Archive of SID

مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته

پاییز ۹۴، شماره ۱۷

ارزیابی ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز با استفاده از مدل MODFLOW

منوچهر چیت‌سازان

استاد گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

لاله نوذرپور

کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز

آرش ندری

استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

معصومه فرهادی‌منش

کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت ۹۳/۸/۲۵ تاریخ پذیرش : ۹۴/۲/۲۲

Nozarpour2012@yahoo.com

چکیده

مدیریت صحیح و منطقی منابع آب، نیازمند شناخت ارتباط متقابل منابع سطحی وزیرزمینی می‌باشد. در این تحقیق جهت بررسی تبادلات آبخوان لور-اندیمشک و رودخانه دز از مدل Modflow استفاده گردید. ابتدا جریان آب‌های زیرزمینی دشت لور-اندیمشک توسط مدل Modflow، در حالت ماندگار شبیه‌سازی گردید. سپس با استفاده از داده‌های مربوط به مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹، جریان آبخوان در حالت ناپایدار واسنجی و در دوره‌ی شش ماهه صحت‌سنجی شد. در ادامه ارتباط رودخانه دز با آبخوان در سناریوهای مختلف مدیریتی شامل کمترین دبی (کمترین سطح آب) در رودخانه، و پیش‌بینی تبادلات آبخوان و رودخانه در دوره‌های خشکسالی و ترسالی توسط بیلان بخشی(Zone budget) انجام گردید. به این منظور، رودخانه به پنج پهنه تقسیم شد و بیلان آبی در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشانگر بیشترین تغذیه توسط رودخانه در پهنه‌های ۲ و ۳ و سپس پهنه۱ است. رودخانه دز در بیشتر مسیر خود تغذیه کننده آبخوان می‌باشد..

کلمات کلیدی: *دشت لور-اندیمشک، ارتباط آبخوان و رودخانه، بیلان بخشی، رودخانه دز، Modflow .*

مقدمه

منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، سیستم‌های پیوسته‌ای هستند که به طور دائم با هم در ارتباط می‌باشند. آب زیرزمینی و سطحی منابعی مجزا و منفک از هم نیستند، بلکه از منظرهای مختلفی همچون فیزیوگرافیک و آب و هوایی با هم در ارتباط و تبادل هستند (Sophocleous, 2002). تعیین ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان در مطالعات هیدروژئولوژیکی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. رودخانه‌ها بر اساس ارتباط با آب زیرزمینی به سه دسته تقسیم می‌شوند، دسته اول آبخوان را زهکشی، دسته دوم آبخوان را تغذیه و دسته سوم نیز به هر دو صورت عمل می‌کنند (Winter et al., 1998). جهت جریان بین رودخانه و آبخوان اغلب ثابت نمی‌باشد و ممکن است در طول زمان تغییر کند. گاهی مشاهده می‌شود که رودخانه در بخشی از مسیر خود دهنده و در بخشی دیگر گیرنده و یا بی اثر است. در بسیاری از نواحی آب زیرزمینی و آب سطحی با هم در ارتباط بوده و اکثر اشکال آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سدها و...) با آب زیرزمینی ارتباط هیدرولیکی دارند. برداشت از هر کدام از این منابع و یا تغییر کیفیت هر یک می‌تواند بر روی دیگری اثرگذار باشد (جاوید، ۱۳۸۵). به همین دلیل به منظور مدیریت مؤثر منابع آب، درک اصول زیربنایی روابط حاکم بر ارتباط آب زیرزمینی و آب سطحی ضروری و حیاتی می‌باشد. به ویژه در مناطقی که آب‌های سطحی از قبیل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند. بنابراین شناخت درست و اساسی از چگونگی ارتباط هیدرولیکی منابع آب‌های سطحی با آب زیرزمینی، مخصوصا رودخانه‌های دائمی که در بخش کم عمق آبخوان جریان دارند از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در مدیریت بهینه و استفاده درست از این منابع می تواند موثر واقع گردد.

رودخانه دز بعنوان یکی از مهمترین شاخه‌های رودخانه کارون از ارتفاعات شمال شهرستان‌های بروجرد و الیگودرز سرچشمه گرفته و به سمت جنوب شاخه‌های متعددی دیگری (در مناطق کوهستانی) به آن متصل می‌گردد. این رودخانه پس از سد دز، در شمال دزفول وارد جلگه خوزستان شده و با عبور از دماغه تاقدیس سردارآباد و در شمال اهواز به رودخانه کارون می‌پیوندد. حوضه آبریز این رودخانه ۲۲۵۰۰ کیلومتر مربع بوده و محیط آن نیز ۹۰۰ km است. ارتفاع متوسط حوضه آبریز دز ۱۶۷۶ متر و حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۴۱۲۴ و ۱۹/۰۹ متر از سطح دریا می‌باشد. این حوضه کشیده و ضریب گراولیوس آن برابر ۱/۷۱ است (مهندسین مشاور سازاب پردازان، ۱۳۷۱).

امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی به منظور شبیه‌سازی آبخوان و شرایط حاکم بر آن به امری متداول در مبحث آب‌های زیرزمینی تبدیل شده است(چیت-سازان و همکاران،۱۳۹۱). هدف از ساخت مدل ریاضی یک آبخوان، شبیه‌سازی شرایط طبیعی جریان آب زیرزمینی با استفاده از روابط ریاضی است. در صورتی که شبیه‌سازی یک آبخوان با موفقیت صورت گیرد می‌توان با دقت مناسبی در مباحث مدیریتی از آن بهره گرفت. آگاهی و درک ارتباط بین آب-های زیرزمینی و آب‌های سطحی باعث افزایش قابلیت مدل‌های تفهیمی و ریاضی و بازسازی صحیح رابطه متقابل و پیچیده منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌سازی روابط آب سطحی- زیرزمینی بیش از ۳۰ سال است که یکی از زمینه‌های تحقیقاتی فعال است و به خصوص در سال‌های اخیر مورد توجه دوباره‌ای قرار گرفته است. نخستین مطالعات توسط (Winter, 1978; 1976 ;1983) انجام گرفت. روابط آب‌های سطحی و زیرزمینی توسط محققین متعددی مورد بحث قرار گرفته است. برای مثال بیان ریاضی مکانیسم رابطه آبهای زیرزمینی و سطحی توسط (Rushton, 2007 and Rushton 1979; Tomlinson)، مورد بحث قرار گرفته است. این تبادلات از نظر مکانی و زمانی پیچیده هستند که توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند(Morrice et al., 1997; Cey et al., 1998; Wroblicky et al., 1998; Fleckenstein et al., 2006; Andersen, 2009). در سال‌های اخیر توجه مدل‌سازی به روابط آب سطحی- زیرزمینی دوباره به سمت مطالعات موردی بازگشته است.

در این رابطه از مدل‌های رایج آب زیرزمینی مانند MODFLOW، تکنیک های جدیدتر تحلیل اجزا و همچنین روش‌های Link-Node استفاده می‌شود که تمام این روش‌ها، تنها به بررسی جریان آب می‌پردازد. در حال حاضر بسیاری از مدل‌های روابط آب‌سطحی- آب‌زیرزمینی مانند ModBranch، the Wetland Modflow module، Daflow-Modflow بر اساس ارتباط بین مدل‌های آب‌سطحی و مدل آب‌زیرزمینی Modflow می‌باشند (عبدالهی پورحقیقی و پیری، ۱۳۸۸).

هدف اصلی این تحقیق، شبیه‌سازی یکپارچه سامانه هیدروژئولوژیکی دشت لور-اندیمشک و رودخانه دز با استفاده از کدMODFLOW2000 در نرم‌افزار GMS می‌باشد. دلیل استفاده از GMS این است که این نرم‌افزار مجموعه‌ای از ابزارهای مفید برای وارد کردن و مدیریت داده‌ها را فراهم می‌کند (گودرزی و همکاران،۱۳۹۱). در این راستا به منظور شبیه‌سازی رودخانه دز از بسته رودخانه (River) استفاده گردید. تهیه بیلان و بررسی اثرات سناریوهای مختلف مدیریتی بر تبادل آب‌های زیرزمینی و رودخانه دز از اهداف دیگر این تحقیق است، و از نتایج آن می‌توان در مدیریت یکپارچه منابع آب و بررسی‌های انتقال آلودگی میان آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده کرد.

