

ارزیابی استفاده از سیستم زهکشی به منظور پایین انداختن سفره آب زیرزمینی دشت شیراز با استفاده از مدل PMWIN

احمد رضا کریمی پور^۱ غلامرضا رخشنده‌رو^۲ گلنوش بنی طالبی دهکردی^۳

(دریافت ۸۸/۱۲/۲۰ پذیرش ۹۰/۲/۲۱)

چکیده

دشت شیراز به دلیل افزایش جمعیت شهری و تبدیل اراضی زراعی و باغها به اماکن مسکونی و همچنین تخریب قنات‌ها که در گذشته کار زهکشی دشت را بر عهده داشتند، با مشکل بالا آمدن سفره آب زیرزمینی در مناطق جنوبی و جنوب شرقی خود مواجه بوده است. برای غلبه بر این مشکل از سال ۱۳۸۲ در این دشت اقدام به احداث سه رشته زهکشی شده است که تاکنون بیش از نیمی از یکی از این سه رشته زهکشی به طول تقریبی ۱۴/۶ کیلومتر در شرق شهر احداث گردیده است. در این تحقیق استفاده از سیستم زهکشی برای پایین انداختن سفره آب زیرزمینی دشت شیراز در سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در این زمینه ابتدا رفتار هیدرولیکی آبخوان دشت شیراز با استفاده از مدل PMWIN مدل‌سازی شد. در این مدل، زهکش‌های بزرگ در حال احداث در این دشت نیز دیده شد و اطلاعات بارندگی و تبخیر اندازه‌گیری شده در دشت، میزان تغذیه و تخلیه سفره از طریق قنات‌ها و مسیر رودخانه خشک و چنار راهدار و همچنین میزان برداشت آب از چاه‌ها و تغذیه آبخوان به علت فاضلاب برگشتی در مدل منظور گردیدند. سپس با واسنجی و صحت‌سنجی مدل و تعیین کلیه پارامترهای مورد نیاز، وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت در پایان اجرای زهکشی و در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی گردید. بررسی نتایج حاصل از مدل نشان دهنده عملکرد خوب زهکش‌ها بود که در افزونی دبی زهکشی شده در مقایسه با ورودی و خروجی از دشت در تمام سناریوها خود را نشان داد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، در حالت خشکسالی (سناریوی ۳) کمترین دبی‌های ورودی و خروجی و زهکشی شده از دشت را داشت و در حالت ترسالی (سناریوی ۴) بیشترین دبی‌ها مشاهده شد. بررسی‌ها نشان داد برای آنکه سطح آب زیرزمینی تا عمق مورد نظر طراح پایین بیفتد باید خطوط فرعی زهکشی نیز اجرا شوند که در غیر این صورت مقدار دبی زهکشی شده از نصف برآورد طراح نیز کمتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت شیراز، سیستم زهکشی، PMWIN، مدل‌سازی

Evaluating the Performance of Drainage System in Dropping Water Table Elevation in Shiraz Plain

Ahmad Reza Karimipour¹

Gholam Reza Rakhshandehroo²

Golnoosh Banitalebi Dehkordi³

(Received Mar. 10, 2010 Accepted May. 10, 2011)

Abstract

Shiraz plain is facing elevated groundwater level problem in its south and south-eastern regions due to increasing population, conversion of farmlands and gardens into residential areas, and destruction of old Qanats that used to drain the plain. To overcome this problem, construction of three drainage aqueducts in the plain started since 2003. So far, more than half of one main aqueduct, with a length of ~15 km, has been constructed at eastern Shiraz. In this study, performance of the drainage system in dropping groundwater level in the plain has been evaluated under different scenarios. First, the hydraulic behavior of Shiraz plain aquifer was modeled using PMWIN. Besides the main aqueducts, measured precipitation and evaporation, recharge and discharge from the aquifer by remaining old aqueducts, wells, and Khoshk and Chenar-Rahdar rivers, and returned wastewater were all considered in the model. After model calibration and verification, the required parameters were determined and groundwater level in the plain was predicted for different scenarios at the end of aqueduct construction.

1. Science Assistant, Dept. of Civil Eng., Payam Noor University of Shahrekord, (Corresponding Author) (+98 381) 3336749 ahm.karimipour@gmail.com

2. Assoc.Prof. Dept. of Civil Eng., Shiraz University, Shiraz

3- M.Sc. Student of Soil Physics and Conservation, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord

۱- دستیار علمی بخش مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، مرکز شهرکرد (نویسنده مسئول) ۳۳۳۶۷۴۹ (۰۳۸۱) ahm.karimipour@gmail.com

۲- دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

۳- دانشجوی کارشناس ارشد فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

Results reflect a good performance for aqueducts in all scenarios as evidenced by large volumes of drained water in comparison to other inflow and outflows of water in the aquifer. As expected, the lowest inflow, outflow, and drained water were observed in the plain during the drought (3rd scenario), and the highest flows during the wet years (4th scenario). Results indicate that in order for groundwater level to drop to the expected extent, lateral aqueducts should also be constructed otherwise the water drained by aqueducts will be less than half of the expected value.

Keywords: Groundwater, Shiraz Plain, Drainage System, PMWIN, Modeling.

آبهای زیرزمینی دشت باجگاه با استفاده از مدل ماجولار سه بعدی تفاضل معین مک دونالد و هرپاو توسط رضایی و موسوی در سال ۱۳۷۱ و پژوهش و بررسی هیدروژئولوژیکی شکل‌گیری سفره و منابع آبهای زیرزمینی دشت شیراز توسط کمالی در سال ۱۳۷۸ را نام برد [۷ و ۶].

در سالهای اخیر کاربرد مدل Modflow به‌عنوان یک مدل مدولار سه بعدی تفاضل محدود برای پیش‌بینی رفتار آبهای زیرزمینی توسعه بسیاری داشته است. مطالعاتی نظیر محاسبه ضریب ذخیره و ضریب قابلیت انتقال آبخوان نایتینگهام شایر انگلستان توسط جیائو^۶ و لینر^۷ در سال ۱۹۹۶ و مدل‌سازی نشت آبخوان و رودخانه در یک آبخوان آبرفتی توسط مایکل براون و همکاران^۸ در سال ۲۰۰۲ و مدل‌سازی بیلان آبی دشت ریوتوریو مکزیک توسط یوهانس^۹ در سال ۲۰۰۴ از این نمونه‌اند [۸-۱۰]. از جمله تحقیقات دیگری که در این زمینه صورت گرفته است

می‌توان به شبیه‌سازی جریان متقارن محوری با دقت بالا با استفاده از Modflow مجهز شده به یک روش جدید توسط سامانی و همکاران در سال ۲۰۰۴ و شبیه‌سازی برهمکنش آبخوان و رودخانه در یک دشت زهکشی شده با استفاده از اتصال کامل دو نرم افزار HECRAS و Modflow توسط کارلس و همکاران^{۱۰} در سال ۲۰۰۸ و مقایسه دبی‌های محاسبه شده توسط Modflow و یک مدل آمیخته به دو تریم بر روی یک دشت واقع در محدوده نوادی شرقی توسط روسماری و همکاران^{۱۱} در سال ۲۰۰۸ اشاره کرد [۱۱-۱۳].

