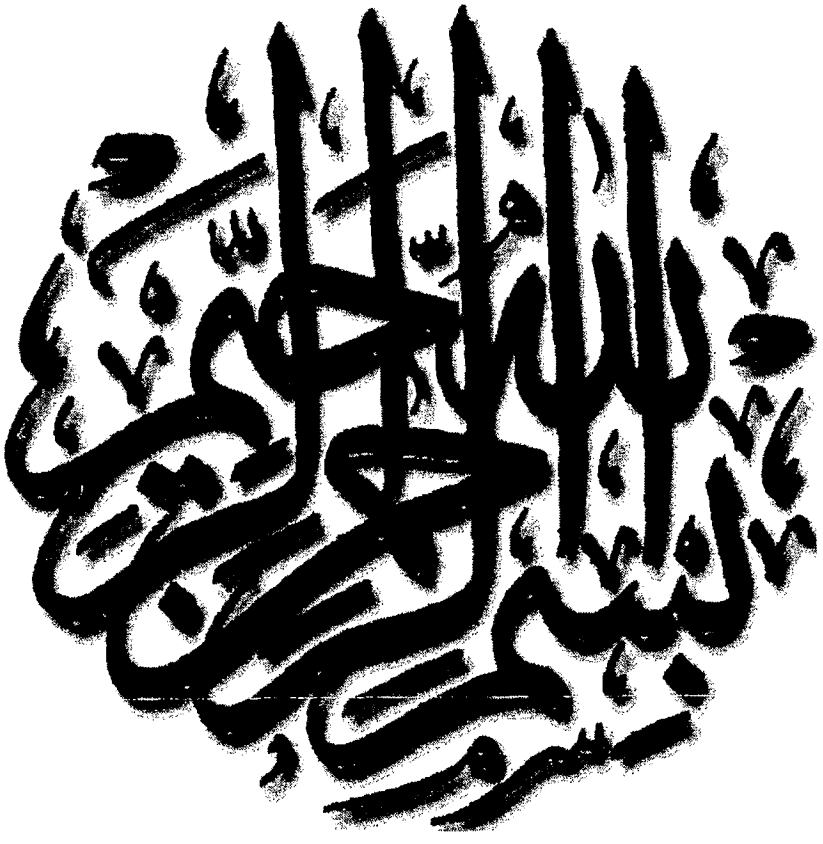

٤٨٥٧

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

شبیه‌سازی آبخوان دشت برخوار جهت تخمین ضرایب هیدرودینامیکی و تحلیل عملکرد بهینه

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب ۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

جبار سوری نژاد

از اطلاعات و ارک عمران ایران
شماره ۴۸۵۲

استاد راهنما

دکتر کیوان اصغری

۱۳۸۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش مهندسی آب - **آقای جبار سوری‌نژاد**

تحت عنوان :

شبیه‌سازی آبخوان دشت برخوار جهت تخمین ضرایب هیدرودینامیکی و تحلیل عملکرد بهینه

در تاریخ ۸۱/۸/۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱ - ممتحن مدعو (از دانشگاه شهید چمران اهواز) دکتر منوچهر چیت‌سازان .....

۲ - استاد راهنما دکتر کیوان اصغری .....

۳ - استاد مشاور دکتر عبدالرحیم ذوالانوار .....

۴ - عضو کمیته دفاع (از دانشکدهٔ مهندسی کشاورزی) دکتر سید فرهاد موسوی .....

۵ - سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر محمود قضاوی .....

کلیهٔ حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هفت
چکیده	۱
فصل اول: مقدمه، تاریخچهٔ موضوع و هدف	
۱- کلیات	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- سابقهٔ علمی	۴
۱-۳- هدف	۱۵
فصل دوم: معرفی دشت مورد مطالعه	
۲-۱- موقعیت محدودهٔ دشت برخوار	۱۸
۲-۲- وضعیت اقتصادی و پوشش گیاهی	۲۰
۲-۳- سوابق مطالعاتی	۲۰
۲-۳-۱- مطالعهٔ ژئوفیزیک اصفهان بطریقهٔ ژئوالکتریک در سال ۱۳۴۳	۲۰
۲-۳-۲- مطالعهٔ ژئوالکتریک شمال و شمال شرق اصفهان	۲۰
۲-۳-۳- گزارش مطالعات آب‌های زیرزمینی در سال ۱۳۶۲	۲۰
۲-۴- ژئومورفولوژی	۲۱
۲-۵- زمین‌شناسی	۲۱
۲-۵-۱- کلیات زمین‌شناسی منطقه	۲۱
۲-۵-۲- لیتواستراتی گرافی	۲۱
۲-۵-۳- تکتونیک	۲۵
۲-۵-۴- گسل‌ها	۲۵
۲-۶- خصوصیات هیدرودینامیک سنگ‌ها و رسوبات (سازندها) موجود در منطقه	۲۵