مفاهیم پایه و معادلات روابط متقابل آب‌های سطحی و زیرزمینی

تبادل آب زیرزمینی و آب سطحی در مقیاس وسیع از طریق نحوه توزیع شیب هیدرولیکی در آبراهه‌ها و رسوبات دشت آبرفتی اطراف آن، همچنین تفاوت بین سطح آب در آبراهه به سطح ایستابی تعدیل شده و شکل و موقعیت آبراهه در دشت آبرفتی کنترل می‌شود. همچنین تبادل آب در سیستم، به بار و هدایت هیدرولیکی رسوبات وابسته است (عبدالهی‌پورحقیقی و پیری، ۱۳۸۸). مدل‌های فراوانی برای شبیه‌سازی این ارتباط وجود دارند که هرکدام دارای ایرادهای خاص خود می‌باشد و به علت پیچیدگی این پدیده، هنوز مدل کاملی ارائه نشده است. معمولا در معادلات روابط آب سطحی- زیرزمینی، تبادل میان دو سیستم به میزان هدایت هیدرولیکی (ضریب نشت از بستر رودخانه) با اختلاف بار هیدرولیکی مربوط به آن‌ها مرتبط گردد. بر این اساس معادلات اساسی اندرکنش به فرم روابط ۱ و ۲ ارائه می‌گردد (نون کرسیک،۱۳۸۱):

$$QRIV = CRIV*(HRIV - h_{i,j,k}): h_{i,j,k} > RBOT \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$QRIV = CRIV*(HRIV- RBOT): h_{i,j,k} \leq RBOT \quad \text{رابطه (۲)}$$

QRIV = جریان تبادلی بین رودخانه و آبخوان

CRIV = هدایت پذیری (رسانایی رودخانه)

$h_{i,j,k}$ = بار هیدرولیکی در گره متناظر سلول زیرین در آبخوان

HRIV = بار هیدرولیکی رودخانه

RBOT = بار هیدرولیکی در قاعده لایه بستر رودخانه

واژه رسانایی رودخانه (CRIV) در روابط فوق براساس رابطه شماره ۳ بیان می شود. در این رابطه K ضریب هدایت هیدرولیکی ، Wو L به ترتیب عرض و طول ناحیه تماس و M ضخامت بستر می‌باشد.

$$CRIV = K.L.W/M \quad \text{رابطه (۳)}$$

معادلات فوق که از معادلات اساسی اندرکنش محسوب می‌گردند، براساس این فرض بنا نهاده شده‌اند که شرایط جریان در رودخانه در طول دوره تنش تغییرات اساسی و مهمی ندارد. بسته‌های متعددی در مورد جریان رودخانه با استفاده از مدل MODFLOW تهیه شده است. در تمام این بسته‌ها، جریان از رودخانه به آبخوان بسته به ارتباط هیدرولیکی یا عدم ارتباط هیدرولیکی سیستم، به طور متفاوت محاسبه می‌شود. بر اساس معادلات مفهومی مدل MODFLOW، ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان زمانی برقرار می‌باشد که سطح ایستابی بالاتر از ارتفاع قاعده رسوبات بستر رودخانه باشد. معادله دیفرانسیل جزیی سه بعدی جریان آب‌های زیرزمینی در حالت ناماندگار در یک محیط متخلخل ناهمگن و ایزوتروپ در آبخوان آزاد یا تحت فشار که تحت تأثیر رابطه متقابل آب‌های سطحی، تخلیه و تغذیه قرار دارد به صورت زیر بیان می‌شود (نون کرسیک،۱۳۸۱) :

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[k_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[k_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[k_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right]-w=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن K_{xx}، K_{yy} و K_{zz} به ترتیب هدایت هیدرولیکی در امتداد x، y و z می‌باشند. h بار هیدرولیکی،W شار حجمی بر حجم واحد، Ss ضریب ذخیره ویژه محیط متخلخل و t زمان می‌باشد. رابطه متقابل آب‌های زیرزمینی دشت لور-اندیمشک و رودخانه دز از طریق معادله (۱) تا (۴) و مشخص کردن بار هیدرولیکی در مرزهای آبخوان، بار هیدرولیکی اولیه و سطح آب رودخانه شبیه‌سازی می‌شود. پس از اجرای مدل MODFLOW با استفاده از نرم‌افزار GMS، سناریوهای مدیریتی مختلف اجرا و تأثیر آن‌ها بر ارتباط آبخوان و رودخانه تحلیل می گردد.

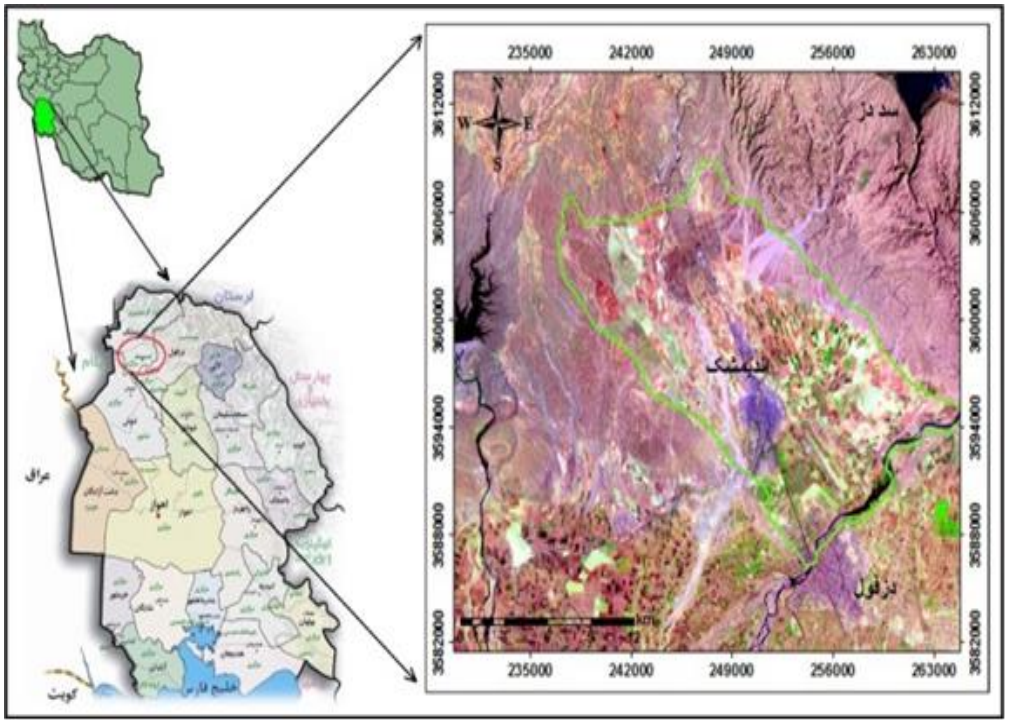
روش کار

محدوده مطالعاتی دشت لور قسمتی از دشت دزفول-اندیمشک با مساحتی حدود ۲۸۰ کیلومتر مربع است که در حوضه آبریز رود دز و در شمال شهرستان اندیمشک، بین طول جغرافیایی ′۰۹ °۴۸ تا ′۴۷ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ′۰۲ °۳۲ تا ′۳۶ °۳۲ شمالی قرار گرفته و از جمله دشت‌های شمال جلگه خوزستان، در دامنه‌های غربی رشته کوه‌های زاگرس می‌باشد (شکل۱). این حوضه جزئی از بخش مرکزی شهرستان اندیمشک محسوب می‌شود، از شمال و شمال شرق به محدوده دریاچه سد دز، از شرق به شهر دزفول و رودخانه دز، از جنوب به شهر اندیمشک و از غرب و جنوب غرب به رودخانه بالارود ختم می‌شود. منطقه مورد مطالعه از نظر موقعیت مکانی در پهنه چین خورده زاگرس واقع شده است. محدوده مطالعاتی دشت لور نهشته‌های ژوراسیک تا عهد حاضر را شامل می‌شود. عمده وسعت منطقه را سازند بختیاری و مابقی مساحت محدوده را رسوبات عمدتاً آبرفتی و جوان کواترنری دربرمی گیرد و قسمت‌های محدودی

www.SID.ir

Archive of SID

نیز بخش لهبری است. از نظر قدمت، مسن‌ترین نهشته‌ها از آن بخش لهبری و سازند بختیاری و جوان‌ترین رسوبات نیز مجموعه رسوبی جوان کواترنری است (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۹۰). متوسط بارندگی ایستگاه‌های سد دز، دزفول طی دوره آماری ۴۳ ساله اخیر (۸۸-۱۳۴۵)، بترتیب معادل ۴۸۸، ۳۴۶ میلی‌متر و ضریب تغییرات سالانه آنها حدود ۳۴ درصد می‌باشد. طی دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۸۹، پربارش‌ترین ماه سال آذر ماه ۱۳۸۸ با بارش متوسط ۱۰۰/۴ میلیمتر و کم بارش‌ترین ماه‌های سال مهر،خرداد، تیر، مرداد و شهریور با صفر میلیمتر بارندگی می‌باشند. این منطقه طبق روش دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک است. (نوذرپور، ۱۳۹۳).



شکل۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

ابتدا ایجاد و ذخیره‌سازی داده‌ها در محیط GIS و با توجه به ساختاری مناسب و قابل تبادل با کد شبیه‌ساز (MODFLOW-2000) تهیه شد و نهایتاً بررسی وضعیت کلی موجود، تخمین و بهینه‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان و تهیه مدل کمی آبخوان با استفاده از نرم‌افزار GMS انجام گردید. به منظور مشخص کردن تبادلات میان رودخانه و آبخوان آبرفتی، اطلاعات رودخانه دز در محدوده مورد نظر شامل تراز سطح آب رودخانه و ارتفاع بستر آن در ایستگاه‌ها از سازمان آب و برق خوزستان تهیه، و در نقاط مورد نظر وارد مدل گردید.