تحقیقات دیگری نیز در زمینه مطالعه آبهای زیرزمینی صورت گرفته است که می‌توان به پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با مدل سری‌های زمانی توسط رحمانی و سدهی در سال ۱۳۸۳، بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جدار توسط آل خمیس و همکاران در سال ۱۳۸۵، مدل شبیه‌سازی کمی - کیفی اندرکنش آبراهه با سفره زیرزمینی توسط صفوی و همکاران در سال ۱۳۸۶، استفاده از الگوریتم

۱- مقدمه

به‌طور کلی، منابع آب زیرزمینی نقش ویژه‌ای در تأمین نیاز آبی یک منطقه دارند و لذا ارزیابی، شبیه‌سازی و مدیریت آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. دشت شیراز به‌طور مشخص، به دلیل افزایش جمعیت شهری و تبدیل اراضی زراعی و باغها به اماکن مسکونی و همچنین تخریب قنات‌ها که روزی کار زهکشی دشت را بر عهده داشتند، با مشکل بالا آمدن سفره آب زیرزمینی در مناطق جنوبی و جنوب شرقی خود مواجه بوده است. برای غلبه بر این مشکل از سال ۱۳۸۲ در این دشت اقدام به احداث سه رشته زهکش شده است که تاکنون بیش از نیمی از یکی از این سه رشته زهکش به طول تقریبی ۱۴/۶ کیلومتر در شرق شهر احداث گردیده است. بررسی عملکرد زهکش اجرا شده و پیش‌بینی عملکرد آن پس از اتمام عملیات اجرایی و رفع معایب احتمالی آن نیاز به تحقیق در این زمینه وجود دارد.

مطالعات زیادی در زمینه شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های مختلف صورت گرفته که مطالعه سیستم‌های چند آبخوانی با مدل‌های دوپوئی عددی و تحلیلی توسط بکر^۱ در سال ۱۹۹۹ و مدل‌سازی برهمکنش آب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از تقریب دوپوئی، توسط اندرسون^۲ در سال ۲۰۰۵ و تخمین پارامترهای جریان آب زیرزمینی به‌کمک داده‌های بار کل هیدرولیکی توسط یان و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۷ از جمله این مطالعات هستند [۱-۳]. استفاده از روش تفاضلات محدود در این شبیه‌سازی‌ها در آبخوان‌های دارای شرایط مختلف توسط محققان متعدد صورت گرفته است که طرحهایی نظیر مطالعه جامع مدیریت آبخوان کشور کویت، توسط موخپدپایی و همکاران^۴ در سال ۱۹۹۴، تأثیرات واکنش‌های متقابل رودخانه و آبخوان در حوضچه آبریز والنات کاتراس توسط رامیرد دیگری و همکاران^۵ در سال ۲۰۰۰ از این نمونه هستند [۴ و ۵]. در مطالعه جریان سه بعدی آبهای زیرزمینی در دشت‌های مختلف ایران نیز از روش تفاضل محدود استفاده شده که به‌عنوان نمونه می‌توان طرحهای مطالعه

⁶ Jiao I

⁷ Leaner

⁸ Mickell Brewn et al.

⁹ Johannes

¹⁰ Karlos et al.

¹¹ Rosemary et al.

¹ Bakker

² Anderson

³ Yan et al.

⁴ Mukhopadhyay et al.

⁵ Ramiredygrai et al.

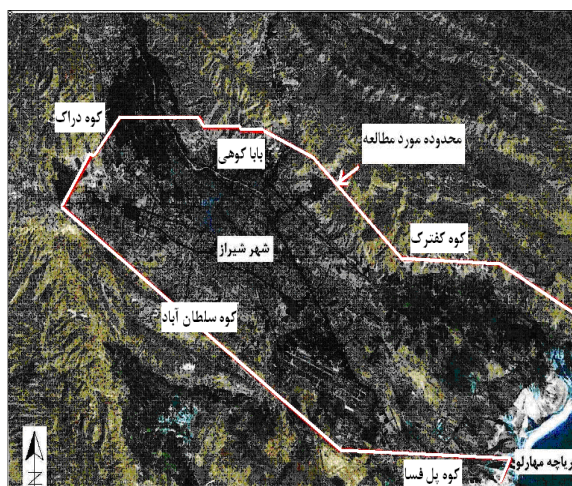
ژنتیک برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد توسط اصغری مقدم و همکاران در سال ۱۳۸۸ اشاره کرد [۱۴-۱۷].

در این تحقیق استفاده از سیستم زهکشی برای پایین انداختن سفره آب زیرزمینی دشت شیراز مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا ابتدا رفتار هیدرولیکی آبخوان دشت شیراز با استفاده از مدل PMWIN که هسته اصلی آن را همان نرم افزار Modflow تشکیل می دهد، مدل سازی شد. در این مدل، زهکش های بزرگ در حال احداث در این دشت نیز دیده شده و اطلاعات بارندگی و تبخیر اندازه گیری شده در دشت، میزان تغذیه و تخلیه سفره از طریق قنات ها و مسیر رودخانه خشک و چنارراهدار و همچنین میزان برداشت آب از چاه ها و تغذیه آبخوان به علت فاضلاب برگشتی در مدل منظور گردیدند. سپس با واسنجی مدل، ضرایب هیدرودینامیکی دشت تعیین شد و با انجام آنالیز حساسیت، چهار پارامتر مهم، شناسایی و مورد بررسی قرار گرفتند. در انتها، عملکرد زهکش به منظور پایین انداختن سفره آب زیرزمینی در چهار سناریوی مختلف ارزیابی شد.

۲- معرفی دشت شیراز

دشت شیراز از شمال به ارتفاعات باباکوهی و کفتراک، از شمال غربی به ارتفاعات کوه دراک، از جنوب به ارتفاعات سبزپوشان و سلطان آباد و از شرق و جنوب شرقی به ارتفاعات پل فسا و دریاچه مهارلو محدود می گردد. وسعت این دشت حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع است که موقعیت آن در شکل ۱ نمایش داده شده است. بررسی های انجام شده نشان داده است که آبرفت دشت شیراز به صورت لایه لایه بوده و لایه های رسی بین لایه های آبدار قرار گرفته اند به نحوی که رسوبات آبرفتی دارای ضخامت یکنواختی نبوده و لایه های شنی در بین لایه های رسی و سیلتی قرار دارند. همچنین اکتشافات ژئوفیزیکی در دشت بیانگر آن است که لایه آبدار دشت شیراز تا عمق ۲۰۰ متر محدود می گردد و در اعماق بیشتر در صورتی که لایه آبداری وجود داشته باشد از کیفیت مناسبی برخوردار نیست [۱۸]. علاوه بر این، بافت آبرفت در غرب دشت درشت دانه بوده و با نزدیک شدن به دریاچه مهارلو در شرق ریزدانه می گردد. بر اساس این مطالعات، سفره آب زیرزمینی دشت شیراز به دو سفره سطحی و عمقی تقسیم شده است. سفره سطحی از سطح آزاد آب زیرزمینی شروع شده و تا عمق حدود ۴۰ متری امتداد می یابد و سفره عمیق آب زیرزمینی از حدود عمق ۴۰ متری تا ۲۰۰ متری گسترش یافته است. ارتفاعات منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی جزء رشته کوه های زاگرس بوده و از تاقدیس ها و ناودیس های کشیده با جهت شمال غربی - جنوب شرقی که در امتداد روند چین خوردگی زاگرس می باشند، تشکیل شده است [۱۹].