عنوان	صفحه
۲-۶-۱- سازند شیلی نایبند و شمشک (Tn)	۲۵
۲-۶-۲- سازند آهکی کرتاسه تحتانی	۲۵
۲-۶-۳- سازند الیگومیوسن (OM) یا سازند قم	۲۶
۲-۶-۴- سازندهای دوران چهارم	۲۶
۲-۷- اکتشافات ژئوفیزیک	۲۶
۲-۷-۱- شرح پروفیل‌ها	۲۸
۲-۸- منابع آبی منطقه	۳۱
۲-۸-۱- آب‌های سطحی	۳۱
۲-۸-۲- آب‌های زیرزمینی	۳۱
۲-۹- نوع آبخوان‌های موجود در منطقه	۳۳
۲-۹-۱- آبخوان آزاد آبرفتی	۳۴
۲-۹-۲- آبخوان تحت فشار	۳۴
۲-۱۰- حدود لایه‌های آبدار	۳۵
۲-۱۱- تراز آب زیرزمینی و شیب هیدرولیکی	۳۵
۲-۱۲- نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی	۳۷
۲-۱۳- ویژگی‌های هیدرودینامیک سفرهٔ آب زیرزمینی	۳۸
۲-۱۳-۱- قابلیت انتقال (T)	۳۸
۲-۱۳-۲- ضریب ذخیره	۳۹
۲-۱۴- اقلیم	۳۹
۲-۱۴-۱- درجه حرارت	۳۹
۲-۱۴-۲- رطوبت نسبی	۳۹
۲-۱۴-۳- تبخیر و تعرق	۳۹
۲-۱۴-۴- بارش	۴۱
۲-۱۴-۵- تفکیک سال‌های تر و خشک	۴۱