طراحی مدل

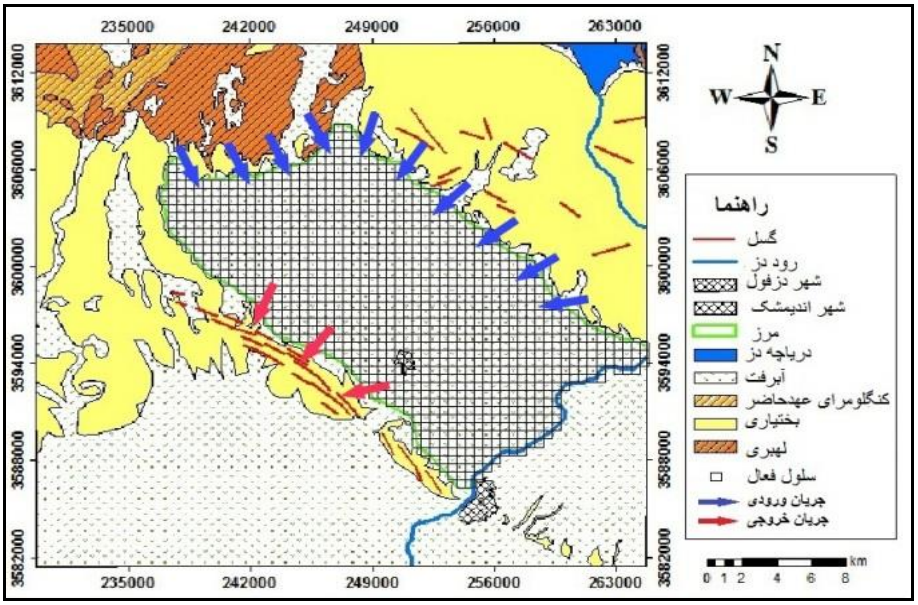
با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، مدل مفهومی آبخوان دشت لور طراحی شد (شکل۲). پس از تهیه مدل مفهومی، محدوده موردنظر در مدل به ۵۶ ستون و ۴۵ ردیف از نوع مرکز بلوکی با طول و عرض ۵۰۰ متر شبکه‌بندی گردید که ایجاد ۲۵۲۰ سلول را می‌نماید. از این تعداد ۱۱۳۲ سلول فعال و ۱۳۸۸ سلول غیر فعال می‌باشد.. مرزهای ورودی مدل شامل بخش‌های شمال، شمال غربی- شرقی، شرق، و مرزهای خروجی بخش‌های غرب و جنوب غرب دشت می باشد. با توجه به هیدروگراف واحد دشت و با استناد به آمار و اطلاعات موجود، واسنجی مدل در دوره زمانی مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹ به مدت ۳۶۵ روز با ۱۲ استرس پریود، با استفاده از MODFLOW در نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی گردید. صحت‌سنجی آن نیز در یک دوره تنش۶ ماهه از مهر ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۸۹ انجام شد. پس از انتهای دوره صحت سنجی، به دلیل تصحیح پارامترهای بیلان و محاسبه سلول به سلول عوامل آن، محاسبه بیلان مدل توسط بسته Budget صورت گرفت.

روابط متقابل آبخوان و رودخانه

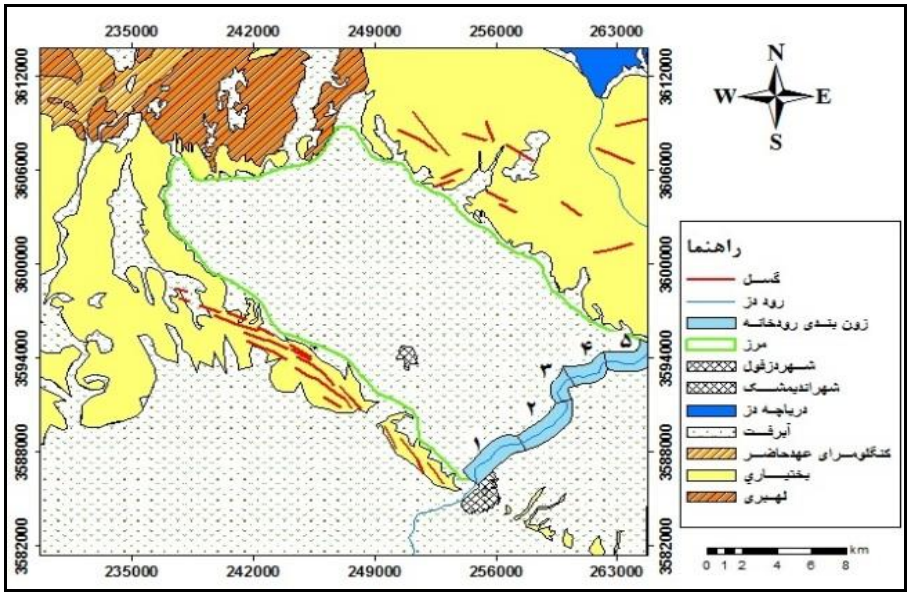
جهت بررسی دقیق روابط متقابل آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز، با بهره‌گیری از مدل تهیه شده، از بسته رودخانه (River package) استفاده گردید. برای این بررسی با استفاده از بسته (Zone budget)، رودخانه دز بصورت پهنه‌هایی تقسیم‌بندی گردید. این بسته، بیلان آبی در پهنه‌های کوچکتری از منطقه را محاسبه می‌کند. جهت مشخص کردن عملکرد سیستم و جریان ورودی از رودخانه دز به آبخوان لور و جریان خروجی از آبخوان، رودخانه به پنج پهنه تقسیم گردید (شکل۳). پس از تعریف پارامترهای مورد نیاز برای مدل، میزان تبادل آبی رودخانه و آبخوان در هریک از مناطق پنجگانه بیلان محاسبه شد و مورد بررسی قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲. جریان‌های ورودی و خروجی به دشت لور



شکل۳. منطقه‌بندی بیلان برای مشخص کردن میزان تبادل رودخانه و آبخوان

به علت نیاز روز افزون به استفاده از منابع زیرزمینی و روند رو به رشد افزایش حفر چاه به همراه وقوع پدیده خشکسالی و یا ترسالی، پیش‌بینی روابط متقابل آب‌های زیرزمینی با رودخانه‌ها باید در سناریوهای مختلف مدیریتی از جمله استفاده توام آب‌های سطحی و زیرزمینی مدنظر قرار گیرد. با توجه به این موضوع، روابط متقابل آب‌های زیرزمینی دشت لور و رودخانه دز تحت سه سناریو شامل کمترین سطح آب رودخانه و شرایط خشکسالی و ترسالی بررسی و پیش-بینی گردید و با نتایج سال مدل (۸۹-۸۸) مورد مقایسه قرار گرفت.

بحث

برای اینکه آب زیرزمینی به درون رودخانه تخلیه شود باید سطح آب زیرزمینی در محل ورود به رودخانه بالاتر از سطح آب رودخانه باشد برعکس، برای ورود آب سطحی به سیستم آب زیرزمینی، ارتفاع سطح ایستابی در حاشیه و مجاور رودخانه باید پایین‌تر از سطح آب رودخانه باشد (Winter et al., 1998). روابط بین سیستم آبخوان آبرفتی و رودخانه تحت تأثیر توزیع مکانی هیدروفاسیس‌ها واقع در مرز رودخانه و آبخوان زیرین می‌باشد (Woessner, 2000). در مطالعات مدل‌سازی روابط رودخانه-آبخوان، تأثیرات منطقه‌ای مدیریت منابع آب و استفاده‌های توأم از منابع آب باید مدنظر قرار گیرد (Wang, 1995; Onta, 1991; Reichard, 1995). ضخامت میانگین منطقه‌ای رسوبات بستر رودخانه و هدایت‌های هیدرولیکی مورد استفاده در مدل-های بزرگ مقیاس بر روابط رودخانه آبخوان تأثیر می‌گذارند (Woessner and Anderson, 1992). بررسی‌های اولیه نقشه‌های هم تراز آب

www.SID.ir

Archive of SID

زیرزمینی حاکی از جهت جریان آب زیرزمینی در بیشتر مناطق دشت از رودخانه به آبخوان می‌باشد. اما بررسی‌های دقیق‌تر نشان داد که از نظر مکانی و زمانی رابطه رودخانه و آبخوان بستگی زیادی به سطح آب در رودخانه و سلول-های مجاور دارد، به گونه‌ای که تغییر در هر یک از آنها جهت جریان را تغییر می-دهد. براساس نتایج بدست آمده از مدل ساخته شده، بیلان آب زیرزمینی در سال تهیه مدل تغییرات منفی حجم مخزن در حدود ۷/۵ میلیون متر مکعب را نشان می‌دهد (جدول۱). جدول (۲) بیلان آبی مدل مربوط به مناطق پنجگانه رودخانه را در سال آبی ۸۹-۸۸ نشان می‌دهد.

