

ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های ساوه و اراک)

مهدی محمدی قلعه‌نی^{1*}، کیومرث ابراهیمی² و شهاب عراقی‌نژاد²

تاریخ دریافت: 89/7/21 تاریخ پذیرش: 89/10/8

1- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران

2- استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبه Email: m.mghaleni@gmail.com

چکیده

در تحقیق حاضر دو آبخوان ساوه و اراک به منظور بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در شرایط متفاوت اقلیمی انتخاب شدند. از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی در جهت ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی تراز و کیفیت آب زیرزمینی استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طی 7 سال در 57 حلقه چاه محدوده دشت اراک برابر با 3/38 متر و در 63 حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان ساوه برابر 10/19 متر بوده است. همچنین افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی در منطقه ساوه قبل از بهره‌برداری از سد ساوه برای دوره 1373-1366 برابر 0/98 متر و در سال‌های بعد از بهره‌برداری، 1374-1387 معادل 1/47 متر بدست آمد. از لحاظ طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس روش ویل‌کاکس جهت مصارف کشاورزی، آبخوان ساوه به چهار دسته و آبخوان اراک به سه دسته طبقه‌بندی شدند. به طوریکه حدود 16 درصد از کل مساحت محدوده ساوه در کلاس C₄-S₂، 46 درصد در کلاس C₄-S₁، 30 درصد در کلاس C₃-S₁ و 8 درصد در کلاس C₂-S₁ قرار گرفت. در مورد آبخوان اراک از کل مساحت محدوده مورد مطالعه 42 درصد در کلاس C₄-S₁، 56 درصد در کلاس C₃-S₁ و 2 درصد در کلاس C₂-S₁ قرار گرفت. در بررسی اثرات فصول تر و خشک و نیز عمق آب زیرزمینی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان‌های ساوه و اراک، مشخص شد که کیفیت آب زیرزمینی در فصول تر نسبت به فصول خشک و در چاه‌های با عمق کمتر نامطلوب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، اراک، تغییرات مکانی و زمانی، ساوه، سیستم اطلاعات جغرافیایی

Groundwater Quantity and Quality Evaluation: A Case Study for Saveh and Arak Aquifers

M Mohammadi Ghaleni^{1*}, K Ebrahimi² and Sh Araghinejad²

Received: 13 October 2010 Accepted: 29 December 2010

¹Former MSc Student, Dept. of Water Resour. Engin., University of Tehran, Iran

²Assoc. Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation Engin., University of Tehran, Iran

* Corresponding author: Email: m.mghaleni@gmail.com

Abstract

The current research was conducted, to evaluate groundwater quantity and quality in two aquifers of Saveh and Arak plains, IRAN. Geographic information system software, (version 9.2) was used for studies of spatially and temporally changes in the groundwater level fluctuations and their quality analysis. Results showed that the average drop of groundwater levels during 7 years in 57 wells at Arak plain was 3.38 and in 63 wells at Saveh plain was 10.19 meters. Annual average drop in groundwater level at the same area before construction of Saveh reservoir dam (1987-1994) was 0.98 meters, which increased to 1.47 meters after the reser voir construction (1995-2008). According to Wilcox method, several water qualities were recognized in both regions. In Saveh plain four classes of C₄-S₂, C₄-S₁, C₃-S₁ and C₂-S₁ made up, respectively, 16, 46, 30 and 16 percent of the ground water in the rogion. The C₄-S₁, C₃-S₁ and C₂-S₁ classes made up, respectively, 42, 56 and 2 percent of the whole ground water in the area. Regarding to the effects of wet and dry seasons, it was found that the water quality during wet seasons specially in deeper wells became better than during dry seasons.

Keywords: Aquifer, Arak plain, Geographic information system, Saveh plain, Spatially and temporally changes

مقدمه

زیرزمینی نقش عمده‌ای در تغییرات کمی و کیفی
آبخوان‌ها دارد (احمدی و صدق‌آمیز 2007).
نتایج تحقیق اشمیت و شرمن (1987) در ایالت
کالیفرنیا اثر اساسی نفوذ عمقی را روی کیفیت آب
زیرزمینی نشان دادند. آنان گزارش کردند که، غلظت
بالای نیترات در زیر نواحی فاریاب عمدتاً در اثر آبیاری

در کشور ایران، منابع آب زیرزمینی به عنوان
یکی از مهمترین منابع تأمین آب مورد نیاز برای بخش-
های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی
برخوردار می‌باشد. کشاورزی با اختصاص سهم 95
درصدی و برداشت بیش از 80 درصد آن از منابع آب

رواناب سطحی، در روش آبیاری نواری نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای از دیگر نتایج این تحقیق بود. احمدی و همکاران صدق‌آمیز (2007) تغییرات زمانی و مکانی نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی را در 39 چاه پیزومتری در طول 12 سال (1993-2004) بررسی کردند. بطور متوسط حدود تغییرنا برای آنالیز مکانی و زمانی به ترتیب 9/7 کیلومتر و 7/2 ماه مشخص شد. نورانی و همکاران (2008) تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی را در دشت تبریز با استفاده از شبکه عصبی انجام دادند. آنان از 6 نوع معماری و الگوریتم آموزشی در تعیین بهترین ساختار شبکه عصبی جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی پس‌خور با الگوریتم آموزشی لوبنبرگ-مارکوارت بهترین پیش‌بینی‌ها را در بین انواع شبکه‌ها انجام می‌دهد. رزاق‌منش و همکاران (1385) به منظور بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز از مدل‌های PMWIN و MT3D استفاده کردند. در انجام این مطالعه، منطقه مورد بررسی به چهار واحد آبیاری تقسیم شد. نتایج تحقیق آنان نشان دادند که سطح آب زیرزمینی در ناحیه آبیاری شماره 2 در طول 16 سال آینده 2/6 متر نزول خواهد داشت. نتایج تحقیق آنان بیانگر این مطلب بود که افزایش برداشت در طولانی مدت باعث افت سطح ایستابی تا حدود 5 متر خواهد شد و میزان شوری آب زیرزمینی در دراز مدت افزایش پیدا خواهد کرد. چیت‌سازان و همکاران (1388) به بررسی تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب-های زیرزمینی دشت خویس در شمال خوزستان پرداختند. آنان جهت تحلیل زمانی از هیدروگراف واحد دشت و جهت تحلیل مکانی از سامانه اطلاعات جغرافیایی و جهت بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی از کموگراف دشت استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان مؤید تأثیر خشکسالی اخیر روی نزول سطح آب زیرزمینی و

بوده است، بعلاوه آلودگی گسترده در آب‌های زیرزمینی کم عمق دشت سن جوگین در اثر استفاده از آفت کش بوده است. هوستون در سال 1977 گزارش کرد که بیش از 70 درصد از 300 هزار کیلومتر مربع زمین‌های تحت آبیاری در کشورهای مصر، ایران، عراق و پاکستان از لحاظ شوری و زهدار شدن تحت خطر جدی قرار گرفته‌اند. داکس و ایونس (2006) تحقیقی را در مورد اثرات کشاورزی بر روی کیفیت آب سطحی رودخانه نوز در میانه دشت ساحلی کارولینای شمالی انجام دادند. نتایج نشان داد که غلظت مواد مغذی و رسوبات در طول مسیر جریان در زمین‌های کشاورزی افزایش پیدا کرده بود. دمیر و همکاران (2009) تغییرات مکانی عمق و شوری آب زیرزمینی مناطق کشاورزی در شمال ترکیه را بررسی کردند. آنان در این تحقیق از داده‌های ماهانه یک سال 2003 تا 2004 در 60 چاه مشاهداتی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان حاکی از این بود که قسمت شرقی محدوده مورد مطالعه که دارای زهکشی ضعیفی است، دارای بیشترین خطر برای شوری می‌باشد.