در محدوده مورد مطالعه تعداد ۳۵ حلقه چاه مشاهده ای و پیزومتریک فعال به طور ثابت وجود دارند. در حین اجرای زهکش خاتون نیز ۱۲ پیزومتر در اطراف آن برای قرائت تراز سطح آب ایجاد شد. در این تحقیق آمار نوسانات ماهانه سطح ایستابی ۴۱ حلقه از چاه های مذکور جمع آوری شد و مورد استفاده قرار گرفت و برای نوسانات از آمار ۴/۵ سال استفاده شد و به دلیل کثرت زیاد داده ها فقط به عنوان نمونه، آمار نوسانات سطح ایستابی فروردین سال ۱۳۸۳ در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین تعداد ۴۲۵ حلقه چاه بهره برداری آب سطحی در منطقه موجود است که عمدتاً برای مصارف کشاورزی کاربرد دارند. در جدول ۲ دبی بهره برداری فصلی از دو چاه از چاه های دشت به عنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل ۱- دشت شیراز و منطقه مورد مطالعه

۳- شبیه سازی آبخوان دشت شیراز

آبخوان دشت شیراز به شبکه ای مشتمل بر ۱۵۵۰۰ سلول شامل ۱۰۰ ردیف و ۱۵۵ ستون و هر سلول به ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ متر تقسیم گردید. سلول های فعال در مدل با کد یک و سلول های غیر فعال با کد صفر و سلول های با بار هیدرولیکی ثابت با کد منفی یک در نظر گرفته شدند. محدوده مورد بررسی عمدتاً توسط ارتفاعات اطراف محصور بود به طوری که تنها ۳۲ سلول از مرز های غربی و ۶۳ سلول از مرز جنوب شرقی، در تبادل هیدرولیک با مناطق خارج از محدوده ای مورد بررسی بودند. به لحاظ جریان عمومی آب زیرزمینی از غرب به شرق، سلول های فعال مرزی واقع در مرز غربی در حکم سلول های دریافت کننده جریان آب زیرزمینی از خارج به داخل محدوده بوده و در مدل با نام سلول GHB مشخص شدند. سلول های فعال واقع در مرز جنوب شرقی محدوده مورد بررسی نیز به عنوان سلول های خارج کننده جریان از این محدوده بوده که

گام ۱ ماهه تقسیم شد. کل مدت شبیه‌سازی بیش از سه سال و نیم (فروردین ۸۳ تا آبان ۸۶) بوده و از داده‌های مربوط به دو سال و نیم اول برای کالیبراسیون و تعیین ضرایب هیدرودینامیک مدل و از داده‌های مربوط به ۴۰۰ روز بعد برای انجام صحت‌سنجی و آنالیز حساسیت مدل استفاده شد.

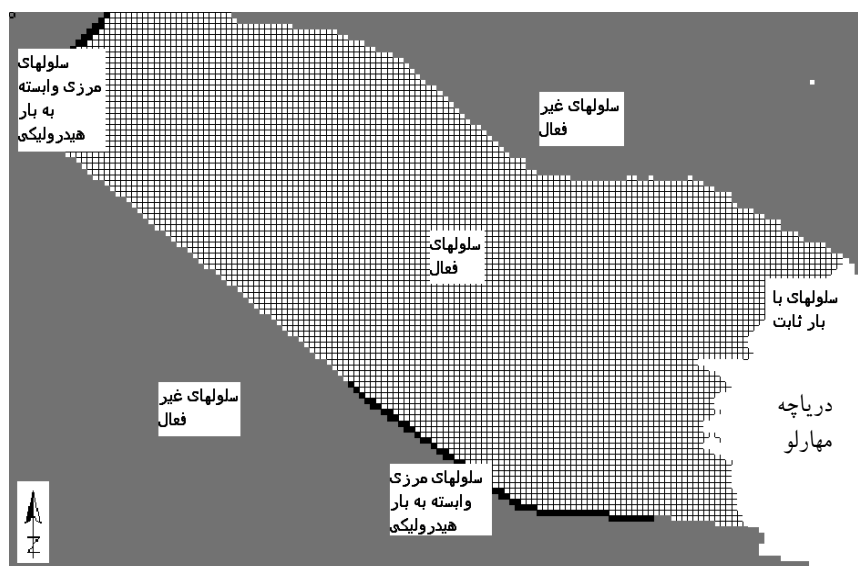
اصطلاحاً با عنوان سلولهای تخلیه مشخص گردیدند. شکل ۲ وضعیت شبکه‌بندی آبخوان دشت شیراز و سلولهای شبکه را نشان می‌دهد. مدل‌سازی دشت در حالت غیر ماندگار با دوره زمانی سه ماهه صورت گرفت که برای حل معادله دیفرانسیل، هر دوره زمانی به سه

جدول ۱- آمار نوسانات تراز آب در پیزومترهای مختلف در فروردین ماه سال ۱۳۸۳

شماره پیزومتر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
تراز آب	۱۵۵۴/۶۷	۱۵۶۲/۲۷	۱۵۴۲/۵۹	۱۵۵۱/۹۴	۱۵۱۹/۳۲	۱۵۲۸/۱۱	۱۵۲۲/۹۸	۱۵۱۶/۲۲	۱۵۱۲/۲۷
شماره پیزومتر	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
تراز آب	۱۵۰۲/۲	۱۵۲۹/۱۲	۱۵۲۳/۳۴	۱۵۰۴/۱۶	۱۴۹۰/۹۲	۱۴۸۰/۳۷	۱۵۲۶/۳۷	۱۵۱۰/۵۱	۱۴۹۵/۸۱
شماره پیزومتر	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
تراز آب	۱۴۹۲/۳۵	۱۴۹۱/۴۶	۱۴۸۴/۶۳	۱۴۷۶/۷	۱۴۷۸/۰۷	۱۴۶۷/۶۳	۱۴۸۱/۷۱	۱۴۶۳/۰۵	۱۴۶۲/۰۱
شماره پیزومتر	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲				
تراز آب	۱۴۵۸/۸۷	۱۴۵۹/۱۶	۱۴۷۷/۳۱	۱۴۷۷/۳۱	۱۴۷۷/۹۱				

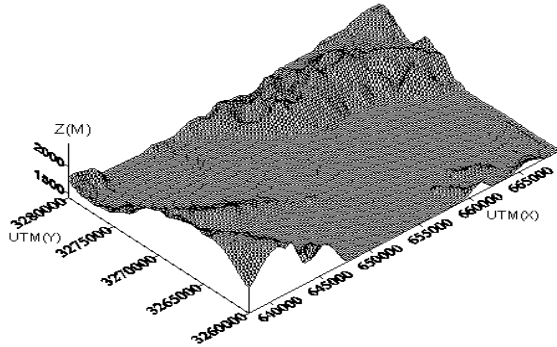
جدول ۲- مشخصات دو چاه بهره‌برداری دشت شیراز به‌عنوان نمونه

دبی زمستان (m ³ /d)	دبی پاییز (m ³ /d)	دبی تابستان (m ³ /d)	دبی بهار (m ³ /d)	UTM (Y)	UTM (X)
-۱۱۲	-۳۹۲	-۳۷۹	-۲۱۷	۳۲۷۳۴۹۷	۶۵۶۹۰۱
-۱۷۰/۴	-۳۹۸	-۴۱۲	-۳۴۶	۳۲۷۳۹۸۴	۶۵۷۶۲۴



شکل ۲- وضعیت شبکه‌بندی آبخوان دشت شیراز و سلولهای شبکه

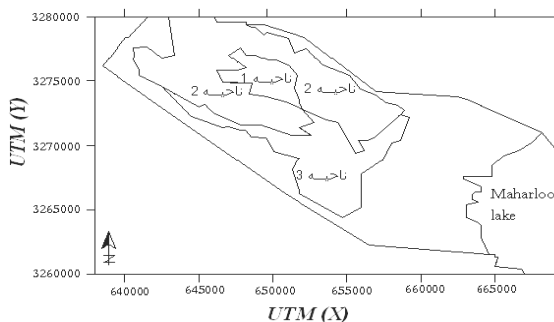
در زمینه نقاط ارتفاعی دشت انجام شد و نقشه توپوگرافی دشت در فواصل ۲۰۰ متری تهیه گردید (شکل ۶). با کم کردن مقادیر رقوم لایه غیر قابل نفوذ کف از رقوم سطح زمین، ضخامت سلول‌ها در مدل تعیین شده و به نرم افزار داده شد. برای تعیین تخییر و تعرق در مدل از آمار ایستگاه تخییرسنجی فرودگاه شیراز استفاده شد.