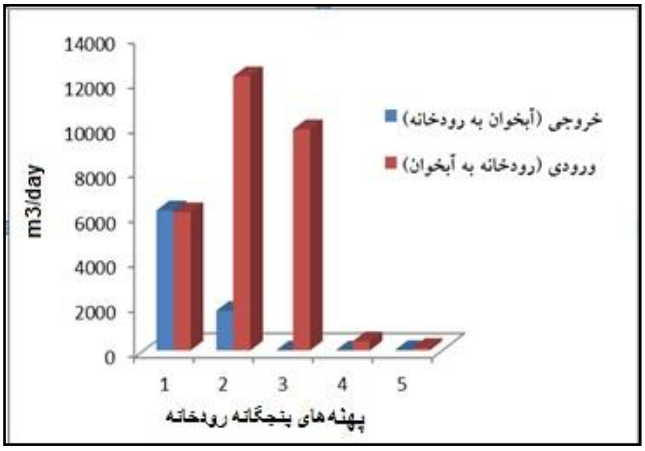
جدول۱. اجزا و مقادیر بیلان آبی پریود دوازدهم مدل دشت لور۸۹-۸۸

بیلان حجمی مدل (متر مکعب)		
اجزاء بیلان	ورودی	خروجی
چاه‌ها	۱۲۵۷۳۵۳۵	-۵۲۱۴۸۴۷۶
تغذیه	۱۵۶۷۰۱۲۲	۰
جریان‌های زیرزمینی	۸۲۰۰۵۰۳	-۱۲۵۰۷۱۰۲
رودخانه	۲۸۸۰۷۴۰۶	- ۸۰۵۲۸۱۹
مجموع	۶۵۲۵۱۵۶۶	-۷۲۷۰۸۳۹۷
ورودی- خروجی	-۷۴۵۶۸۳۱	

جدول۲. بیلان مناطق پنجگانه رودخانه دز در سال ۸۹-۸۸

بیلان مربوط به هر پهنه (مترمکعب * 10^3)			
نام منطقه	ورودی(رودخانه به آبخوان)	خروجی (آبخوان به رودخانه)	حجم تبادل
۱	۶۱۷۶/۳۷۲۶	۶۲۵۰/۵۸۵۵	-۷۴/۲۱۲۹
۲	۱۲۲۳۶/۵۸۴۱	۱۷۷۲/۱۷۵۹	۱۰۴۶۴/۴۰۸۲
۳	۹۸۷۰/۱۰۰۹	۰	۹۸۷۰/۱۰۰۹
۴	۴۰۹/۰۰۲۵	۰	۴۰۹/۰۰۲۵
۵	۱۱۵/۳۴۷۱	۳۰/۰۵۷۲	۸۵/۲۸۹۸

همانطور که مقایسه پهنه‌های بیلان در شکل (۴) نشان می‌دهد، از بین ۵ پهنه، بیشترین تغذیه توسط رودخانه در پهنه‌های ۲ و ۳ و سپس پهنه۱ صورت می‌گیرد. مقادیر ورودی و خروجی در پهنه ۱ در دوره مورد نظر با هم برابر است. بطور کلی از مقایسه نسبی در شکل (۴) مشاهده می‌گردد که رودخانه دز اصولاً تغذیه کننده آبخوان می‌باشد.

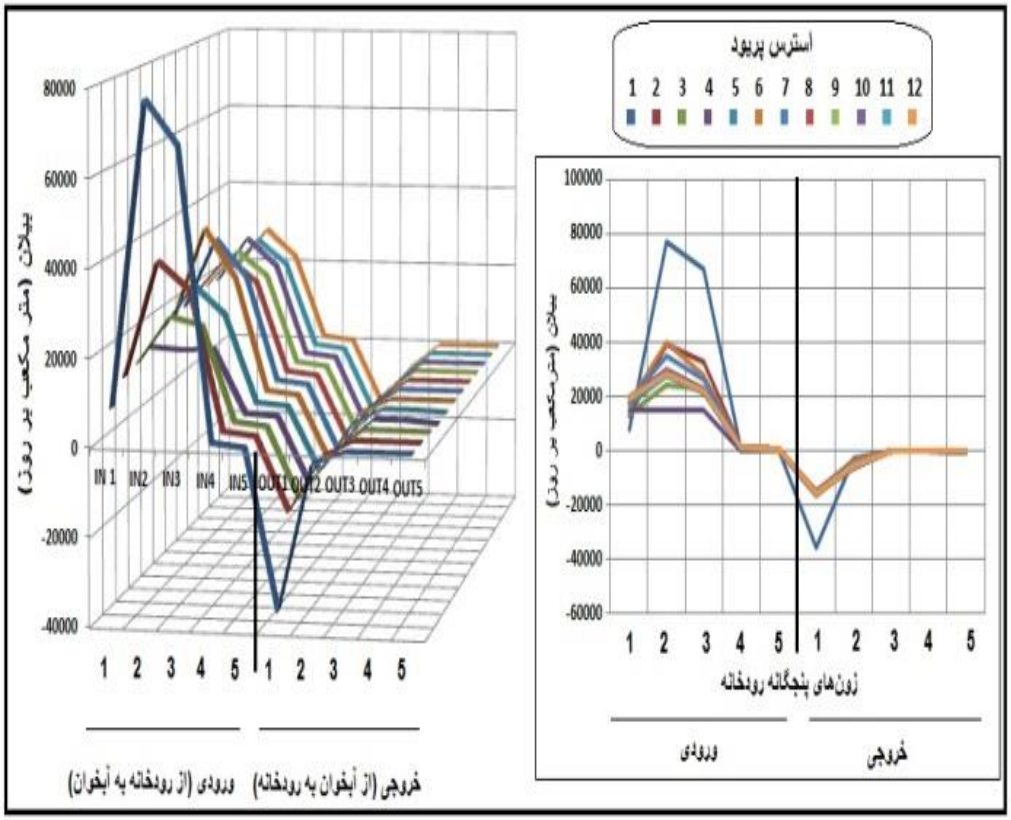


شکل۴. بیلان ۵ پهنه رودخانه جهت مشخص کردن ارتباط آبخوان و رودخانه

www.SID.ir

Archive of SID

با ترسیم مقادیر بیلان ورودی و خروجی در هریک از پهنه‌های پنجگانه بصورت سری زمانی، مناطق تغذیه یا تخلیه این سیستم در استرس پریودهای مختلف مشخص گردید (شکل ۵). همچنین با استفاده از این نمودار می‌توان مناطق حساس و آسیب‌پذیر آبخوان و رودخانه را پیش‌بینی کرد. مناطق دارای ورودی یا خروجی زیاد، مناطق حساسی هستند که در صورت آلوده بودن رودخانه یا آبخوان، انتقال آن به دیگری سریع‌تر انجام می‌شود. بعنوان مثال چنانچه در چنین مناطقی آبخوان در اثر کشاورزی و استفاده از سموم و کود آلوده شده باشد، انتقال آن به رودخانه صورت خواهد گرفت و منابع سطحی آلوده خواهد شد و بالعکس اگر رودخانه آلوده باشد، می‌تواند موجب آلودگی آبخوان و خاک منطقه شود. هر یک از خطوط در شکل(۵) مربوط به یک استرس پریود در مدل است که به ترتیب از ۱ تا ۱۲، ماه‌های سال مدل را نشان می‌دهند.