عزیزی (1382) به منظور بررسی ارتباط بین ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین از داده‌های بارش و آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که خشکسالی در آب‌های زیرزمینی با دو الی سه ماه تأخیر نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی بروز می‌کند. شیرافروس (1384) در تحقیقی به بررسی اثرات کشاورزی و روش‌های آبیاری و زهکشی بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در دشت قزوین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت نیترات در نقاط مورد مطالعه بالاتر و غلظت فسفر و پتاسیم پایین‌تر از حد استاندارد سازمان محیط زیست جهانی است. عدم تهدید آب‌های زیرزمینی منطقه از ناحیه آفت‌کشهای شیمیایی و بیشتر بودن میزان انتقال نیترات و فسفر در

خاک (ظرفیت تبادل یونی، مواد آلی، ساختار شیمیایی)، داده‌های سطح زمین (نوع کشت، نحوه انتقال آب، مصارف کودها و آفت‌کش‌ها، مناطق تخلیه و تغذیه) از مهم‌ترین داده‌های لازم برای بررسی اثرات کشاورزی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد (سونان و همکاران، 1987).

در تحقیق حاضر به منظور مقایسه تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در مناطق دارا و فاقد شبکه‌های آبیاری و زهکشی دو آبخوان اراک و ساوه انتخاب شده است. دشت ساوه با داشتن شبکه آبیاری و زهکشی ساوه از جمله حاصلخیزترین دشت‌های کشور می‌باشد. دشت اراک با وجود اهمیت کشاورزی در منطقه فاقد شبکه آبیاری و زهکشی است.

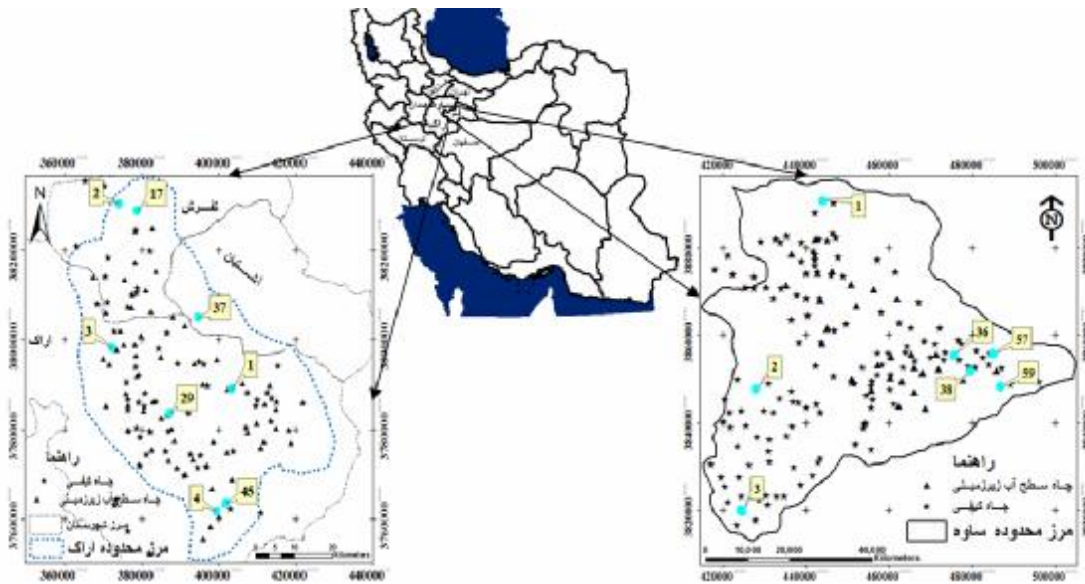
مواد و روش‌ها

موقعیت محدوده‌های مطالعاتی

محدوده‌های مطالعاتی در تحقیق حاضر، آبخوان اراک و ساوه، در استان مرکزی قرار دارند. در شکل 1 موقعیت محدوده‌های مطالعاتی در نقشه کشوری به همراه چاه‌های اندازه‌گیری سطح و کیفیت آب زیرزمینی در دو محدوده مطالعاتی به ترتیب با علامت ستاره و مثلث مشخص شده است.

در محدوده مطالعاتی اراک 4 حلقه چاه دارای سطح آب زیرزمینی و 4 حلقه چاه کیفی و در آبخوان ساوه نیز 4 حلقه چاه دارای سطح آب زیرزمینی و 6 حلقه چاه کیفی به منظور بررسی با شماره مشخص شده است. خلاصه‌ای از مشخصات و موقعیت دو محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر در جدول 1 ارائه شده است.

پایین آمدن کیفیت آبخوان مورد مطالعه بود. محمدی و همکاران (1388) تأثیر سد بارزو را روی آبخوان دشت شیروان را به کمک تغییرات سطح آب در نقاط مختلف دشت و نتایج آنالیز شیمیایی بررسی کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که بخش مرکزی آبخوان که تحت تأثیر شبکه آبیاری سد می‌باشد از لحاظ کیفی و کمی در وضعیت بهتری نسبت به بخش‌های غربی و شرقی آبخوان قرار دارد. فتاحی (1388) به بررسی روند بیابان‌زایی در استان قم با استفاده از داده‌های هیدرومتری و هواشناسی پرداخت. نتایج تحقیق آنان نشان داد که میزان افت سطح آب زیرزمینی در دشت قم تا قبل از احداث سد 15 خرداد به طور متوسط حدود 0/5 متر در سال بوده که بعد از احداث سد یادشده، به طور متوسط به 1/4 متر در سال افزایش یافت. به‌علاوه بیلان آب زیرزمینی نیز کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. اکبری و همکاران (1388) افت سطح آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت مشهد را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند. به منظور انجام این پژوهش، آمار 70 حلقه چاه مشاهده‌ای در طی 2 دوره 10 ساله (76-1366 و 87-1377) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق آنان نشان داد که سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی و غربی آبخوان تا 30 متر افت داشته است یعنی بطور متوسط هر ساله 60 سانتی‌متر سطح آب افت داشته است. تخریب اراضی تحت آبیاری، کیفیت پایین آب برگشتی و آب نفوذ عمقی، تخلیه و کاهش کیفیت آب زیرزمینی و تخریب شرایط زیست بومی از مهمترین پیامدهای زیست محیطی ناشی از سیستم‌های آبیاری و زهکشی است (فائو 1995). خصوصیات کمی و کیفی منابع آبی (بارش ورودی، خروجی و ذخیره آب‌های سطحی و زیرزمینی)، خصوصیات آبخوان (خصوصیات هیدرودینامیکی، ظرفیت تبادل یونی و شیمیایی، ضرایب اختلاط و انتشار، حجم و زمان نگهداشت)، خصوصیات



شکل 1- محدوده‌های مورد مطالعه ساوه و اراک به همراه موقعیت چاه‌های مشاهداتی

جدول 1- خلاصه‌ای از مشخصات محدوده‌های مطالعاتی اراک و ساوه (سازمان هواشناسی کشور)

عنوان محدوده	ساره	اراک
موقعیت جغرافیایی	طول شرقی: 50-51 درجه	49-50 درجه
	عرض شمالی: 34-35 درجه	34-35 درجه
ارتفاع از سطح دریا (متر)	1100	1700
مساحت (کیلومتر مربع)	1000	3400
متوسط بارندگی (میلیمتر)	202/2	320/2
متوسط دما (سانتی‌گراد)	18/2	13/8
متوسط رطوبت (درصد)	39	46
اقلیم (طبقه‌بندی دمارتن)	خشک	نیمه خشک

شرایط بحرانی‌تری نسبت به آبخوان اراک به سر می‌برد اگرچه، از لحاظ بهره‌برداری هر دو آبخوان در وضعیت ممنوعه می‌باشند. مشخصات آبخوان‌های ساوه و اراک در جدول 2 آورده شده است.