عنوان | صفحه

فصل سوم: انتخاب مدل عددی و تشریح مسئلهٔ معکوس

۳-۱- انتخاب مدل عددی و نرم افزار مناسب ۴۳

۳-۲- معیارهای انتخاب مدل مناسب ۴۴

۳-۲-۱- کارائی مدل ۴۴

۳-۲-۲- عمومیت مدل ۴۵

۳-۲-۳- سهولت کاربرد مدل ۴۵

۳-۳- معرفی مدل MODFLOW ۴۸

۳-۳-۱- بستهٔ نرم افزاری اطلاعات پایه ۴۹

۳-۳-۲- بستهٔ نرم‌افزاری چاه ۵۰

۳-۳-۳- بستهٔ نرم‌افزاری شرایط مرزی با کمیت معلوم ۵۰

۳-۳-۴- بستهٔ نرم‌افزاری تغذیه ۵۲

۳-۳-۵- بستهٔ نرم‌افزاری تبخیر و تعرق ۵۲

۳-۴- روش مسئلهٔ معکوس در برآورد پارامتر ۵۲

۳-۴-۱- کلیات ۵۲

۳-۴-۲- روش سعی و خطا ۵۴

۳-۴-۳- روش اتوماتیک ۵۶

۳-۵- کدهای موجود در واسنجی اتوماتیک ۵۹

۳-۵-۱- MODFLOWP ۵۹

۳-۵-۲- INVERTIV ۵۹

۳-۵-۳- PEST ۵۹

۳-۶- مراحل واسنجی مدل ۶۰

۳-۶-۱- واسنجی مدل در رژیم ماندگار ۶۰

۳-۶-۲- واسنجی مدل در رژیم ناماندگار ۶۰

۳-۶-۳- دورهٔ زمانی واسنجی مدل ۶۰

عنوان	صفحه

۳-۶-۴- گام‌های زمانی ۶۱

۳-۶-۵- شرائط اولیه و مرزی در رژیم ناماندگار ۶۱

فصل چهارم: واسنجی مدل برای تخمین ضرایب هیدرودینامیک

۴-۱- کلیات ۶۲

۴-۲- شبکه‌بندی آبخوان ۶۳

۴-۳- تعیین مشخصات هندسی آبخوان ۶۵

۴-۳-۱- تعیین نوع آبخوان ۶۵

۴-۳-۲- تعیین ارتفاع فوقانی لایهٔ اشباع ۶۷

۴-۳-۳- تعیین رقوم سنگ کف ۶۷

۴-۴- تعیین شرایط مرزی ۶۷

۴-۵- تعیین شرایط اولیه و انتخاب گام‌های زمانی ۷۳

۴-۵-۱- شرایط ماندگار ۷۶

۴-۵-۲- شرایط ناماندگار ۷۶

۴-۶- تعیین مقادیر تغذیه و تخلیه ۷۸

۴-۷- تعیین نوسانات سطح آب آبخوان ۷۹

۴-۸- تعیین مقادیر ضرایب هیدرودینامیک آبخوان و واسنجی مدل ۸۰

۴-۸-۱- حالت ماندگار ۸۳

۴-۸-۲- حالت ناماندگار ۸۴

فصل پنجم: کاربرد و نتایج مدل شبیه‌سازی در پیش‌بینی وضعیت آتی آبخوان

۵-۱- کلیات ۸۹

۵-۲- بررسی روند بهره‌برداری کنونی و اثر آن بر روی سطح آب آبخوان در آینده ۹۰

۵-۳- کنترل بهره‌برداری از آبخوان با کاهش دبی تخلیهٔ چاه‌های بهره‌برداری ۹۵

عنوان	صفحه
۵-۴- تعیین اثر آبرسانی کانال انتقال آب بر روی سطح آب‌های زیرزمینی منطقه.....	۹۶
۵-۵- خلاصه و تحلیل نتایج.....	۱۰۸
۵-۶- پیشنهادها.....	۱۱۰
مراجع.....	۱۱۲
چکیدهٔ انگلیسی.....	۱۱۵

چکیده

در این تحقیق، شبیه‌سازی آبخوان دشت برخوار واقع در شمال شرق اصفهان، برای تخمین ضرایب هیدرودینامیک و تهیهٔ مدل پیش‌بینی و مدیریتی آبخوان به منظور بررسی وضعیت سطح آب سفره در سال‌های آینده مورد مطالعه قرار گرفته است. با بررسی وضعیت زمین‌شناسی دشت و لوگ چاه‌های موجود در دشت، مشخص شد که دشت برخوار شامل دو آبخوان تحت فشار و آزاد می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود که مربوط به آبخوان آزاد می‌شد، محدوده‌ای از این آبخوان برای مدل‌سازی ریاضی انتخاب گردید. به منظور واسنجی مدل برای تخمین ضرایب هیدرودینامیک، محدودهٔ انتخاب شده به ۴ واحد ژئوهیدرولوژیک تقسیم شد. با در نظرگرفتن یک دورهٔ ۴ ساله با گام‌های زمانی یک ماهه، کلیهٔ اطلاعات لازم برای مدل MODFLOW تعریف گردید و سپس با استفاده از کد PEST، یکی از اجزای مدل MODFLOW، واسنجی مدل برای تخمین ضرایب K و S_y صورت گرفت. نتایج حاصل از واسنجی اتوماتیک با ضریب همبستگی بالای ۹۹ درصد بین مقادیر سطح آب محاسبه شده و مشاهده شده و واریانس خطای ۷/۸۸ نشان داد که واسنجی مدل با دقت بالایی انجام شده است. با استفاده از مدل واسنجی شده، وضعیت تراز آب سفره در سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۰ با توجه به گزینه‌های مختلف مدیریتی بررسی شد. بررسی گزینهٔ تاثیر روند بهره‌برداری کنونی بر روی سطح آب آبخوان در سال‌های آتی، بیانگر حداکثر افتی برابر با ۴۸ متر می‌باشد. در این گزینه با انتخاب نقاط ماکزیمم افت در هر ناحیه بعنوان نقاط کنترل، مشخص شد که در ناحیهٔ مرکزی امکان برداشت آب از سال آبی ۸۶-۸۵ به بعد وجود نخواهد داشت. به منظور ارائهٔ یک راهکار عملی برای بهبود وضعیت آبخوان، گزینهٔ کنترل بهره‌برداری آبخوان با اعمال کاهش ۳۰ درصد دبی تخلیهٔ چاه‌های بهره‌برداری بررسی گردید. از مهمترین نتایج اجرایی این راهکار می‌توان به کاهش افت ۲۶ درصد اشاره نمود. همچنین تاثیر کانال انتقال آب به منطقه (که در سال‌های آتی بهره‌برداری خواهد شد) بر تراز آب‌های سفرهٔ زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. روند افت در هر کدام از نقاط ماکزیمم افت منطقه مشخص کنندهٔ تغییر روند افزایشی افت و بهبود وضعیت آبخوان است. با بررسی روند افت در نقطهٔ کنترل ناحیهٔ مرکزی، مشخص شد که این ناحیه طی سال‌های آبی ۸۲-۸۱ تا ۹۰-۸۹ خشک نخواهد شد و افت در این محل نسبت به دو گزینهٔ قبلی کمتر خواهد بود.