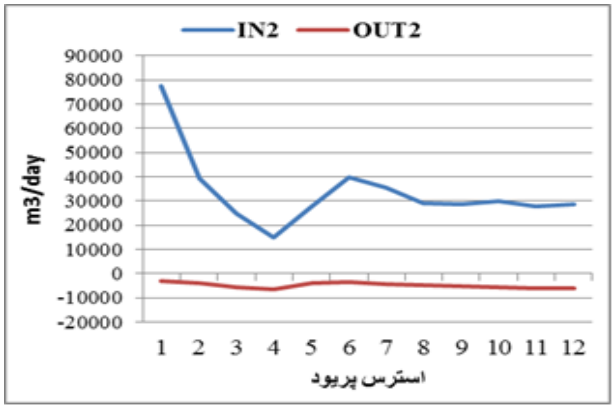


شکل۵. بیلان در مناطق پنجگانه رودخانه در استرس‌های مختلف

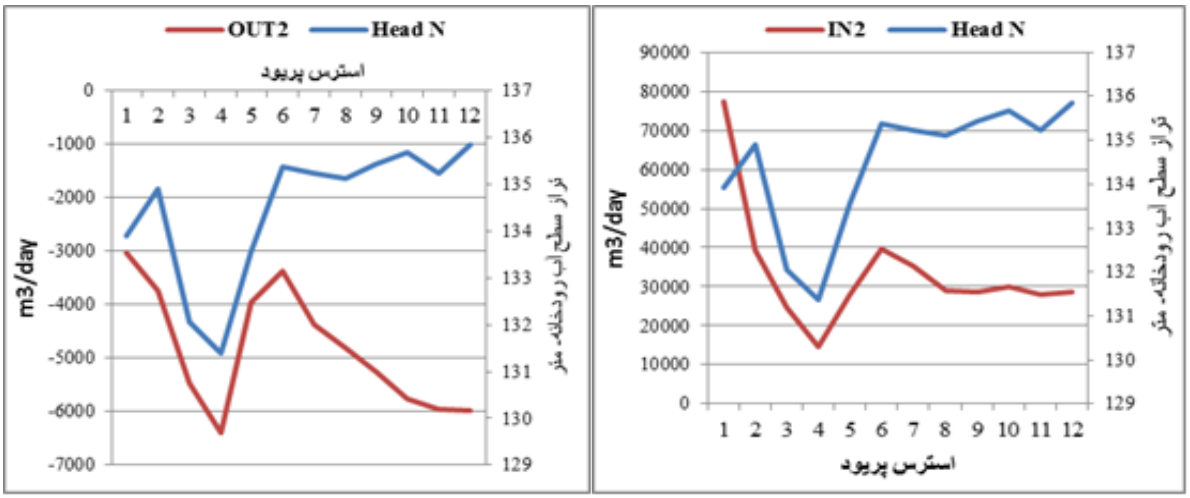
جهت مقایسه نسبی بین مقادیر ورودی و خروجی، این مقادیر با یکدیگر آورده شده است. مقادیر ورودی با نام In و خروجی‌ها با نام Out به همراه شماره پهنه نشان داده شده است. همانطور که در شکل(۵) مشاهده می‌شود، بیشترین ورودی از رودخانه به آبخوان در پهنه‌های مرکزی دشت (۲و۳)، خصوصاً در پهنه شماره ۲ است که حدوداً ۸۰ هزار مترمکعب بر روز در استرس اول می‌باشد. همچنین بیشترین خروجی از آبخوان به رودخانه، حدود ۳۵ هزار مترمکعب بر روز برای استرس اول در پهنه ۱ دیده می‌شود. با ترسیم مقادیر خروجی و ورودی با یکدیگر، و مقایسه آنها، می‌توان به تغذیه کننده بودن رودخانه دز در بیشتر نواحی پی برد. ارتباط آبخوان و رودخانه، و جهت جریان بین دو سیستم وابستگی کامل با اختلاف بار هیدرولیکی آنها دارد. همانطور که پیش از این گفته شد، بررسی میزان ورودی و خروجی در پهنه ۲ نشان می‌دهد که این پهنه بیشترین نقش تغذیه کننده‌ی آبخوان را دارد. اما تا حدودی نیز آبخوان را تخلیه می‌کند (In بیشتر از Out). در این پهنه هم حجم ورودی و هم حجم خروجی، ارتباط و نوسانات مشابهی با نوسانات سطح آب رودخانه نشان می‌دهد (شکل ۶). جهت مقایسه روند تغییرات ورودی و خروجی با نوسانات سطح آب رودخانه، بیلان پهنه ۲ با نوسانات نزدیکترین ایستگاه اندازه‌گیری سطح آب رودخانه مقایسه گردید. همانطور که مشاهده می‌گردد با کاهش تراز آب رودخانه، گرادیان به سمت آبخوان کم شده و ورودی کاهش یافته و خروجی از آبخوان افزایش می‌یابد. با افزایش تراز آب رودخانه نیز گرادیان هیدرولیکی به سمت آبخوان زیاد شده و تغذیه به آبخوان افزایش یافته و خروجی کاهش می‌یابد (شکل ۷). همانطور که در شکل (۶) دیده می‌شود نوسانات میزان ورودی (تغذیه) و میزان خروجی (تخلیه) ارتباط عکس با یکدیگر دارند. به این صورت که با کاهش حجم ورودی (In)، میزان حجم خروجی(Out) افزایش می‌یابد و با افزایش ورودی این مرتبه خروجی کم می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

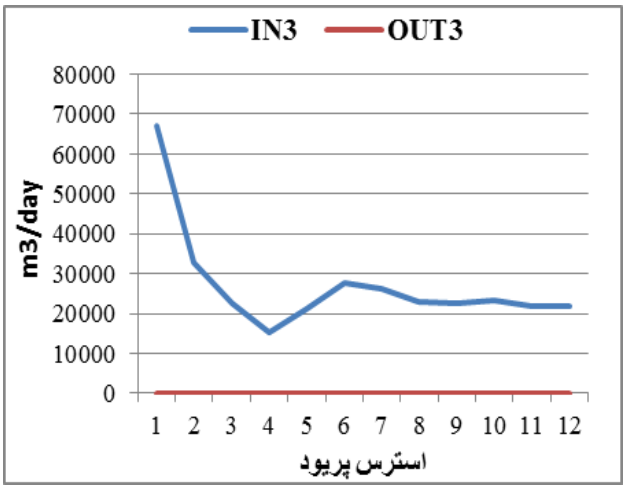


شکل۶. تغییرات بیلان ورودی و خروجی در پهنه ۲



شکل۷. ورودی و خروجی از پهنه ۲ در مقایسه با نوسانات تراز آب رودخانه در نزدیکترین ایستگاه(N)

دلیل این تغییرات و ارتباط عکس، نوسان سطح آب رودخانه است. با افزایش سطح آب رودخانه (h) بار هیدرولیکی رود زیاد شده و با جهت جریان از رودخانه به طرف آبخوان، دشت تغذیه می‌شود، و به طور عکس وقتی سطح آب رودخانه کاهش پیدا می‌کند گرادیان هیدرولیکی کم شده و جهت جریان از آبخوان به رودخانه تغییر می‌کند، در نتیجه میزان خروجی (Out) افزایش می‌یابد. در پهنه۳ میزان خروجی صفر می‌باشد به عبارتی میزان ورودی بیشتر از میزان خروجی می‌باشد و در نتیجه رودخانه آبخوان را تغذیه می کند (شکل ۸).

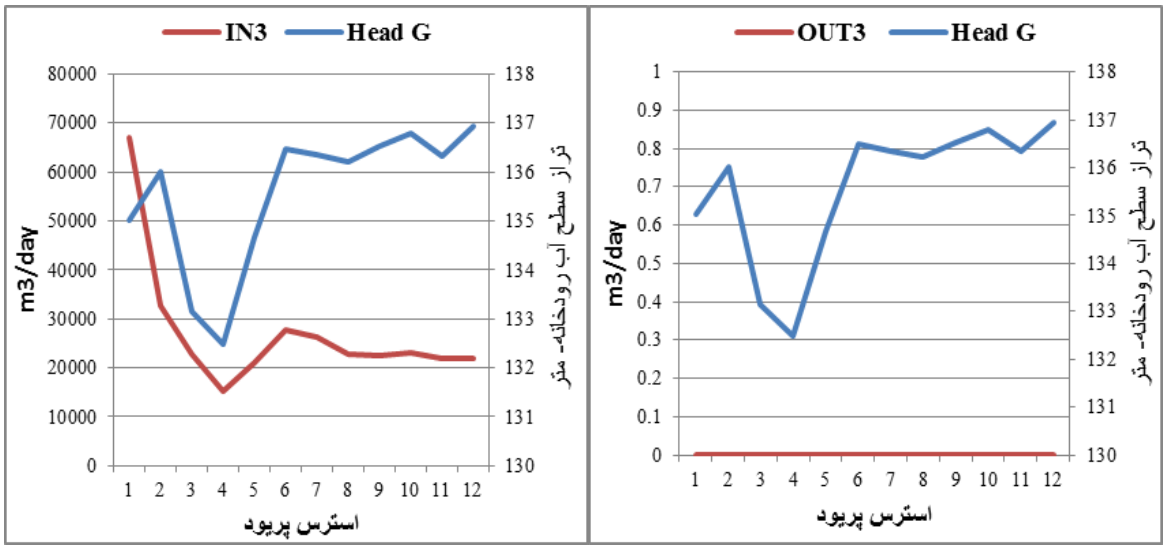


شکل۸. تغییرات بیلان ورودی و خروجی در پهنه ۳

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق با توضیحات قبلی با افزایش سطح آب رودخانه (h)، بار هیدرولیکی رود زیاد شده و جهت جریان (گرادیان هیدرولیکی) از رودخانه به طرف دشت و تغذیه کننده آبخوان است، همچنین خروجی از رودخانه در این پهنه صفر بوده است (شکل ۹).



شکل۹. ورودی و خروجی از پهنه ۳ در مقایسه با نوسانات تراز آب رودخانه در نزدیکترین ایستگاه

طبق مقاطع تهیه شده از رودخانه دز توسط سازمان آب و برق خوزستان، از مقطع شماره ۵۵ تا ۶۷، تراز کف و تراز سطح آب رودخانه در تاریخی که مقاطع رودخانه تهیه شده بود بدست آمد؛ سپس براساس آمار سطح آب در سد تنظیمی دزفول و آمار سطح آب ایستگاه هیدرومتری دزفول، و محاسبه شیب سطح آب رودخانه، تراز آب در مقاطع ۵۵ و ۶۷ برای یک سال دوره آماری ۸۹-۸۸ محاسبه گردید. هم چنین با در نظرگرفتن ادامه روند شیب سطح آب، تراز آب برای هر نقطه به عنوان ایستگاه محاسبه گردید(جدول ۳). رابطه زیر نحوه محاسبه تراز آب در مقطع ۵۵، ۶۷ و نقطه A را نشان می‌دهد:

$$H_A = H_{E_1} - (\frac{D_A}{D}(H_{E_1} - H_{E_2}))$$
$$H_E = h_E + z_E$$

رابطه (۵)

که در آن، HE سطح مطلق آب رودخانه در اشل؛ HA سطح مطلق آب رودخانه در نقطه A ؛ zE ارتفاع مطلق صفر اشل؛ hE ارتفاع سطح آب رودخانه بین دو اشل؛ D طول مسیر رودخانه بین اشل و A؛ DA طول مسیر رودخانه از اشل یا مقطع تا نقطه A.