با توجه به جدول 1 محدوده اراک دارای میانگین بارش و رطوبت بیشتر و دمای کمتر نسبت به محدوده ساوه می‌باشد که، باعث ایجاد شرایط اقلیمی مساعدتری در منطقه اراک شده است. آبخوان محدوده ساوه نیز در

جدول 2- مشخصات آبخوان ساوه و اراک (دفتر مطالعات پایه منابع آب، سال آبی 87-1386)

عنوان	آبخوان ساوه	آبخوان اراک
نوع آبخوان	محصور و نیمه محصور	نا محصور
وسعت دشت (کیلومتر مربع)	2515/7	3392/7
وضعیت بهره‌برداری	ممنوعه	ممنوعه
تعداد چاههای عمیق	663	1458
تعداد چاههای نیمه عمیق	258	1554
تخلیه کل (میلیون متر مکعب)	237/44	702/35
مصرف شرب (میلیون متر مکعب)	25/735	76/424
مصرف کشاورزی (میلیون متر مکعب)	205/012	612/390
مصرف صنعت (میلیون متر مکعب)	6/691	13/534
متوسط عمق برخورد به آب (متر)	40	27
متوسط سالانه افت سطح آب (متر)	1/20	0/46
متوسط ضریب ذخیره (درصد)	0/03	0/03
وسعت آبخوان (کیلومتر مربع)	1263	1946

طی سال‌های 1366 تا 1387 و داده‌های کیفی 160 حلقه چاه عمیق طی سال‌های 1381 تا 1387 استفاده شده است. خلاصه‌ای از مشخصات آماری داده‌های کیفی آبخوان‌های ساوه و اراک در جدول 3 آورده شده است.

در جدول 3 هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر، بقیه پارامترها به جز SAR بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند. همانطور که در این جدول مشخص است غلظت عناصر آب زیرزمینی در آبخوان ساوه مخصوصاً هدایت الکتریکی و کل مواد محلول، نسبت به آبخوان اراک بیشتر می‌باشد که این حاکی از وضعیت نامطلوب‌تر کیفیت آب زیرزمینی ساوه نسبت به اراک دارد. در تحقیق حاضر به منظور تهیه نقشه‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی محدوده‌های مورد مطالعه از نرم‌افزار GIS نسخه 9.3 استفاده شده است. تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در هر آبخوان به طور جداگانه بررسی و با هم مقایسه شدند. نقشه کیفیت آب زیرزمینی جهت مصرف کشاورزی در دو آبخوان ساوه و اراک تهیه و بررسی شده است. همچنین در

همانطور که در جدول 2 مشخص است میزان تخلیه از آبخوان اراک حدود 3 برابر آبخوان ساوه می‌باشد اما، متوسط افت سالانه در آبخوان اراک کمتر از نصف افت در آبخوان ساوه است. علاوه بر مقدار برداشت از آبخوان، مشخصات و میزان تغذیه آبخوان نیز از عوامل موثر در میزان افت می‌باشند. نوع آبخوان اراک نامحصور می‌باشد و میزان بارش در منطقه اراک حدود 320/2 میلیمتر در سال است در حالی که نوع آبخوان ساوه محصور و نیمه محصور می‌باشد و متوسط بارش سالانه در این منطقه 202/2 میلیمتر است. در نتیجه تغذیه آبخوان اراک به علت نامحصور بودن و بارش بیشتر از آبخوان ساوه بیشتر می‌باشد که این مطلب باعث افت بیشتر سطح آب زیرزمینی در آبخوان ساوه نسبت به آبخوان اراک شده است. در تحقیق حاضر از داده‌های ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی 57 حلقه چاه مشاهداتی و همچنین داده‌های کیفی آب زیرزمینی 71 حلقه چاه مشاهداتی در آبخوان اراک طی سال‌های 1381 تا 1387 و در محدوده مطالعاتی ساوه از داده‌های ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی 63 حلقه چاه

جدول 3- خلاصه آماری داده‌های کیفی آب زیرزمینی آبخوان‌های ساوه و اراک (1381-1387)

محدوده مطالعاتی اراک				محدوده مطالعاتی ساوه				متغیر	واحد
میانگین	کمینه	بیشینه	تعداد	میانگین	کمینه	بیشینه	تعداد		
504/89	120	2729/5	798	734/14	13/30	4823/50	2394	میلی گرم بر لیتر	سختی کل (TH)
3/49	0/14	14/12	798	5/76	0/28	37/57	2191	-	نسبت جذبی سدیم (SAR)
0/07	0/01	0/70	798	0/11	0/01	1/53	1780	میلی گرم بر لیتر	پتاسیم (K)
8/69	0/18	64	798	16/98	0/3	97/25	2191	میلی گرم بر لیتر	سدیم (Na)
4/58	0/54	24/90	798	6/27	0/25	44/72	2191	میلی گرم بر لیتر	منیزیم (Mg)
5/51	1/05	29/69	798	8/14	0/40	51/75	2191	میلی گرم بر لیتر	کلسیم (Ca)
9/02	0/20	73/5	798	14/28	0/08	56/00	2192	میلی گرم بر لیتر	سولفات (SO ₄)
5/69	0/28	37/35	798	14/10	0/12	119/22	2191	میلی گرم بر لیتر	کلر (Cl)
4/37	1/10	31/04	798	3/10	0/09	11/84	2191	میلی گرم بر لیتر	بی‌کربنات (HCO ₃)
8/02	6/69	8/6	798	8/01	6/82	8/9	2191	-	اسیدیته (pH)
1047/4	129	6470	798	1948/6	7/3	12140	2184	میلی گرم بر لیتر	کل املاح محلول (TDS)
1984/8	303	10525	798	3100/6	180/0	16660/0	2191	میکروموس بر سانتیمتر	هدایت الکتریکی (EC)

مسئله قم شده و به دریاچه قم می‌ریزد. از آنجا که قسمت شرقی دشت ساوه محل خروج آبهای سطحی از این محدوده است، عمق آب زیرزمینی در این قسمت کمتر از قسمت غربی آن می‌باشد. همانطور که در شکل 2 مشخص است عمق سطح آب زیرزمینی محدوده اراک در قسمت مرکزی آن کمتر از سایر نقاط آن می‌باشد. که این به ارتفاع کمتر مرکز دشت نسبت به محدوده اطراف دشت اراک مربوط می‌شود.

تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی در محدوده- های مطالعاتی

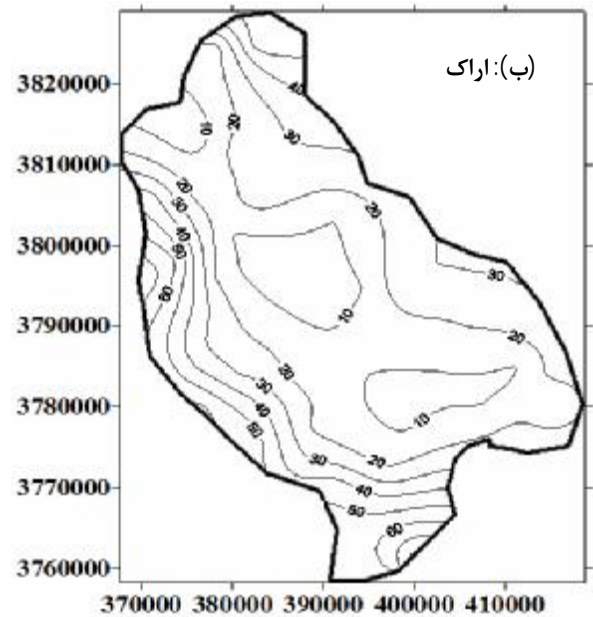
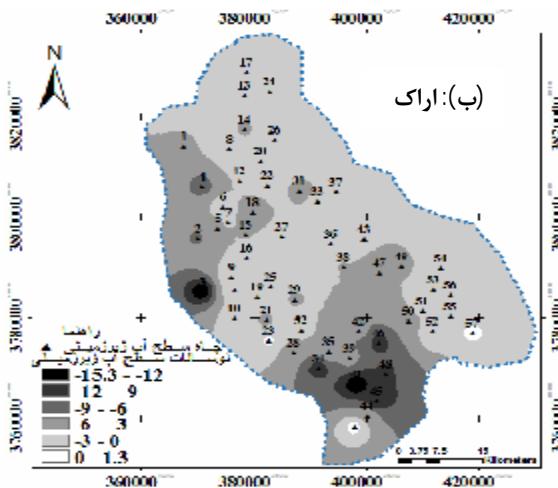
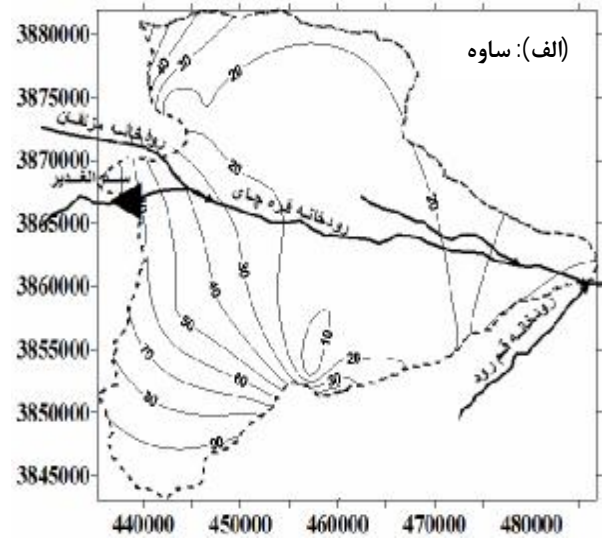
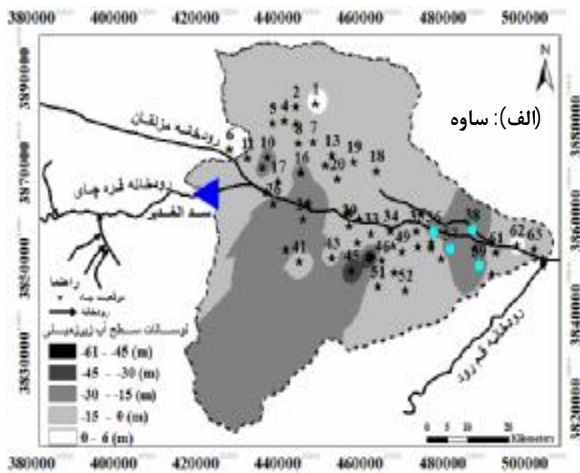
به منظور بررسی تغییرات مکانی، نوسانات سطح آب زیرزمینی که تفاوت تراز سطح آب زیرزمینی در مهرماه اولین و آخرین سال اندازه‌گیری در هر چاه می‌باشد، در شکل 3 نمایش داده شده است.

راستای تعیین رابطه بین تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی محدوده‌های مورد مطالعه، رابطه بین عمق آب زیرزمینی و فصول تر و خشک با کیفیت آن مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

نتایج

خطوط هم‌عمق آب زیرزمینی آبخوان‌های ساوه و اراک در سال 1387 در شکل 2 رسم شده است.

همانطور که در شکل 2 مشخص است، عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های شرقی محدوده مطالعاتی ساوه بالاتر از قسمت‌های غربی آن است. به عبارتی هر چه از غرب به شرق ساوه حرکت می‌کنیم عمق سطح آب زیرزمینی کمتر می‌شود. قسمت شرقی محدوده مطالعاتی ساوه تقریباً انتهای مسیر حرکت رودخانه قره‌چای است و بعد از آن این رودخانه وارد



شکل 3- نوسانات سطح آب زیرزمینی محدوده ساوه (1387-1387)
(1366) و اراک (1381-1387)

شکل 2- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی دشت ساوه (الف) و دشت
اراک (ب) سال 1387

افت‌های بالاتر از 30 متر در تعداد محدودی چاه (36)، 45، 46) رخ داده است. همچنین سطح آب زیرزمینی در دو حلقه چاه شماره 1 و 62 بالا آمده است. بیشترین افت سطح آب زیرزمینی مربوط به چاه شماره 46 با حدود 62 متر افت در طول 22 سال (1366-1387) می‌باشد. به عبارتی این چاه با افت سالانه‌ای معادل 2/8

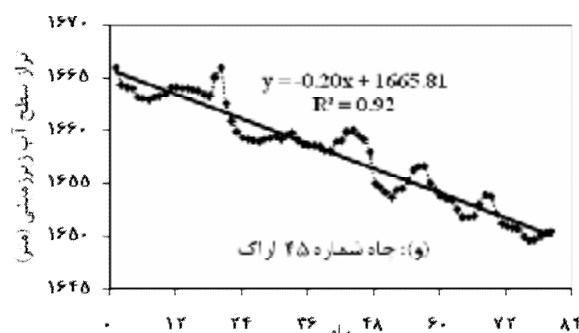
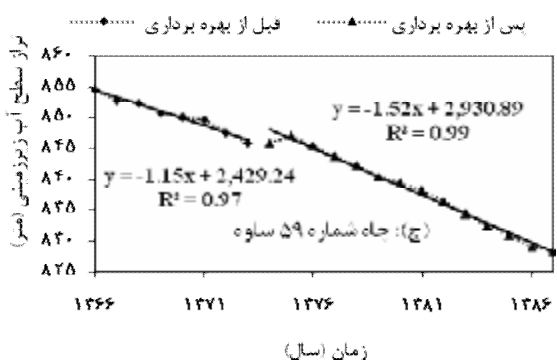
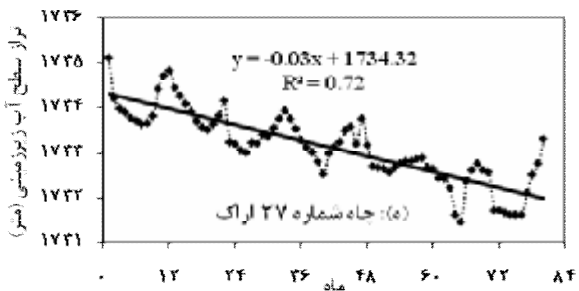
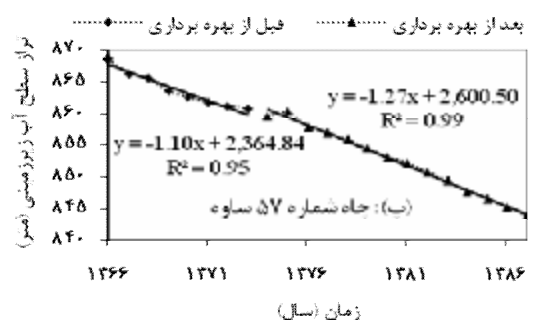
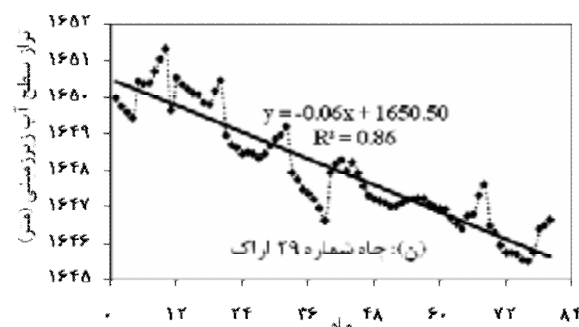
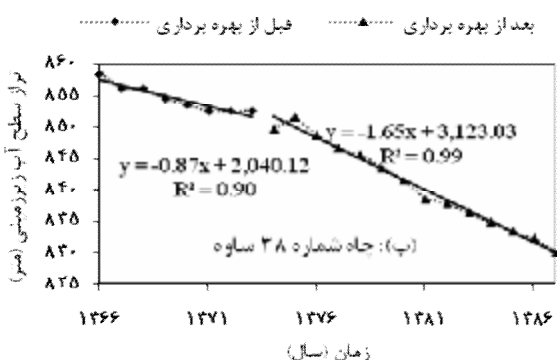
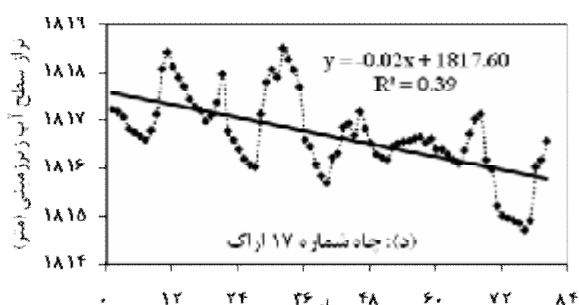
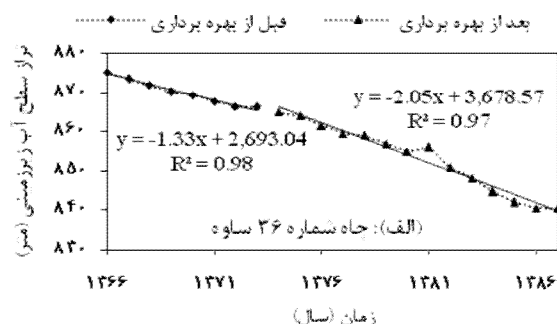
همانطور که در شکل 3 مشخص است بطور متوسط در 62 درصد از مساحت دشت ساوه سطح آب زیرزمینی بین صفر تا 15 متر، در 36 درصد بین 15 تا 30 متر، در 1 درصد بین 30 تا 45 متر، در 0/2 درصد بین 45 تا 61 متر افت کرده است. در حدود 0/8 درصد از مساحت دشت ساوه سطح آب زیرزمینی تا 6 متر بالا آمده است.

