Archive of SID

نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۸، شماره ۱ (بهار ۱۳۹۷)، ۴۳-۵۲ پیاپی ۹۰

برآورد تغذیه طبیعی آب زیرزمینی با استفاده از روش WTF (مطالعه موردی: آبخوان دشت اردبیل)

حسین غفاری[۱]، علی رسول‌زاده*[۲]، مجید رئوف[۳] و اباذر اسمعلی‌عوری[۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

[۲] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

[۳] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

[۴] دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(دریافت: ۹۵/۵/۲۵، پذیرش: ۹۵/۱۱/۹، نشر آنلاین: ۹۵/۱۱/۱۰)

چکیده

کمّی‌سازی مقدار تغذیه آب زیرزمینی پیش‌نیاز اساسی برای مدیریت کارآمد منابع آب زیرزمینی می‌باشد. میزان تغذیه آبخوان یکی از مؤلفه‌های مشکل برای اندازه‌گیری، در زمان ارزیابی منابع آب زیرزمینی می‌باشد. شیوه‌های متعددی برای کمّی‌سازی مقدار تغذیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از این شیوه‌ها، نوسانات سطح آب زیرزمینی (WTF) می‌باشد. سادگی، ارزانی و سهولت استفاده باعث شده این روش در مناطق نیمه خشک مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش، تغذیه طبیعی آبخوان دشت اردبیل با استفاده از روش WTF مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای دوره آماری ۱۰ ساله (از مهر ۱۳۸۰ تا مهر ۱۳۹۰) میزان متوسط آب‌دهی ویژه برای آبخوان ۰/۰۸۴ و متوسط کسری از آب بارندگی و آبیاری که موجب تغذیه آبخوان می‌گردد به ترتیب برابر ۱۶/۸۴ و ۲۲/۵۳ درصد می‌باشد. در نهایت با به دست آمدن مقادیر پارامترهای مؤثر در تغذیه، متوسط سالانه تغذیه‌ی آب زیرزمینی، معادل ۱۹۱ میلیون مترمکعب محاسبه گردید.

کلیدواژه‌ها: روش WTF، آب‌دهی ویژه، کسر بارندگی، کسر آبیاری، آبخوان دشت اردبیل.

۱- مقدمه

با برداشت بیش از حد مجاز که در اکثر آبخوان‌ها صورت می‌گیرد سطح آب زیرزمینی هر ساله پایین‌تر رفته و مشکلات عدیده‌ای همچون خشک شدن قنوات و چاه‌های کم‌عمق را به وجود می‌آورد و تغذیه طبیعی از طریق بارندگی و یا نفوذ قسمتی از آب‌های سطحی، جواب‌گوی جبران این کاهش نمی‌باشد. از این‌رو اغلب سعی می‌شود با نفوذ دادن بیشتر آب به داخل سفره‌های آب زیرزمینی این مشکل برطرف گردد. روش‌های مورد استفاده در هر مورد بستگی به وضعیت توپوگرافی و شرایط خاک و مقدار آبی دارد که قرار است نفوذ داده شود.

برآورد تغذیه در هر گونه تحلیل سیستم‌های آب زیرزمینی و اثرات استحصال محلی آب از آن‌ها یک ضرورت به شمار می‌آید، هرچند که به کمیت در آوردن آن بسیار دشوار است. روش‌های متعددی به منظور برآورد تغذیه بیان شده که هریک دارای نقاط ضعف و قوت هستند. Samadder و همکاران (۲۰۱۱)، در دشت‌های گانگای غربی در هند، تحقیقاتی را با هدف ارزیابی پتانسیل منطقه، برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی انجام دادند. در این پژوهش، میزان تغذیه آب زیرزمینی منتج از بارندگی، با استفاده از تکنیک انتشار تریتیم برآورد گردید که مقدار آن ۱۸/۹ تا ۲۸/۷ درصد به دست آمد. Dages و همکاران (۲۰۰۹)، به منظور فهمیدن نقش شبکه خندقی بر روی تغذیه آب زیرزمینی از روش بیلان آب برای دو واقعه بارش و سیل پاییزی استفاده نمودند و همچنین عدم اطمینان این روش را با شبیه‌سازی‌های مونت کارلو انجام دادند. نتایج نشان داد اگرچه وسعت خندق‌ها فقط ۶ درصد منطقه را شامل می‌شود ولی تغذیه متمرکز از طریق آن به نظر می‌رسد منبع اصلی تغذیه آب زیرزمینی باشد. در واقع ۵۰-۴۰

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۴-۱۵۶۵۳۱۳

آدرس ایمیل: ghafari_h67@yahoo.com (ح. غفاری)، rasoulzadeh@uma.ac.ir (ع. رسول‌زاده)، majidraoof2000@yahoo.co.uk (م. رئوف)، abazar.esmali@gmail.com (ا. اسمعلی‌عوری).

www.SID.ir

Archive of SID

درصد بارش‌های پاییزی که رخدادهای اصلی برای تغذیه در این فصل می‌باشد باعث تغذیه می‌گردد. Manghi و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از مدل بیلان هیدرولوژیکی متوسط تغذیه سالانه آب زیرزمینی برای زیرحوضه همت[1]، واقع در کالیفرنیا از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ را معادل ۱۲/۵ میلیون مترمکعب برآورد کردند که برای دوره‌های خشک و مرطوب سال به ترتیب ۱۱/۷ و ۱۴/۹ میلیون مترمکعب بود. Mileham و همکاران (۲۰۰۸)، در مناطق استوایی کشور اوگاندا بر روی تأثیر توزیع بارندگی روی پارامترسازی مدل بیلان رطوبت خاک (SMB) و همچنین واسنجی نمودن این مدل به منظور برآورد تغذیه آب زیرزمینی مطالعه کرده و نشان دادند که مدل SMB نیمه توزیعی واسنجی شده با داده‌های ایستگاهی روزانه در یک دوره ۱۵ ساله (۱۹۷۹-۱۹۶۵)، متوسط تغذیه سالانه را ۱۰۴ میلی‌متر بر سال و متوسط رواناب سطحی سالانه را ۱۴۴ میلی‌متر بر سال، برآورد می‌کند. Anuraga و همکاران (۲۰۰۶) مطالعه‌ای در جنوب هند انجام دادند و طی آن به برآورد تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات کاربری اراضی و خاک از طریق مدل SWAP پرداختند. نتایج این تحقیقات نشان داد عملیات کشاورزی فعلی در منطقه موجب تغذیه ۷۰ میلی‌متر در سال آب‌های زیرزمینی می‌گردد.

