ارزیابی آسیب‌پذیری نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان ساحلی با استفاده از مدل GALDIT

محمد نخعی [۱*] ، میثم ودیعتی [۲] و خالق محمدی [۳]

[۱] دانشیار، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
[۲] دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۳] کارشناسی ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۲

چکیده

در چند سال اخیر، هجوم آب شور به آبخوان ارومیه سبب بدتر شدن کیفیت آب زیرزمینی شده است. به دلیل اثرات زیست محیطی جبران ناپذیر و نامناسب بودن شرایط آبخوان، مطالعه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی ناشی از نفوذ آب شور بسیار ضروری است. در این پژوهش بر کاربرد روش جدید گالدیت به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، تحت تأثیر نفوذ آب شور دریاچه ارومیه تمرکز شده است. محاسبه شاخص گالدیت بر اساس شش شاخص ماهیت آبخوان (G)، هدایت هیدرولیکی آبخوان (A)، ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح دریا (L)، فاصله از ساحل (D)، تأثیر بزرگی و گستردگی آب شور نفوذ کرده (I) و ستبرای آبخوان (T) است. نتایج این پژوهش نشان داد، شاخص گالدیت در شمال خاوری آبخوان بسیار بالا و در جنوب خاور آبخوان بالا است. آسیب‌پذیری در شمال آبخوان متوسط و در خاور کم است. روش گالدیت کمک زیادی به مدیران برای مطالعه شرایط آبخوان می‌کند.

کلید واژه‌ها: آبخوان ارومیه، دریاچه ارومیه، شاخص GALDIT، آسیب‌پذیری، کیفیت آب، هیدروژئولوژی.

***نویسنده مسئول:** محمد نخعی
Email: nakhaei@khu.ac.c.ir

۱- پیش‌نوشتار

نوار ساحلی دریاچه ارومیه بیش از ۲۰۰ کیلومتر طول دارد و بیشتر آن را زمین‌های کشاورزی تشکیل می‌دهد. جمعیت نسبتاً فراوانی نیز در این منطقه ساکن هستند. تقاضا و استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، این نواحی را با کمبود منابع آب روبرو کرده است. در طول سواحل دریاچه ارومیه کیفیت و کمیت منابع آب هر روزه رو به کاهش است. بخش عمده آب شیرین که برای مقاصد مختلفی در نواحی ساحلی مصرف می‌شوند؛ از منابع آب زیرزمینی استخراج می‌شوند. استخراج بدون برنامه‌ریزی و بیش از حد مجاز آب زیرزمینی در نواحی ساحلی خطر نفوذ آب شور و آلودگی آبخوان و در کنار آن نمک‌زایی زمین‌های کشاورزی را افزایش داده است. دخالت انسان در رژیم هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی سواحل منجر به نفوذ آب شور و آلودگی آب زیرزمینی سواحل شده است. تجربه نشان داده است، احیای آب زیرزمینی که دچار نفوذ آب شور شده است نه تنها مشکل است؛ بلکه در بسیاری از موارد غیر اقتصادی خواهد بود. بنابراین مدیریت و پایش کیفیت آب و محدوده نفوذ آب شور از اهمیت بالایی برخوردار است.

واژه آسیب‌پذیری به پتانسیل درجه تخریب، با درنظر گرفتن خطری مشخص اشاره می‌کند (Varnes, 1984). برای مسائل آب زیرزمینی، Lobo-Ferreira & Carbal (1991) آسیب‌پذیری را حساسیت کیفیت آب زیرزمینی به آلودگی وارده به آبخوان با در نظر گرفتن ویژگی‌های ذاتی آبخوان، تعریف کردند. بنابراین آسیب‌پذیری آبخوان به آلاینده‌های مختلف یا هجوم آب شور به آبخوان‌های ساحلی، موضوع تحلیل بسیاری از پژوهشگران مختلف شده است (Cardona et al., 2004; Chachadi et al., 2002). تاکنون مدل‌های آسیب‌پذیری متنوعی در زمینه آلودگی آبخوان معرفی شده است. مدل دراستیک یکی از روش‌های ساده و مفید ارزیابی آلودگی آبخوان است که توسط Aller et al. (1987) معرفی شد. مطالعات مشابهی نیز در زمینه مدل دراستیک تاکنون در کشورمان انجام شده است (عزیزی و محمدزاده، ۱۳۹۱). قره محمودلو و ناصری (۱۳۸۷) به بررسی نفوذ آب شور در آبخوان شهر ساری به کمک روش‌های هیدروشیمیایی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در برخی مناطق آب شور به آبخوان ساحلی نفوذ کرده است. تاکنون مطالعات شایان ذکری در زمینه آسیب‌پذیری نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی و آلودگی آبخوان‌های ساحلی انجام نگرفته است.