فصل اول
مقدمه، تاریخچهٔ موضوع و هدف

۱- کلیات

۱-۱- مقدمه

بر اساس گزارشهای سازمان ملل، فقط ۷۰٪ درصد کل آب‌های کرهٔ زمین به سادگی برای استفادهٔ مستقیم از طریق چشمه‌ها، رودخانه‌ها، مخازن و منابع زیرزمینی قابل استفادهٔ انسان است و این منابع بطور مرتب توسط باران و برف تجدید می‌شوند. تقریبا در حدود یک سوم از جمعیت کرهٔ زمین در مناطقی زندگی می‌کنند که با نگرانی‌های حاصل از کم آبی مواجه‌اند [۱].

در کشور ما رشد فزایندهٔ جمعیت، توسعهٔ صنایع، مدرنیزه‌ترشدن کشاورزی و افزایش سطح زیرکشت کشاورزی موجبات افزایش بهره‌برداری از منابع آب را باعث شده است. بنابراین با توجه به محدود بودن منابع آب و نیاز بیش از پیش به آب ناچاریم که منابع موجود را حفاظت و با یک برنامه‌ریزی صحیح از آنها بهره‌برداری نماییم. از مهمترین منابع بالقوه در ایران می‌توان به آبخوان‌های زیرزمینی اشاره نمود. عدم بهره‌برداری صحیح و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی باعث خشک‌شدن قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌های کم عمق و نیمه عمیق شده و مشکلات زیادی را به وجود آورده است. همچنین استفادهٔ بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی باعث کاهش ضریب قابلیت انتقال و ضریب ذخیرهٔ آبخوان می‌گردد که بر روی آبدهی چاه‌ها تاثیر می‌گذارد.

در کشور ما برداشت اضافی از منابع آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دشتهای کشور مانند دشت برخوار واقع در شمال شرق اصفهان، دشت دامنه فریدن اصفهان، دشت مهیار شمالی واقع در جنوب شرق اصفهان، دشت مروست در غرب کویر هرات- مروست، دشت سیاه‌کوه در شمال شرق دشت یزد- اردکان و شرق دشت عقدا و... باعث افت سطح آب زیرزمینی گشته و مشکلاتی را برای توسعهٔ اقتصادی این مناطق فراهم نموده است. برای جلوگیری از خسارات بیشتر، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی می‌بایست به عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزیهای مملکت قرار گیرد. مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی نیاز به شناخت عملکرد آبخوان در شرایط طبیعی، در وهلهٔ اول و سپس پیش‌بینی اثرات برداشت و یا تغذیه دارد.

بدون شک بهترین حالت شناخت رفتارهای یک سیستم سفرهٔ آب‌های زیرزمینی، انجام یک سری تحقیقات طویل المدت برای هر منطقهٔ خاص می‌باشد که با توجه به وضعیت کنونی و سقف محدود بودجه‌های تحقیقاتی عملا امکان‌پذیر نیست. در این میان، به کمک ابزاری مانند شبیه‌سازی و یا مدلهای ریاضی می‌توان با دقت قابل قبولی، شرایطی مشابه آنچه در طبیعت موجود است، ایجاد نمود و به نتایج رضایت‌بخشی دست یافت.