از روش‌های دیگر و پرکاربرد محاسبه تغذیه آب‌های زیرزمینی، روش نوسانات سطح آب (WTF) است که مبتنی بر بیلان آب در آبخوان بوده و نسبت به سایر روش‌ها به داده‌های غیر قطعی کمتری احتیاج دارد. مطالعات گسترده‌ای در سراسر دنیا با استفاده از این روش صورت گرفته است. Healy و Cook (۲۰۰۲)، مروری بر تئوری و کاربرد این مدل برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی انجام دادند. آن‌ها محدودیت‌های این مدل را برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی مشخص نمودند. Mare´chal و همکاران (۲۰۰۶)، برای برآورد آبدهی ویژه و تغذیه آب زیرزمینی در یک منطقه نیمه‌خشک، ترکیبی از روش نوسانات سطح آب و معادله‌ی بیلان آب را برای دو فصل مرطوب و خشک به کار بردند. ابتدا روش نوسانات سطح آب را در فصل خشک (بدون تغذیه) برای برآورد آب‌دهی ویژه و سپس معادله بیلان آب را در فصل مرطوب برای تغذیه آب زیرزمینی استفاده کردند. در نهایت در این مطالعه، مقدار تغذیه آب زیرزمینی ۵۴/۷ تا ۱۱۹ میلی‌متر در سال و مقدار آب‌دهی ویژه ۰/۰۱۱۱ تا ۰/۰۱۶۵ برآورد گردید. همچنین، Coly Diouf و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی به منظور برآورد تغذیه آب زیرزمینی از این روش به صورت ترکیبی با دو روش دیگر به نام‌های بیلان جرم کلراید (CMB[2]) و ایزوتوپ‌های زیست‌محیطی در یک آبخوان شنی واقع در داکار سنگال استفاده کردند. آن‌ها میزان تغذیه آب زیرزمینی را با استفاده از روش WTF، ۱۸ و ۱۴۴ میلی‌متر در طول فصل باران، به دست آوردند. Sharda و همکاران (۲۰۰۶)، نیز به منظور تخمین تغذیه آب زیرزمینی از طریق سازه‌های ذخیره آب، در اقلیم نیمه‌خشک هند روش‌های نوسانات سطح آب (WTF) و تعادل جرم کلرید (CMB) را به کار بردند که مقدار آن با روش WTF برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ به ترتیب ۷/۳ و ۹/۷ درصد بارش سالانه به دست آمد. Moon و همکاران (۲۰۰۴)، از آنالیزهای آماری هیدروگراف‌ها و نوسانات سطح آب (WTF) برای برآورد تغذیه آب زیرزمینی در کره جنوبی استفاده کردند. مقادیر متوسط تغذیه ناشی از بارندگی با استفاده از روش WTF، برای حوزه‌های هان، کیوم، ناکدونگ و یانگسوم و سومجین به ترتیب ۱۰/۰، ۸/۳، ۶/۱ و ۶/۶ درصد به دست آمد. احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، از روش WTF برای تخمین مقدار تغذیه دشت نیشابور استفاده و حداقل و حداکثر مقدار تغذیه حاصل از بارندگی را ۴۶/۱ و ۱۰۱/۶ میلیون مترمکعب گزارش کردند. رسول‌زاده و موسوی (۲۰۰۸)، در دشت ارسنجان با استفاده از روش WTF مقدار تغذیه در اثر بارندگی و آب برگشتی آبیاری را برآورد کردند.

با توجه به این‌که آب‌های زیرزمینی و تغییرات آن‌ها به‌مانند آب‌های سطحی به طور مستقیم قابل مشاهده نمی‌باشد، محققان را بر آن داشته است تا با توجه به اطلاعات قابل دسترس به مطالعه این آب‌ها از طریق مدل‌سازی بپردازند و در این راستا به نتایج بسیاری دست یافته‌اند. از روش‌های مورد استفاده در این راستا، روش WTF بوده که از جمله روش‌هایی است که از مزیت‌های مهم آن می‌توان به نیاز داشتن به داده‌های غیر قطعی کمتر اشاره کرد. لذا هدف این پژوهش برآورد مقدار تغذیه آب زیرزمینی دشت اردبیل در اثر بارندگی و آب برگشتی آبیاری در طول دوره ۱۰ ساله با استفاده از روش WTF و پهنه‌بندی آن می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت و خصوصیات منطقه

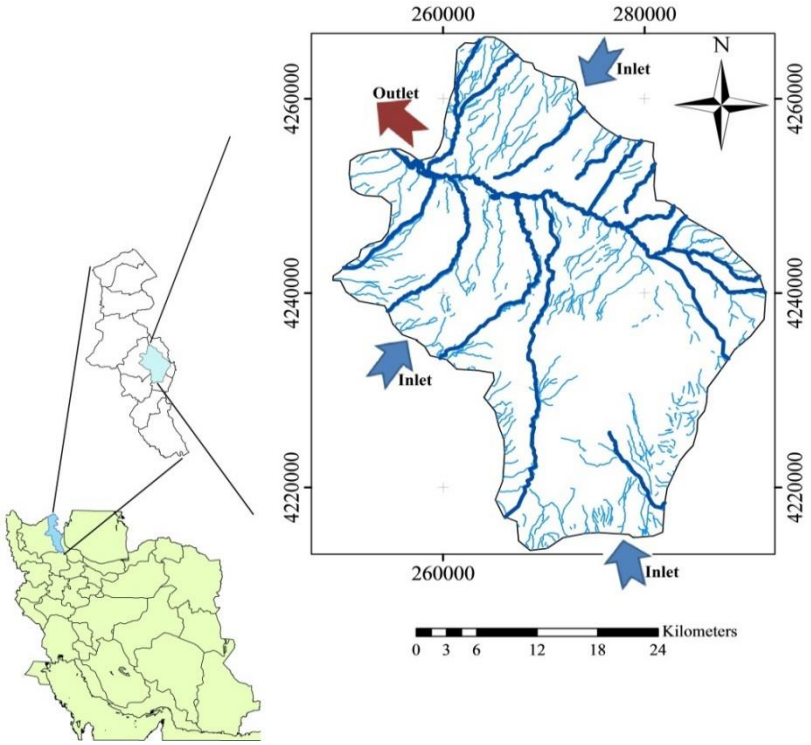
آبخوان دشت اردبیل با مساحت ۱۲۱۷/۱۸ کیلومتر مربع در محدوده‌ای بین ″۴۵ ′۰۸ °۴۸ تا ″۳۰ ′۳۷ °۴۸ طول شرقی و ″۱۵ ′۰۲ °۳۸ تا ″۰۰ ′۳۱ °۳۸ عرض شمالی در استان اردبیل و در زون ۳۹ واقع شده است (شکل (۱)). از مراکز مهم جمعیتی که در داخل مرز این آبخوان قرار گرفته است، شهرستان اردبیل می‌باشد و قسمتی از شهر نمین و همین‌طور فرودگاه اردبیل نیز از مکان‌های مهم واقع در آبخوان هستند. براساس روش آمبرژه اقلیم دشت، نیمه‌خشک سرد می‌باشد (وب‌سایت هواشناسی اردبیل، ۲۰۱۵).

1. Hemet

2.Chloride Mass Balance

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخوان دشت اردبیل

در این پژوهش، از ۶ ایستگاه هواشناسی (اردبیل، فرودگاه اردبیل، نمین، آبی‌بیگلو، هیر و سامیان) موجود در داخل مرز آبخوان با اطلاعات کافی استفاده گردید. متوسط سالانه بارندگی در این آبخوان (از مهر ماه سال ۸۰ تا مهر سال ۹۰) ۲۷۹/۸ میلی‌متر و حداکثر بارش ماهانه ۱۳۸/۵ میلی‌متر بوده و مربوط به اردیبهشت ماه سال ۸۹- ۱۳۸۸ ایستگاه باران‌سنجی هیر می‌باشد. همچنین حداکثر بارش سالانه با ۵۰۱ میلی‌متر نیز در همین ایستگاه در سال ۸۶-۱۳۸۵ و حداقل بارش سالانه با ۱۵۵/۹ میلی‌متر مربوط به سال ۹۰-۱۳۸۹ ایستگاه باران‌سنجی فرودگاه اردبیل می‌باشد.