هدف از این پژوهش، ایجاد مدل آسیب‌پذیری نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دشت ارومیه برای ارزیابی بزرگی و وسعت نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی است. به دلیل برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در نواحی ساحلی، آب شور دریاچه به سوی آبخوان‌های ساحلی هجوم آورده و سبب کاهش کیفیت آب زیرزمینی شده است (جعفری و افتخاری، ۱۳۹۲). مدیریت و پایش تغییرات محدوده اختلاط آب شور و شیرین یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی مهندسین علوم آب و تصمیم‌گیران به شمار می‌رود. از این رو تعیین مناطق پر خطر از نظر نفوذ آب شور بسیار ضروری به نظر می‌رسد. نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده، می‌تواند ابزار مناسبی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی ساحلی باشد.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه نوار ساحلی دشت ارومیه، میان طول جغرافیایی ′۴۴ و °۲۰ تا ′۵ و °۲۰ و عرض جغرافیایی ′۳۷ و °۶ تا ′۳۷ و °۳۰ قرار گرفته است. دشت ساحلی ارومیه از شمال به حوضه آبریز زولاچای و خرخره چای، از خاور به دریاچه ارومیه، از جنوب به حوضه آبریز گدارچای و از باختر به محدوده زیوه - سیلوانه محدود می‌شود. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی دشت ارومیه را نشان می‌دهد.

شرایط هیدروژئولوژیکی نواحی ساحلی و فعالیت‌های انسانی، به میزان زیادی بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. اختلاط آب شور و شیرین و پسماندهای سمی، سبب آلودگی آبخوان و کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. تاکنون از روش‌هایی که بتوان عوامل هیدروژئولوژیکی را در آسیب‌پذیری نواحی ساحلی به نفوذ آب شور دخیل کرد؛ کمتر استفاده شده است. بنابراین لازم است، برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان سیستمی طراحی شود؛ تا بتوان با استفاده از روش‌های معتبر و رویکردی مفید، بهترین استفاده را از داده‌های موجود داشت. بنابراین باید سیستمی

که دارای شاخص‌های آسیب‌پذیری و در برگیرنده ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی، توپوگرافی و دیگر ویژگی‌های آبخوان باشد، مورد استفاده قرار گیرد.

ارزیابی آسیب‌پذیری نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی برای اولین بار توسط Chachadi & Lobo-Ferreira (2001) به منظور ارزیابی میزان آلودگی آبخوان و نفوذ آب شور دریا به آبخوان‌های ساحلی انجام شد و مدل GALDIT نامیده شد. این روش به طور موفقیت آمیزی در سواحل پرتغال، آبخوان مونته گوردو (Chachadi & Lobo-Ferreira, 2001; Lobo Ferreira et al., 2005)، سواحل آبخوان باردیز (Chachadi et al., 2002)، سواحل یونان، آبخوان رودوپ (Kallioras et al., 2011) و سواحل هند (Shetkar & Mahesha, 2011) به کار گرفته شده است.

زمین‌شناسی منطقه، درک درستی از شرایط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی حاکم بر آبخوان به منظور مطالعه محدوده تداخل آب شور دریاچه و آبخوان ساحلی ارائه می‌دهد. نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است. جنس لایه‌های رسوبی در این محدوده مطالعاتی بیشتر از نوع ماسه سنگ، شیل (سیلتی و آهکی)، دولومیت، آهک و در بخش‌هایی کنگلومرایی است. در محدوده شمال باختری سنگ‌هایی از جنس آذرآواری و آذرین و در خاور محدوده پادگانه‌های آبرفتی قدیمی مشاهده می‌شوند.

آبخوان ساحلی ارومیه از نوع آزاد است و عمدتاً از رسوبات ناشی از فرسایش کوه‌های مرزی ایران و ترکیه به وجود آمده است. چهار رودخانه نازلوچای، باراندوز چای، شهرچای و روضه‌چای نقش عمده‌ای در تغذیه دشت ارومیه دارند (مهندسین مشاور کاو آب، ۱۳۸۸). سطح آب زیرزمینی به صورت ماهانه از طریق چاه‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری شده است. شکل ۳ تراز سطح آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی دشت ارومیه را برای شهریور ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. سوی جریان آب زیرزمینی از توپوگرافی کلی منطقه پیروی می‌کند و از باختر به خاور بوده و در دریاچه ارومیه تخلیه می‌شود.

۲-۱. سیستم پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان

از ویژگی‌های ذاتی هیدروژئولوژیکی، ویژگی‌های فیزیکی آن محیط است؛ که پتانسیل نفوذ آب شور را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین عوامل مؤثر در نفوذ آب شور، عبارتند از:

۱) نوع آبخوان (آزاد، محبوس، نشتی)؛
۲) هدایت هیدرولیکی آبخوان؛
۳) ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح آب دریا؛
۴) فاصله عمودی محل مورد نظر تا خط ساحلی (نزدیک‌ترین خط جریان)؛
۵) تأثیر بزرگی و گستردگی آب شور نفوذ کرده؛
۶) ستبرای آبخوان.