شکل ۶- نقشه توپوگرافی دشت شیراز

۳-۱- منابع تغذیه

یکی از منابع تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، نفوذ آب بارندگی است. برای محاسبه نفوذ ناشی از بارشهای جوی در هر گام زمانی، مقادیر تلفات اولیه و رواناب، از متوسط بارش ماهانه کسر گردید. با توجه به مطالعات انجام شده قبلی، ابتدا ۱/۶ میلی‌متر از هر بارندگی به علت تلفات اولیه کسر گردید و سپس برای تعیین و کسر مقدار رواناب، مطابق شکل ۷ از تقسیم‌بندی دشت به نواحی جمعیتی سه گانه و ضریب رواناب برای هر ناحیه استفاده گردید (جدول ۳) [۲۰].



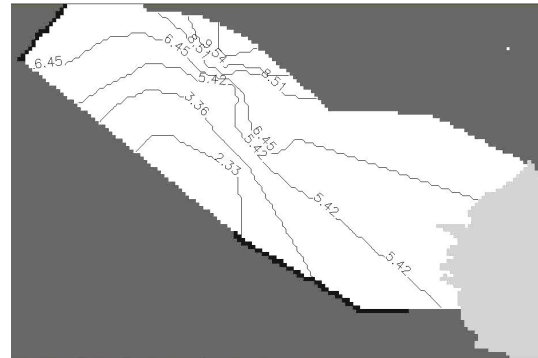
شکل ۷- تقسیم بندی دشت شیراز به نواحی جمعیتی سه گانه

جدول ۳- ضریب رواناب مناطق سه گانه

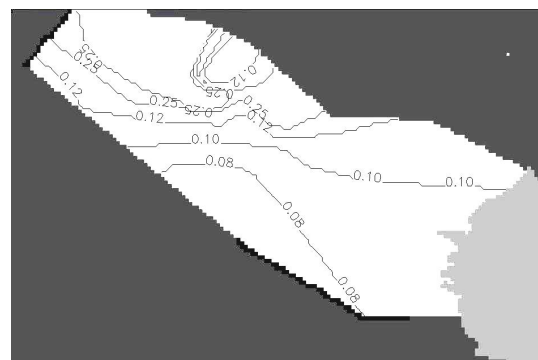
ضریب رواناب	نواحی جمعیتی
۰/۶۵ - ۰/۷۵	۱ پر تراکم شهری
۰/۵۰ - ۰/۶۰	۲ با تراکم متوسط
۰/۳۵ - ۰/۴۰	۳ کم تراکم

برای تعیین مقادیر اولیه آبدی ویژه و هدایت هیدرولیکی از اندازه‌گیری‌های انجام شده آبدی ویژه و هدایت هیدرولیکی در ۱۱ چاه مختلف در سطح دشت استفاده شد که نتیجه توزیع آنها در دشت به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

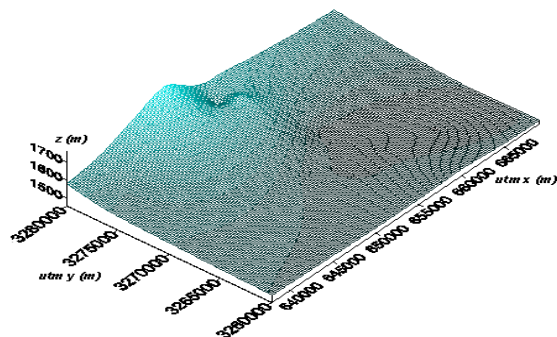
رقوم لایه غیر قابل نفوذ کف آبخوان از نقشه‌های موجود به دست آمده و با درونیایی، رقوم آن لایه در تمام دشت با فواصل ۲۰۰ متری تعیین شد (شکل ۵). همین روال برای اطلاعات موجود



شکل ۳- نحوه توزیع مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی (m/d) در نقاط مختلف دشت



شکل ۴- نحوه توزیع مقادیر اولیه آبدی ویژه (بی بعد) در نقاط مختلف دشت



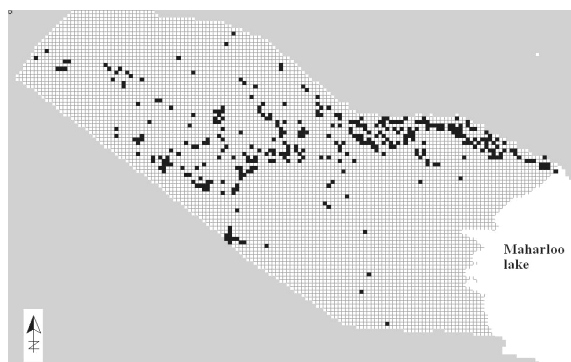
شکل ۵- رقوم لایه غیر قابل نفوذ کف آبخوان سطحی دشت

جدول ۴- مقادیر مصرف سرانه آب و تولید سرانه فاضلاب در سالهای ۸۰ و ۹۰ در شهر شیراز [۲۰]

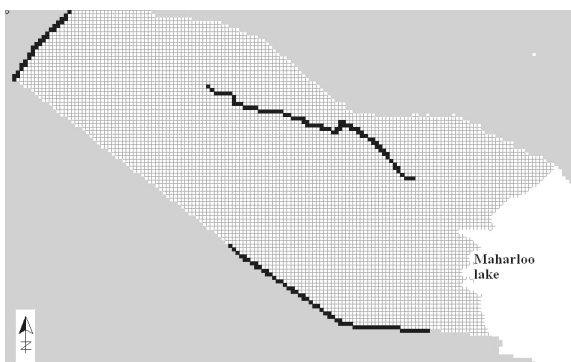
سال	۱۳۸۵		۱۳۹۰	
جمعیت	۱۲۱۴۸۰۸		۱۶۱۵۲۵۰	
شرح	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل
مصرف سرانه آب (لیتر در روز)	۱۴۳	۱۹۰	۲۵۷	۱۴۹
تولید سرانه فاضلاب (لیتر در روز)	۱۱۰	۱۴۷	۱۹۸	۱۶۳

موقت در اطراف زهکش برای خشک اندازی مسیر حفاری زهکش (۵۰۰ حلقه چاه) بود. پس از عبور زهکش از چاههای موقت، چاههای یاد شده غیر فعال می‌شوند به طوری که میزان کارکرد بعضی از آنها فقط ۴ ساعت در شبانه روز است.