در واقع هدف از مدل ریاضی یک سفرهٔ آب زیرزمینی، شبیه‌سازی شرایط طبیعی آبخوان با استفاده از یکسری روابط ریاضی می‌باشد. در صورتیکه بتوان شبیه‌سازی یک آبخوان را انجام و با شرایط طبیعی تطبیق داد، به سهولت می‌توان با تغیرات در محل، مقدار و زمان برداشت و یا گزینه‌های مختلف دیگر مانند تغذیه، به بررسی اثرات آنها پرداخت.

ارزش و اعتبار یک مدل شبیه‌سازی به کمیت و کیفیت آمار و اطلاعات داده شده به آن بستگی دارد. از مهمترین اطلاعات ورودی به مدل آب‌های زیرزمینی، پارامترهای ژئوهیدرولوژیک هستند، که تهیهٔ بعضی از آنها نیاز به انجام آزمایشهای مشکل و گران قیمت صحرایی و آزمایشگاهی دارد. این پارامترها، شامل ضرایب هیدرودینامیک (یعنی ضریب هدایت هیدرولیکی یا ضریب قابلیت انتقال)، میزان تغذیه از رودخانه‌ها و تغذیهٔ عمودی، پمپاژ و مرزهای ثابت و متغیر و یا مقدار تغذیهٔ مصنوعی هستند.

برای شبیه‌سازی یک آبخوان باید یک یا چند تا از این پارامتراز آن تعیین شود. از جملهٔ این پارامترها که تعیین آن برای شبیه‌سازی هر آبخوانی لازم است، ضرایب هیدرودینامیک آبخوان می‌باشد. در حالت سنتی، این ضرایب از طریق آزمون و خطا برآورد می‌شوند، که در این روش با تغییر دادن مقدار این ضرایب در محدودهٔ منطقهٔ مورد مطالعه در یک حد قابل قبول با توجه به

شرایط زمین‌شناسی منطقه و اجرای مجدد مدل اقدام به برآورد آنها می‌شود. البته این فرآیند بسیار زمان‌بر بوده و نیاز به اطلاعات فراوان و تجربهٔ بالای کاربر دارد. نتایج این روش زمانی قابل قبول خواهد بود که انحراف معیار تفاوت مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در محدودهٔ قابل قبولی قرار گیرد.

در روش دیگر که روش معکوس نام دارد، پارامترهای مورد نظر که در اینجا ضرایب هیدرودینامیک می‌باشند، به صورت اتوماتیک برآورد می‌شوند. در این روش، با استفاده از داده‌های سطح ایستابی اندازه‌گیری شده مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای، نتایج حاصل از آزمایشهای پمپاژ و تعیین حدود بالا و پایین ضرایب و با استفاده از تکنیکهای بهینه‌سازی توابع هدف، اقدام به برآورد ضرایب هیدرودینامیک می‌نمایند.

در روش معکوس برای پذیرش ضرایب هیدرودینامیک حاصل از عملیات برآورد پارامتر، باید انطباق خوبی بین سطح ایستابی محاسبه شده و مشاهده شده، دیده شود. این روش موجب تسهیل ارزیابی نتایج می‌شود و برای کاربر مشکلات واسنجی روش دستی را نخواهد داشت. پس از بدست آوردن پارامترهای موردنظر (ضرایب هیدرودینامیک) و تنظیم مدل، با در دست داشتن، مدل کالیبره شدهٔ سیستم می‌توان هر نوع پدیدهٔ طبیعی و یا مصنوعی (پمپاژ و یا تغذیه توسط پخش سیلاب و یا توسط چاه) را که به طور مستقیم ویا غیر مستقیم در تحول سیستم مؤثر واقع می‌شوند، به مدل اعمال و عکس‌العمل سیستم را در مقابل پدیدهٔ مذکور پیش‌بینی و مورد ارزیابی قرار داد.