جدول۳. مختصات مقاطع و ایستگاه‌های برداشت شده

نام	مقطع۵۵	مقطع۶۷	G	N	ایستگاه هیدرومتری دزفول	T	سد تنظیمی دزفول	AE
UTM X	۲۶۴۹۴۲	۲۶۲۲۹۳	۲۵۹۷۶۳	۲۵۹۳۶۵	۲۵۵۶۷۳	۲۵۶۹۶۸	۲۵۶۹۳۳	۲۵۴۸۹۳
UTM Y	۳۵۹۴۵۸۲	۳۵۹۳۸۱۰	۳۵۹۲۲۴۹	۳۵۸۹۸۶۹	۳۵۸۷۶۴۴	۳۵۸۸۵۶۵	۳۵۸۸۵۶۵	۳۵۸۷۰۳۲

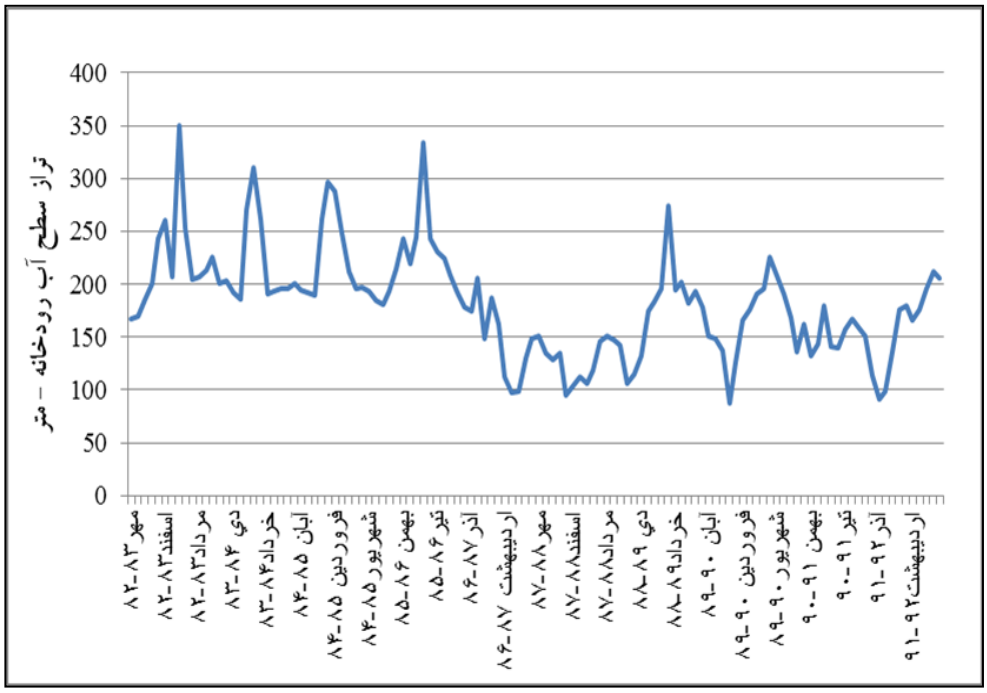
به علت نیاز روز افزون به استفاده از منابع آب زیرزمینی و روند رو به رشد افزایش حفر چاه به همراه وقوع پدیده خشکسالی و یا ترسالی، و تغییر در سیستم طبیعی رودخانه‌ها (مانند احداث سد)، پیش بینی روابط متقابل آبهای زیرزمینی با رودخانه‌ها باید در سناریوهای مختلف مدیریتی از جمله استفاده توام آب‌های سطحی و زیرزمینی مد نظر قرار گیرد. با توجه به این موضوع، روابط متقابل آبهای زیرزمینی دشت لور و رودخانه دز تحت سه سناریو شامل کاهش سطح آب رودخانه، شرایط خشکسالی و ترسالی پیش بینی گردید که مورد بررسی قرار می گیرند.

www.SID.ir

Archive of SID

سناریو کاهش سطح آب رودخانه دز

با توجه به اثرگذاری تراز سطح آب رودخانه بر ارتباط آبخوان و رودخانه، از جمله تنش‌هایی که می‌تواند بر این ارتباط اثر بگذارد، کاهش سطح آب رودخانه در اثر عواملی مانند انتقال، احداث سد و غیره می‌باشد. جهت اجرای این سناریو از داده‌های آماری کمترین تراز سطح آب رود دز در ۲۰ سال گذشته استفاده گردید (شکل۱۰).



شکل۱۰. هیدروگراف ۱۰ ساله سطح آب رودخانه دز

طبق این هیدروگراف، بالاترین سطح آب رود در سال ۸۶-۸۵ بوده که از لحاظ هواشناسی نیز ترسالی بوده است. پایین ترین سطح آب رود دز نیز در سال ۸۸-۸۷ می باشد. با توجه به سال‌های خشک و تر، کمترین تراز سطح آب برای نقاط مختلف رودخانه بدست آمد و مدل برای این حالت اجرا گردید (جدول۴).

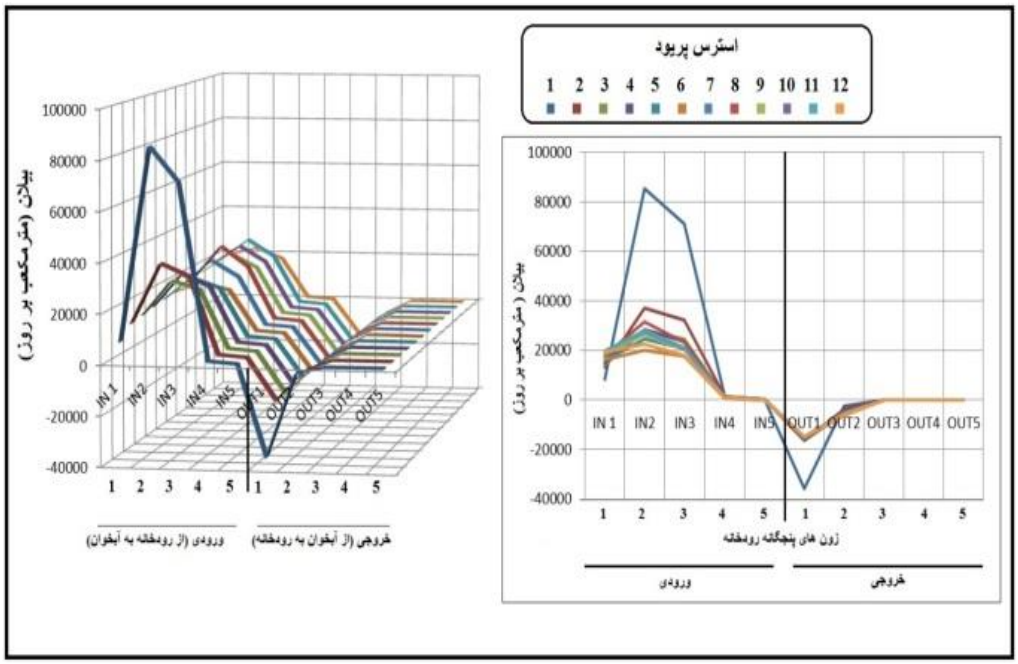
جدول۴. پیش بینی بیلان بخشی مدل درسناریوکاهش سطح آب

بیلان مربوط به هر پهنه (مترمکعب * 10^3)			
نام منطقه	ورودی(رودخانه به آبخوان)	خروجی(آبخوان به رودخانه)	حجم تبادل
۱	۵۹۵۱/۳۹۶۸	۶۲۱۸/۸۱۰۲	-۲۶۷/۴۱۳۴
۲	۱۱۷۴۳/۳۳۸۶	۱۹۱۰/۲۰۰۶	۹۸۳۳/۱۳۷۹
۳	۹۵۱۷/۰۳۷۲	۰	۹۵۱۷/۰۳۷۲
۴	۳۷۵/۶۴۳۹	۰	۳۷۵/۶۴۳۹
۵	۵۸/۱۳۳۶	۱۲/۷۲۶۵	۴۵/۴۰۷۰

نتایج حاکی از کاهش میزان ورودی و افزایش خروجی در آبخوان می‌باشد، که دلیل آن همان کاهش شیب هیدرولیکی رودخانه به آبخوان در اثر افت تراز سطح آب است. نتایج نشان می‌دهد که با افت تراز سطح آب رودخانه، تغییری در نحوه عملکرد بخش‌های مختلف رودخانه ایجاد نگردید، که این بیانگر ثبات عملکرد و نقش رودخانه در منطقه است (شکل۱۱).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۱. بیلان در مناطق پنجگانه رودخانه در استرس‌های مختلف در سناریو کاهش سطح آب

همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می شود نتایج بیلان نشان می‌دهد که در اثر کاهش تراز آب رودخانه، در اثر کاهش شیب هیدرولیکی، میزان ورودی از رودخانه به آبخوان کم شده است. از میان بخش‌های مختلف رودخانه، پهنه ۲ بیشترین تغییرات را در اثر این تنش متحمل می‌شود.