میانگین سالانه تراز سطح آب زیرزمینی در هر یک از چاه‌های نمونه در شکل 4 رسم و به منظور تعیین روند تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی خطی بر آن برازش داده شده است. در معادله خط برازش داده شده y بیانگر تراز سطح آب زیرزمینی بر حسب متر، x زمان بر حسب سال یا ماه و R^2 (ضریب تعیین)، نشان‌دهنده درصدی از تغییرات کل است که به وسیله رابطه خطی بین تراز سطح آب زیرزمینی با زمان مشخص می‌شود. شیب منفی خط برازش داده شده (علامت منفی ضریب x) بیانگر افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نمونه می‌باشد. در مورد شکل‌های (الف) تا (ج) در آبخوان ساوه با مقایسه مقدار واقعی (قدر مطلق) ضریب x در قبل و بعد از بهره‌برداری می‌توان به روند افزایشی یا کاهش‌یافت سطح آب زیرزمینی پی برد بطوریکه اگر، مقدار واقعی این ضریب در بعد از بهره‌برداری نسبت به قبل از آن افزایش یافته بود، افت سطح آب زیرزمینی روندی افزایشی به خود گرفته است. همچنین اگر مقدار واقعی ضریب x در معادله خط برازش داده شده در بعد از بهره‌برداری نسبت به قبل از آن کاهش یافته بود، افت سطح آب زیرزمینی در طول زمان روندی کاهش‌یافت به خود گرفته است. با توجه به منفی‌تر شدن شیب خط برازش داده شده در بعد از بهره‌برداری نسبت به قبل از آن در قسمت‌های (الف) تا (د) شکل 4 مشخص می‌شود که، افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نمونه دشت ساوه در بعد از بهره‌برداری از سد و شبکه آبیاری و زهکشی ساوه (سال‌های 1374-1387) نسبت به قبل از آن (سال‌های 1366-1373) بیشتر شده است. با توجه به بزرگتر بودن مقدار واقعی ضریب x در معادله خط برازش داده شده در بعد از بهره‌برداری نسبت به قبل از بهره‌برداری در چاه‌های شماره 36، 38، 57 و 59 روند افزایشی افت سطح آب زیرزمینی مشخص است.

متر روبرو بوده است. اکثر چاه‌های مشاهداتی در آبخوان اراک افتی بین 0 تا 5 متر داشته‌اند. بطور متوسط در 62 درصد از مساحت دشت اراک سطح آب زیرزمینی بین صفر تا 3 متر، در 22 درصد بین 3 تا 6 متر، در 8 درصد بین 6 تا 9 متر، در 7 درصد بین 9 تا 12 متر و در 0/6 درصد بین 12 تا 15 متر افت کرده است. در حدود 0/4 درصد (سه حلقه چاه 23، 40 و 57) از مساحت دشت اراک سطح آب زیرزمینی تا 1/3 متر بالا آمده است. بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی در دشت اراک، مربوط به منطقه امان آباد 2 آق دره (چاه شماره 41) با افت تقریبی 15/33 متر در طول 7 سال (2/19 متر در سال) است.

روند تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده-های مطالعاتی

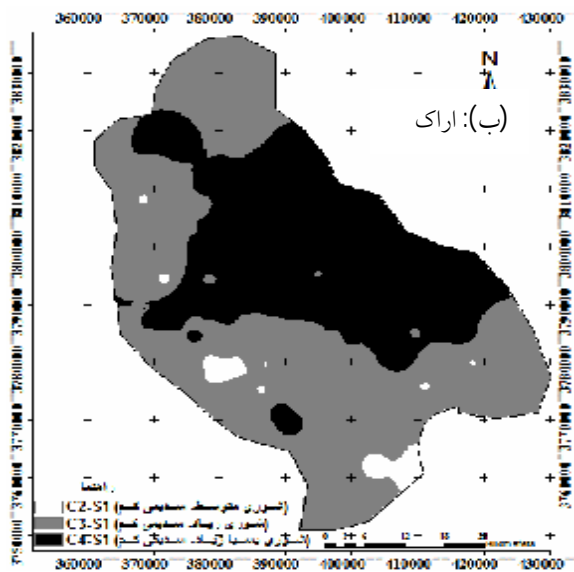
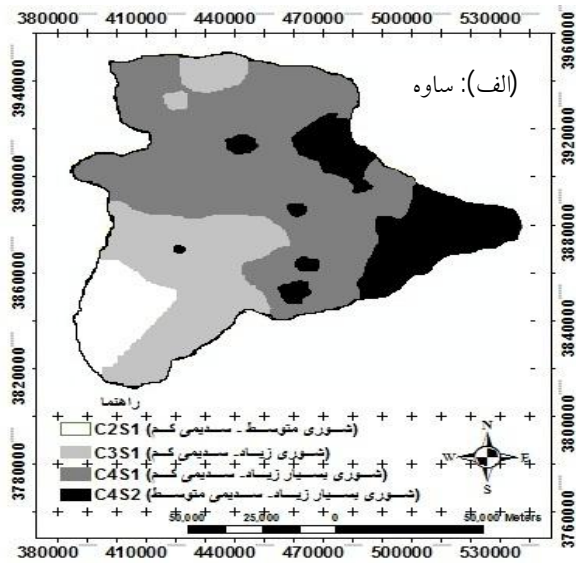
به منظور بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از بهره‌برداری از سد و شبکه آبیاری و زهکشی ساوه، تراز سطح آب زیرزمینی در 4 حلقه چاه نمونه (چاه‌های شماره 36، 38، 57، 59) که دارای داده‌های قبل و بعد از بهره‌برداری بودند، مورد تحلیل قرار گرفت. تغییرات تراز آب زیرزمینی در این چاه‌ها طی سالهای 1366 تا 1387 در شکل 4 رسم شده است. سالهای 1366 تا 1373 به عنوان سالهای قبل از بهره‌برداری و سالهای 1374 تا 1387 به عنوان سالهای پس از بهره‌برداری (سال 1373، سال بهره‌برداری) منظور گردیده است. همچنین به منظور بررسی تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان اراک، تراز ماهانه آب زیرزمینی در چهار حلقه چاه (17، 29، 37، 45) به عنوان نمونه رسم و در شکل 4 آورده شده است. موقعیت این چاه‌ها در شکل 1 مشخص شده است.