واژه GALDIT برگرفته از حروف اول شش عامل هیدروژئولوژیکی است که شامل ماهیت آبخوان (G)، هدایت هیدرولیکی آبخوان (A)، ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح دریا (L)، فاصله از ساحل (D)، تأثیر بزرگی و گستردگی آب شور نفوذ کرده (I) و ستبرای آبخوان (T) است. این شش عامل در ترکیب با همدیگر برای ارزیابی پتانسیل نفوذ آب شور استفاده می‌شوند. در این پژوهش، سیستم رتبه‌بندی عددی با استفاده از عوامل گالدیت، برای ارزیابی پتانسیل نفوذ آب شور در محیط‌های هیدروژئولوژیکی طراحی شده است. این سیستم دارای سه بخش وزن‌ها، محدوده‌ها و رتبه‌بندی اهمیت شاخص‌ها است. وزن تعیین شده برای هر شاخص نشان دهنده اهمیت نسبی آن شاخص در فرایند نفوذ آب شور است. پس از شناسایی عوامل، وزن هر شاخص با توجه به اهمیت آن شاخص در نفوذ آب شور تعیین می‌شود. وزن هر یک از شاخص‌ها در جدول ۱ آورده شده است. مهم‌ترین شاخص دارای وزن ۴ و کم اهمیت‌ترین شاخص دارای وزن ۱ است. رتبه اهمیت شاخص‌ها نیز با استفاده از مقیاس چهار رتبه‌ای (۲/۵ تا ۱۰) انجام شد. با توجه به اهمیت نسبی هر شاخص، رتبه اهمیت آن تعیین می‌شود. محدوده این رتبه‌بندی میان ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ قرار دارد. بالاترین رتبه، نشان دهنده بالاترین آسیب‌پذیری خواهد بود؛ و در نهایت معیار تصمیم‌گیری جمع امتیاز همه شاخص‌ها است.

۳- معرفی شاخص‌ها

۳-۱. نوع آبخوان

آب‌های زیرزمینی به طور معمول در سازندهای متخلخل زمین‌شناسی پدیدار می‌شوند و آبخوان‌های آزاد، محبوس و نشتی را تشکیل می‌دهند. نفوذ آب شور به نوع آبخوان بستگی دارد. آبخوان محبوس، به دلیل مخروط افت بزرگ (Chachadi, 2005) بیشترین امتیاز را در رتبه‌بندی نسبت به آبخوان‌های دیگر دارد. به عنوان مثال اگر سیستمی دارای هر سه نوع آبخوان باشد؛ رتبه ۱۰ باید برای آبخوان محبوس لحاظ شود. جدول ۲ رتبه‌بندی شرایط مختلف هیدروژئولوژیکی را ارائه داده است.

۳-۲. هدایت هیدرولیکی آبخوان

توانایی عبور آب از میان خاک یا سنگ تحت تأثیر گرادیان هیدرولیکی، هدایت هیدرولیکی تعریف می‌شود (Castany, 1982). بزرگی جبهه آب شور نفوذ کرده تحت تأثیر هدایت هیدرولیکی است. در یک فشار هیدرولیکی ثابت، هر چه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد؛ جبهه آب شور نفوذ کرده به درون آبخوان بیشتر خواهد بود. همچنین هدایت هیدرولیکی بالا می‌تواند به دلیل ایجاد مخروط افت پس از پمپاژ باشد، که سبب نفوذ حجم زیاد آب شور به درون آبخوان ساحلی می‌شود. شکل ۴ رابطه میان طول جبهه آب شور نفوذ کرده (L) و جریان آب زیرزمینی که به دریا تخلیه می‌شود را نشان می‌دهد. نرخ جریان آب زیرزمینی تخلیه شده به دریا، میان میزان تغذیه آبخوان ساحلی و میزان برداشت از آن، در نوسان است.

با توجه به این که آبخوان ارومیه از نوع آزاد است؛ معادله طول زبانه نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی بدین صورت خواهد بود: بیشترین مقدار نفوذ آب شور در فصل خشک زمانی رخ می‌دهد که تغذیه ناشی از بارندگی صفر باشد. رتبه‌بندی پارامتر هدایت هیدرولیکی در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین اهمیت به بیشترین میزان هدایت هیدرولیکی و رتبه ۱۰ برای آن مشخص شده است.

۳-۳. ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح دریا

ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح دریا یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در ارزیابی نفوذ آب شور است، زیرا این اختلاف ارتفاع تأمین کننده فشار هیدرولیکی حرکت جبهه آب شور به سوی دریا است. طبق رابطه گیبن- هرزبرگ به ازای هر متر آب زیرزمینی که بالاتر از سطح آب دریا قرار دارد، ستونی از آب شیرین در همان نقطه به ارتفاع ۴۰ متر تا منطقه تداخل وجود خواهد داشت (Todd & Mays, 2005). بنابراین اگر سطح آب دریا بالا بیاید مقدار آب زیرزمینی تخلیه شده به دریا کاهش و به دنبال آن زبانه آب شور نفوذ کرده در آبخوان ساحلی افزایش خواهد یافت. هر چه ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح آب دریا، کمتر باشد؛ خطر آسیب‌پذیری آبخوان افزایش خواهد یافت. شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به طور متوسط در حد ۵/۴ در هزار و در نواحی نزدیک به دریاچه به طور متوسط در حد ۳ در هزار است؛ که نسبت به نواحی دیگر شیب هیدرولیکی کمتری دارد (مهندسین مشاور کاو آب، ۱۳۸۸). در جدول ۴ رتبه‌های پارامتر ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح دریا که از طریق چاه‌های مشاهده‌ای موجود در ناحیه مورد نظر به دست آمده، ارائه شده است.

