مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۲

صفحه‌های ۴۷-۲۹

بررسی تبادلات آبی و نفوذ جبههٔ آب شور دریاچهٔ ارومیه به آبخوان‌های همجوار

فاطمه جعفری*[۱]، مرتضی افتخاری[۲]

۱. کارشناس پژوهشی پژوهشکدهٔ منابع آب، مؤسسهٔ تحقیقات آب، تهران – ایران

۲. استادیار پژوهشکدهٔ منابع آب، مؤسسهٔ تحقیقات آب، تهران – ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۱

چکیده

دریاچهٔ ارومیه تحت تأثیر عوامل مختلف، طی ۱۰ سال اخیر شاهد کاهش تراز سطح آب بوده است. در تحقیقات متعددی دلایل این مسئله بررسی شده است، ولی با وجود اهمیت ذخایر باارزش آب زیرزمینی، کمتر به آن پرداخته شده است. به‌همین دلیل در این تحقیق منابع آب زیرزمینی همجوار دریاچهٔ ارومیه به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب منطقه بررسی شده است. با توجه به افزایش بهره‌برداری آب زیرزمینی، با افزایش سطح زیر کشت و متعاقب آن حفر چاه‌های متعدد در این منطقه، این آبخوان‌ها در معرض هجوم آب شور قرار گرفته‌اند. در این تحقیق به‌منظور بررسی تغییرات آب زیرزمینی ورودی به دریاچه، موقعیت خطوط تراز و به‌منظور تحلیل تبادلات آبی با دریاچه، تغییرات شوری آبخوان‌ها در دو دورهٔ زمانی بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد تکیه بر مقدار متوسط پارامترهای آب زیرزمینی مانند شوری، نتایج دور از واقعیتی را نشان می‌دهد. از طرف دیگر، در آبخوان‌های مهاباد، تبریز، آذرشهر، شبستر- صوفیان و عجب‌شیر جهت جریان آب زیرزمینی تغییر کرده است و وسعت زیادی از این آبخوان‌ها نیز با هجوم آب شور مواجه شده‌اند. ازاین‌رو آبخوان‌های بررسی‌شده از لحاظ شدت افزایش شوری در سه گروه بحرانی، در آستانهٔ وضعیت بحرانی و نرمال دسته‌بندی شد. همچنین نتایج نشان داد آبخوان‌های شرق دریاچه نسبت به آبخوان‌های غربی وضعیت بحرانی‌تری دارند و در برابر تخریب کیفی آسیب‌پذیرترند.

کلیدواژه‌ها: آبخوان‌های ساحلی، آب زیرزمینی، جهت جریان، حد اینترفاز، شوری.

* نویسنده مسئول Email: fm_jafari@yahoo.com

مقدمه

امروزه خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی کشور تبدیل شده است. دریاچهٔ ارومیه که اهمیت بسیاری در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، گردشگری و محیط زیستی این منطقه از کشور دارد، نیز به‌دلیل عوامل متعدد از جمله خشکسالی و تغییرات اقلیمی، نبود مدیریت جامع‌محور، تغییر مراکز جمعیتی حوضه، تغییر کاربری اراضی و افزایش سطح زیر کشت، طی ده سال اخیر با کاهش شدید تراز سطح آب مواجه شده است. با وجود غنای طبیعی حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، وسعت و ابعاد تخریب‌های زیست‌محیطی در سطح حوضه با توجه به برداشت‌های بی‌رویهٔ منابع آب سطحی و زیرزمینی، موجب تنزل شاخص‌های زیست‌محیطی حوضه و همچنین دریاچهٔ ارومیه شده و نگرانی‌های فراوانی را دربارهٔ پایداری اکوسیستم آن به‌وجود آورده است.

امروزه پیشروی و نفوذ آب شور به آبخوان‌های ساحلی، یکی از مشکلات مهم در خصوص حفاظت از آب زیرزمینی در این مناطق است که محققان بسیاری با استفاده از مدل‌های عددی و تحلیلی به بررسی آن پرداخته‌اند (۱۳). در پژوهشی نفوذ آب شور در مناطق ساحلی با استفاده از دو نوع مدلسازی ریاضی دوبعدی و سه‌بعدی در حالت تداخل مستقیم و یک مدل سه‌بعدی تداخل انتقالی بررسی شد. نتایج نشان داد مدل سه‌بعدی تداخل انتقالی پیشروی آب شور را منطبق بر طبیعت آبخوان بهتر نشان می‌دهد (۹). در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل سه‌بعدی و روش حل عددی تفاضل محدود مقدار پیشروی آب شور به آبخوان‌های ساحلی بررسی شد. نتایج نشان داد مدل به شرایط مرزی و معادلهٔ حرکت املاح در آب با حل چهار حالت در نظرگرفته‌شده با مقایسهٔ نتایج موجود اعتبارسنجی بالایی دارد (۱۰). در تحقیقی نیز مقدار بهینهٔ بهره‌برداری از چاه‌های مجاور مناطق ساحلی با دو روش بهینه‌سازی خطی و غیرخطی به‌نحوی که حد اینترفاز آب شور وارد آبخوان نشود، بررسی شد. این تحقیق نشان داد روش بهینه‌سازی خطی دارای محاسبات ساده‌تر و نتایج مطمئن‌تری نسبت به روش غیرخطی است (۱۱). همچنین تحقیقاتی نیز در زمینهٔ تأثیر تغییر اقلیم بر نفوذ آب شور دریا به آبخوان‌های ساحلی در دو کشور هند و مصر صورت گرفته است که براساس آن، سه سناریو محتمل تغییر اقلیم در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد آبخوان دلتای نیل نسبت به تغییر اقلیم آسیب‌پذیرتر است، چراکه در این منطقه مقدار بارش‌های جوی نسبت به آبخوان‌های ساحلی شبه قارهٔ هند کمتر است (۱۲).

در مورد دریاچهٔ ارومیه نیز بیشتر بررسی‌های قبلی صورت‌گرفته در قالب مطالعات اطلس یا طرح‌های جامع آب در مقیاس حوضهٔ آبریز بوده و همچنین تعداد زیادی پایان‌نامه و پروژه‌های تحقیقاتی انجام گرفته است که کاهش سطح دریاچه را با تغییرات اقلیم و تغییر کاربری مرتبط می‌داند. برای نمونه در گزارشی با عنوان "بررسی وضعیت بحرانی دریاچهٔ ارومیه"، به مباحثی مانند وضعیت اقلیمی، طرح‌های توسعه و بازده آبیاری در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه پرداخته شده است. این گزارش نشان می‌دهد طی دو دههٔ اخیر، افزایش سطح زیر کشت بیشترین تأثیر را در کاهش حجم آب دریاچه داشته و تغییرات اقلیمی تغییرات محسوسی در این زمینه به‌وجود نیاورده است (۷). در تحقیقی دیگر نیز پیامدهای زیست‌محیطی طرح‌های توسعهٔ منابع آب بر روی دریاچهٔ ارومیه بررسی شد. این تحقیق نیز مبین افزایش سدسازی و طرح‌های توسعهٔ منابع آب در برههٔ زمانی اخیر است که مسبب کاهش ورودی آب رودخانه‌ها و جریانات سطحی به دریاچه شده است (۳). همچنین در سال ۱۳۸۹ برنامهٔ مدیریت جامع دریاچهٔ ارومیه با همکاری سازمان محیط

زیست، استانداری‌ها و وزارتخانه‌های نیرو و کشاورزی با در نظر گرفتن تفاهم‌نامهٔ مشترکی به‌منظور نجات دریاچه تدوین شد که در آن راهبردها، اهداف و سیاست‌های پیش رو و نیز حداقل حقابهٔ زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است (٤). علاوه بر تحقیقات صورت‌گرفته، پایان‌نامه‌های زیادی در این زمینه تعریف شده است که اغلب در راستای کاهش تراز آب دریاچهٔ ارومیه به علل خشکسالی یا تغییر کاربری اراضی است. در این راستا در تحقیقی با استفاده از معادلهٔ بیلان آبی، همبستگی چندگانه و شبکهٔ عصبی مصنوعی نوسانات دریاچه بررسی شد. این تحقیقات نشان داد نتایج شبکهٔ عصبی مصنوعی دارای بیشترین دقت و کمترین حساسیت است (٦). همچنین در تحقیقی دیگر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی بررسی و در نهایت کسری مخزن آبخوان‌های حوضه حدود ۲۰۰ میلیون مترمکعب برآورد شد (۱). در سال ۱۳۸۵ نیز تحقیقاتی در مورد مدیریت جامع منابع آب حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه در مؤسسهٔ تحقیقات آب کشور انجام گرفت که در آن بیلان دریاچه و نیاز زیست‌محیطی آن مشخص شد و در پایان سناریوهایی به‌منظور مدیریت جامع دریاچه ارائه شد (۲).

بر اساس تحقیقات صورت‌گرفته مهم‌ترین عامل خشک شدن تدریجی این دریاچه افزایش مصرف منابع آب در بخش کشاورزی است، ازاین‌رو با وجود تحقیقات مثبت مشاهده می‌شود که در هیچ یک از این تحقیقات، تبادلات آبی سفره‌های آب زیرزمینی مجاور دریاچه به‌طور کامل بررسی و تحلیل نشده است. از معدود تحقیقات صورت‌گرفته در این مورد می‌توان به بررسی پیشروی آب شور به آبخوان ساحلی دو آبخوان کوچک کهریز و قالقاچی با توجه به پارامتر میانگین شوری و کموگراف آنها اشاره کرد که در نهایت علت آن افزایش بی‌رویهٔ برداشت آب زیرزمینی است (۸). در تحقیق دیگری در زمینهٔ کیفیت آب زیرزمینی آبخوان‌های دریاچهٔ ارومیه می‌توان به تغییرات مقدار نیترات دشت ارومیه اشاره کرد که نتیجهٔ تحقیق انجام‌گرفته نشان می‌دهد به‌دلیل برگشت آب از سمت دریاچه و افزایش نزولات جوی، فصل زمستان دارای بیشترین مقدار آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی است (۵).