شکل 4- تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان ساوه (1366-1387) و اراک (1381-1387) در چاه‌های نمونه

افت داشته است اما با توجه به کوچکتر بودن ضریب X در این چاه‌ها نسبت به چاه‌های دشت ساوه، شدت افت در چاه‌های دشت ساوه بیشتر از چاه‌های دشت اراک بوده است. ضریب تعیین بالا در خطوط برازش داده

در چاه‌های شماره 36 و 38 روند افزایشی افت سطح آب زیرزمینی نسبت به چاه‌های شماره 57 و 59 شدیدتر است. همانطور که در شکل 4 قسمت (د) تا (و) مشخص است سطح آب زیرزمینی آبخوان اراک در طول زمان



شکل 5- نقشه یکپارچه کیفیت آبخوان ساوه (الف) و اراک (ب)

برای مصارف کشاورزی سال 1387

همانطور که در شکل 5 مشخص است کیفیت آب- زیرزمینی محدوده اراک از لحاظ مصارف کشاورزی به 3 ناحیه تقسیم شده است. شکل 5 بیانگر این مطلب است که آب زیرزمینی محدوده اراک بیشتر از لحاظ شوری تحت فشار قرار دارد، بطوریکه در بیش از 42 درصد از مساحت این دشت شوری آب زیرزمینی از 2/25 دسی زیمنس بر متر فراتر رفته است. از کل مساحت محدوده

شده بر تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت ساوه و اراک حاکی از وجود رابطه خطی بین نوسانات سطح آب زیرزمینی با زمان و ساختار زمانی قوی آن می- باشد.

بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی

یکی از اولین روش‌هایی که برای طبقه‌بندی آب آبیاری جهت مصرف کشاورزی بر حسب هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم صورت گرفت روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا است که بر اساس آن نمودار معروف ویلکاکس¹ تهیه شده است. در این تحقیق از روش ویلکاکس برای طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است. با توجه به این روش آبها از نظر شوری با نمایه EC در چهار کلاس (گروه) و از نظر زیان حاصله از سدیم با نمایه SAR نیز در چهار کلاس قرار می‌گیرند (رامسان و پاندا 2007). اکثر داده- های کیفی اراک و ساوه از لحاظ هدایت الکتریکی در وضعیت نامطلوب‌تری نسبت به نسبت جذبی سدیم قرار دارند. احداث شبکه آبیاری و زهکشی می‌تواند با توجه به تغییر در مدیریت آبی مزرعه باعث تغییر در روند کیفی آب زیرزمینی منطقه شود. تغییر در راندمان کل آبیاری و به واسطه آن تغییر در میزان نفوذ عمقی آب به آب زیرزمینی، تغییر در میزان آبشویی و خروج مواد محلول در خاک از دسترس گیاه، تغییر در برداشت از منابع آب زیرزمینی و به همراه آن تغییر در کیفیت آب زیرزمینی، تغییر در میزان مصارف کودهای شیمیایی و میزان آفت‌کش‌ها، تغییر احتمالی در الگوی کشت منطقه و تغییر در نحوه مدیریت زه‌آبهای کشاورزی در اثر احداث سیستم زهکشی از جمله اثرات احداث شبکه- های آبیاری و زهکشی است که بر روی کیفیت آب زیرزمینی اثر دارد. نقشه کیفیت آب زیرزمینی آبخوان ساوه و اراک جهت مصرف کشاورزی در شکل 5 آورده شده است.

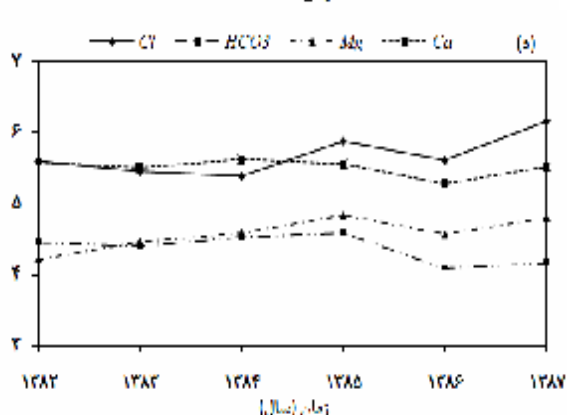
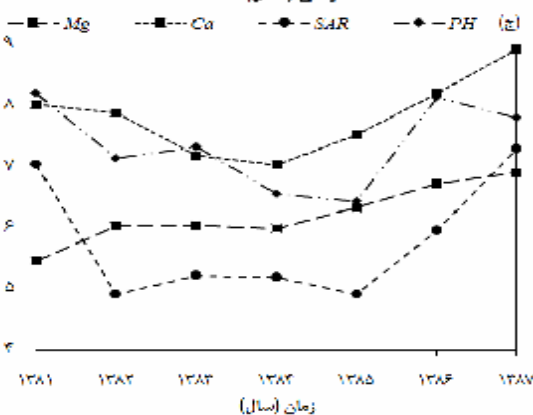
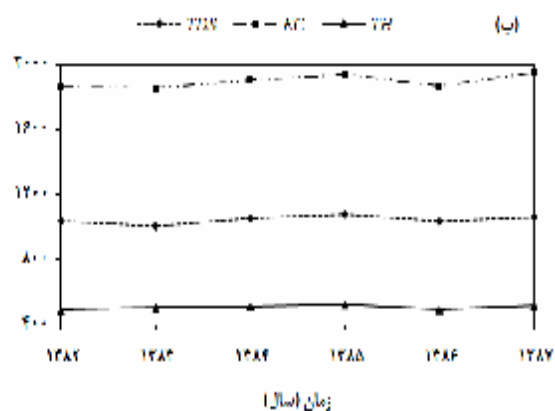
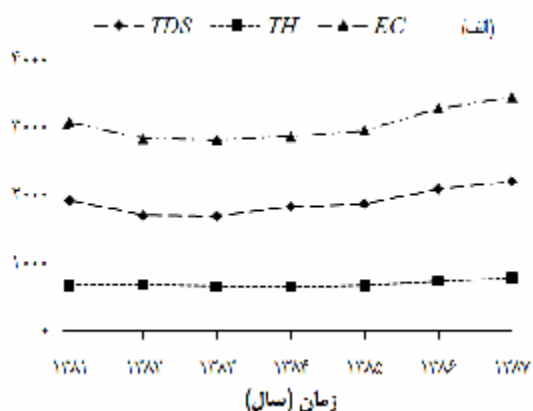
¹ Wilcox

آینده آبی با کیفیت مطلوب برای کشاورزی در محدوده ساوه که یکی از دشت‌های حاصلخیز کشور می‌باشد، وجود نداشته باشد. از این رو نیاز به مدیریت صحیح در رابطه با مصرف کودهای شیمیایی و روش‌های آبیاری مناسب الزامی است.

بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان‌های ساوه و اراک

به منظور بررسی تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی ساوه، میانگین سالانه پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی این محدوده طی سالهای 1381 تا 1387 رسم شد. تغییرات زمانی این پارامترها در قسمت‌های مختلف شکل 6 آورده شده است.