۳-۴. فاصله عمودی نقطه مورد نظر تا خط ساحلی

نفوذ آب شور زمانی که آبخوان نزدیک ساحل بوده و شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان برای انتقال مناسب باشد؛ به بیشترین مقدار خود خواهد رسید. فاصله عمودی

نقطه مورد نظر تا خط ساحلی فاصله هوایی عمود بر خط ساحلی است. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاعی، داده‌های مربوط به این پارامتر تهیه و با اتصال نقاط با فاصله یکسان، فاصله عمودی از خط ساحلی تعیین شد. در جدول ۵ محدوده رتبه‌بندی پارامتر فاصله عمودی نقطه مورد نظر تا خط ساحلی آمده است.

۳-۵. تأثیر وجود آب شور نفوذ کرده

با بهره‌برداری از آبخوان و ایجاد تنش، تعادل هیدرولیکی طبیعی موجود میان آب شور و شیرین برهم می‌خورد و آب شور به سوی آبخوان ساحلی حرکت می‌کند. به‌دلیل برداشت بی‌رویه و وجود چاه‌های مجاز و غیر مجاز بیشتر از توان هیدرولیکی سفره، تعادل هیدرولیکی میان آبخوان ساحلی و دریاچه ارومیه برهم خورده و سبب هجوم روزافزون جبهه آب شور به سوی ساحل و شور شدن منابع آب زیرزمینی و زمین‌های کشاورزی شده است. ریول نسبت $[CL/(HCO_3+CO_3)]$ را به‌عنوان معیاری برای تشخیص نفوذ آب شور به آبخوان ساحلی بیان کرده است. کلرید فراوان‌ترین یون موجود در آب دریا بوده، در حالی که مقدار آن در آب زیرزمینی خیلی کم است (Revelle, 1941). مقدار بی‌کربنات در آب زیرزمینی در مقایسه با آب دریا خیلی بیشتر است. این نسبت برای رتبه‌بندی عامل تأثیر وجود آب شور نفوذ کرده استفاده می‌شود. جدول ۶ رتبه‌بندی اهمیت تأثیر وجود آب شور نفوذ کرده را نشان می‌دهد. با استفاده از نتایج ۶۶ نمونه آب زیرزمینی مربوط به آبخوان ساحلی که در سال ۱۳۹۱ توسط آب منطقه‌ای اندازه‌گیری و تجزیه شده بودند؛ مقدار نسبت رول محاسبه شد.

۳-۶. ستبرای آبخوان

ستبرای آبخوان یا ستبرای بخش اشباع آبخوان نقش مهمی در تعیین گستردگی و بزرگی نفوذ آب شور در نواحی ساحلی دارد. هر چه ستبرای آبخوان بیشتر باشد، گستردگی آب شور نفوذ کرده بیشتر خواهد بود. رتبه‌بندی پارامتر ستبرای آبخوان در جدول ۷ ارائه شده است. بیشترین اهمیت برای بیشترین ستبرای آبخوان ساحلی در نظر گرفته شد.

۴- بحث

وزن‌دهی شاخص گالدیت براساس اهمیت نسبی هر شاخص در برآورد نفوذ آب شور صورت می‌گیرد. شاخص گالدیت را می‌توان با جمع کردن حاصل‌ضرب امتیازات هر شاخص و تقسیم کردن آن بر مجموع وزن شاخص‌ها، محاسبه کرد. حداکثر مقدار شاخص گالدیت با جایگزین کردن حداکثر امتیاز رتبه‌بندی برای هر شاخص به‌دست خواهد آمد، نحوه به‌دست آوردن حداکثر شاخص گالدیت به طریق زیر است:

$$Max = \frac{\{(W1)\times R1+(W2)\times R2+(W3)\times R3(W4)\times R4+(W5)\times R5+(W6)\times R6\}}{\sum W}$$

$$= \frac{\{(1)\times 10+(3)\times 10+(4)\times 10+(4)\times 10+(1)\times 10+(2)\times 10\}}{15} = 10$$

همچنین حداقل مقدار شاخص گالدیت با جایگزین کردن حداقل مقدار رتبه برای هر شاخص به دست می‌آید. حداقل مقدار شاخص گالدیت به طریق زیر به دست می‌آید:

$$Min = \frac{\{(W1)\times R1+(W2)\times R2+(W3)\times R3(W4)\times R4+(W5)\times R5+(W6)\times R6\}}{\sum W}$$

$$= \frac{\{(1)\times 2.5+(3)\times 2.5+(4)\times 2.5+(4)\times 2.5+(1)\times 2.5+(2)\times 2.5\}}{15} = 2.5$$

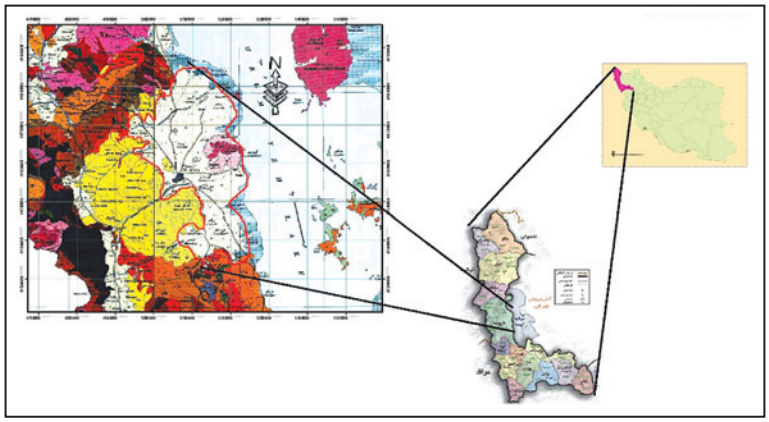
بنابراین حداقل و حداکثر شاخص گالدیت میان ۲/۵ و ۱۰ تغییر می‌کند. آسیب‌پذیری ناحیه ساحلی به نفوذ آب شور بر اساس بزرگی مقدار شاخص گالدیت برآورد می‌شود. هر چقدر مقدار شاخص گالدیت کمتر باشد؛ آسیب‌پذیری ناحیه مورد نظر به نفوذ آب شور کم‌تر خواهد بود. هنگامی که شاخص گالدیت محاسبه شد، این امکان به وجود می‌آید که ناحیه مورد نظر را در ارتباط با آسیب‌پذیری نفوذ آب شور به چند گروه رده‌بندی کرد. با توجه به حدود شاخص گالدیت (۲/۵ تا ۱۰) و این که هر شش شاخص دارای چهار رتبه ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ بوده، ناحیه مورد نظر به ۳ گروه تقسیم بندی شد. جدول ۸ رده‌های آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد.