سناریو کاهش تغذیه بر اثر خشکسالی و تاثیر آن بر تبادل هیدرولیکی رودخانه و آبخوان

برای پیش‌بینی اثر کاهش تغذیه ناشی از خشکسالی، بارندگی‌های منطقه طی یک دوره ۳۰ ساله ۱۳۹۲-۱۳۶۲ مورد بررسی قرار گرفت و مقدار بارندگی کمینه که برابر ۱۴۶ میلی‌متر در سال و مربوط به سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ بود، به مدل آب‌های زیرزمینی دشت لور اعمال گردید. نتیجه بیلان بخشی مدل در اثر اعمال این سناریو در جدول (۵) نشان داده شده است. در اثر خشکسالی در منطقه میزان تغذیه سطحی کاهش می‌یابد و در اثر آن افت سطح ایستابی رخ می‌دهد. با افت سطح ایستابی این مرتبه شیب هیدرولیکی بطرف آبخوان زیاد شده و موجب تغذیه بیشتر آبخوان توسط رودخانه می‌شود (شکل ۱۳و۱۴).

این حالت را می‌توان مشابه تغذیه مصنوعی به روش القایی تصور نمود که موجب حرکت آب از رودخانه به آبخوان می‌گردد. لازم به ذکر است که این شرایط بسته به این است که سطح ایستابی بالاتر از بستر رودخانه قرار گرفته باشد، چون در غیر اینصورت معادلات ارتباط آبخوان و رودخانه تغییر می‌یابد.

سناریوافزایش تغذیه آبخوان بر اثر ترسالی و تاثیر آن بر تبادل هیدرولیکی رودخانه و آبخوان

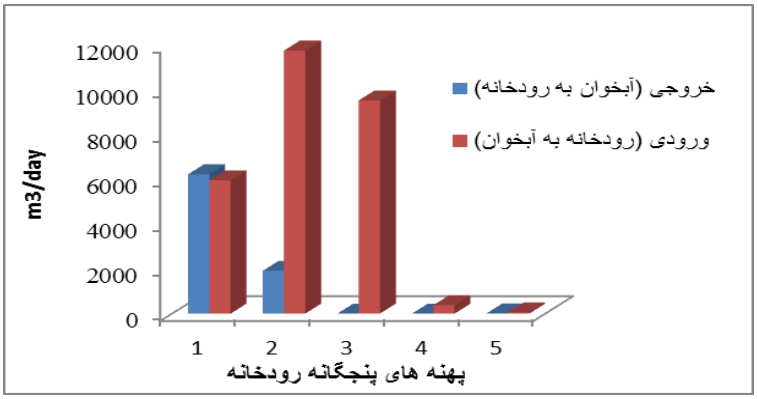
برای پیش‌بینی اثر تغذیه ناشی از ترسالی، بارندگی‌های منطقه طی یک دوره ۳۰ ساله ۱۳۹۲-۱۳۶۲ مورد بررسی قرار گرفت و مقدار افزایش بارندگی بیشینه که برابر ۶۶۱ میلی‌متر در سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ است به مدل آب‌های زیرزمینی دشت لور مربوط به سال تهیه مدل (سال آبی۸۹-۸۸) اعمال گردید. نتیجه بیلان بخشی مدل در اثر اعمال این سناریو در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول۵. بیلان بخشی مدل در دوره خشکسالی و تاثیر آن بر تبادل آب بین آبخوان و رودخانه بر حسب متر مکعب بر روز

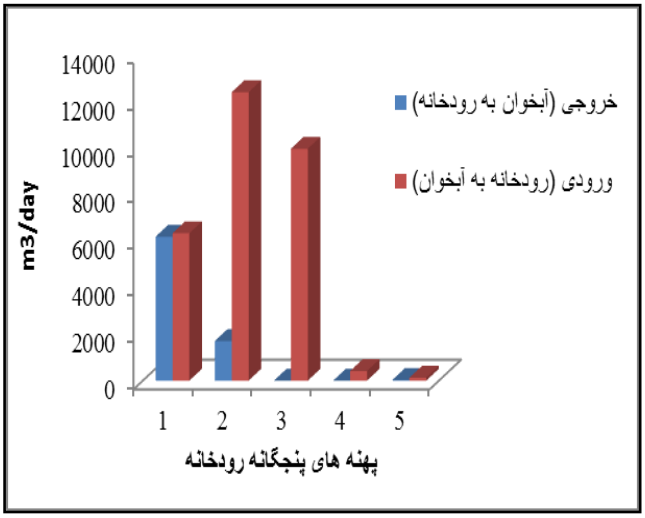
نام منطقه	بیلان مربوط به هر پهنه (مترمکعب * 10^3) ورودی (رودخانه به آبخوان)	خروجی (آبخوان به رودخانه)	حجم تبادل
۱	۶۳۴۲/۳۶۰۰	۶۱۹۴/۰۳۴۳	۱۴۸/۳۲۵۷
۲	۱۲۴۱۳/۸۲۴۸	۱۷۰۳/۶۰۸۸	۱۰۷۱۰/۲۱۶۰
۳	۹۹۸۱/۳۱۱۲	۰	۹۹۸۱/۳۱۱۲
۴	۴۱۱/۱۸۳۰	۰	۴۱۱/۱۸۳۰
۵	۱۲۲/۹۰۲۸	۲۸/۴۰۵۸	۹۴/۴۹۶۹

www.SID.ir

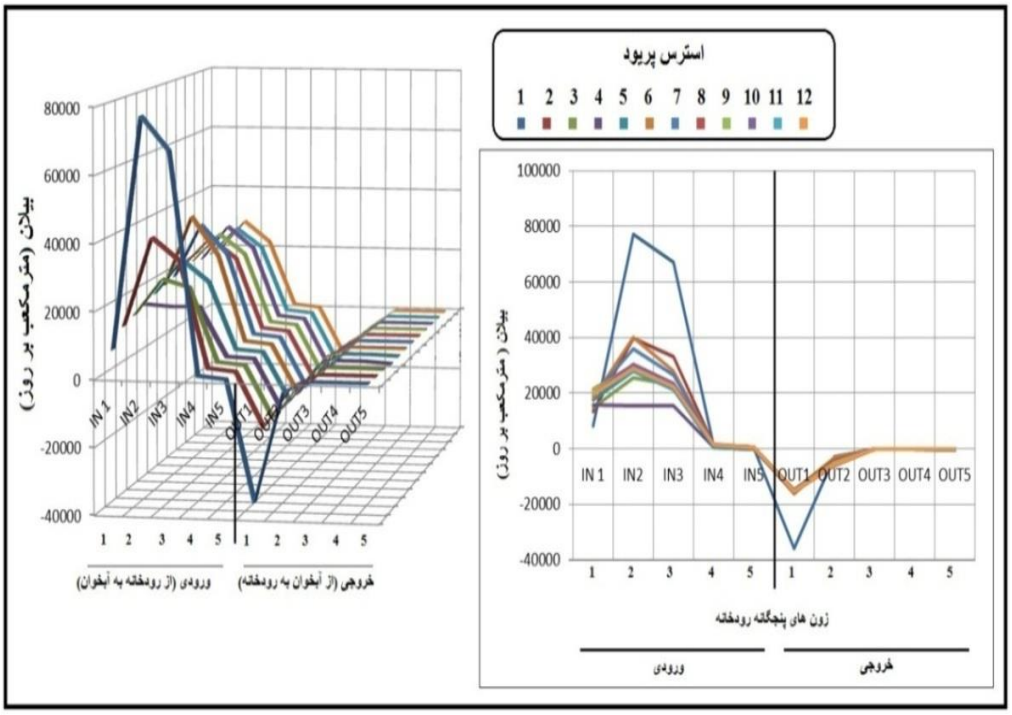
Archive of SID



شکل۱۲. بیلان ۵ پهنه رودخانه جهت مشخص کردن ارتباط آبخوان و رودخانه در سناریو کاهش سطح آب



شکل۱۳. بیلان ۵ پهنه رودخانه جهت مشخص کردن ارتباط آبخوان و رودخانه در دوره خشکسالی