شبکه زهکشی احداث شده یکی دیگر از منابع تخلیه آبخوان دشت شیراز است. پس از شبکه بندی آبخوان، مسیر احداث شده زهکش خاتون در محدوده ۷۶ سلول قرار گرفت (شکل ۹).



شکل ۸- موقعیت چاههای بهره برداری سطحی و چاههای پمپاژ موقت اطراف زهکش در دشت شیراز



شکل ۹- موقعیت زهکش خاتون در مدل

۳-۳- تعیین شرایط اولیه

شرایط اولیه، از مهم ترین پارامترهای حل معادلات دیفرانسیل جزئی در آبهای زیرزمینی است که مدل با داشتن این شرایط،

از منابع دیگر تغذیه سفره‌ها، برگشت آب مصرفی یا پساب به آنهاست. در این تحقیق، با توجه به پژوهش و پیش بینی انجام شده توسط سازمان مسکن و شهرسازی استان فارس، میزان ماهیانه آب مصرفی و پساب تولید شده در هر منطقه از دشت، به تراکم جمعیتی در آن منطقه وابسته گردید. لذا با استفاده از ناحیه بندی جمعیتی دشت و تولید سرانه فاضلاب، مقدار پساب تولید شده در هر گام زمانی محاسبه شد (شکل ۷). جدول ۴ برآورد مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر مصرف سرانه آب و تولید سرانه فاضلاب در سالهای ۸۵ و ۹۰ را به طور نمونه نشان می‌دهد.

میزان آب برگشتی کشاورزی به سفره‌های آب زیرزمینی معمولاً به عنوان درصدی از کل مقدار آب مصرفی آبیاری است که در ماههای سال متفاوت خواهد بود. بر اساس مطالعات انجام شده، حجم ماهیانه آب ورودی به سفره سطحی به علت برداشت آب کشاورزی از سفره عمقی در جدول ۵ نشان داده شده است.

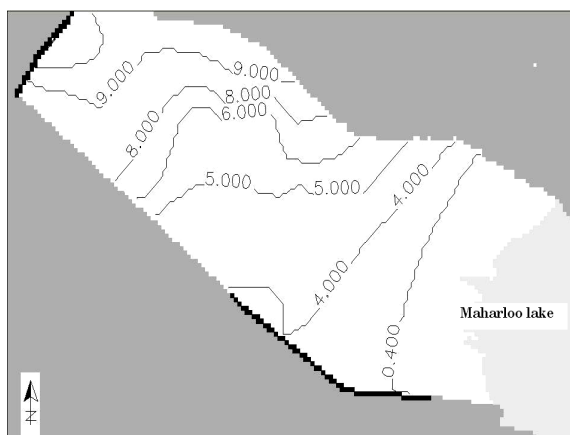
جدول ۵- حجم آب ورودی به سفره سطحی به علت آب کشاورزی برداشت شده از سفره عمقی [۲۰]

دوره زمانی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
حجم آب ورودی (هزار متر مکعب)	۳۰۱۹	۳۰۱۹	۳۰۱۹	۰

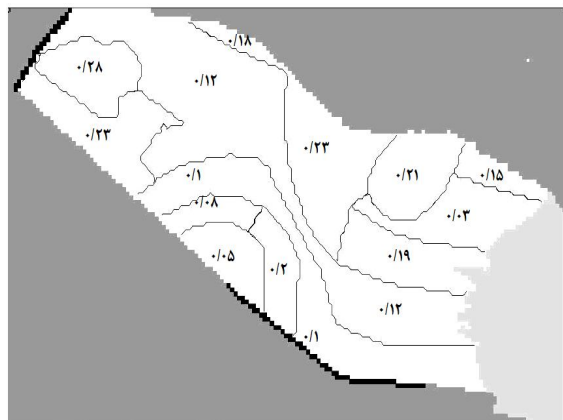
۳-۲- منابع تخلیه

یکی از منابع مهم تخلیه آبخوان‌ها، چاههای برداشت آب هستند. برای محاسبه میزان برداشت آب، از کلیه چاهها آمار برداری شد و عمق چاه، نوع مصرف، آبدهی و تعداد ساعات بهره برداری در شبانه روز مشخص گردید [۱۸]. از میزان آب برداشت شده مقداری به اشکال مختلف مجدداً به سفره برگردانده شد. این میزان آب برگشت شده به سفره محاسبه و در نهایت مقداری که عملاً از سفره در طول سال برداشت می‌گردد و در کاهش سطح سفره آب مؤثر است به صورت فایل ماتریسی به نرم افزار وارد شد. موقعیت این چاهها در کل دشت در شکل ۸ نمایش داده شده است که شامل چاههای بهره برداری سطحی در کل منطقه (۴۲۵ حلقه چاه) و چاههای پمپاژ

دارای مقادیر متفاوتی هستند، لذا منطقه مورد نظر بر اساس بافت آن به چندین ناحیه برای تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی آبدی ویژه تقسیم شد. با اجرای متوالی مدل به ازای مقادیر مختلفی از این ضرایب، واسنجی مدل انجام شد به گونه‌ای که بهترین تطابق تراز سطح ایستابی مشاهداتی و محاسباتی در چاههای مورد نظر به دست آید. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب ناحیه بندی هدایت هیدرولیکی و آبدی ویژه آبخوان را پس از واسنجی مدل نشان می‌دهند.



شکل ۱۲- ناحیه بندی هدایت هیدرولیکی (m/d) در دشت پس از واسنجی



شکل ۱۳- نمودار ناحیه بندی آبدی ویژه پس از واسنجی مدل

برازش مقادیر تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی پس از انجام واسنجی در شکل ۱۴ آمده است. همان‌طور که از مقایسه شکل‌های ۱۱ و ۱۴ ملاحظه می‌شود انجام واسنجی باعث نزدیک‌تر شدن تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی به یکدیگر شده به طوری که واریانس به حدود ۳ متر مربع کاهش یافته است.

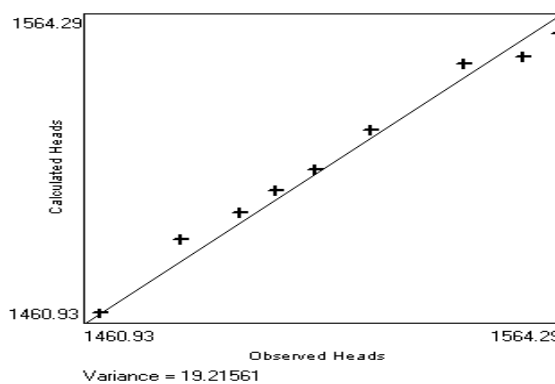
محاسبات را شروع می‌کند. با توجه به اینکه شبیه‌سازی مدل در سال ۱۳۸۳ آغاز می‌شود، آمار سطح ایستابی مربوط به فروردین سال ۱۳۸۳ به عنوان شرایط اولیه غیرماندگار در اختیار مدل قرار گرفت. شکل ۱۰ تراز سطح ایستابی اولیه مربوط به فروردین سال ۱۳۸۳ در سلولهای مدل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رود سطح ایستابی، جهت عمومی جریان غرب به شرق آب زیرزمینی در دشت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- تراز سطح ایستابی اولیه مربوط به فروردین ماه سال ۸۳

۴- واسنجی مدل

نتایج حاصل از اولین اجرای مدل (قبل از واسنجی) به عنوان تراز ایستابی محاسباتی در شکل ۱۱ با تراز ایستابی مشاهداتی در چاه ۹ مقایسه شد. همان‌گونه که مشخص است مقادیر محاسباتی در اغلب چاهها از مقادیر مشاهداتی بالاتر هستند و واریانس به دست آمده از ۱۹ متر مربع بیشتر است.