با توجه به اینکه منابع آب زیرزمینی باارزش‌ترین ذخایر آب شیرین جهان هستند، حفاظت و مدیریت صحیح بهره‌برداری آنها حساسیت و اهمیت زیادی دارد و یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان حوضه، آب زیرزمینی است. منابع آب زیرزمینی همجوار دریاچهٔ ارومیه نیز به‌عنوان یکی از منابع تأمین آب دریاچه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مقالهٔ حاضر منابع آب زیرزمینی همجوار دریاچه که دارای ارتباط هیدرولیکی با آن بوده و تغذیه‌کنندهٔ دریاچه‌اند، بررسی شده است؛ به‌عبارت دیگر تغییرات به‌وجودآمده در تراز آب زیرزمینی و موقعیت جبهه‌های آب شور و تأثیر آن بر تبادلات آبی از مهم‌ترین اهداف این تحقیق است. حفر بی‌رویهٔ چاه‌های غیرمجاز و افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی اطراف دریاچهٔ ارومیه ممکن است به کاهش جریان‌های خروجی آب زیرزمینی و زهکشی آب به رودخانه‌های منتهی به دریاچهٔ ارومیه منجر شود. بنابراین ضروری است تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌های مجاور دریاچهٔ ارومیه در یک سری زمانی تجزیه‌وتحلیل شود.

در این مقاله به‌منظور تحلیل نقش سفره‌های آب زیرزمینی بر کاهش سطح دریاچهٔ ارومیه، در گام اول نقشه‌های تراز سفره‌های آب زیرزمینی تعدادی از محدوده‌های مطالعاتی مجاور دریاچه در یک سری زمانی بررسی و در گام بعدی پیشروی جبهه‌های آب شور دریاچه به سمت آبخوان‌ها در آن دوره تعیین شد تا در نهایت تبادلات آبی بین آبخوان‌ها و دریاچه مشخص شود.

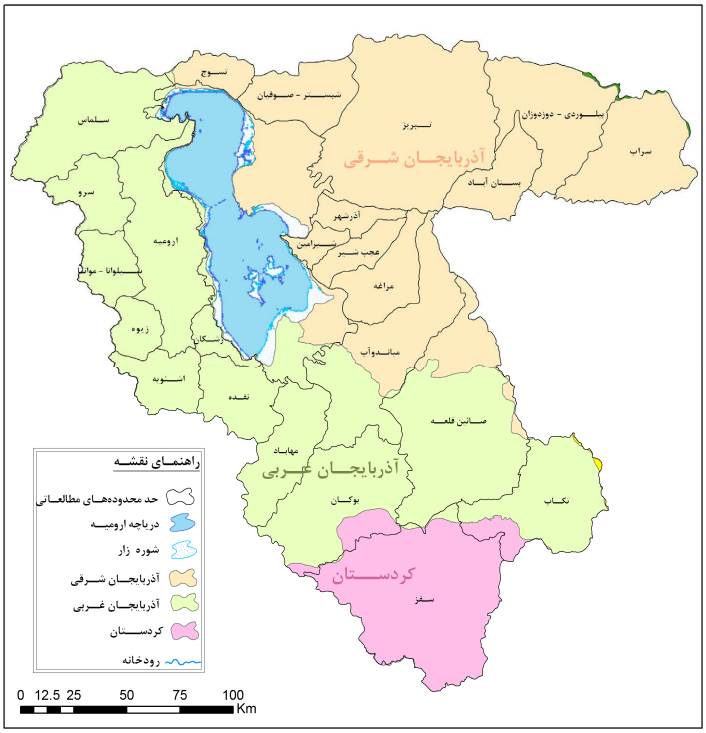
در انتها با توجه به نتایج به‌دست‌آمده گروه‌بندی آبخوان‌ها به‌منظور مدیریت صحیح ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه از نظر جغرافیایی در مختصات ´ ۵۲ °۴۲ تا ´۱۳ °۴۴ طول شرقی و ´۳۹ °۳۵ تا ´۳۰ °۳۸ عرض شمالی قرار گرفته است. از لحاظ شرایط اقلیمی این منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل است. متوسط مقدار بارش در منطقه حدود ۳۵۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود که بخش عمدهٔ بارش از فصل پاییز تا اواسط بهار رخ می‌دهد متوسط دمای سالانه بر حسب ارتفاع بین ۶/۵ تا ۱۳/۵ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است. متوسط سالانهٔ تبخیر سطحی حوضه حدود ۱۵۰۰ میلی‌متر تخمین زده شده است و باتوجه به شرایط، بین ۱۰۰۰ تا ۲۱۰۰ میلی‌متر نوسان دارد .متوسط تبخیر سالانه از سطح دریاچه بین ۹۰۰ تا ۱۱۷۰میلی‌متر تخمین زده می‌شود (۳). این حوضه اغلب در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی واقع شده و تنها بخش کوچکی از آن در شمال استان کردستان قرار گرفته است. این حوضه با سطحی بالغ بر ۵۱۹۵۱ کیلومتر مربع، به ۲۵ محدودهٔ مطالعاتی تقسیم شده است. در شکل ۱ حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه همراه با تقسیمات استانی و محدوده‌های مطالعاتی ارائه شده است.

با توجه به اینکه در این تحقیق هدف بررسی تبادلات آبی بین دریاچه و سفره‌های آب زیرزمینی مجاور آن است، آبخوان‌های همجوار دریاچه واقع در ۱۲ محدودهٔ مطالعاتی که مرز مشترک با دریاچه دارد، ارزیابی شده‌اند. مشخصات این محدوده‌ها که حدود نیمی از مساحت حوضه را به خود اختصاص می‌دهند، در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱ . حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه

جدول ۱. مشخصات محدوده‌های مورد مطالعهٔ مجاور دریاچه (۲)

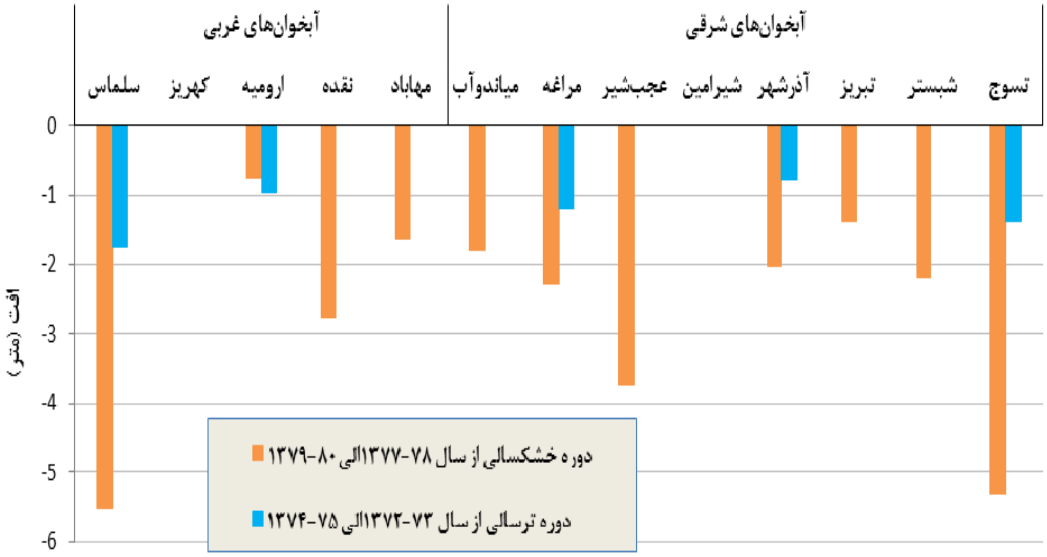
استان	نام محدوده	مساحت (Km^2)	درصد مساحت
	سلماس	۲۶۷۲	۱۱
آذربایجان غربی	ارومیه	۲۶۳۶	۱۱
	نقده	۱۱۷۶	۵
	مهاباد	۱۵۱۶	۶
	میاندوآب	۴۴۹۴	۱۹
	مراغه	۱۱۵۹	۵
	عجب‌شیر	۵۹۴	۲
آذربایجان شرقی	شیرامین	۳۲۷	۱
	آذرشهر	۴۶۴	۲
	تبریز	۷۴۱۴	۳۱
	صوفیان- شبستر	۱۲۸۳	۵
	تسوج	۵۴۸	۲
جمع		۲۴۲۸۳	۱۰۰

بررسی وضعیت کمی و کیفی آبخوان‌های مجاور دریاچه

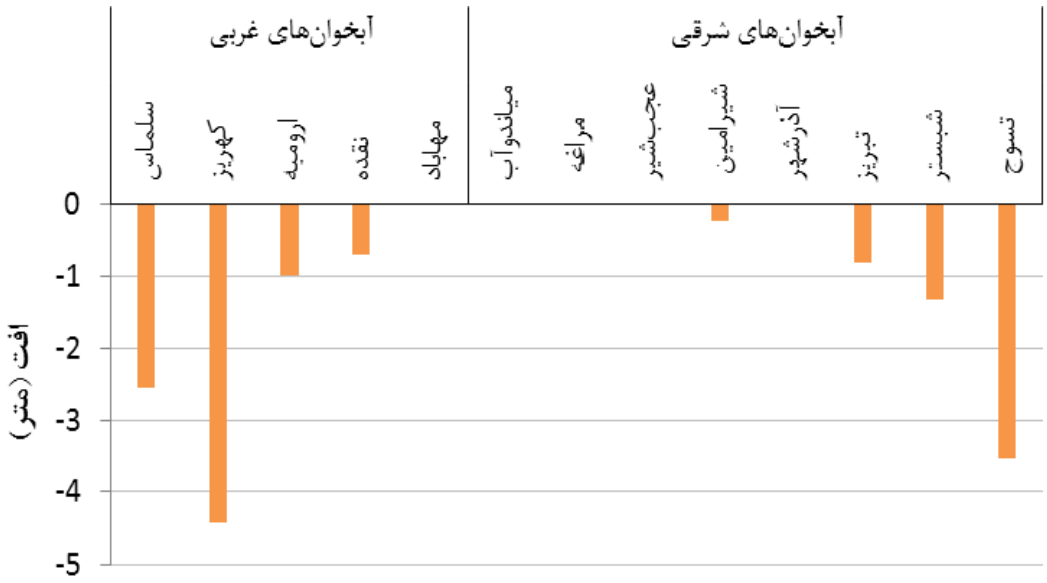
به‌منظور بررسی وضعیت کمی آبخوان‌های مورد نظر متوسط افت تراز آنها با توجه به هیدروگراف واحد آبخوان‌ها ارزیابی شد. در این تحقیق اطلاعات خام[1] مورد نیاز به‌منظور ارزیابی کمی و کیفی آبخوان‌ها، شامل داده‌های تراز آب زیرزمینی شبکه‌های پیزومتری و اطلاعات هدایت الکتریکی منابع انتخابی کیفی دشت، پس از ارزیابی اولیه به‌کار گرفته شد و نقشه‌های مورد نیاز این تحقیق از آن استخراج شد.