۲-۲- روش کار

روش نوسانات سطح آب با تجزیه و تحلیل قرار دادن نوسانات سطح آب زیرزمینی برآوردی از تغذیه آب زیرزمینی ارائه می‌دهد. تنها اطلاعاتی که برای این روش مورد نیاز است داده‌های سطح آب زیرزمینی و آب‌دهی ویژه است. این روش بر این فرض استوار است که افزایش سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های آزاد به خاطر آب رسیده به سطح ایستابی است. تغذیه حاصل از این روش با رابطه (۱) برآورد می‌شود (Healy و Cook، ۲۰۰۲):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} \quad \text{یا} \quad \frac{dh}{dt} = \frac{R}{S_y} \qquad (۱)$$

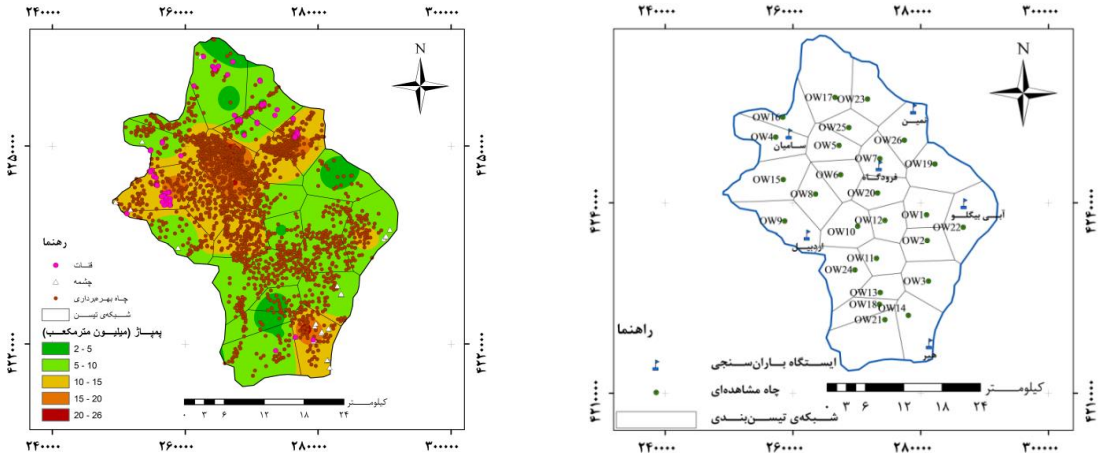
که در آن R، تغذیه آب زیرزمینی (LT^{-1})، dh، تغییرات سطح آب در دوره زمانی تغذیه (L)، dt، طول دوره زمانی تغذیه (T) و S_y، آب‌دهی ویژه (بدون بعد) می‌باشد.

در استخراج معادله‌ی (۱) فرض می‌شود که آب رسیده به سطح ایستابی، بلافاصله به آب زیرزمینی ذخیره‌ای تبدیل می‌شود و سایر مؤلفه‌های بیلان، از جمله جریان‌های جانبی حین دوره زمانی تغذیه، صفر هستند (Healy و Cook، ۲۰۰۲ و Scanlon و همکاران، ۲۰۰۲).

یک تأخیر زمانی بین نفوذ آب در خاک و تغذیه آب زیرزمینی رخ می‌دهد که در این روش، این تأخیر زمانی در نظر گرفته نشده است. روش WTF، بر این اساس استوار است که افزایش سطح ایستابی، نتیجهی آب رسیده به سفره آب زیرزمینی می‌باشد. آب رسیده به سفره می‌تواند شامل کسری از بارش‌ها و آبیاری‌های صورت گرفته باشد که برای زمین‌های زراعی منطقه همه ساله مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما اگر جریان‌های جانبی درون خاک نادیده در نظر گرفته نشود، باید علاوه بر کسر آب باران و آبیاری که باعث بالا رفتن سطح آب می‌گردد، جریان‌های زیرسطحی را نیز که به صورت افقی درون خاک وجود دارد، در نوسانات سطح آب مؤثر دانست. ضمن آن که خروج آب از آب‌خوان به وسیله منافذ طبیعی مانند چشمه‌ها یا تراوش به جریان‌های سطحی در مواردی که سطح آب زیرزمینی بالا است و تأسیسات ساخت بشر مانند قنوات و چاه‌ها نیز در پایین رفتن سطح آب تأثیر بسزایی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



(الف) (ب)

شکل ۲- الف) موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و ایستگاه‌های هواشناسی، ب) متوسط سالانه برداشت آب از آب‌های زیرزمینی آبخوان

بنابر این در این پژوهش، به منظور بررسی جامع تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان اردبیل با روش WTF، ۲۶ حلقه چاه مشاهده‌ای با اطلاعات کافی در داخل مرز آبخوان انتخاب و در نرم‌افزار ArcGIS اقدام به تهیه شبکه تیسن آنها گردید. شکل (۲) موقعیت ۲۶ چاه مشاهده‌ای و ایستگاه‌های باران‌سنجی به کار رفته در این پژوهش به همراه شبکه تیسن چاه‌های مشاهده‌ای و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری آبخوان و میزان پمپاژ سالانه را نشان می‌دهد. تمامی عوامل ذکر شده برای هر یک از پلی‌گون‌های شبکه تیسن، به صورت جداگانه، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این‌کار بعد از استخراج تغییرات مشاهده شده سطح آب از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای انتخاب شده، مقادیر بارش، مقادیر خارج شده از آبخوان از طریق چاه‌ها (۱۹۱۷ حلقه چاه فعال)، چشمه‌ها (۲۳ چشمه دائمی و ۳ چشمه فصلی) و قنوات (۶۲ حلقه) و مقادیر آبیاری در هر یک از محدوده‌های مربوط به چاه مشاهده‌ای در ۶۰ ماه ابتدایی (مهر ماه سال ۱۳۸۰ تا مهر ماه سال ۱۳۸۵) و مرتب کردن آن‌ها در محیط برنامه‌ی Ms Excel، داده‌ها به محیط نرم‌افزار SPSS انتقال داده شد. معادله (۱) را با در نظر گرفتن اجزای تغذیه یاد شده، می توان به صورت معادله (۲) نوشت. تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس معادله (۲) برای واسنجی پارامترها اجرا شد.

$$\frac{dh}{dt}=\frac{\alpha P}{S_y}+\frac{\beta I}{S_y}-\frac{Fp}{S_y}\pm\frac{q}{S_y} \qquad (۲)$$

که درآن، $\frac{dh}{dt}$ نوسانات سطح آب زیرزمینی در طی زمان، S_y آب‌دهی ویژه، P مقدار بارش ماهانه، I مقدار آبیاری ماهانه، Fp مقدار پمپاژ و q نیز، تغییرات جریان‌های زیرسطحی می‌باشد که خود عبارت است از: $q=q_{in}-q_{out}$ (q_{in} و q_{out} به ترتیب جریان‌های زیرسطحی ورودی و خروجی می‌باشند). در صورتی که مقدار جریان زیر سطحی خروجی از پلی‌گون بیشتر از ورودی به آن باشد علامت منفی در معادله (۲) در نظر گرفته می‌شود. همچنین ضرایب α و β به ترتیب کسری از مقدار بارش و آب برگشتی آبیاری است که باعث تغذیه سفره می‌گردد. واحد تمامی پارامترها برحسب متر بر ماه است به غیر از آب‌دهی ویژه که بدون بعد می‌باشد.

مدل‌سازی معکوس (Inverse Modeling) با در نظر گرفتن WTF به عنوان مدل پیشرو (Forward) (معادله (۲)) و با کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای حداقل ساختن تابع هدف (اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی نوسانات سطح آب زیرزمینی با روش WTF و مقادیر مشاهده‌ای) با نرم‌افزار SPSS انجام شد. در روش معکوس با حداقل کردن تابع هدف، پارامترهای تغذیه (کسر بارش (α)، کسر آبیاری (β) و جریان‌های زیرسطحی (q)) و S_y برآورد گردید.

در روش معکوس ابتدا در ۵ سال اول (از مهر ماه سال ۸۰ تا مهر سال ۸۵) با استفاده از مقادیر مشاهده‌ای نوسانات سطح آب زیرزمینی، پارامترهای مورد نیاز (α، β، S_y و q) در مرحله واسنجی برآورد گردید. سپس به منظور سنجش صحت پارامترهای برآورد شده، در ۵ سال دوم (از مهر ماه سال ۸۵ تا مهر سال ۹۰) بدون استفاده از روش معکوس، با استفاده از پارامترهای برآورد شده و معادله (۲) نوسانات سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی و با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شد (مرحله اعتبارسنجی).