۱-۲- سابقهٔ علمی

معادلهٔ جریان آب زیرزمینی در حالت ناپایدار و برای سیستم سه بعدی بصورت معادلهٔ زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial}{\partial X}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial X}\right)+\frac{\partial}{\partial Y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial Y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)+R=S\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۱-۱)$$

در این معادله K_{xx}، K_{yy} و K_{zz} ضرایب هدایت هیدرولیکی در سه جهت x، y و z، h، ارتفاع سطح ایستابی، S ضریب ذخیرهٔ آبخوان، t متغیر زمان و R مقدار آب برداشت شده یا تغذیه شده می‌باشد. این معادله بیان می‌کند که مجموع جبری جریان آب در جهات سه‌گانهٔ محورهای اصلی به علاوهٔ آب تغذیه شده یا برداشت شده برابر تغییر حجم آب زیرزمینی آبخوان می‌باشد. برای حل معادله جریان آب زیرزمینی، معمولاً از روشهای عددی استفاده می‌کنند.

حل عددی معادلات حرکت سیالات ابتدا در صنعت نفت و قبل از سال ۱۹۵۰ آغاز گردید. استالمن (۱۹۵۸) اولین کسی بود که روشهای عددی را در مسائل هیدروژئولوژی بکار برد. او از

روش تفاضل محدود برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان دوبعدی غیرماندگار در آبخوان‌های غیر همگن استفاده نمود.

لانگن باگ[۱] (۱۹۶۷) یک مدل ریاضی برای جریان آب‌های زیرزمینی ارائه نمود که قادر بود مسائلی را که دارای مرز غیرقابل نفوذ و یا مرزهد ثابت باشند را تجزیه و تحلیل کند. در این مدل مرزهای با جریان عمودی به صورت آبخوان‌های تراوشی پیش‌بینی شده بود [۲].

یانگ[۲] و بریدهوف[۳] (۱۹۷۲) یک مدل کامپیوتری ارائه نمودند که با آن بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی را تحلیل نمودند. این مدل از یک الگوی هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی عکس‌العمل سیستم رودخانه- آبخوان به عوامل هیدرولوژیک و یک مدل اقتصادی برای پیش بینی وضعیت اقتصادی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری، ساخته شده است. بعد از سال ۱۹۷۲، مدلهایی تهیه شد که تاثیر منطقهٔ غیر اشباع بالای آبخوان آب زیرزمینی را نیز در محاسبات منظور می‌کرد [۳].

گایمون[۴] و هرومادکا[۵] (۱۹۸۵) در تحقیقی که با عنوان مدل‌سازی واکنش آب زیرزمینی نسبت به تغذیهٔ مصنوعی انجام دادند، این نتیجه را بدست آوردند که مدل‌سازی عددی هنگامی که با شناسایی‌های ژئوتکنیکی و آنالیزهای هیدرولوژیکی مناسب ترکیب شود، ابزار قدرتمندی برای شبیه‌سازی خواهد شد و نیز نتیجه‌گیری شد که استفاده از مدلهای عددی موجود یا توسعهٔ یک مدل جدید به بعضی مفاهیم در فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مربوط به تغذیهٔ مصنوعی و حرکت آب زیرزمینی برای توسعهٔ یک مدل عددی نیاز دارد [۴].

طباطبایی (۱۳۷۷) در پایان‌نامهٔ خود به تحقیق واتز[۶] (۱۹۸۹) در رابطه با مدل‌سازی سه بعدی آبخوان واقع در جنوب غربی کانزاس اشاره نموده است. واتز اثرات میزان پمپاژ در یک دورهٔ ۲۰ ساله با وضعیتهای مختلف را بررسی نمود. او با بکارگیری این مدل دریافت که در یک قسمت از دشت یک آبخوان تحت فشار وجود دارد و به تدریج تبدیل به یک آبخوان آزاد خواهد شد [۱].

کندن[۷] و همکاران (۱۹۹۳) یک تحقیق بر روی حساسیت پارامترهای مدل جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی در یک مکان آلوده انجام دادند. آنها از آمار گذشتهٔ هیدروژئولوژیک

۱- Longenbaugh
۲- Yang
۳- Bredehoeff
۴- Gymon
۵- Hromadca
۶- Watss
۷- Condon