به‌منظور فراهم شدن امکان مقایسه و بررسی تأثیر اقلیمی بر آبخوان‌ها، سه سری زمانی شامل دورهٔ ترسالی (۷۵-۷۲)، دورهٔ خشکسالی (۸۰-۷۷) و دههٔ هشتاد (۸۹-۸۰) انتخاب شد. به‌این منظور مقدار تجمعی افت متوسط آبخوان‌ها بر اساس هیدروگراف واحد طی سال‌های مذکور مشخص و مقدار افت آنها در سه دورهٔ مذکور مطابق شکل ۲ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تراز آب زیرزمینی تطابق مناسبی را با وضعیت اقلیمی منطقه نشان می‌دهد، به‌طوری‌که مقدار افت آبخوان‌ها در دورهٔ ترسالی بسیار کم است و در دورهٔ خشکسالی با کاهش دسترسی به آب سطحی، با افزایش بهره‌برداری آبخوان‌ها مواجهیم. همچنین در دههٔ هشتاد با وجود شرایط اقلیمی طبیعی همچنان افت در آبخوان‌ها ادامه دارد. شکل ۳ نیز مقدار افت متوسط آبخوان‌ها را در دههٔ هشتاد نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که متوسط افت آبخوان‌ها حداکثر ۵ متر طی ۱۰ سال بوده که در قیاس با دیگر آبخوان‌های کشور زیاد نیست. ازاین‌رو نتایج این بخش در ظاهر نشان‌دهندهٔ وضعیت مناسب و مطلوب در این آبخوان‌هاست.

۱. اطلاعات خام مورد نیاز از دفتر مطالعات پایهٔ شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ شد.



شکل۲ . افت متوسط آبخوان‌ها در دورهٔ ترسالی، خشکسالی و دههٔ هشتاد



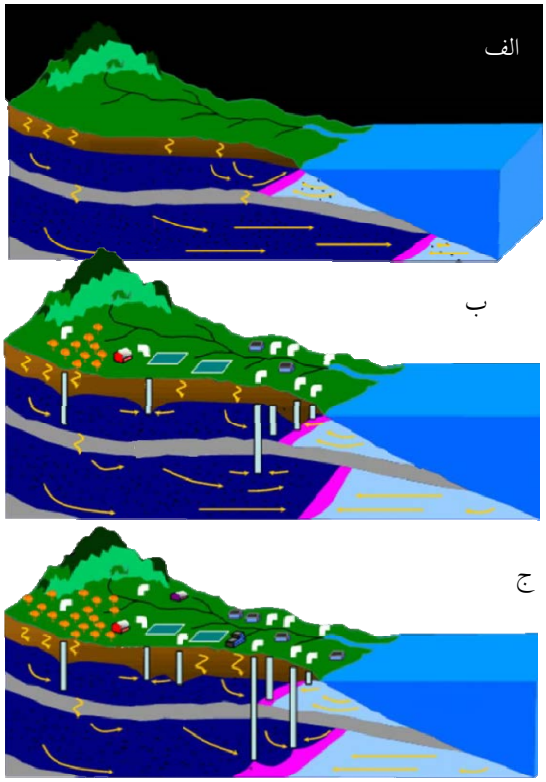
شکل۳ . مقدار تجمعی افت متوسط آبخوان‌ها در دههٔ هشتاد

به‌منظور بررسی وضعیت کیفی آبخوان‌ها تغییرات متوسط شوری آنها از ابتدای تشکیل شبکهٔ پایش تا پایان سال آبی ۹۰-۸۹ رسم شد (شکل٤). بر اساس این نمودار مقادیر متوسط شوری در تمامی آبخوان‌ها حداکثر افزایش ۲ دسی‌زیمنس بر متر را نشان می‌دهد که از لحاظ کیفی نیز آبخوان‌های بررسی‌شده وضعیت قابل قبولی دارند.

شکل ٤ . تغییرات شوری سفره‌های آب زیرزمینی از ابتدای تشکیل شبکهٔ پایش تا سال ۱۳۸۰

پیشروی جبهه‌های آب شور

از آغاز بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی، همواره خطر پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی وجود داشته است، به‌طوری‌که امروزه به‌علت بهره‌برداری‌های بی‌رویه، برخی آبخوان‌های سواحل جنوب کشور به لحاظ کیفی شرایط نامطلوبی پیدا کرده‌اند. ازاین‌رو به‌منظور جلوگیری از این گونه آسیب‌های زیست‌محیطی، ضروری است حد اینترفاز آب شور و شیرین جبهه‌های شور در دوره‌های مختلف زمانی موقعیت‌یابی و بررسی شود. شکل ۵ به‌صورت شماتیک ورود جبههٔ شور را از سمت دریاچه به سمت آبخوان در چنین مناطقی نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در وضعیت طبیعی و بدون برداشت از سفره، تعادلی بین آب شور و شیرین برقرار است و پیشروی آب شور وجود ندارد (شکل ۵-الف). به‌تدریج با افزایش نیاز به مخازن آب زیرزمینی و با شروع بهره‌برداری از آبخوان‌ها حد اینترفاز جابه‌جا شده و آب شور مقداری به سمت آبخوان پیشروی کرده است (شکل ۵-ب). اما با افزایش بهره‌برداری از آبخوان، حد اینترفاز نیز پیشروی می‌کند و موجب شور شدن چاه‌های مجاور دریاچه می‌شود (شکل ۵-ج). ازاین‌رو در صورت ادامهٔ این روند به‌تدریج کیفیت کل آبخوان تحت تأثیر شوری دریاچه قرار می‌گیرد.

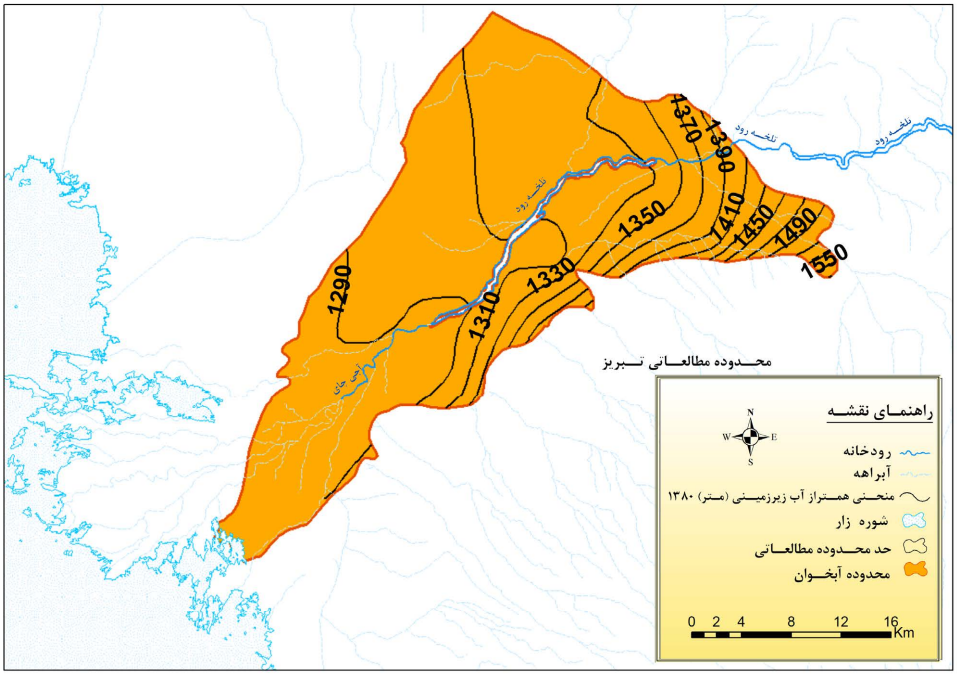


شکل ۵. روند پیشروی آب شور و جابجایی حد اینترفاز در اثر بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی

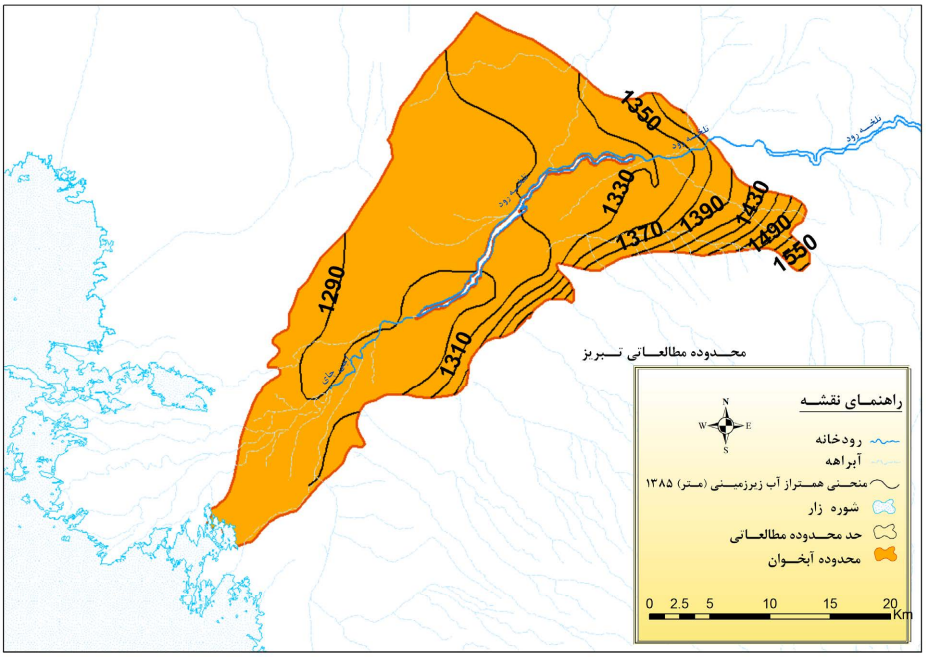
نتایج و بحث

روند تغییرات کمی سفره‌های آب زیرزمینی

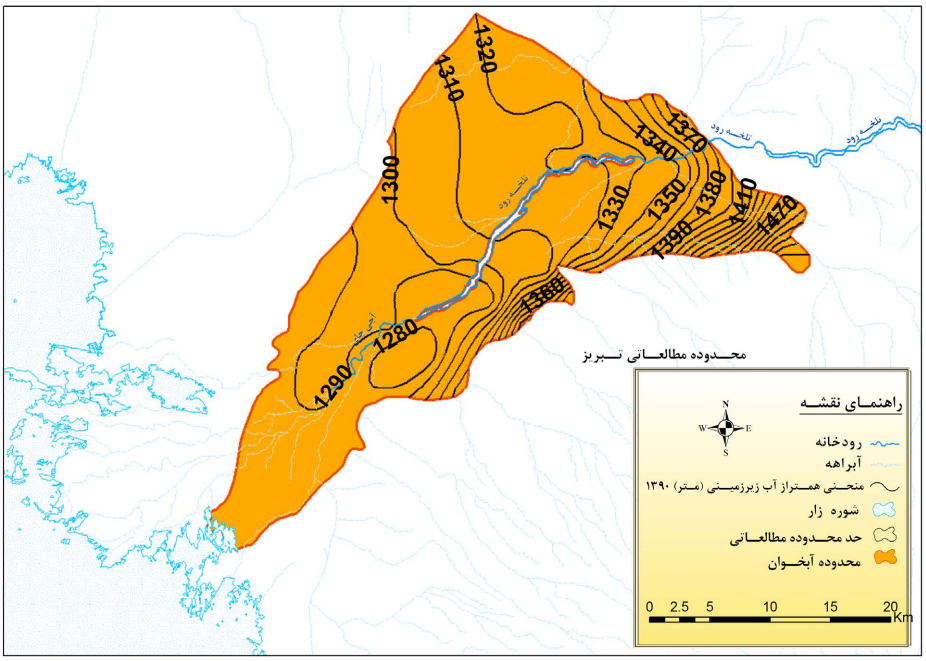
یکی از ابزارهای اصلی تحقیقات کمی سفره‌های آب زیرزمینی، نقشه‌های تراز آبخوان است که جهت جریان آب و مقدار ورودی و خروجی آبخوان را نشان می‌دهد. در سفره‌های آب زیرزمینی مجاور دریاچه، بررسی تغییرات خطوط تراز مشخص‌کنندهٔ حجم آب خروجی از آبخوان و همچنین مقدار پیشروی آب شور است. تغییر شکل خطوط تراز در مقاطع خروجی به‌صورت حلقوی ، به این معناست که در آن مناطق مقدار بهره‌برداری بسیار افزایش می‌یابد و به لحاظ شیب هیدرولیکی نیز جریان آب زیرزمینی معکوس می‌شود. نقشه‌های خطوط تراز آب زیرزمینی آبخوان تبریز با استفاده از داده‌های شبکهٔ چاه‌های مشاهده‌ای در سه مقطع زمانی ۱۳۸۰، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ تهیه شد که در شکل ٦ نشان داده شده است. بر اساس این شکل در سال ۱۳۸۰ (شکل٦-الف) خطوط تراز روند طبیعی جریان از سفرهٔ آب زیرزمینی به سمت دریاچه را نشان می‌دهد و همان‌طورکه مشخص است، سفرهٔ آب زیرزمینی دریاچه را تغذیه می‌کند. درحالی‌که در سال ۱۳۸۵ به‌تدریج شکل خطوط جبههٔ خروجی به شکل حلقوی در حال تغییر است (شکل٦-ب)، سرانجام در سال ۱۳۹۰ با افزایش بهره‌برداری (شکل٦-ج) خط تراز با رقم ۱۲۸۰ به شکل حلقوی درآمده است. به‌عبارت دیگر در این منطقه جهت جریان آب زیرزمینی از سمت دریاچه به آبخوان تغییر یافته است. به این ترتیب علاوه بر اینکه ورودی آب زیرزمینی به سمت دریاچه قطع شده ، آب دریاچه نیز در حال پیشروی به سمت آبخوان است.



(الف ـ ۱۳۸۰)



(ب ـ ۱۳۸۵)

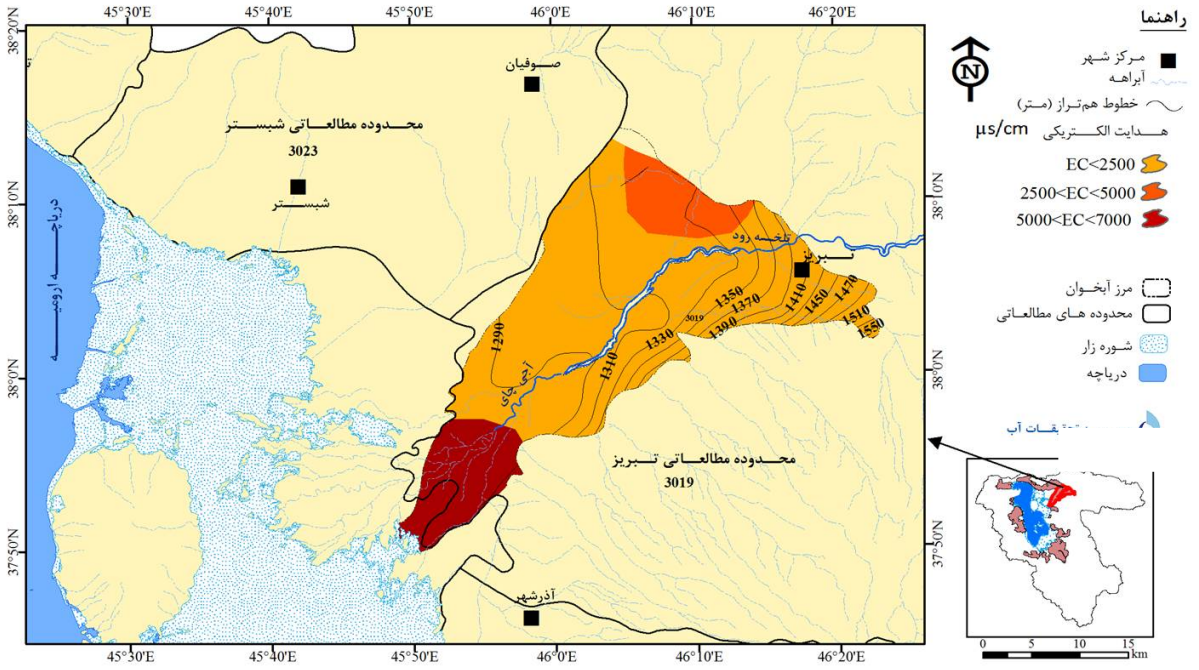


(ج ـ ۱۳۹۰)

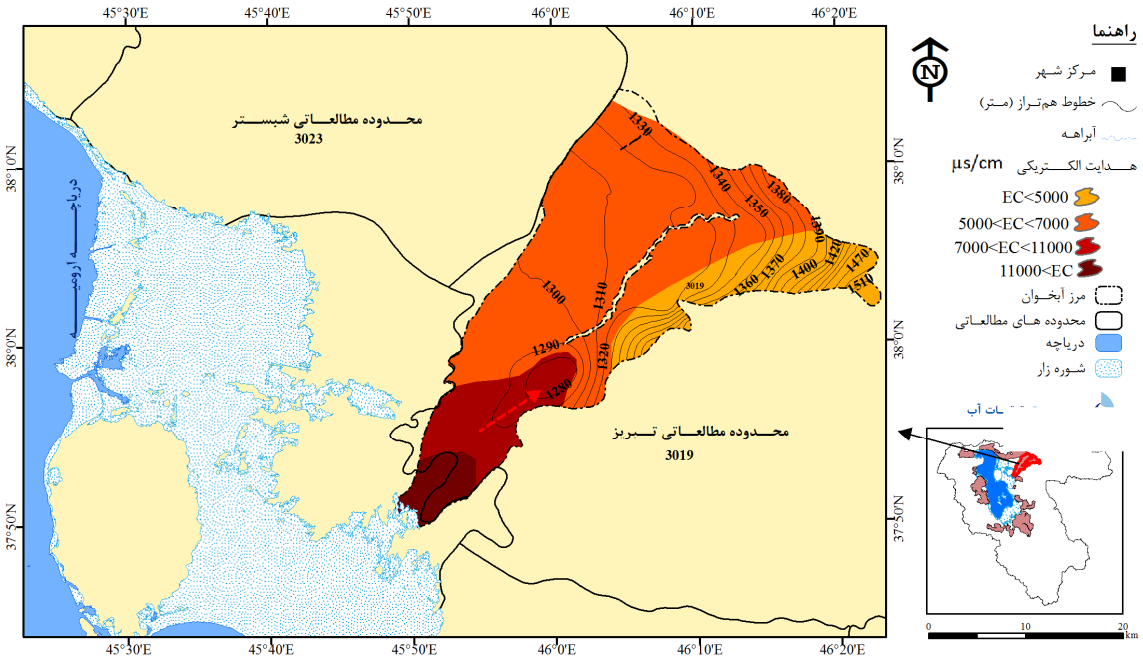
شکل ٦ . تغییرات خطوط تراز آب زیرزمینی آبخوان تبریز در دهۀ ۸۰ (الف-۱۳۸۰، ب-۱۳۸۵ و ج-۱۳۹۰)