شکل ۱۱- برازش مقادیر تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی قبل از واسنجی

از آنجا که ضرایب هیدرودینامیک آبخوان با توجه به بافت زمین‌شناسی منطقه و غیرهمگن بودن آبخوان در نقاط مختلف دشت

پایان اجرای زهکش و در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی گردید. سناریوهای در نظر گرفته شده در این مورد به صورت زیر بودند:

حالت اول: با توجه به توسعه شهر در منطقه کفترک و تبدیل زمین‌های کشاورزی به مسکونی، در این حالت چاههای برداشت آب کشاورزی در محدوده کفترک خاموش شده و وضعیت آب زیرزمینی دشت با و بدون زهکش بررسی گردید.

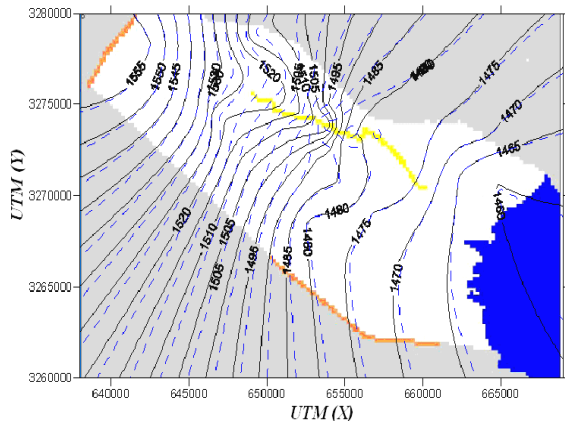
حالت دوم: در این حالت نتایج مدل با زهکش و بدون زهکش در نظر گرفته شد.

حالت سوم: عملکرد زهکش‌ها و وضعیت سطح آب زیرزمینی در حالت خشکسالی بررسی شد.

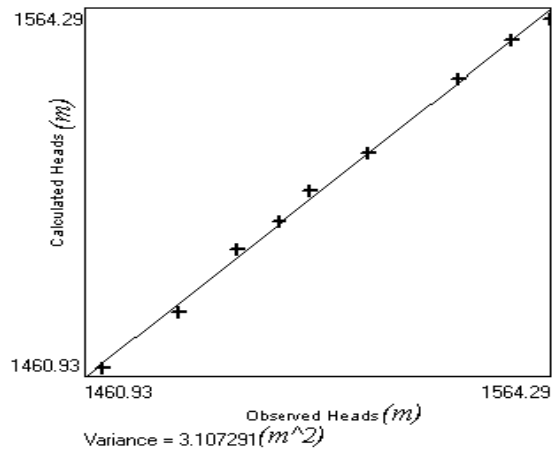
حالت چهارم: عملکرد زهکش‌ها و وضعیت سطح آب زیرزمینی در پایان اجرای زهکش در حالت ترسالی بررسی شد.

۶-۱- نتایج حاصل از حالت اول

در شکل ۱۶ مقایسه سطح ایستابی در آبخوان دشت شیراز با و بدون احداث زهکش ترسیم شده است. به طور مشخص با اجرای زهکش، سطح آب در تمامی دشت به شدت کاهش یافته و تنها در گوشه‌ای از دشت که چاههای برداشت محدوده کفترک بوده و خاموش شده‌اند کمی افزایش نشان می‌دهد. به منظور تعیین میزان افت در سطح ایستابی، خطوط هم‌کاهش سطح آب در شکل ۱۷ آمده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد بیشترین میزان کاهش در ناحیه شمالی (قسمت ابتدای زهکش) به میزان حدود ۱۰ متر اتفاق می‌افتد و در قسمت انتهایی زهکش و در نزدیک دریاچه مهارلو مقدار افت بسیار کم (حدود نیم متر) است. به نظر می‌رسد علت این موضوع تغییر بافت خاک و ریزدانه شدن آن از غرب به شرق است که با کاهش هدایت هیدرولیکی شعاع تأثیر زهکش را



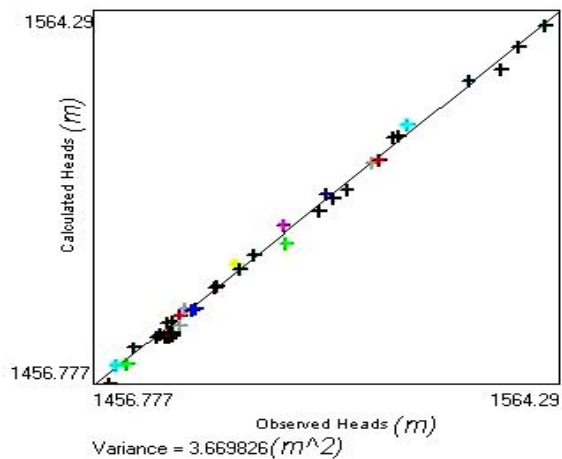
شکل ۱۶- مقایسه سطح ایستابی در آبخوان دشت شیراز با زهکش (خط پر) و بدون زهکش (خط چین)



شکل ۱۴- برازش مقادیر تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی

۵- صحت سنجی

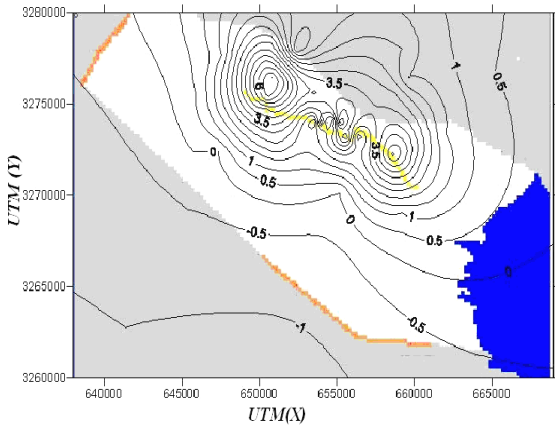
از اطلاعات مربوط به سالهای شهریور ۸۵ تا شهریور ۸۶ به منظور صحت‌سنجی استفاده شد. استرس‌های وارد بر آبخوان مثل رویه قبل در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی در شکل ۱۵ ارائه شده است که نشان دهنده برازش خوب بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی است.