برای مقایسه نوسانات آب زیرزمینی مشاهده شده و برآورد شده از محک آماری RMSE استفاده گردید (معادله (۳)).

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(W_o-W_s)^2}{n}} \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن، W_o، سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای، W_s، سطح آب زیرزمینی برآورد شده و n، تعداد مشاهدات می‌باشد.

به منظور برآورد پارامترهای مجهول روش WTF از عملگر رگرسیون غیر خطی تعبیه شده در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. در این پژوهش، از دو الگوریتم بهینه‌سازی لونبرگ- مارگوارت (Levenberg-Marquardt) و برنامه‌ریزی غیرخطی ترتیبی (Sequential Quadratic Programming) موجود در نرم‌افزار، برای کمینه کردن تابع هدف استفاده شد. با اعمال روش WTF با کمک رویکرد مدل‌سازی معکوس، علاوه بر مقدار تغذیه کل در هر پلیگون، مقدار آب‌دهی ویژه، تغذیه ناشی از برگشت آب آبیاری، نفوذ حاصل از بارندگی و جریان‌های زیرسطحی برای دوره آماری در نظر گرفته شده دشت برآورد گردید.

از عوامل مؤثر در دقت شبیه‌سازی روش WTF می‌توان به چند مورد اشاره نمود که عبارت است از:

۱- اطلاعات غیر قطعی مربوط به پارامترهای پمپاژ و آبیاری، بدین دلیل که شبیه‌سازی براساس نوسانات مشاهده شده صورت می‌گیرد در حالی‌که اطلاعات این پارامترها غیر قطعی می‌باشد و در صورت دقیق نبودن این اطلاعات، شبیه‌سازی با دقت کمتری انجام می‌شود.

۲- عدم اطلاعات مکانی و زمانی از چگونگی توزیع رطوبت در ناحیه غیر اشباع که می‌تواند منجر به تغییرات مکانی و زمانی زیادی در رابطه با میزان نفوذ و تغذیه به آبخوان شود (Jones و همکاران، ۲۰۰۸)

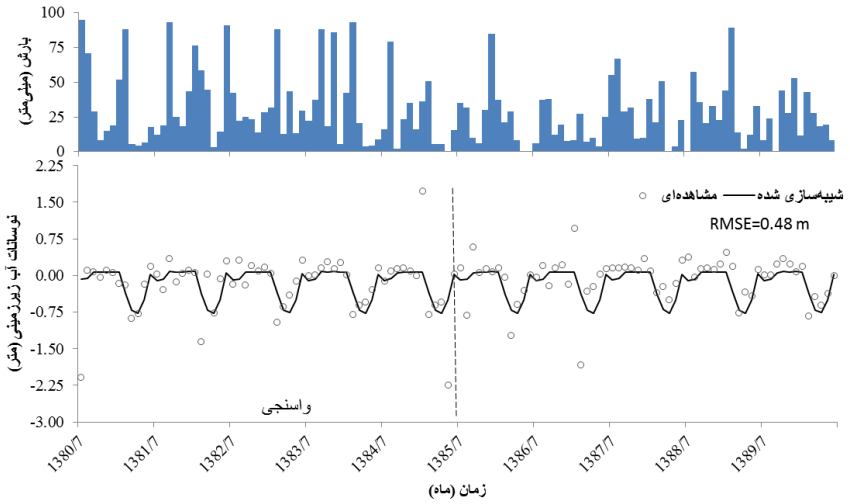
۳- در مواردی که تغییرات سطح آب به طور ناگهانی و به مقدار زیادی اتفاق می‌افتد، این روش نمی‌تواند شبیه‌سازی مناسبی داشته باشد.

۴- به نظر می‌رسد این روش نوسانات آب زیرزمینی را در حاشیه‌های آبخوان که ثبات کمتری در سفره آب زیرزمینی دارند و جریان‌های ورودی و خروجی شدت بیشتری می‌یابند، ضعیف‌تر از مناطق دیگر شبیه‌سازی می‌کند.

۳- نتایج و بحث

نوسانات مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به همراه مقادیر بارش ماهانه در دو مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی برای ۴ چاه مشاهده‌ای به عنوان نمونه در شکل‌های (۳) تا (۶) نشان داده شده است. نتیجه شبیه‌سازی چاه‌های دیگر دارای همین روند می‌باشد. انطباق مناسب سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با مشاهده شده در قسمت واسنجی و سازگاری مناسب نوسانات سطح آب شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در قسمت اعتبارسنجی بیانگر دقت بالای پارامترهای برآورد شده می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش معکوس استفاده شده، عملکرد مناسبی داشته است. شکل‌های یاد شده نشان می‌دهد در مواردی که تغییرات سطح آب به طور ناگهانی و به مقدار زیادی اتفاق می‌افتد، این روش نمی‌تواند شبیه‌سازی مناسبی داشته باشد.

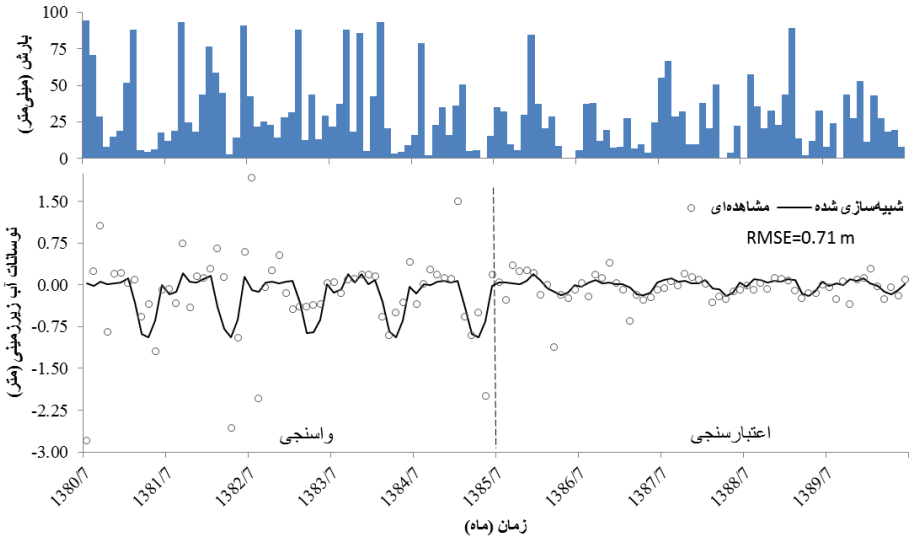
شبیه‌سازی یک سیستم واقعی با مدل‌های مختلف، مستلزم وجود پارامترهای ورودی مدل با دقت مناسب می‌باشد. در صورتی که ورودی‌های مدل، دارای دقت کم باشد باعث می‌شود مدل‌سازی تحت تأثیر قرار گرفته و منطبق با واقعیت نخواهد شد. از طرفی تخمین پارامترهای کسری از بارندگی و آبیاری و همچنین آب‌دهی ویژه که به عنوان ورودی مدل می‌باشد به صورت مستقیم بسیار مشکل است (رسول‌زاده، ۲۰۰۶؛ Jones و همکاران، ۲۰۰۸)، بنابراین نتایج نشان داد که رویکرد مدل‌سازی معکوس روش مناسبی برای مدل‌سازی در شرایطی است که اطلاعات ورودی به طور کامل از قطعیت برخوردار نیست.