روند تغییرات شوری سفره‌های آب زیرزمینی

یکی از مشخصه‌های مهم در بررسی وضعیت کیفی آبخوان‌های کشور، مقدار شوری آبخوان‌هاست که با هدایت الکتریکی مشخص شده و این پارامتر در بیشتر آبخوان‌ها اندازه‌گیری می‌شود. در این بخش روند کیفی و پهنه‌بندی شوری آبخوان تبریز در دو مقطع زمانی ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ تحلیل می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های خطوط تراز مشاهده شد، در سال ۱۳۹۰ جهت جریان در مقطع خروجی معکوس شده است. در شکل‌های ۷ و ۸ پهنه‌بندی شوری آبخوان تبریز به‌همراه خطوط تراز به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ ارائه شده است. با توجه به شکل ٦ سطح زیادی از آبخوان کیفیت نامناسبی در نفوذ جبهۀ آب شور پیدا کرده است، به‌نحوی که مقدار هدایت الکتریکی در آن منطقه به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. بر اساس مقایسۀ شکل‌های ۵ و ٦، تأثیر جبهۀ شوری با هدایت الکتریکی بیشتر از ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر (۵ ds/m) در سال ۱۳۸۰، ۱۰ درصد آبخوان را پوشش داده است، درحالی‌که در سال ۱۳۹۰ بیش از ۸۰ درصد آبخوان را در برگرفته است. همچنین مقدار شوری از حداکثر ۷۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر (۷ ds/m) در سال ۱۳۸۰ به بالای ۱۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر (۱۱ ds/m) در سال ۱۳۹۰ در مقطع جبهۀ خروجی رسیده است که نشان‌دهندۀ ورود آب شور دریاچۀ ارومیه به سمت آبخوان تبریز است.



شکل۷ . نقشۀ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان تبریز در سال ۱۳۸۰



شکل۸. نقشۀ هم‌تراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان تبریز در سال ۱۳۹۰

بررسی تبادلات آبی آبخوان‌های اطراف دریاچۀ ارومیه

به‌منظور بررسی تبادلات آبی در این بخش کلیۀ آبخوان‌های مجاور دریاچۀ ارومیه از لحاظ کیفی و کمی بررسی شد تا آبخوان‌های بحرانی از لحاظ پیشروی آب شور دریاچه مشخص شود. در این بررسی خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی جهت جریانات زیرزمینی را نشان می‌دهد که بررسی همزمان آن با مقدار شوری در نقاط مختلف آبخوان می‌تواند به‌منظور قضاوت در مورد مقدار نفوذ آب شور به آبخوان‌ها استفاده شود.

شکل‌های ۹ تا ۲۰ کلیۀ آبخوان‌های مجاور دریاچۀ ارومیه را به‌همراه پهنه‌بندی کیفی و خطوط تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهد. شکل ۹ تراز آب زیرزمینی و کیفیت آبخوان‌های آذرشهر و شیرامین را در سال ۱۳۸۰ نشان می‌دهد که در مقایسه با سال ۱۳۹۰ (شکل۱۰) هدایت الکتریکی در آنها در نقاط مجاور دریاچه به‌شدت افزایش یافته و همچنین با توجه به خطوط تراز جبهه‌های خروجی به شکل حلقوی درآمده است و جبهۀ آب شور با مقدار شوری زیاد به این آبخوان‌ها وارد شده است. این شرایط در آبخوان میاندوآب (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) نیز ملاحظه می‌شود. همان‌طورکه شکل ۱۲ نشان می‌دهد، سطح وسیعی از این آبخوان هدایت الکتریکی به بیش از دو برابر افزایش یافته است. در آبخوان کهریز نیز هدایت الکتریکی نسبتاً بالایی ملاحظه می‌شود (شکل۱۳).

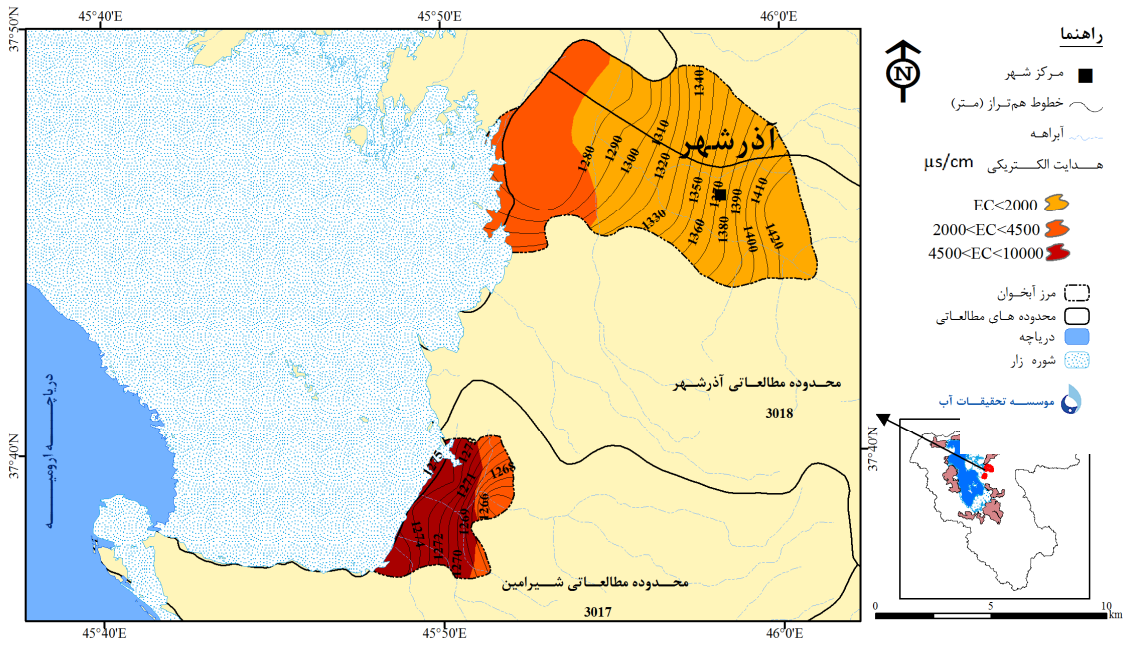
با توجه به وضعیت خطوط تراز در آبخوان‌های عجب‌شیر و شبستر- صوفیان نیز خطر ورود جبهۀ آب شور و برگشت جریان در حال افزایش است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵)، اما هنوز این جبهه‌ها به داخل آبخوان نفوذ

نکرده‌اند. این شرایط در آبخوان‌های مراغه و نقده نیز وجود دارد (شکل‌های ١٤ و ١٦)، در حالی که وضعیت آبخوان‌های مهاباد، سلماس، تسوج و ارومیه مطلوب‌تر است(شکل‌های ١٧ تا ٢٠). در این آبخوان‌ها با وجود بهره‌برداری از آب زیرزمینی و افت تراز آب کیفیت منابع آب به‌دلیل شرایط زمین‌شناسی بخش غربی دریاچه وضعیت بهتری دارد. با توجه به مطالب عنوان‌شده در این بخش آبخوان‌های همجوار دریاچه را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

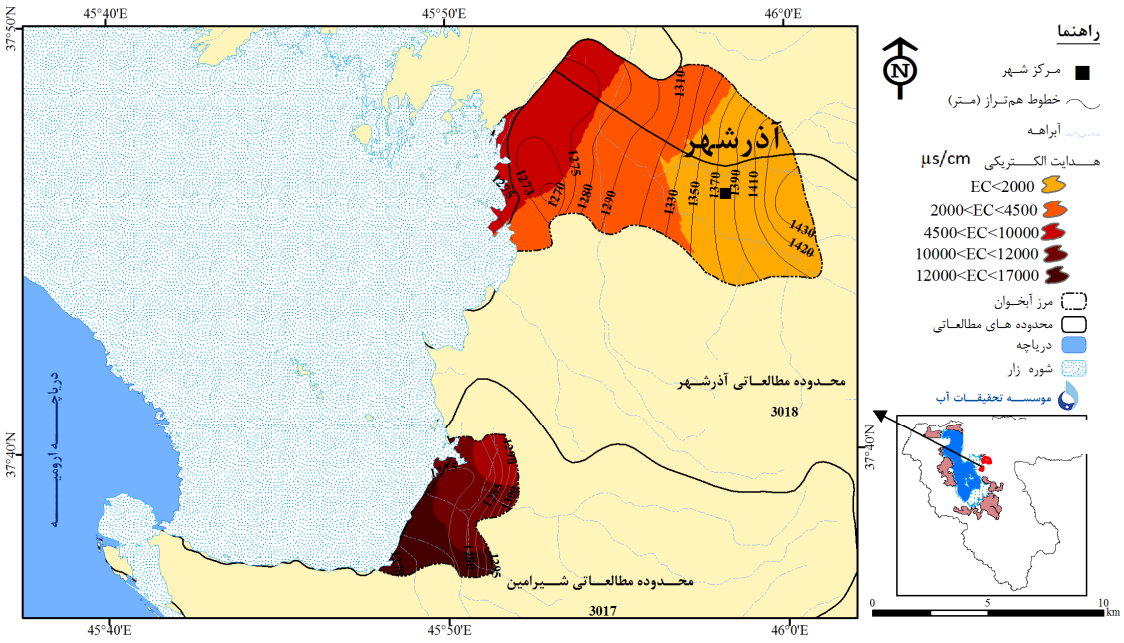
– دستهٔ اول شامل آبخوان‌هایی هستند که دچار پیشروی آب شور شده‌اند. این آبخوان‌ها در وضعیت بحرانی بوده و جهت جریان آب زیرزمینی در آنها از سمت دریاچه به آبخوان تغییر یافته است. آبخوان‌های تبریز، آذرشهر، شیرامین، میاندوآب و کهریز در این گروه قرار دارند؛