در انتها با در نظر گرفتن محدوده رتبه‌بندی برای حداقل، متوسط و حداکثر و با ضرب محدوده‌های تعیین شده در وزن اعمالی برای هریک از پارامترهای هیدروژئولوژیکی مورد مطالعه در مدل گالدیت، محدوده امتیازات حداقل، متوسط و حداکثر به دست آمدند. با تبدیل نمودن محدوده امتیازات حاصل به رده‌های آسیب‌پذیری تعیین شده در جدول ۸، مقادیر شاخص آسیب‌پذیری مدل استفاده شده برای هر یک از رده‌های حداقل، متوسط و حداکثر تعیین شد. مقادیر شاخص گالدیت با تقسیم مجموع امتیازات بر مجموع وزن پارامترهای استفاده شده در مدل محاسبه و در جدول ۹ آورده شده است.

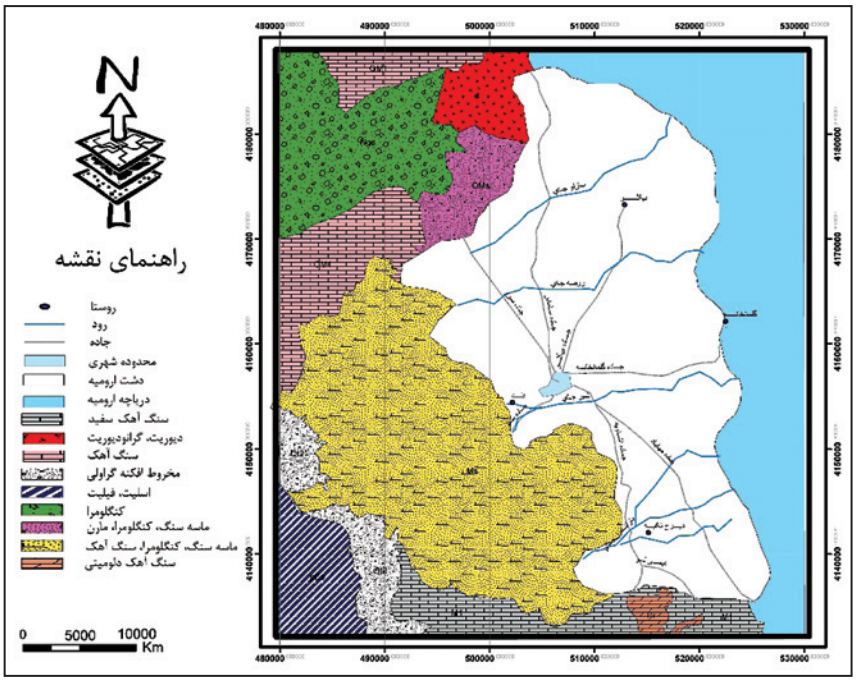
با محاسبه شاخص گالدیت و برهم‌نهی لایه‌های مختلف پارامترهای هیدروژئولوژیکی مورد مطالعه، نقشه خطوط هم‌تراز بزرگی آسیب‌پذیری دشت ارومیه رسم شد (شکل ۵). نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص گالدیت در شمال خاوری آبخوان بسیار بالا است. همچنین آسیب‌پذیری در جنوب خاور آبخوان بالا و در شمال آبخوان متوسط است. مطابق انتظار، میزان آسیب‌پذیری در سواحل دریاچه ارومیه بیشتر است و در بخش‌های دورتر از ساحل میزان آن کم خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