مورد مطالعه اراک که بالغ بر 3400 کیلومتر مربع می‌باشد 42 درصد آن در کلاس C_4-S_1 ، 56 درصد در کلاس C_3-S_1 و 2 درصد در کلاس C_2-S_1 قرار گرفت. همانطور که از شکل 5 مشخص است کیفیت آب-زیرزمینی محدوده دشت ساوه از لحاظ مصارف کشاورزی به 4 ناحیه تقسیم‌بندی شده است. شکل 5 بیانگر این مطلب است که آب زیرزمینی محدوده ساوه بیشتر در خطر شوری قرار دارد، بطوریکه در بیش از نیمی از مساحت این دشت شوری آب زیرزمینی از 2/25 میکروموس بر سانتی‌متر فراتر رفته است. با توجه به شکل 5 از کل مساحت محدوده مورد مطالعه ساوه که بالغ بر 4000 کیلومتر مربع می‌باشد 16 درصد آن در کلاس C_4-S_2 ، 46 درصد در کلاس C_4-S_1 ، 30 درصد در کلاس C_3-S_1 و 8 درصد در کلاس C_2-S_1 قرار گرفت. با ادامه این روند ممکن است در چند سال



شکل 6- تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی محدوده ساوه (الف و ج) و اراک (ب و د) (1381-1387)

(واحد مقادیر بر روی محور قائم برای غلظت mg/Lit و برای EC بر حسب $\mu S/cm$ می‌باشد)

چاه‌ها در شکل 1 نشان داده شده است. انتخاب این چاه‌ها بر اساس قرارگیری در عمق‌های مختلف سطح آب و پراکندگی مناسب در سطح دشت می‌باشد. قسمت‌های مختلف شکل 7 تغییرات زمانی متغیرهای کل املاح محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) را در چاه‌های نمونه نشان می‌دهد. در این شکل‌ها تغییرات غلظت یون‌های مختلف برای ماه‌های دوم (تر) و هفتم (خشک) رسم شده است تا اثر فصول تر و خشک بر تغییرات کیفی آب زیرزمینی است.

به منظور بررسی تأثیر عمق سطح آب زیرزمینی روی کیفیت آب زیرزمینی دشت ساوه، 3 حلقه چاه نمونه به سه دسته از لحاظ عمق برخورد به آب زیرزمینی دسته‌بندی شد. چاه شماره 1 با عمق سطح آب 5 تا 20 متر، چاه شماره 2 با عمق سطح آب 40 تا 60 متر و چاه شماره 3 با عمق سطح آب 60 تا 80 متر طبقه‌بندی شدند. با توجه به شکل 7 قسمت (الف) و (ج) به ترتیب چاه‌های شماره 1، 3 و 2 دارای کمترین کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ کل املاح محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC)، به این ترتیب رابطه عکس بین عمق سطح آب زیرزمینی و کیفیت آن در این دو حلقه چاه نمونه در آبخوان ساوه برقرار است. در مورد آبخوان ساوه قسمت‌های (الف) تا (ج) شکل 7 روند منظمی را در تغییرات متغیرهای هدایت الکتریکی (EC) و کل املاح محلول (TDS) در طول فصول بارندگی (ماه دوم) نسبت به فصول خشک سال (ماه هفتم) نشان می‌دهد. در مورد آبخوان اراک چاه شماره 1 با عمق سطح آب 3 تا 20 متر، چاه شماره 2 با عمق سطح آب 20 تا 40 متر و چاه شماره 3 با عمق سطح آب 40 تا 60 متر و چاه شماره 4 با عمق سطح آب 60 تا 87 متر طبقه‌بندی شدند. با توجه به شکل 7 قسمت (ب) و (د) به ترتیب چاه‌های شماره 1، 2، 3 و 4 دارای کمترین کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ هدایت الکتریکی (EC) و کل املاح محلول (TDS) هستند. به این ترتیب نتیجه می‌شود که این متغیرها با عمق سطح آب رابطه عکس دارند به عبارتی، هر چاه با عمق سطح آب زیرزمینی کمتر دارای

همبستگی تغییرات نسبت جذبی سدیم و سدیم مؤید رابطه مستقیم این دو پارامتر (SAR و Na) می‌باشد. همچنین برابری و همبستگی بالای تغییرات آنیون و کاتیون در آب زیرزمینی نشانگر صحت اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. قسمت (الف) و (ب) شکل 6 همبستگی بالای EC و TDS را نشان می‌دهد. مقدار افزایش EC و TDS در دشت ساوه به ترتیب برابر 367 میکروموس بر سانتی‌متر و 285 میلی‌گرم بر لیتر است همچنین سختی کل در طول سال‌های 1381 تا 1387 در آبخوان ساوه به مقدار 118 میلی‌گرم بر لیتر افزایش پیدا کرده است. در مورد دشت اراک تغییرات ناچیزی در غلظت یون‌های سولفات، سدیم و اسیدیته مشاهده شد. غلظت کلر و منیزیم و نسبت جذبی سدیم به ترتیب 0/55 و 0/60 میلی‌گرم بر لیتر و 0/15 در آبخوان اراک افزایش یافته است. غلظت یون‌های کلسیم و بی‌کربنات نیز به ترتیب مقدار 0/07 و 0/30 میلی‌گرم بر لیتر کاهش داشته است. تغییرات غلظت پتاسیم روندی افزایشی و بی‌کربنات روندی کاهشی را نشان دادند. قسمت (ب) شکل 6 بیانگر بالاتر رفتن هدایت الکتریکی، کل مواد محلول و سختی کل در طول سال‌های 82 تا 87 در آبخوان اراک می‌باشند. روند افزایشی تغییرات غلظت این عناصر بیانگر نامطلوب‌تر شدن کیفیت آب زیرزمینی در طول زمان است. مقدار افزایش EC و TDS به ترتیب برابر 92/29 میکروموس بر سانتی‌متر و 27/44 میلی‌گرم بر لیتر است. سختی کل در طول سال‌های 1382 تا 1387 به مقدار 25/58 میلی‌گرم بر لیتر افزایش پیدا کرده است.

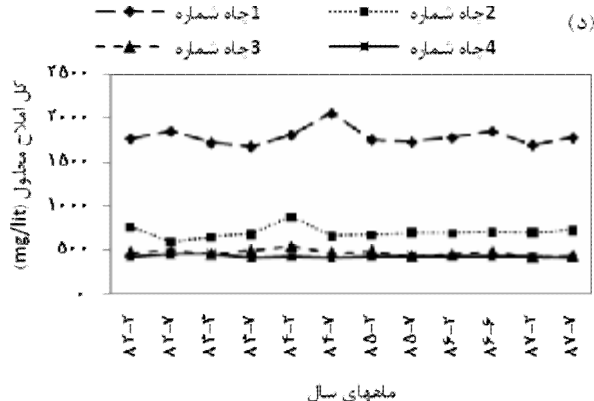
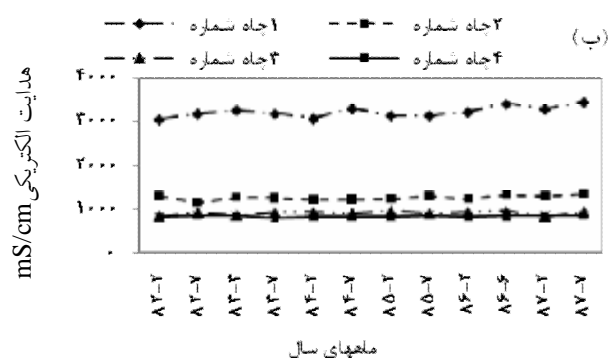
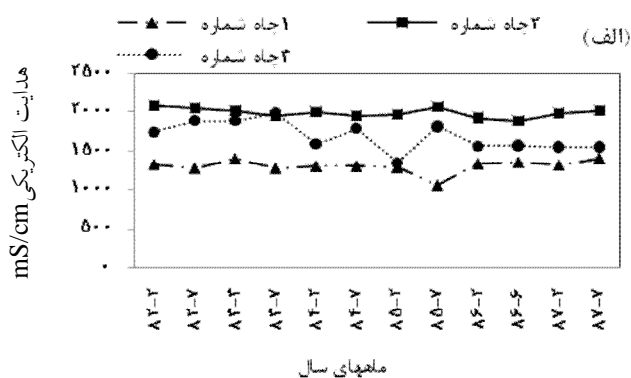
بررسی تأثیر عمق سطح آب زیرزمینی و فصول تر و خشک

بر کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی

به منظور بررسی تأثیر عمق سطح آب زیرزمینی و فصول تر و خشک روی کیفیت آب زیرزمینی از بین چاه‌های اندازه‌گیری داده‌های کیفی آب زیرزمینی، سه حلقه چاه در محدوده ساوه، و چهار حلقه چاه در محدوده اراک انتخاب شدند. موقعیت این

الکتریکی (EC)، کل املاح محلول (TDS) در طول فصول بارندگی (ماه دوم) نسبت به فصول خشک سال (ماه هفتم) نشان می‌دهد.