– دستهٔ دوم آبخوان‌های در آستانهٔ وضعیت بحرانی‌اند، به‌طوری‌که خطوط تراز آنها در حال تغییر شکل و تشکیل خطوط حلقوی است و جبهه‌های آب شور در حال نزدیک شدن به آبخوان هستند. در این آبخوان‌ها باید بهره‌برداری در نقاط بحرانی بااحتیاط صورت گیرد. آبخوان‌های شبستر–صوفیان، عجب‌شیر، مراغه و نقده در این گروه قرار دارند؛

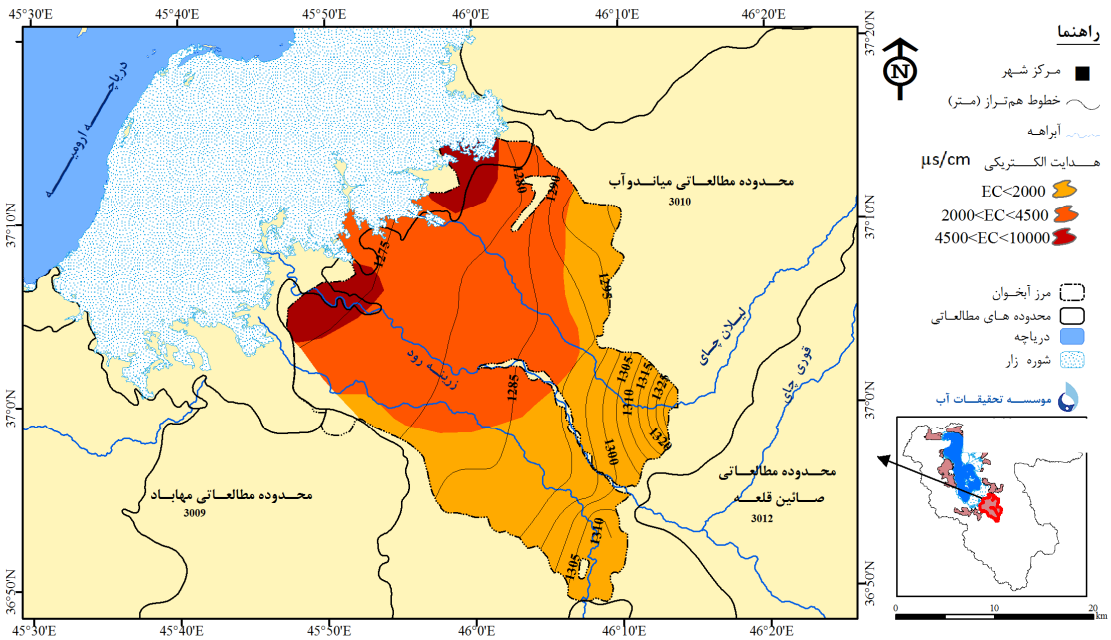
– دستهٔ سوم آبخوان‌هایی هستند که وضعیت شوری و خروجی آب زیرزمینی در حال حاضر نرمال است و آبخوان سیر طبیعی خود را دنبال می‌کند. آبخوان‌های مهاباد، سلماس، تسوج و ارومیه نیز در این گروه قرار دارند.



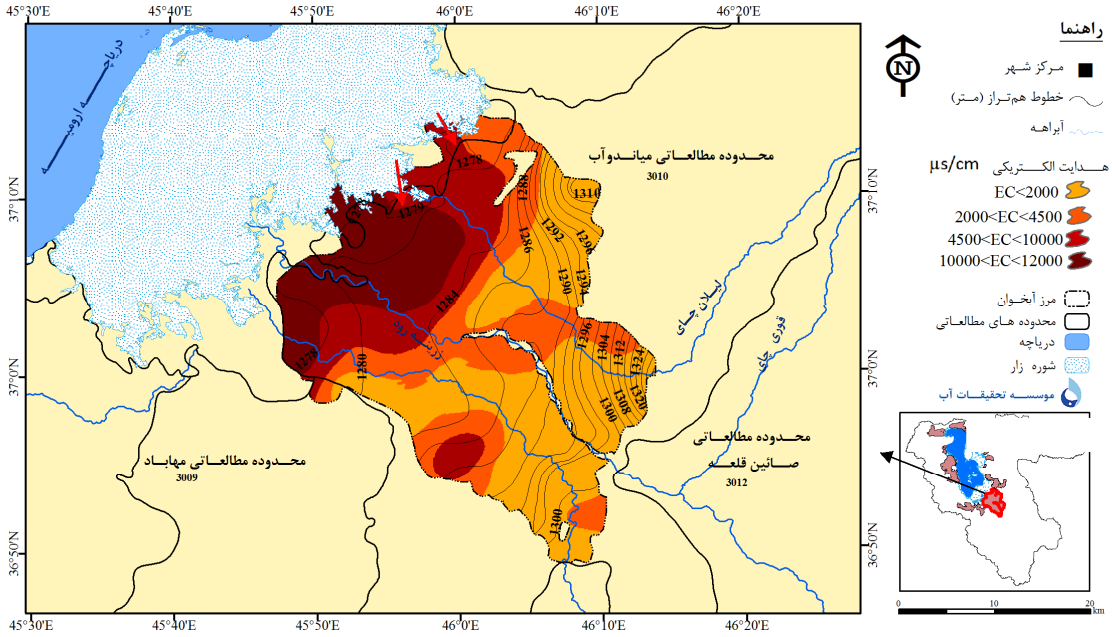
شکل ۹ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان آذرشهر و شیرامین در سال ۱۳۸۰



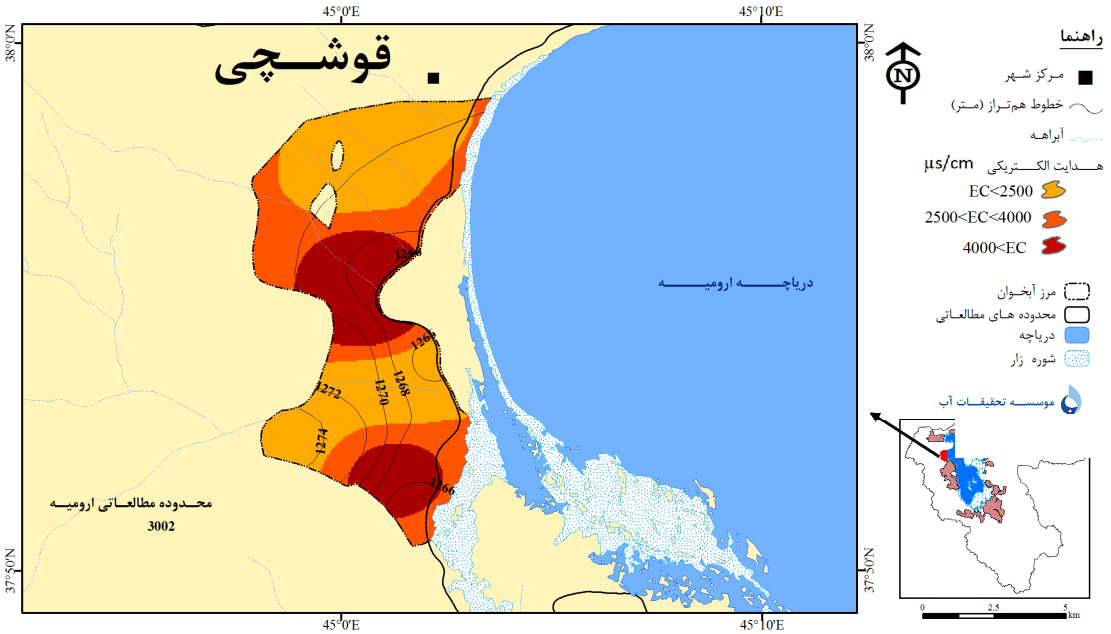
شکل ۱۰ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان آذرشهر و شیرامین در سال ۱۳۹۰



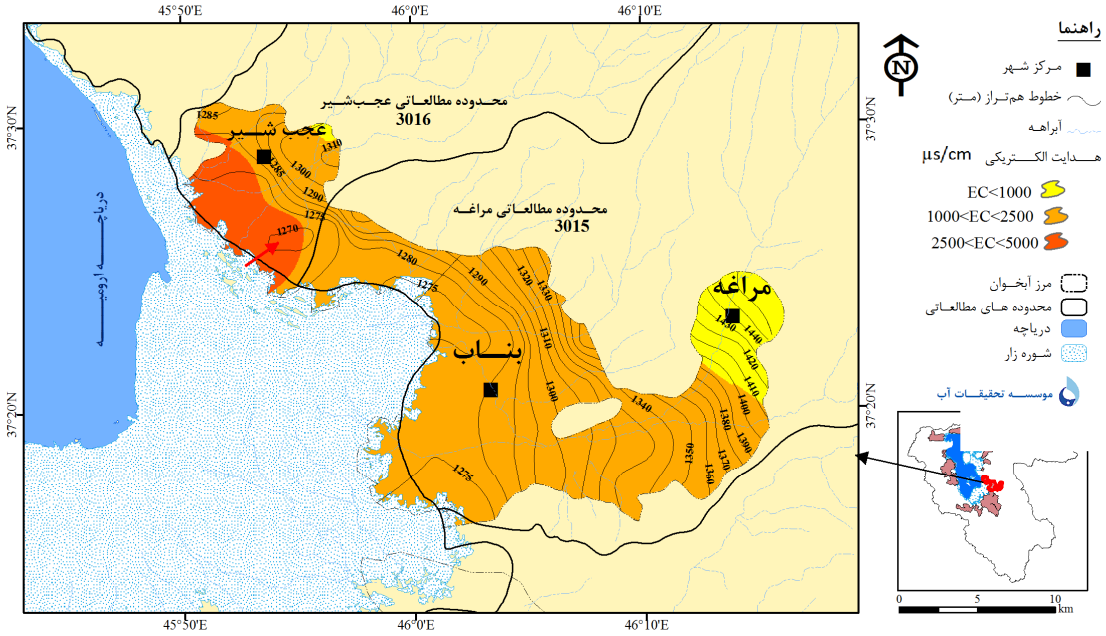
شکل ۱۱ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان میاندوآب در سال ۱۳۸۰