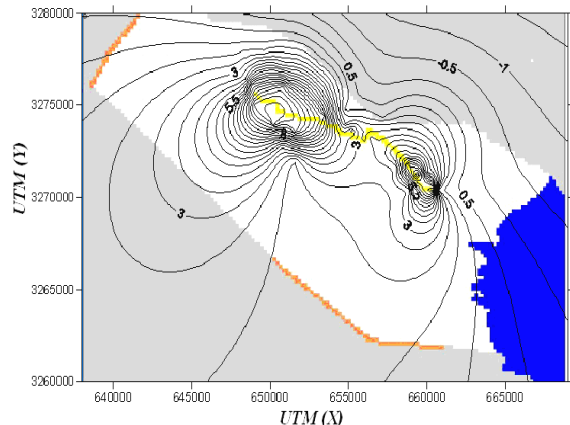
شکل ۱۵- نمودار برازش مقادیر سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی پس از صحت‌سنجی (برای کل بازه زمانی)

۶- نتایج عملکرد سیستم زهکش

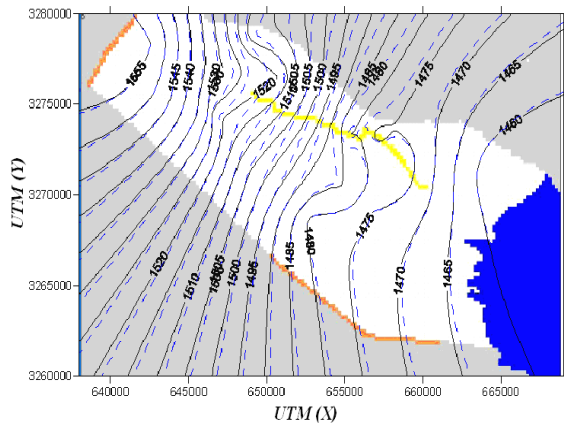
پس از انجام واسنجی و صحت‌سنجی مدل و تعیین کلیه پارامترهای مورد نیاز، وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت شیراز در



شکل ۱۸- خطوط هم کاهش سطح آب زیرزمینی پس از اجرای زهکش خاتون در حالت دوم



شکل ۱۷- خطوط هم کاهش سطح آب زیرزمینی پس از اجرای زهکش در حالت اول



شکل ۱۹- مقایسه سطح ایستابی با زهکش (خط توپر) و بدون زهکش (خط چین) در حالت دوم

کمتر است که با توجه به کاهش ورودی (بارندگی)، منطقی به نظر می‌رسد. در این حالت کاهش سطح آب در حاشیه دریاچه مهارلو نیز مشهود است.

۴-۶- نتایج مدل در حالت چهارم (ترسالی)

شکل ۲۱ خطوط هم‌کاهش سطح آب زیرزمینی پس از اجرای زهکش را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود سطح آب در محل زهکش تا حدود ۱۰ متر پایین می‌افتد ولی در نواحی جنوبی و نزدیک دریاچه مهارلو و نواحی شمال غربی افزایش سطح آب تا حدود ۲ متر مشاهده می‌شود. این افزایش تراز آب با توجه به افزایش ورودی آب به آبخوان در ترسالی توجیه‌پذیر بوده و لزوم اجرای سایر خطوط شبکه زهکش شهر را نیز به‌خوبی نمایان می‌سازد. بیلان آب در حالات مختلف و میزان خروجی آب از

نیز کم می‌کند. علاوه بر این، نزدیک شدن تراز مسیر عبور زهکش به سطح زمین هم در کاهش مقدار افت در شرق دشت مؤثر بوده است. لذا در مجموع، با اجرای زهکش در حالتی که چاههای برداشت کمتر خاموش شوند حدود ۱۰ متر افت سطح ایستابی در ابتدا و حدود نیم متر در انتهای مسیر زهکش پیش‌بینی می‌شود.

۶-۲- نتایج حاصل از حالت دوم

در شکل ۱۸ خطوط هم‌کاهش سطح آب زیرزمینی پس از اجرای کامل زهکش خاتون و در شکل ۱۹ سطح ایستابی در آبخوان دشت شیراز با زهکش و بدون آن نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سطح آب زیرزمینی در بیشتر مناطق دشت پایین می‌افتد. کاهش سطح آب در اطراف زهکش بیشتر (تا حدود ۶ متر) است. در مجموع، افت تراز آب در این حالت از افت در حالت اول کمتر است که با توجه به کمتر شدن ورودی فاضلاب برگشتی به آبخوان در حالت دوم، منطقی به نظر می‌رسد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد همزمان زهکش و شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری شیراز نه تنها با یکدیگر تداخل نداشته بلکه طرحهای مذکور مکمل یکدیگر نیز خواهند بود. به نظر می‌رسد افزایش اندک (حدود نیم متری) سطح آب زیرزمینی در مناطق جنوبی دشت به علت ورود آب از مرز جنوبی به دشت باشد که به دنبال کاهش کلی تراز آب در دشت صورت می‌پذیرد.

۶-۳- نتایج مدل در حالت سوم (خشکسالی)

شکل ۲۰ خطوط هم‌کاهش سطح آب زیرزمینی پس از اجرای زهکش در حالت خشکسالی را نشان می‌دهد. در این حالت کاهش تراز سطح آب (تا حدود ۴ متر) و کاهش دبی عبوری از زهکش مشاهده می‌شود. این افت بار کل هیدرولیکی در دشت از حالت دوم

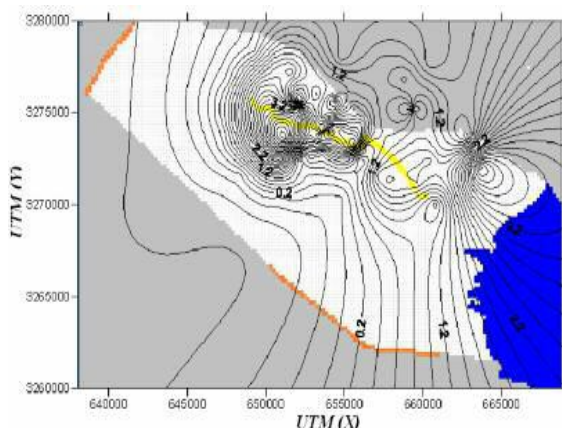
بررسی و مقایسه گردید. این مقایسه در سناریوهای مختلف در جدول ۶ آمده است.

عملکرد خوب زهکش‌ها در افزونی دبی زهکشی شده در مقایسه با ورودی و خروجی از دشت در تمام سناریوها مشخص است. همان‌گونه که انتظار می‌رود مقایسه سناریوها با یکدیگر نشان می‌دهد که در حالت خشکسالی (سناریوی ۳) کمترین دبی‌های ورودی و خروجی و زهکشی شده و در حالت ترسالی (سناریوی ۴) بیشترین دبی‌ها مشاهده شد. نکته قابل توجه در حالت ترسالی (سناریوی ۴) معکوس شدن جهت جریان در مرز غربی دشت است که خروج اندکی آب از آن مرز را به علت افزایش تراز آب زیرزمینی دشت نشان می‌دهد. این موضوع با بالا آمدن سطح ایستابی در این سناریو نیز هماهنگی دارد (شکل ۲۱). قابل ذکر است که مقدار دبی عبوری از زهکش خاتون که توسط مهندسین مشاور طرح پیش‌بینی شده ۸۶۴۰۰ مترمکعب در روز بوده است [۲۰]. البته در این محاسبه، زهکش اصلی خاتون به همراه تمامی زهکش‌های فرعی متصل به آن مورد بررسی بوده‌اند و لذا با توجه به مقادیر بالا که توسط مدل محاسبه شده است، نتیجه‌گیری می‌شود که بدون اجرای شبکه‌های فرعی، مقدار دبی زهکشی شده از نصف برآورد طراح نیز کمتر خواهد بود.