غلظت‌های بیشتر و کیفیت نامطلوبتر بوده است. به طور کلی می‌توان گفت هر چه عمق سطح آب زیرزمینی بیشتر باشد، مواد محلول زمان بیشتری برای رساندن خود به آب زیرزمینی نیاز دارند. قسمت‌های (ب) و (ج) شکل 7 روند نامنظمی را در تغییرات متغیرهای هدایت



شکل 7- تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی ساوه (الف و ج) و اراک (ب و د) (1382-1387)

15 خرداد به طور متوسط حدود 0/5 متر در سال بوده و بعد از احداث سد یادشده، به طور متوسط به 1/4 متر در سال گزارش کرده بود مشابه می‌باشد. این نتیجه بیانگر رشد روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی منطقه ساوه و تخلیه بیش از حد آب زیرزمینی آبخوان ساوه می‌باشد. این افت در اثر چند عامل مهم اتفاق افتاده است. اولین و مهم‌ترین دلیل برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی آبخوان ساوه، دومین دلیل منفی‌تر شدن بیلان آبی منطقه به علت احداث سد ساوه و جلوگیری از تغذیه آبخوان و همچنین کم شدن میزان نشت از کانالها به علت بتونی

بحث

افت سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی ساوه در قبل از احداث شبکه آبیاری و زهکشی ساوه (1366-1373) نسبت به دوره بعد از احداث آن (1374-1387) کمتر بود. به طوری افت متوسط سالیانه سطح آب زیرزمینی در چند چاه نمونه دارای آمار در منطقه ساوه طی سالهای 1366 تا 1373 معادل 98 سانتی‌متر و در طی سالهای 1374 تا 1387 معادل 147 سانتی‌متر بدست آمد. که با نتایج فتاحی (1388) که میزان افت سطح آب زیرزمینی در دشت قم را تا قبل از احداث سد

تری نسبت به اراک قرار دارد و همچنین آبهای سطحی در نهایت از این محدوده می‌گذرند، آبهایی که آبخوانش را تغذیه می‌کنند از کیفیت پایین‌تری برخوردار است که این باعث پایین آمدن کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی ساوه شده است. کیفیت آب زیرزمینی دشت ساوه در قسمت شرقی دشت به علت زهکشی پایین و مجاور بودن با لایه‌های نمکی سازند قم و در دشت اراک نیز به لحاظ وجود کویر نمک میقان دارای شوری بیشتری می‌باشد که، با تحقیقات دمیر و همکاران (2009) که شوری بیشتر را در قسمت‌های شرقی دشت به علت زهکشی پایین گزارش کردند، مطابقت دارد. نتایج تحلیل زمانی در تحقیق حاضر حاکی از وجود تغییرات درون‌سالی تراز آب زیرزمینی در دشت ساوه و اراک داشت که با نتایج احمدی و صدق‌آمیز (2007) که متوسط تغییرات تراز آب زیرزمینی را 7/2 ماه گزارش کردند، مطابقت دارد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با استفاده از امکانات دانشگاه تهران انجام شده است. بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌دارد.

شدن کانالهای انتقال آب در شبکه آبیاری و زهکشی ساوه و سومین دلیل رخداد خشکسالی‌های اخیر در منطقه می‌باشد. میانگین افت سطح آب زیرزمینی در 63 حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان ساوه برابر 10/19 متر و بیشترین افت سطح آب زیرزمینی برابر 61/85 متر با افت سالیانه‌ای برابر 2/58 متر در چاه شماره 46 اتفاق افتاده است. متوسط افت سطح آب زیرزمینی در 57 حلقه چاه محدوده اراک برابر 3/38 متر و بیشترین افت مربوط به چاه شماره 41 با 15/33 متر و افت سالیانه‌ای برابر 2/19 متر اتفاق افتاده است. اکبری و همکاران (1388) متوسط افت سطح آب زیرزمینی را در دشت مشهد حدود 0/60 متر گزارش کردند که کمتر از مقدار افت در دشت‌های ساوه و اراک می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی در محدوده ساوه به مراتب نامطلوب‌تر از محدوده اراک بود. به عنوان نمونه میانگین هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذبی سدیم (SAR) و کل مواد محلول (TDS) در آبخوان ساوه به ترتیب برابر 3100/6 میکروموس بر سانتی‌متر، 5/76 اکی‌والان بر مول و 1948/6 میلی‌گرم بر لیتر و در آبخوان اراک به ترتیب برابر با 1984/8 میکروموس بر سانتی‌متر، 3/49 اکی‌والان بر مول و 1047/4 میلی‌گرم بر لیتر بود. محدوده مطالعاتی ساوه به علت اینکه در ارتفاع پایین-

منابع مورد استفاده

اکبری م، جرگه مر و سادات مح، 1388. بررسی افت سطح آب های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره چهارم، صفحه‌های 63-78.

چیت‌سازان م، میرزایی سی، بهزاد مح و شبان م، 1388. تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی دشت خویس در شمال خوزستان). صفحه‌های 154 تا 163. مجموعه مقالات دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریتی آن. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. اصفهان.

رزاق‌منش م، سالمی ت و سراج م، 1385. بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز. صفحه‌های 128 تا 137. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

- شیرافروس ع، 1384. بررسی اثرات کشاورزی و روشهای آبیاری و زهکشی بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی (مطالعه موردی دشت قزوین). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی. دانشگاه تهران. تهران.
- عزیزی ق، 1382. ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره 46. صفحه‌های 143-131.
- فتاحی م، 1388. بررسی روند بیابان‌زایی در استان قم با استفاده از داده‌های سنجش از دور با تأکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. جلد 16. شماره 2. صفحه‌های 253-234.
- محمدی ا، ارده‌جانی دف و کرمی غ، 1388. مطالعه تأثیر سد بارزو بر آبخوان شیروان با تفسیر هیدروگراف چاههای منطقه و آنالیز کیفی نمونه‌های آب. صفحه‌های 9 تا 16. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب. دانشگاه صنعتی شاهرود. شاهرود.
- Ahmadi SH and Sedghamiz A, 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environ Monit Assess* 129:277–294.
- Demir Y, Sahin S, Güler M, Cemek B, Günal H and Arslan H, 2009. Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluents in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Environ Monit Assess* 158:279–294.
- FAO, 1995. Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects. *Irrigation and Drainage Paper UK.FAO, No. 53.*
- Dukes MD and Evans RO, 2006. Impact of agriculture on water quality in the North Carolina middle coastal plain. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 132:250-262.
- Houston CE, 1977. Irrigation development in the world. Pp 425-432. In: Worthington EB (ed.) *Arid Land Irrigation in Developing Countries Environmental Problems and Effects*. Pergamon Press.
- Nourani V, Asghari MA and Nadiri AO, 2008. An ANN-based model for spatiotemporal groundwater level forecasting. *Hydrological Processes* 22:5054–5066.
- Remesan R and Panda RK, 2007. Groundwater quality mapping using GIS: A study from India's Kapgari watershed. *Environmental Quality Management* 10:41-60.
- Schmidt KD and Sherman I, 1987. Effect of irrigation on groundwater quality in California. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 113:16-29.
- Sonnen MB, Thomas JL and Guitjens JC, 1987. Irrigation effects in six western states. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 113:57-68.