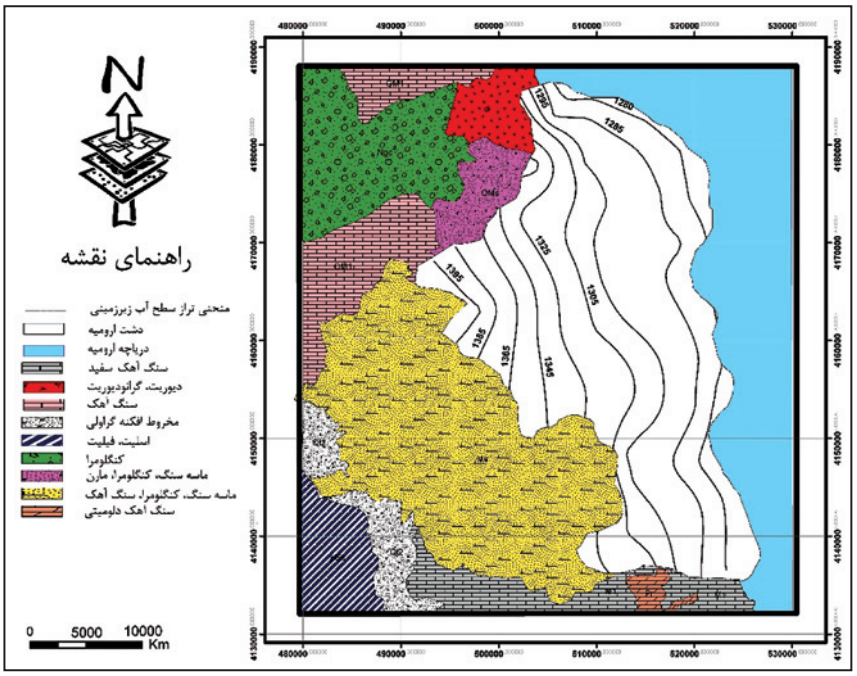
آبخوان‌های ساحلی به دلیل برداشت نامناسب و امکان نفوذ آب شور در معرض خطر هستند. بنابراین مدیریت و پایش کیفیت آب زیرزمینی آبخوان و محدوده تداخل آب شور و شیرین و مطالعه تغییرات آن بسیار ضروری به نظر می‌رسد. تهیه نقشه میزان آسیب‌پذیری آبخوان گزینه مناسبی برای مطالعه تغییرات محدوده تداخل آب شور و شیرین به شمار می‌رود. از این رو، به منظور ارزیابی میزان و توزیع آسیب‌پذیری نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دشت ارومیه از مدل گالدیت استفاده و محدوده تداخل آب شور و شیرین، برای برآورد گستردگی آلودگی نفوذ آب شور به آبخوان تعیین شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، میزان آسیب‌پذیری در شمال خاوری آبخوان بسیار بالا، در جنوب خاور منطقه بالا، در شمال آبخوان متوسط و در خاور آبخوان کم است. به طور کلی میزان آسیب‌پذیری در سواحل دریاچه ارومیه بیشتر بوده و در بخش‌های دورتر از ساحل میزان آن کمتر است. نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده می‌تواند در مسائل مدیریتی منابع آب زیرزمینی سواحل و حل شور شدگی چاه‌های بهره‌برداری به کار گرفته شود.



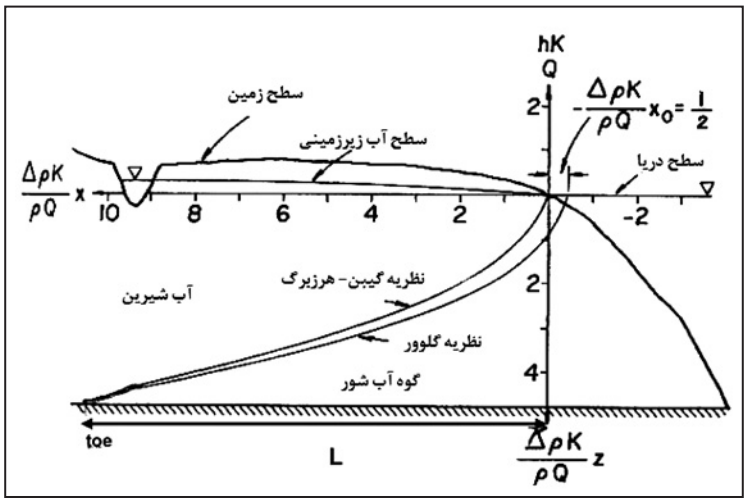
شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی دشت ارومیه.



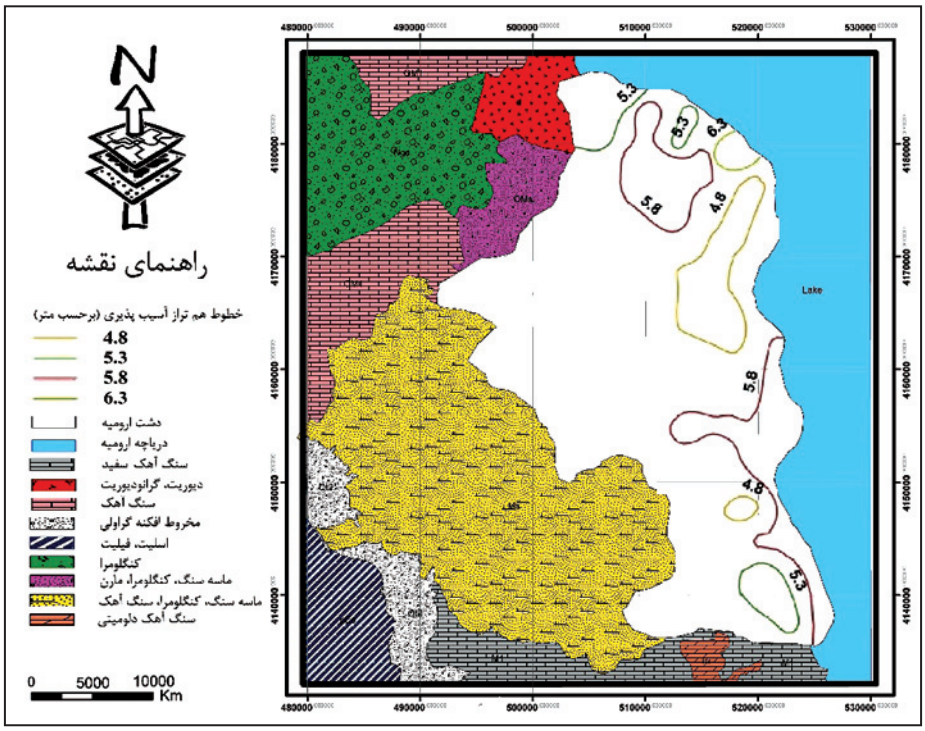
شکل۲ – نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه.