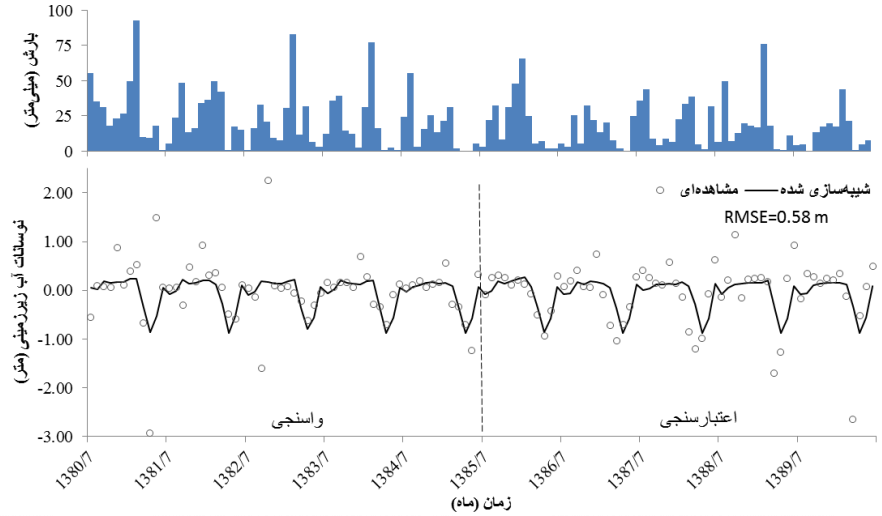
شکل ۳- شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای شماره ۱

www.SID.ir

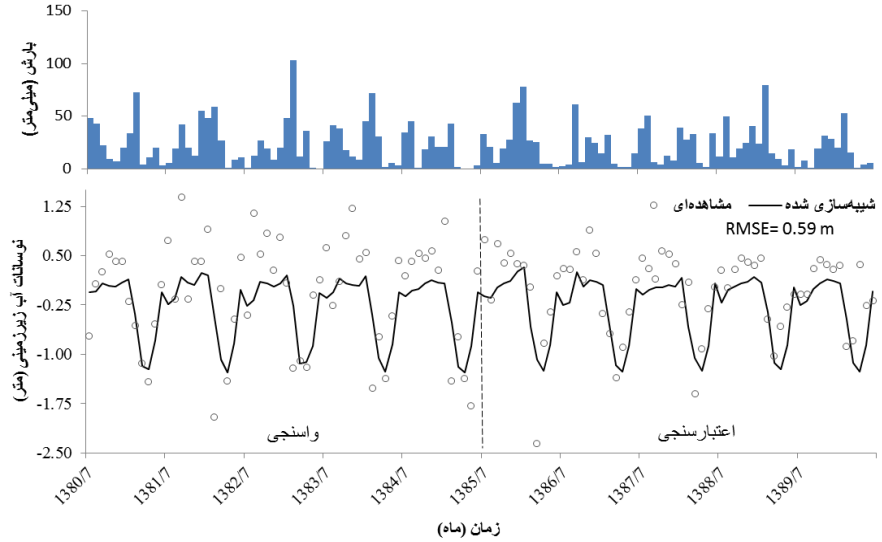
Archive of SID



شکل ۴- شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای شماره ۲



شکل ۵- شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای شماره ۶

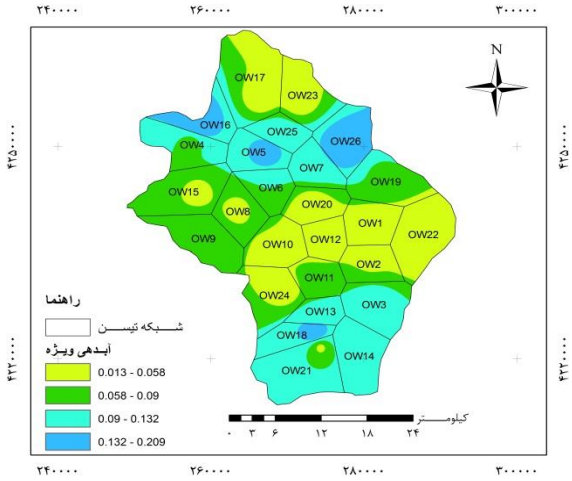


شکل ۶- شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای شماره ۹

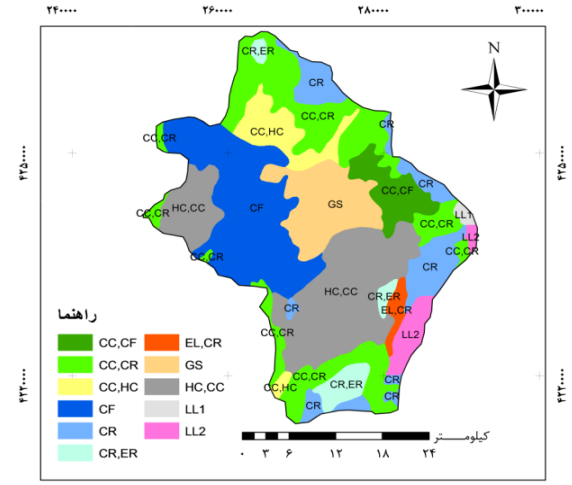
www.SID.ir

Archive of SID

آب‌دهی ویژه (S_y): نتایج به دست آمده از پارامترهای مورد سنجش در مدل‌سازی معکوس با استفاده از روش WTF به محیط ArcGIS منتقل و درون‌یابی گردید. پهنه‌بندی آب‌دهی ویژه (S_y) برآورد شده در شکل (۷) نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می‌گردد، مقدار آب‌دهی ویژه در قسمت‌های مختلف آبخوان دارای مقادیر متفاوت بوده، ولی در اکثر مناطق مقدار آن کمتر از ۰/۱ می‌باشد. حداقل و حداکثر این پارامتر در آبخوان به ترتیب ۰/۰۱۳ و ۰/۲۱ به دست آمد.



(الف)

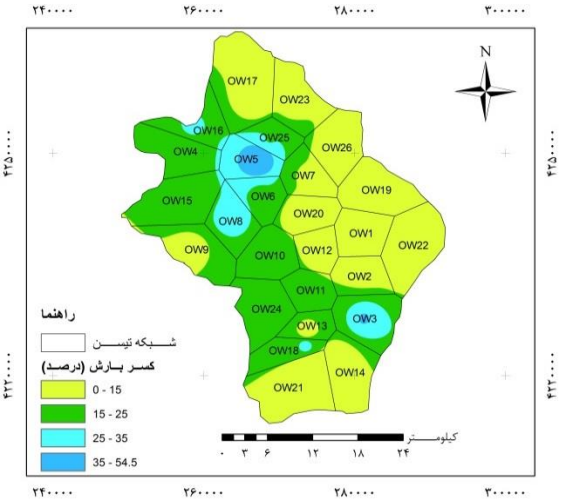


(ب)

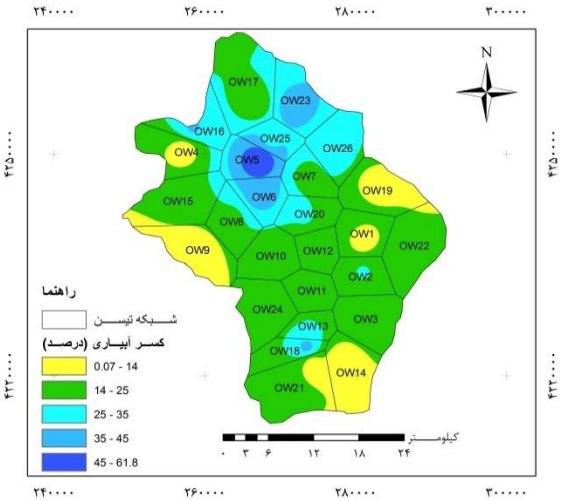
شکل ۷- الف) پهنه‌بندی آب‌دهی ویژه، ب) انواع خاک در آبخوان دشت اردبیل (با علائم CC Cambisols: Calcaric، HC: Haplic Calcisols، CF: Calcaric Fluvisols، GS: Gleyic، EL: Eutric Leptosols، Solonchaks، CR: Calcaric Regosols، ER: Eutric Regosols، LL: Lithic Leptosols)