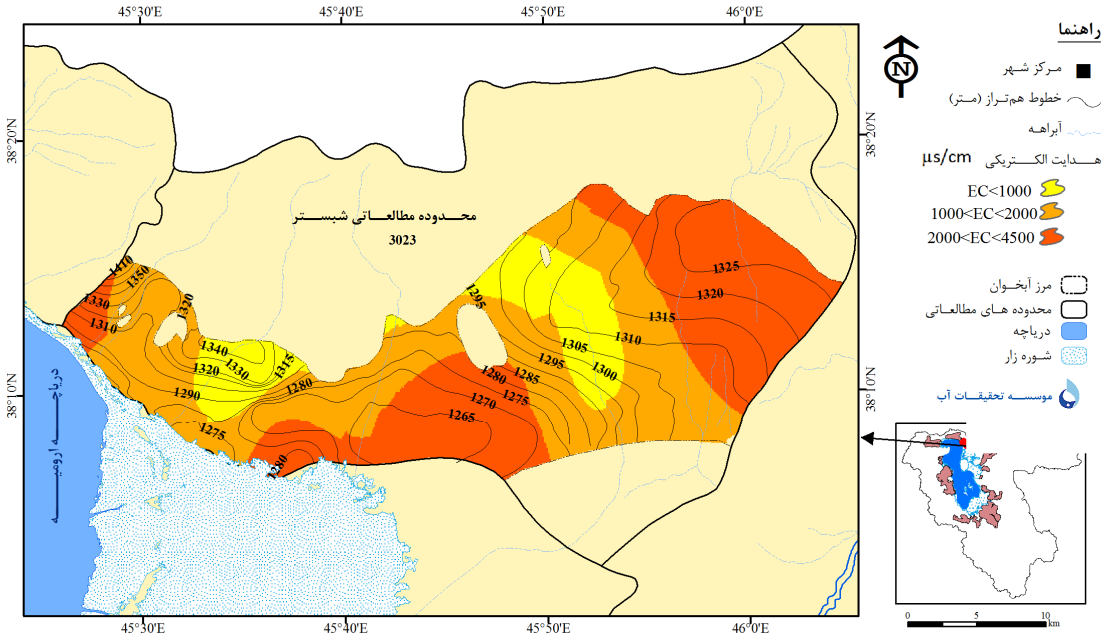
شکل ۱۲ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان میاندوآب در سال ۱۳۹۰



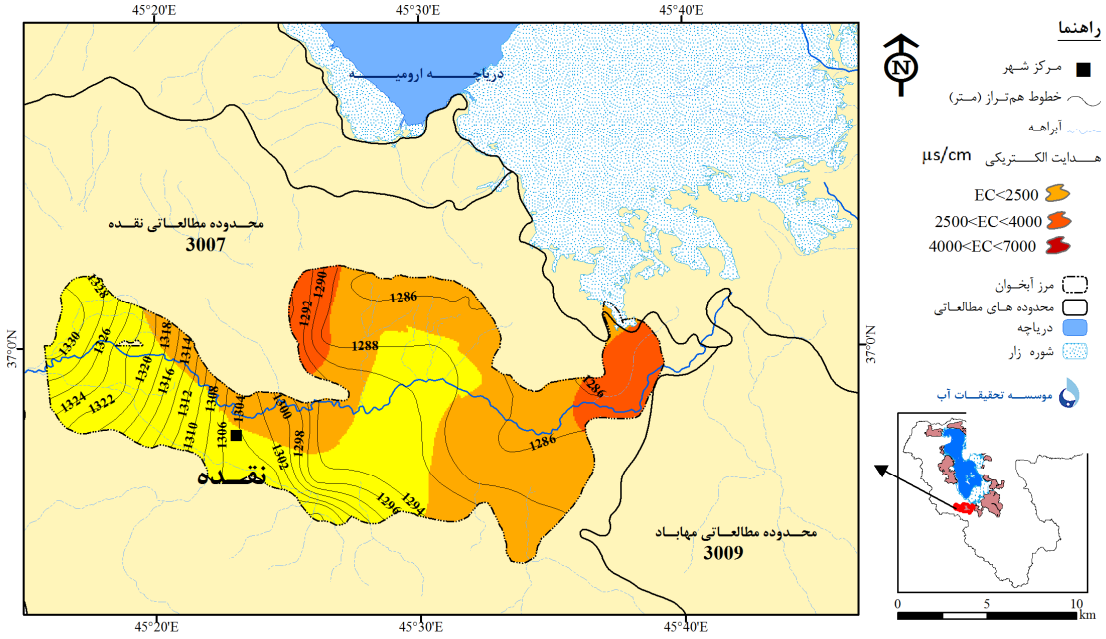
شکل ۱۳ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان کهریز در سال ۱۳۹۰



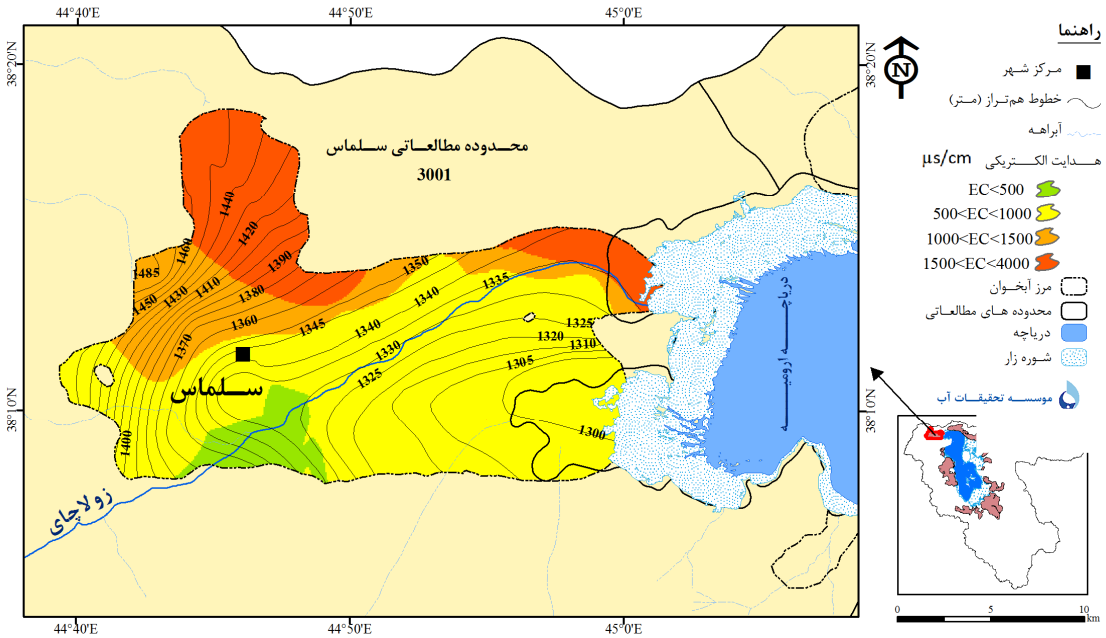
شکل ١٤ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان عجب‌شیر و بناب در سال ۱۳۹۰



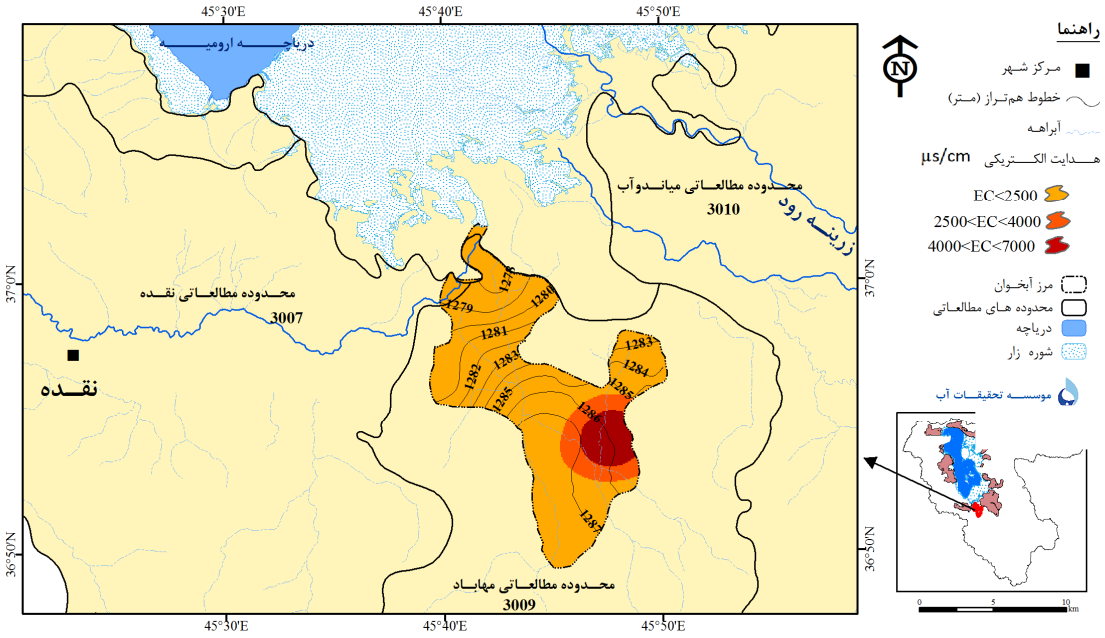
شکل ١٥ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان شبستر-صوفیان در سال ۱۳۹۰