شکل ۳ – نقشه سطح آب زیرزمینی آبخوان ارومیه (شهریور، ۱۳۹۱).



شکل ۴- طول زبانه نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی (Bear & Verriuijt, 1987).



شکل ۵ – نقشه بزرگی آسیب‌پذیری نفوذ آب شور آبخوان ارومیه (شهریور، ۱۳۹۱).

جدول ۱- وزن هریک از شاخص‌های هیدروژئولوژیکی مورد مطالعه (Chachadi, 2005).

شاخص	وزن
نوع آبخوان (آزاد، محبوس، نشتی)	۱
هدایت هیدرولیکی آبخوان	۳
ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح آب دریا	۴
فاصله عمودی محل مورد نظر تا خط ساحلی (نزدیک‌ترین خط جریان)	۴
تأثیر بزرگی و وسعت آب شور نفوذ کرده	۱
ستبرای آبخوان	۲

جدول ۲ – رتبه‌بندی اهمیت براساس نوع آبخوان.

رتبه‌بندی اهمیت	متغیرهای شاخص	شاخص (G)
۱۰	آبخوان محبوس	نوع آبخوان
۷/۵	آبخوان آزاد	
۵	آبخوان نشتی	
۲/۵	آبخوان کران دار(محدود به مرزهای هیدروژئولوژیکی)	

جدول ۳ – رتبه‌بندی اهمیت براساس پارامتر هدایت هیدرولیکی(متر بر روز).

رتبه‌بندی اهمیت	متغیرهای شاخص		شاخص (A)
	محدوده	رده	
۱۰	۴۰>	زیاد	هدایت هیدرولیکی آبخوان
۷/۵	۱۰ – ۴۰	متوسط	
۵	۵ – ۱۰	کم	
۲/۵	۵>	خیلی کم	

جدول ۴ – رتبه‌بندی اهمیت براساس پارامتر ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح دریا (برحسب متر).

رتبه‌بندی اهمیت	متغیرهای شاخص		شاخص(L)
	محدوده	رده	
۱۰	۱/<۰	زیاد	ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالاتر از آب دریا
۷/۵	۱/۰ – ۱/۵	متوسط	
۵	۱/۵ – ۲/۰	کم	
۲/۵	> ۲/۵	خیلی کم	

جدول ۵ – رتبه‌بندی پارامتر فاصله عمودی نقطه مورد نظر تا خط ساحلی (برحسب متر).

رتبه‌بندی اهمیت	متغیرهای شاخص		شاخص(L)
	محدوده	رده	
۱۰	< ۵۰۰	خیلی کوچک	فاصله از نقطه مورد نظر ساحلی
۷/۵	۵۰۰ – ۷۵۰	کوچک	
۵	۷۵۰ – ۱۰۰۰	متوسط	
۲/۵	> ۱۰۰۰	دور	

جدول ۶- رتبه‌بندی اهمیت براساس پارامتر تأثیر وجود آب شور نفوذ کرده.

رتبه‌بندی اهمیت	متغیرهای شاخص		شاخص(I)
	محدوده نسبت رول	رده	
۱۰	> ۲	زیاد	تأثیر وجود آب شور نفوذ کرده
۷/۵	۱/۵ – ۲/۰	متوسط	
۵	۱ – ۱/۵	کم	
۲/۵	<۱	خیلی کم	

جدول ۷ -رتبه‌بندی اهمیت براساس پارامتر ستبرای آبخوان (برحسب متر).

رتبه‌بندی اهمیت	متغیرهای شاخص		شاخص (T)
	محدوده	رده	
۱۰	۱۰<	بزرگ	ستبرای آبخوان
۷/۵	۷/۵ – ۱۰	متوسط	
۵	۵ – ۷/۵	کوچک	
۲/۵	< ۵	خیلی کوچک	

جدول ۸ - رده‌های آسیب‌پذیری.

رده‌های آسیب‌پذیری	محدوده شاخص گالدیت	شماره
آسیب‌پذیری بالا	≥ ۷/۵	۱
آسیب‌پذیری متوسط	۷/۵ تا ۵	۲
آسیب‌پذیری پایین	< ۵	۳

جدول ۹ - محاسبه شاخص گالدیت.