پارامتر آب‌دهی ویژه که به ساختار زمین‌شناسی، بستگی دارد با توجه به وضعیت خاک منطقه (شکل (۷))، در نواحی شمالی (پلیگون‌های ۲۶، ۷، ۲۵، ۵ و ۱۶) با بافت خاک متوسط، دارای آب‌دهی ویژه بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد. در بخش‌های شرقی تا میانه آبخوان (پلیگون‌های ۲۲، ۱، ۲ و ۱۲) دارای بافت خاک سنگین بوده و آب‌دهی ویژه در این مناطق کم است. در قسمت‌های جنوبی نیز وجود خاک‌های سنگریزه‌دار، باعث افزایش آب‌دهی ویژه شده است.

کسر بارندگی و آبیاری: نتایج به دست آمده برای مقادیر کسری از بارندگی و آبیاری که به سفره آب زیرزمینی می‌رسد نشان می‌دهد که این دو پارامتر با آب‌دهی ویژه همبستگی بالایی دارند.



(الف)



(ب)

شکل ۸- پهنه‌بندی کسری که موجب تغذیه شده است: الف) کسری از بارندگی، ب) کسری از آبیاری

در بیشتر مناطق آبخوان، کمتر از ۲۵ درصد از بارش‌ها و آبیاری‌ها موجب تغذیه سفره آب زیرزمینی شده است (شکل (۸)). بیشترین مقدار تأثیر بارندگی‌ها و آبیاری‌ها در تغذیه آب زیرزمینی در اطراف شهر اردبیل به خصوص در محدوده چاه مشاهده‌ای

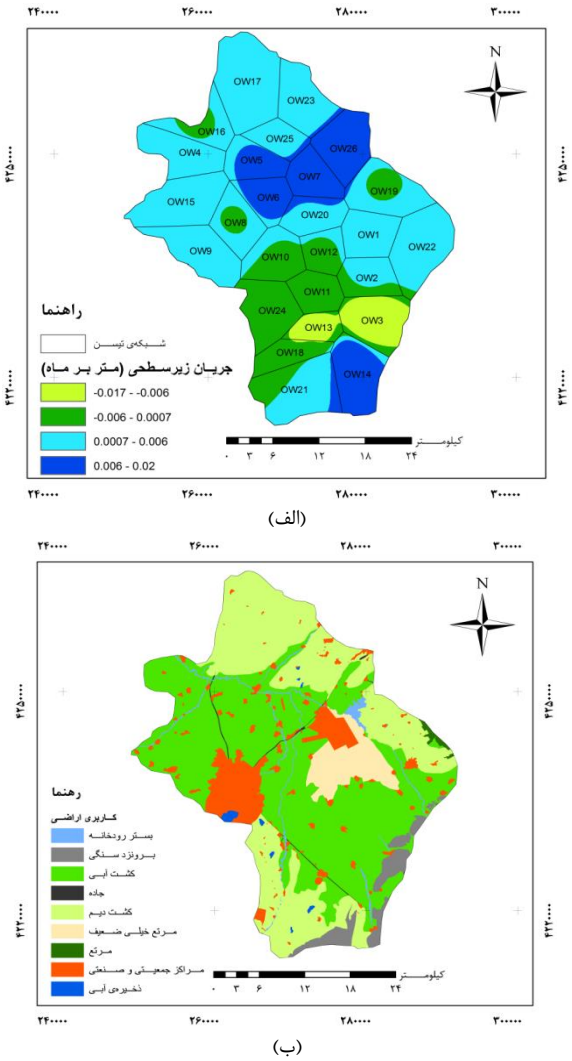
www.SID.ir

Archive of SID

OW5 می‌باشد. هر چند تأثیر حدود ۵۵ درصدی بارش و ۶۲ درصدی آبیاری در تغذیه، بیش‌برآورد محسوب می‌گردد ولی مسلم است، اراضی کشاورزی آبی و حاصل‌خیز موجود در این ناحیه و توان بالای خاک در نفوذ دادن آب نسبت به مناطق دیگر باعث بالا رفتن میزان نفوذ آب در خاک و رسیدن به سفره می‌گردد. لذا در مناطقی با نفوذپذیری زیاد، تأثیر بیش از نصف بارش و آبیاری بر روی تغذیه آب‌های زیرزمینی، محتمل می‌باشد. Fazel و همکاران (۲۰۰۵)، مقدار حداکثر و حداقل تغذیه آب زیرزمینی را به ترتیب ۵۱/۶۹ و ۳۸/۴۷ درصد بارندگی سالیانه برای حوضه‌های مختلف ژاپن به دست آوردند. در دشت توابع ارسنجان (استان فارس)، مقدار حداکثر و حداقل تغذیه آب زیرزمینی به ترتیب ۵۶/۷ و ۲۹/۵ درصد بارندگی و ۲۳/۷ و ۱۵/۱ درصد آبیاری گزارش شده است (رسولزاده، ۲۰۰۶). احمدی و همکاران (۲۰۱۲) با به کارگیری روش WTF، حداکثر مقدار تغذیه آب زیرزمینی را ۵۷/۶ درصد آب برگشتی آبیاری در دشت نیشابور به دست آوردند. نتیجه مطالعه Qin و همکاران (۲۰۱۱)، نشان داد در مناطق کشاورزی که آبیاری صورت می‌گیرد میزان تغذیه بیشتر از نواحی اطراف است. با مقایسه نقشه کاربری اراضی (شکل (۹)) با نقشه مقدار تغذیه در اثر بارندگی، مشاهده می‌گردد مقدار تغذیه و کاربری اراضی با یکدیگر هم‌خوانی دارند، به طوری که اطراف شهر هیر که باغات زیادی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و آب بارندگی‌ها بیشتر می‌تواند نفوذ کند مقدار تغذیه زیاد بوده و در مراتع ضعیف مقدار تغذیه به علت از بین رفتن پوشش گیاهی و نیز در مناطق شهری (شهرستان اردبیل) به دلیل غیر قابل نفوذ بودن سطح شهر، مقدار تغذیه کم می باشد. تأثیر کم بارندگی‌ها در تغذیه در حاشیه‌های شمالی و شمال شرق و میانه آبخوان در حالی‌که در برخی از این مناطق آب‌دهی ویژه بالا است به دلیل تراکم بیشتر آبراهه‌ها در این قسمت‌ها است.

نکته حائز اهمیت در نتایج تغذیه آب زیرزمینی از طریق بارندگی‌ها و آبیاری‌ها این است که بخش جنوبی آبخوان آب‌دهی ویژه‌ی بالایی دارد و طبیعتاً انتظار می‌رفت مقدار تغذیه در اثر بارندگی و آبیاری بیشتر باشد در حالی‌که مقدار تغذیه در این قسمت‌ها خلاف انتظار گردید. علت این امر، به نظر شیب زیاد زمین در این مناطق می‌باشد. شیب بالا باعث می‌گردد آب در سطح خاک یا سطوح زیرقشری حرکت کرده و از منطقه خارج شود و به سفره آب زیرزمینی نرسد.