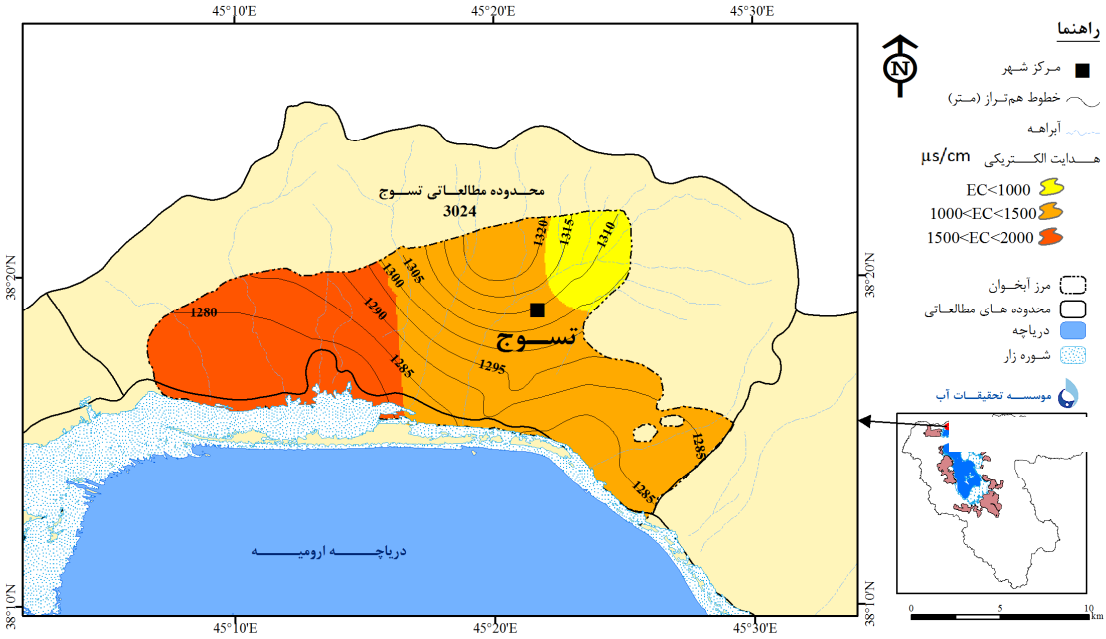
شکل ۱۶ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان نقده در سال ۱۳۹۰



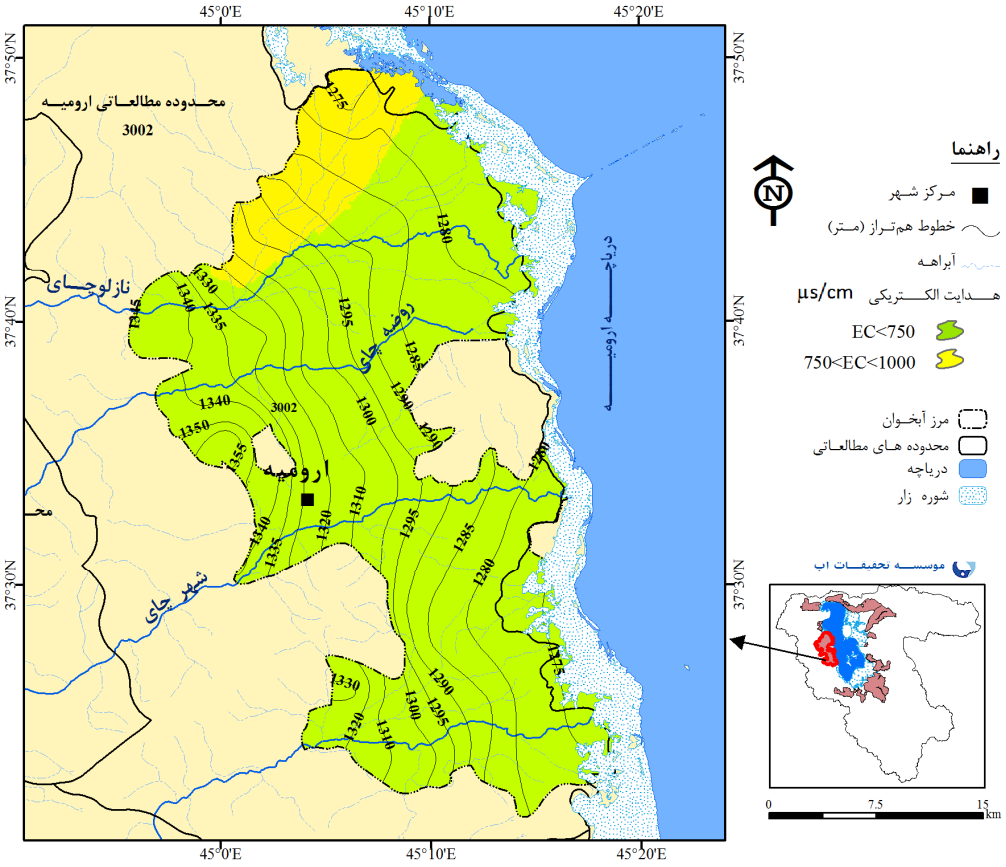
شکل ۱۷ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان سلماس در سال ۱۳۹۰



شکل ۱۸ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان مهاباد در سال ۱۳۹۰



شکل ۱۹ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان تسوج در سال ۱۳۹۰



شکل ۲۰ . نقشهٔ همتراز آب زیرزمینی و پهنه‌بندی شوری آبخوان ارومیه در سال ۱۳۹۰

نتیجه‌گیری

در این تحقیق منابع آب زیرزمینی همجوار دریاچه از لحاظ تبادلات آبی با دریاچه در دو مقطع زمانی بررسی شد. بر اساس نتایج ورودی آب زیرزمینی دریاچهٔ ارومیه از آبخوان‌های همجوار در دههٔ گذشته در اثر بهره‌برداری بیش از حد کاهش یافته است. به این ترتیب که در آبخوان‌هایی مانند مهاباد، تبریز، آذرشهر، شبستر–صوفیان و عجب‌شیر جهت جریان آب زیرزمینی تغییر کرده و ورودی زیرزمینی به دریاچه صفر شده است. به‌طور کلی وضعیت آبخوان‌های استان آذربایجان شرقی از لحاظ کیفی نسبت به استان آذربایجان غربی نامطلوب است. ازاین‌رو ضروری است وضعیت بهره‌برداری از آبخوان‌های شرقی دریاچه به‌طور جدی بازنگری شود. همچنین مشخص شد توجه به مقادیر متوسط پارامترهایی مانند افزایش شوری و افت در تصمیم‌گیری و مدیریت آبخوان اثرهای نامطلوبی به‌همراه خواهد داشت و تحلیل صحیح تغییرات کمی و کیفی آبخوان باید به‌صورت توأمان و موضعی باشد.

منابع

۱. باقری، م (۱۳۹۰). ارزیابی فن‌آوری سنجش از دور در برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس حوضه‌ای مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه. دانشگاه تربیت مدرس، تهران. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

۲. بی‌نام (۱۳۸۰). *مدیریت جامع منابع آب حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه*، مؤسسهٔ تحقیقات آب.

۳. بی‌نام (۱۳۸۹). *برنامهٔ مدیریت جامع دریاچهٔ ارومیه*، سازمان محیط زیست کشور.

٤. بی‌نام (۱۳۸۹). *مطالعات پیامدهای زیست‌محیطی طرح‌های توسعهٔ منابع آب حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه بر دریاچه*، جلد سوم، *اثرات متقابل کیفیت آب و تراز دریاچه*، شرکت مهندسین مشاور یکم.

۵. حمزه‌پور، ص؛ دادحسینی مبرا، ع؛ بهمنش، ج (۱۳۹۱). بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از سیستم GIS (پارامتر مورد تحقیق: نیترات)، *مجموعه مقالات همایش بین‌المللی دریاچهٔ ارومیه چالش‌ها و راهکارها*. آذربایجان غربی، ایران.

٦. دلاور، م (۱۳۸٤). تحلیل و ارائهٔ مدل نوسانات تراز آب دریاچهٔ ارومیه و آنالیز ریسک مناطق ساحلی. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

۷. سامانی، ج م؛ سلیمانی، الف؛ مظاهری، م (۱۳۸۹). *بررسی وضعیت بحرانی دریاچهٔ ارومیه*. دفتر مطالعات زیربنایی مرکز پژوهش‌های مجلس.

۸. محمدی، ع؛ دوستی رضایی م؛ دادروان، ف (۱۳۹۱). «بررسی تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌های ساحلی دریاچهٔ ارومیه»، *مجموعه مقالات همایش بین‌المللی دریاچهٔ ارومیه چالش‌ها و راهکارها*، آذربایجان غربی، ایران.

9. Bear J (2006) Sea Water Intrusion into Coastal Aquifers. John Wiley & Sons, 504 p.

10. Huyakorn P, Andersen P, Mercer J and White Jr (1987) Saltwater intrusion in aquifers: Development and testing of a three-dim ensional finite element model. Water Resources Research. 23(2): 293–312.

11. Mantoglou A (2003) Pum ping management of coastal aquifers using analytical models of saltwater intrusion. W ater Resources Research. 39(12): 42-58.

12. Sherif, M and Singh, V (1999) Effect of climate change on sea water intrusion in coastal aquifers. Hydrological Processes. 13(8): 1277-1287.

13. Todd K D and M ays LW (2005) Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons, 508 p.