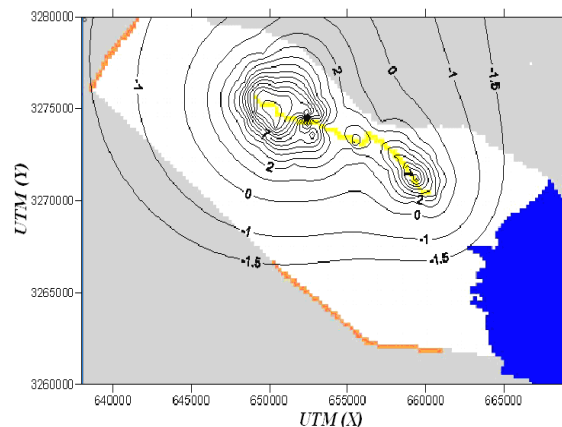
۸- نتیجه‌گیری

مدل جریان هیدرولیکی آب زیرزمینی دشت شیراز با زهکش‌های آن در محیط PMWIN صورت گرفت. پس از انجام واسنجی و صحت‌سنجی مدل و تعیین کلیه پارامترهای مورد نیاز، وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت در پایان اجرای زهکش و در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی گردید. بررسی نتایج حاصل از مدل، نشان دهنده عملکرد خوب زهکش‌ها بود که در افزونی دبی زهکشی شده در مقایسه با ورودی و خروجی

از دشت در تمام سناریوها خود را نشان داد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت در حالت خشکسالی (سناریوی ۳) کمترین دبی‌های ورودی و خروجی و زهکشی شده از دشت وجود داشت و در حالت ترسالی (سناریوی ۴) بیشترین دبی‌ها مشاهده شد. برای آنکه بتوان



شکل ۲۰- خطوط هم‌کاهش سطح آب زیرزمینی پس از اجرای زهکش در حالت سوم (خشکسالی)



شکل ۲۱- خطوط هم‌کاهش سطح آب زیرزمینی پس از اجرای زهکش در حالت چهارم (ترسالی)

زهکش‌ها می‌تواند به ارزیابی بیشتر رفتار هیدرولیکی آب زیرزمینی دشت در حالات مختلف کمک نماید.

۷- بیان آبی در منطقه مورد مطالعه

با استفاده از بیان آبی در منطقه، میزان آب زیرزمینی ورودی و خروجی به دشت از مرزها و دبی زهکشی شده در حالات مختلف

جدول ۶- میزان ورودی و خروجی از مرزها در سناریوهای مختلف (متر مکعب در روز)

سناریو	ورودی از مرز غربی	خروجی به دشت قره باغ	خروجی به دریاچه مهارلو	دبی خروجی از زهکش
۱- خاموشی چاههای کفترک	۱۳۵۷	-۲۵۳۲	-۲۳۵۸	۳۳۱۱۷
۲- اجرای شبکه فاضلاب	۱۳۵۶	-۱۸۰۰	-۳۸۵۸	۳۱۸۰۰
۳- خشکسالی	۴۰۶	-۱۰۰۰	-۱۳۶۰	۲۹۷۴۸
۴- ترسالی	-۸۰	-۵۷۶۱	-۶۲۹۷	۳۳۵۱۰

سطح آب زیرزمینی را تا عمق مورد نظر طراح، پایین انداخت
مقدار دبی زهکشی شده از نصف برآورد طراح نیز کمتر خواهد
باید خطوط فرعی زهکش نیز اجرا شوند که در غیر این صورت
بود.

۹- مراجع

- 1- Bakker, M. (1999). "Simulating groundwater flow in multi-aquifer systems with analytical and numerical Dupuit models." *J. of Hydrology*, 222, 55-64.
- 2- Anderson, E.I. (2005). "Modeling groundwater-surface water interactions using Dupuit approximation." *J. of Advances in Water Resources*, 28, 315-327.
- 3- Knowles, I., and Yan, A. (2007). "The reconstruction of groundwater parameters from head in an unconfined aquifer." *J. of Computational and Applied Mathematics*, 208, 72-81.
- 4- Mukhopadhyay, A., Al-Sulaimi, J., and Barrat, M. J. (1994). "Numerical modeling of groundwater resource management options in Kuwait." *Groundwater*, 32(6), 917-928.
- 5- Ramireddygari, S. R., Sophocleous, M. A., Koelliker, J. K., Perkins, S. P., and Govindaraju, R. S. (2000). "Development and application of a comprehensive simulation model to evaluate impacts of watershed structures and irrigation water use on stream flow and groundwater: The case of wet walnut Creek watershed, Kansas, USA." *J. of Hydrology*, 236 (3), 223-246.
- 6- Rezaei, H., and Mousavi, S.A. (2003). "Study of Bajgah plain groundwater situation using the finitedifference there dimensional modular Modflow model." *Proc. of the Second National Student Conf. on Water and Soil Resources*, Shiraz University, 907-916. (In Persian)
- 7- Kamali, G. (2003) "Investigating caases of groundwater uplift in urban aeras and its adverse environmental consequences (with due attention to shiraz Plain)." *Proc. of the 8th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction*, Shahid Bahonar University, Kerman. (In Persian)
- 8- Jiao, J. J., and Leaner, D. N. (1996). "Using sensitivity analysis to assist parameter zonation in groundwater flow model." *Water Resources Bulletin*, 32(1), 75-78.
- 9- Osman, Y. Z., and Bruen, M. P. (2002). "Modeling stream-aquifer seepage in an alluvial aquifer: An improved loosing- stream package for MODFLOW." *J. of Hydrology*, 264, 69-86.
- 10- Johannes, H. A. (2004). "Modeling water balance in Rio Turbio aquifer, Mexico." M.Sc. Thesis, Wagenin Gen University Mexico.
- 11- Samani, N., Kompani-Zare, M., and Barry, D. A. (2004). "MODFLOW equipped with a new method for the accurate simulation of axisymmetric flow." *J. of Advances in Water Resources*, 27, 31- 45.
- 12- Rodriguez, L. B., Cello, P. A., Vionnet, C. A., and Goodrich, D. (2008). "Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin." *J. of Hydrology*, 353, 129-142.
- 13- Rosemary, W. H. C., Greg, M. P., Earman, S., and Ronald, L. H. (2008). "A comparison of groundwater fluxes computed with MODFLOW and a Mixing model using Deuterium: Application to the eastern Nevada test site and vicinity." *J. of Hydrology*, 361, 371- 385.
- 14- Rahimi, A., and Sedehi, M. (2005). "Predication of groundwater level changes in the plain of hamedan-Bahar using time series model." *J. of Water and Wastewater*, 51, 42-49. (In Persian)
- 15- Alkhamis, R., Kariminasab, S., and Aryana, F. (2007). "Investigating the effect of land subsidence due to groundwater discharges on well casing damage." *J. of Water and Wastewater*, 60, 77-87. (In Persian)
- 16- Safari, H., Afshar, A., Ghaheri, A., Abrishamchi, A., and Tajrishi, M. (2007). "A quality- quantity simulation model for stream-aquifer interaction." *J. of Water and Wastewater*, 61, 2-14. (In Persian)
- 17- Asghari Moghadam, A., Nourani, V., and Kord, M. (2009). "Using genetic algorithm of estimate hydraulic parameters of unconfined aquifers." *J. of Water and Wastewater*, 69, 73-79. (In Persian)

- 18- Fars Regional Water Organization. (1996). *Reports on Shiraz plain, studies*, Shiraz. (In Persian)
- 19- Tehran, K., and Nabavi, H. (1985). *Brochures for stratigraphic geology and Zagros geological reports*, Iran Surveying Organization, Tehran. (In Persian)
- 20- Parab Consulting Eng. Co. (1993). *Feasibility studies on water table drawdown in southeastern Shiraz and its transfer to Sarvestan Plain, Vol. 3*, Shiraz. (In Persian)