جریان‌های زیرسطحی: جریان‌های زیرسطحی با استفاده از روش WTF برآورد و پهنه‌بندی گردید (شکل (۹)). نتایج جریان‌های زیرسطحی نشان داد که آب‌راهه‌های سطحی نقش واضحی در زهکشی آب دارد به طوری‌که جهت این جریان‌ها با جهت جریان آب‌راهه‌ها مطابقت می‌کند و در نهایت، توسط رودخانه‌ی قره‌سو به خارج از آبخوان منتقل می‌گردد. مقدار جریان‌های زیرسطحی با این روش در پلیگون ۳، ۱۳، ۱۸ و ۲۴ منفی به دست آمد که عمق زیاد سفره آب و خروج آب‌های زیرزمینی از آبخوان در آن مناطق، علت زیاد بودن خروجی جریان‌های زیرسطحی می‌تواند باشد.



شکل ۹- الف) پهنه‌بندی جریان‌های زیرسطحی، ب) کاربری اراضی آبخوان دشت اردبیل

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با به کارگیری روش WTF، مقادیر تغذیه طبیعی آبخوان اردبیل و جریان‌های ورودی و خروجی زیرزمینی از مرزهای این دشت، برآورد گردید. سادگی، ارزانی، سهولت استفاده و نیاز اندک به داده‌های غیر قطعی از مزایای این روش است. چنانچه داده‌های اندازه‌گیری شده از قبیل خصوصیات هیدرودینامیک آبخوان، اطلاعات برداشت از آبخوان، تراز آب زیرزمینی و بارندگی با دقت خوبی تهیه شده باشند، صحت و دقت برآورد تغذیه با این روش افزایش می‌یابد. اگر چاه‌هایی که مقدار

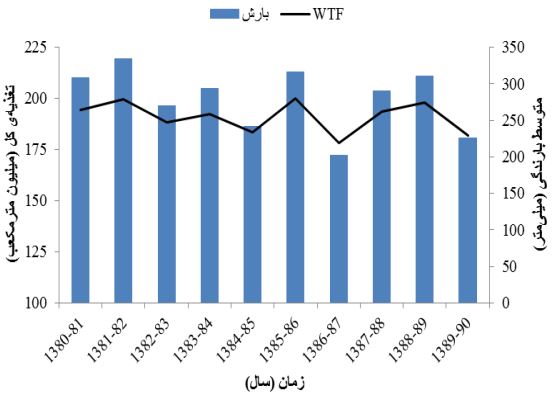
www.SID.ir

Archive of SID

پمپاژ در آن‌ها به صورت ماهانه اندازه‌گیری می‌شود، پراکنش بهتری در سطح آبخوان داشت و همچنین از مقدار خروج آب از چشمه‌ها و قنوات در همه این منابع در سطح آبخوان اندازه‌گیری ماهانه به عمل می‌آمد، نتایج این پژوهش به میزان قابل ملاحظه‌ای می‌توانست دقیق‌تر به دست آید. در این پژوهش روش WTF، مقدار متوسط آبدهی ویژه را ۰/۰۸۴، متوسط کسر بارندگی که باعث تغذیه آبخوان می‌گردد را ۱۶/۸۴ درصد و متوسط کسر آبیاری منجر به تغذیه را معادل ۲۲/۵۳ درصد برای کل آبخوان برآورد کرد. شکل (۱۰) مقادیر برآوردی تغذیه آب زیرزمینی در ۱۰ سال آماری مورد مطالعه با روش WTF را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، مقادیر تغذیه آب زیرزمینی در هر سال هم‌خوانی بالایی با بارندگی در همان سال دارد که با افزایش بارندگی، تغذیه نیز افزایش و با کاهش بارندگی، تغذیه نیز کاهش می‌یابد. به طور کلی میزان تغذیه آب زیرزمینی با این روش ۱۹۱ میلیون متر مکعب در سال به دست آمد.

Scanlon و همکاران (۲۰۰۲)، معتقدند که مقدار تغذیه، در نواحی مختلف در مقیاس‌های زمانی و مکانی متغیر می‌باشد، که نتایج به دست آمده از این پژوهش نیز نشان داد که میزان تغذیه در مکان‌های مختلف متفاوت است. این امر با نتایج Crosbie و همکاران (۲۰۰۵)؛ Varni و همکاران (۲۰۱۳)، نیز مطابقت می‌کند.

در روشWTF چون منطقه غیر اشباع و حرکت آب در این منطقه در نظر گرفته نمی‌شود و تمام پارامترها مستقیماً بر روی سطح آب زیرزمینی اعمال می‌گردد لذا پارامترهای برآورد شده ممکن است همبستگی بالایی با هم نشان دهند (رسول‌زاده و موسوی، ۲۰۰۸). لذا استفاده از روش‌هایی که محیط غیر اشباع را در نظر می‌گیرند افزایش دقت برآوردها، محتمل می‌باشد.



شکل ۱۰- مقدار تغذیه سالانه آب زیرزمینی آبخوان دشت اردبیل

۵- قدردانی

بدین وسیله از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

Ahmadi T, Ziaei AN, Davari K, Rasoulzadeh A, Faridhoseini AR, Izadi A, "Estimation of groundwater recharge using various methods in Neishaboor Plain, Iran", The 5th International Groundwater Symposium, Kuwait, 19-21 November, 2012.

Anuraga TS, Ruiz L, Mohan Kumar MS, Sekhar M, Leijnse A, "Estimation of Groundwater Recharge using land use and soil data: A case study in South India", Agricultural Water Management, 2006, 84, 65-76.

Coly Diouf O, Cissé Faye S, Diedhiou M, Kaba M, Faye S, Bécaye Gaye C, Faye A, Englert A, Wohnlich S, "Combined uses of water-table fluctuation (WTF), chloride mass balance (CMB) and environmental isotopes methods to investigate groundwater recharge in the Thiaroye sandy aquifer (Dakar, Senegal)", African Journal of Environmental Science and Technology, 2012, 6(11), 425-437.

Crosbie RS, Binning P, Kama JD, "A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method", Water Resources Research, 2005, 41(1), 1-9.

Dages C, Voltz N, Bsaibes A, Prévot L, Huttel O, Louchart X, Garnier F, Negro S, "Estimating the role of a ditch network in groundwater recharge in a Mediterranean catchment using a water balance approach", Journal of Hydrology, 2009, 375, 498-512.

Fazel MA, Imaizumi M, Ishida S, Kawachi T, Tsuchihara T, "Estimating groundwater recharge using the SMAR conceptual model calibrated by genetic algorithm", Journal of Hydrogy, 2005, 303, 56-78.

Ficklin DL, Luedeling E, Zhang M, "Sensitivity of groundwater recharge under irrigated agriculture to changes in climate, CO2 concentrations and canopy structure", Agricultural Water Management, 2010, 97, 1039-1050.

Healy RW, Cook PG, "Using grounwater levels to estimate recharge", Journal of Hydrogy, 2002, 10, 91-109.

Jones JP, Sudicky EA, McLaren RG, "Application of a fully-integrated surface-subsurface flow model at the watershed-scale: A case study", Water Resources Research, 2008, 44, 1-13.

Manghi F, Mortazavi B, Crother C, Hamdi MR, "Estimating regional groundwater recharge using a hydrological budget method", Water Resource Management, 2009, 23, 2475-2489.

Mare´chal JC, Dewandel B, Ahmed S, Galeazzi L, Zaidi FK, "Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semi-arid groundwater basin with irrigated agriculture", Journal of Hydrology, 2006, 329, 281-293.

Meteorology website of Ardabil, www.ardebilmet.ir, 2015.

www.SID.ir

Archive of SID

Mileham L, Taylor R, Thompson J, Todd M, Tindimugaya C, "Impact of rainfall distribution on the parameterisation of a soil-moisture balance model of groundwater recharge in equatorial Africa", Journal of Hydrology, 2008, 359, 46-58.