شاخص	وزن	محدوده رتبه بندی اهمیت			محدوده امتیازات		
		حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر
نوع آبخوان	۱	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰
هدایت هیدرولیکی آبخوان	۳	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰	۷/۵	۱۵-۲۲/۵	۳۰
ارتفاع آب زیرزمینی بالاتر از دریا	۴	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰	۱۰	۲۰-۳۰	۴۰
فاصله عمودی از ساحل	۴	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰	۱۰	۲۰-۳۰	۴۰
تأثیر ناشی از نفوذ آب شور	۱	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰
ستبرای(اشباع) آبخوان	۲	۲/۵	۵-۷/۵	۱۰	۵	۱۰-۱۵	۲۰
مجموع امتیازات					۳۷/۵	۷۵-۱۱۲/۵	۱۵۰
شاخص گالدیت					۲/۵	۵-۷/۵	۱۰

کتابنگاری

جعفری، ف.، و افتخاری، م.، ۱۳۹۲- بررسی تبادلات آبی و نفوذ جبهه آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان‌های مجاور، مجله مدیریت آب و آبیاری، شماره ۱، صفحه ۲۹- ۴۷.

عزیزی، ف.، و محمدزاده، ح.، ۱۳۹۱- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از DRASTIC و شاخص کیفی GWQI، مجله مهندسی منابع آب، شماره ۱۳، صفحه ۱- ۱۴.

قره محمودلو، م.، و ناصری، ح.، ۱۳۸۷- بررسی نفوذ آب شور در آبخوان شهر ساری، مجله محیط شناسی، شماره ۴۷، صفحه ۲۱-۳۰.

مهندسین مشاور کاو آب. ۱۳۸۸- گزارش توجیهی رفع ممنوعیت دشت ارومیه و امکانات توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.

References

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H. & Petty, R.,1987- DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings, U.S. EPA Report 600/2-85/018.

Bear, J. & Verriuijt, A., 1987- Modeling Groundwater and Pollution. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 414p.

Cardona, A., Carrillo-Rivera, J. J., Huizar-Alvarez, R. & Graniel-Castro, E., 2004 - Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico, Environ. Geol., 45, 350-366.

Castany, G., 1982- Principes et methods de l›hydrogeologie, Dunod, Paris, 236p.

Chachadi, A. G. & Lobo-Ferreira, J. P., 2001- Sea water intrusion vulnerability mapping of aquifers issuing GALDIT method. In: Proc. Workshop on Modeling in Hydrogeology, Anna University, Chennai, 143-156.

Chachadi, A. G., Lobo-Ferreira, J. P., Noronha, L. & Choudri, B. S., 2002- Assessing the impact of sea-level rise on salt water intrusion in coastal aquifers using GALDIT model, COASTIN newsletter, 7, 27-32.

Chachadi, A. G., 2005- Seawater intrusion mapping using modified GALDIT indicator model-case study in Goa, Jal vigyan Sameeksha, 20, 29-45.

Kallioras, A., Pliakas, F., Skias, S. & Gkiougkis, I., 2011- Groundwater Vulnerability assessment at SW Rhodope aquifer system in NE Greece, Advances in the Research of Aquatic Environment, 2, 351-358.

Lobo-Ferreira, J. P. & Cabral, M., 1991- Proposal for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas Groundwater Resource. In: Meeting of the European Institute for Water, Groundwater Work Group, Brussels.

Lobo-Ferreira, J. P., Chachadi, A. G., Diamantino, C. & Henriques, M. J., 2005- Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 1 –Application to the Portuguese Aquifer of monte Gordo, The forth Inter-Celetic colloquium on the hydrology and management of water resources, Guimaraes, Portugal. 1-12.

Revelle, R., 1941- Criteria for recognition of sea water in ground-waters. Trans. of American Geophys. Union, 22, 593-597.

Shetkar, R. V. & Mahesha, A., 2011- Tropical, seasonal river basin development, hydrogeological analysis, Hydrol. Engin., 289-291.

Todd, K. D. & Mays, L.W., 2005- Groundwater hydrology. John Wiley and Sons, New York. 636 pp.

Varnes, D. J., 1984- Landslides hazard zonation, a review of principles and practice, UNESCO, Paris, 63 p.

Evaluation of Vulnerability of Urmia Lake Saline Water Intrusion to Coastal Aquifer Using GALDIT Model

M. Nakhaei [1*] , M. Vadiati [2] & Kh. Mohammadi [3]

[1] Associated Professor, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran
[2] Ph.D. Student, Department of Geology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3] M.Sc., Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

Accepted: 2014 September 13 Received: 2013 April 30

Abstract

In the last few years, saline water intrusion in the Urmia aquifer has deteriorated groundwater quality. As a result of irremediable environmental impacts and deterioration of aquifer conditions, study on groundwater vulnerability due to saline water intrusion is very serious. This study focuses on the application of the new method, GALDIT, for the assessment of aquifer vulnerability due to saline water intrusion in the Urmia Lake. The computing of the GALDIT index is based on six parameters:Groundwater occurrence (G), Aquifer hydraulic conductivity (A), High groundwater Level above sea level (L), Distance from shore (D), Impact of existing amplitude and extensive of saline water intrusion (I), and Thickness of aquifer (T). The results of this study showed GALDIT indices were very high, high, moderate, and low in the northeast, southeast, north, and low in east of the aquifer, respectively.The GALDIT approach assists to managers for evaluation of aquifer conditions.

Keywords: Urmia Aquifer, Urmia Lake, GALDIT Index, Vulnerability, Water Quality, Hydrogeology.

For Persian Version see pages 223 to 230

*Corresponding author: M. Nakhaei; E-mail: nakhaei@khu.ac.c.ir