Moon SK, Woo NC, Lee KS, "Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge", Journal of Hydrogy, 2004, 292, 198-209.

Qin D, Qian Y, Han L, Wang Z, Li C, Zhao Z, "Assessing impact of irrigation water on groundwater recharge and quality in arid environment using CFCs, tritium and stable isotopes, in the Zhangye Basin, Northwest China", Journal of Hydrology, 2011, 405, 194-208.

Rasoulzadeh A, "Three-Dimensional variable-saturated numerical modeling of groundwater management in a coastal aquifer", PhD Thesis, Shiraz University, Iran, 2006.

Rasoulzadeh A, Moosavi SAA, "Evaluation of uncertainty in parameter estimation of WTF model using inverse method", The 7th Iranian Hydraulic Conference, Tehran, Iran, 11-13 November, 2008.

Samadder RK, Kumar S, Gupta RV, "Paleochannels and their potential for artificial groundwater recharge in the western Ganga plains", Journal of Hydrogy, 2011, 329, 154-164.

Scanlon BR, Healy RW, Cook PG, "Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge", Hydrogeology Journal, 2002, 10, 18-39.

Sharda VN, Kurothe RS, Sena DR, Pande VC, Tiwari SP, "Estimation of groundwater recharge from water storage structures in a semi-arid climate of India. Journal of Hydrogy", 2006, 329, 224-243.

Varni M, Comas R, Weinzettel P, Dietrich S, "Application of the water table fluctuation methods to characterize groundwater recharge in the Pampa plain, Argentina", Hydrological Sciences Journal, 2013, 58(7), 1445-1455.

www.SID.ir

Arch... ID

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 48 (2018), Issue 1 (Spring), 43-52

EXTENDED ABSTRACT

Estimation of Natural Groundwater Recharge using WTF Method (Case Study: Ardabil Plain Aquifer)

Hossein Ghafari, Ali Rasoulzadeh*, Majid Raoof, Abazar Esmeali

Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil

Received: 15 August 2016; **Accepted:** 28 January 2017

Keywords:
WTF method, Specific yield, Fraction of irrigation, Fraction of rainfall, Ardabil plain aquifer

1. Introduction

Quantification of the rate of ground water recharge is a basic prerequisite for efficient ground water resource management. The rate of aquifer recharge is one of the most difficult components to measure when evaluating ground water resources. Numerous techniques are used to quantify recharge rate. One of these techniques is water table fluctuation method (WTF). This method is considered to be one of the most romising and attractive due to its ease of use and low cost of application in semiarid areas. Scanlon et al., (2002) review appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, of which the water table fluctuation (WTF) method is the most likely candidate based on the available data for the study area. This method is reviewed by Healy and Cook with some recent examples including Moon et al., (2004); Crosbie et al., (2005); Scanlon et al., (2002); Healy and Cook (2002); Moon et al., (2004). Sharda et al., (2006) used the WTF and Chloride mass balance (CMB) methods for assessing groundwater recharge in India. They showed that WTF and CMB methods indicated comparable results for estimation of actual groundwater recharge (Crosbie et al., 2005). In this research, natural recharge of groundwater is studied using the WTF method.

2. Methodology

2.1. Site Description

Ardabil plain is located in northwest of Iran with a cold semi-arid environment and 279.8 mm annual average precipitation. The total area of the groundwater basin is approximately 1217.17 km^2 and is located between
48° 8′ 45" to 48° 37′ 30" east longitude and 38° 2′ 15" to 38° 31′ 00" north latitude. The major source of water for irrigation purposes in the study area is groundwater.

2.2. Theory of WTF Method

The methodology used to determine the unknown groundwater recharge is the Water Table Fluctuations method (WTF), which links the change in groundwater recharge with resulting water table fluctuations. The WTF method, applicable only to unconfined aquifers, is best applied to shallow water tables that display sharp water level rises and declines. The WTF method expressed as follows (Healy and Cook, 2002):

* Corresponding Author
E-mail addresses: rasoulzadeh@uma.ac.ir (Ali Rasoulzadeh), Ghafari_h67@yahoo.com (Hossein Ghafari), majidraoof2000@yahoo.co.uk (Majid Raoof), Abazar.esmali@gmail.com (Abazar Esmeali).

www.SID.ir

Archive of SID

$$R = S_y \frac{dh}{dt} \quad \text{or} \quad \frac{dh}{dt} = \frac{R}{S_y} \tag{1}$$

where S_y is specific yield (dimensionless), R is the groundwater recharge (LT^{-1}), h is the water table height (L) and t is time (T). This relationship needs to be modified to incorporate three additional factors, namely the idea that only a fraction α of the precipitation P (LT^{-1}) infiltrates as recharge, a fraction β of the irrigation flux I (LT^{-1}) recharges the water table, the pumping flux Fp (LT^{-1}) to supply irrigation water and inlet-outlet flow, q (LT^{-1}). Equation (1) is modified to yield:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\alpha P}{S_y} + \frac{\beta I}{S_y} - \frac{Fp}{S_y} \pm \frac{q}{S_y} \tag{2}$$

Automatic calibration was performed using SPSS software with Levenberg-Marquart optimization to estimate α, β, S_y and q for each individual observation well model. The calibration target (objective function) was based on minimizing the difference between the observed and simulated water table elevation in each individual observation well.

3. Results and discussion

The results showed that the water table elevation estimated by using the optimized parameters exhibits approximately a good match with the water table elevation observed for all observation wells. It can be concluded that the used inverse method can successfully describe the groundwater fluctuation in the study area. The results depicted that the S_y ranges from 0.013 to 0.21. Highest value of the S_y is in the south and the lowest is in the east which is consistent with the clay distribution in the study area. The estimated fraction of precipitation (α) and irrigation (β) which infiltrate to groundwater showed that the less than of 25% of precipitation and irrigation acts to recharge groundwater in the most of area. Highest value of the recharge is near the Ardabil city around the observation well 5. The ground is cultivated throughout this area encouraging rapid infiltration. The results of this study agree with other finding. The highest recharge is estimated to be 51.69% of mean annual rainfall and the lowest 38.47% by Fazel et al, (2005) for catchment areas, namely Sunagawa, Naka-hara, Fukuzato and Minafuku of Miyakojima Island, Okinawa Prefecture, Japan.

4. Conclusions

The advantage of the WTF method is that specific yield and recharge are estimated at the scale of interest to basin hydrologic studies and that the method requires no extensive in situ instrumentation network. Proper matching between observed and simulated water table assure that the present conceptual model has a potential for estimating groundwater recharge. The results showed that the average of the specific yield is estimated 0.084 and the estimated fraction of irrigation and rainfall that acts to recharge the water table are 22.53 and 16.84 percent respectively. Finally, with obtaining effective parameters in recharge, average of annual groundwater recharge is estimate 191 million cubic meters.

5. References

Crosbie RS, Binning P, Kama JD, “A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method”, Water Resources Research, 2005, 41(1), 1-9.

Fazel MA, Imaizumi M, Ishida S, Kawachi T, Tsuchihara T, “Estimating groundwater recharge using the SMAR conceptual model calibrated by genetic algorithm”, Journal of Hydrogy, 2005, 303, 56-78.

Healy RW, Cook PG, “Using grounwater levels to estimate recharge”, Journal of Hydrogy, 2002, 10, 91-109.

Moon SK, Woo NC, Lee KS, “Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge”, Journal of Hydrogy, 2004, 292, 198-209.

Scanlon BR, Healy RW, Cook PG, “Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge”, Hydrogeology Journal, 2002, 10, 18-39.

Sharda VN, Kurothe RS, Sena DR, Pande VC, Tiwari SP, “Estimation of groundwater recharge from water storage structures in a semi-arid climate of India. Journal of Hydrogy”, 2006, 329, 224-243.

www.SID.ir