شکل۱۴. بیلان در مناطق پنجگانه رودخانه در استرس‌های مختلف در دوره خشکسالی

www.SID.ir

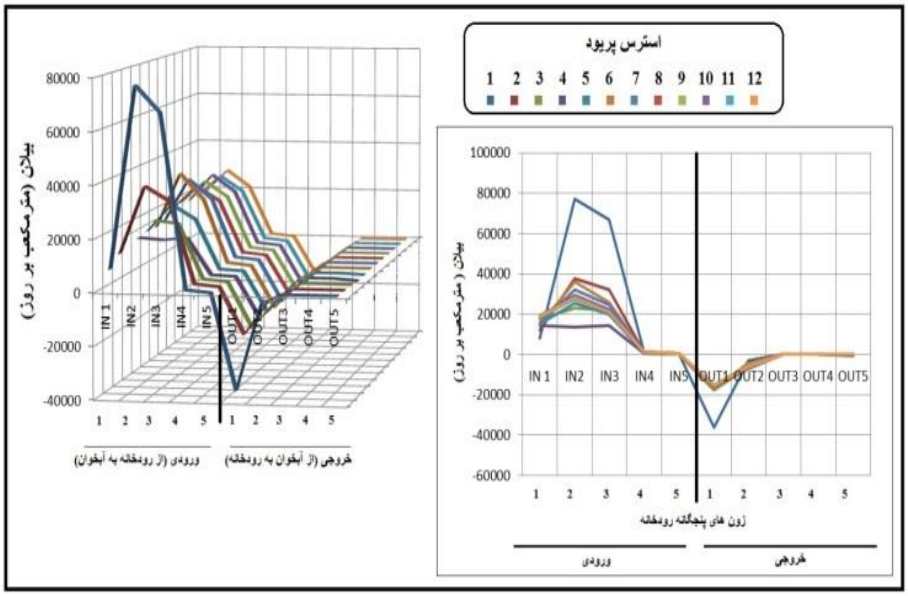
Archive of SID

جدول۶. پیش بینی بیلان بخشی مدل دردوره ترسالی

نام منطقه	ورودی (رودخانه به آبخوان)	خروجی (آبخوان به رودخانه)	حجم تبادل
	بیلان مربوط به هر پهنه (مترمکعب * 10^3)		
۱	۵۸۷۴/۱۵۵۲	۶۴۴۱/۵۰۴۰	-۵۶۷/۳۴۸۷
۲	۱۱۷۳۲/۶۱۸۷	۱۹۷۴/۹۷۰۳	۹۷۵۷/۶۴۸۳
۳	۹۵۴۰/۵۱۴۳	۰	۹۵۴۰/۵۱۴۳
۴	۴۰۱/۱۸۴۱	۰	۴۰۱/۱۸۴۱
۵	۹۱/۲۳۳۹	۳۴/۵۳۶۴	۵۶/۶۹۷۴

همانطور که در (شکل های ۱۵و۱۶) مشاهده می شود، با افزایش سطح ایستابی در اثر ترسالی و تغذیه سطحی آبخوان، اختلاف سطح ایستابی و تراز آب رودخانه کم شده و شیب هیدرولیکی از رودخانه به طرف آبخوان کاهش می‌یابد. در نتیجه همانند سناریوی اول (کاهش تراز آب رودخانه) ورودی از رودخانه به آبخوان کم می‌شود.

شکل۱۵. بیلان ۵ پهنه رودخانه جهت مشخص کردن ارتباط آبخوان و رودخانه در دوره ترسالی



شکل۱۶. بیلان در مناطق پنجگانه رودخانه در استرس‌های مختلف در دوره ترسالی

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

شناخت درست و اساسی از چگونگی ارتباط هیدرولیکی منابع آب‌های سطحی با آب زیرزمینی، مخصوصا رودخانه‌های دائمی که در سطح سفره آب زیرزمینی جریان دارند، از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در مدیریت بهینه و استفاده درست از این منابع می تواند موثر واقع گردد. آگاهی و درک ارتباط بین آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی باعث افزایش قابلیت مدل‌های تفهیمی و ریاضی و بازسازی صحیح رابطه متقابل و پیچیده منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود. نتایج مدل تهیه شده و بررسی بیلان رودخانه در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که رودخانه دز در اکثر مسیر باعث تغذیه آبخوان دشت لور می‌شود. طبق این تحقیق، از بین ۵ پهنه، بیشترین تغذیه توسط رودخانه در پهنه‌های ۲ و ۳ و سپس پهنه۱ صورت می‌گیرد، بطور کلی رودخانه دز اصولاً تغذیه کننده آبخوان می‌باشد. روابط متقابل آب‌های زیرزمینی دشت لور و رودخانه دز تحت سه سناریو شامل کمترین سطح آب رودخانه و شرایط خشکسالی و ترسالی پیش‌بینی و بررسی گردید، و با نتایج سال مدل (۸۹-۸۸) مورد مقایسه قرار گرفت. در اثر سناریوهای مختلف، وابستگی تبادلات این سیستم به بار هیدرولیکی رودخانه و آبخوان دیده شد. نتایج سناریو کاهش سطح آب رودخانه دز حاکی از کاهش میزان ورودی و افزایش خروجی در آبخوان می‌باشد، نتایج نشان می‌دهد که با افت تراز سطح آب رودخانه، تغییری در نحوه عملکرد بخش‌های مختلف رودخانه ایجاد نگردید، که این بیانگر ثبات عملکرد و نقش رودخانه در منطقه است. از میان بخش‌های مختلف رودخانه، پهنه ۲ بیشترین تغییرات را در اثر این تنش متحمل می‌شود. نتایج سناریو کاهش تغذیه بر اثر خشکسالی نمایانگر این است که در اثر خشکسالی در منطقه میزان تغذیه سطحی کاهش می‌یابد و در اثر آن افت سطح ایستابی رخ می‌دهد.در این حالت براثر افت سطح ایستابی[۶] شیب هیدرولیکی بطرف آبخوان زیاد شده و موجب تغذیه بیشتر آبخوان توسط رودخانه می‌شود سناریو افزایش تغذیه آبخوان بر اثر ترسالی بیانگر این است که با افزایش سطح ایستابی در اثر ترسالی و تغذیه سطحی آبخوان، اختلاف سطح ایستابی و تراز آب رودخانه کم شده و شیب هیدرولیکی از رودخانه به طرف آبخوان کاهش می‌یابد. در نتیجه همانند سناریوی اول (کاهش تراز آب رودخانه) ورودی از رودخانه به آبخوان کم می‌شود.

منابع

جاوید. ع.، ۱۳۸۵، آنالیز نتایج اندازه گیری دبی رودخانه سنگ سیاه و بررسی ارتباط هیدرولیکی آن با آبخوان دشت دهگلان، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

چیت‌سازان. م، موسوی.ف، ۱۳۹۱، مدیریت کمی وکیفی آبخوان دشت رامهرمز با استفاده از مدل ریاضی در MODFLOW و MD3DMS، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره۵،ص:۱-۸.

سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۹۰، مطالعات هیدروژئولوژی نیمه تفضیلی دزفول-اندیمشک.

عبدالهی‌پور حقیقی. ج.، پیری. ج.، ۱۳۸۸، برهمکنش آب سطحی- آب زیرزمینی و مدل‌سازی آن، نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان.

گودرزی. م، سامانی. ن، شاکری. ع، ۱۳۹۱، شبیه‌سازی انتقال عناصر سنگین در آبخوان شهرک صنعتی بزرگ شیراز، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۴، ص: ۵۹- ۷۰.

مهندسین مشاور سازاب پردازان. ۱۳۷۱، گزارش مطالعات طرح تامین آب مشروب مسیر روستاهای الباجی تا عبدالخان، جلد اول، اداره جهاد کشاورزی استان خوزستان.

نوذرپور. ل ،۱۳۹۳، مدل‌سازی و مدیریت منابع آب دشت لور اندیمشک با تاکید بر ارزیابی تغذیه مصنوعی جارمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

نون کرسیک. ترجمه چیت سازان. م.، کشکولی. ح. ع.، ۱۳۸۱، مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۵۸۱-۵۹۰.

Andersen MS (2009) Stream-aquifer interactions in the Maules Creek catchment, Namoi Valley, New South Wales, Australia. Hydrogeol J 17: 2005-2021. doi:10.1007/s10040-009-0500-9

Cey E, Rudolph DL, Parkin GW, Aravena R (1998) Quantifying groundwater discharge to a small perennial stream in southern Ontario, Canada. Hydrol J 210:21–37. doi:10.1016/S0022- 1694(98)00172-3

Fleckenstein JH, Niswonger RG, Fogg GE (2006) River-aquifer interactions, geologic heterogeneity, and low-flow management. Ground Water 44:837–852. doi:10.1111/j.1745- 6584.2006.00190.x

M. P., Woessner. W. W., 1992. Applied Groundwater Modeling, San Diego, Anderson Academic Press.

Morrice JA, Vallet HM, Dahm CN, Campana ME (1997) Alluvial characteristics, groundwater-surface water exchange and hydrological retention in headwater streams. Hydrol Process 11:253–267. doi:10.1002/(SICI)1099-1085(19970315)

Onta. P. R., A. Dasgupta., Harboe. R., 1991, Multistep Planning Model For Conjunctive Use of Surface-Water and Ground-Water Resources, Journal of Water Resources Planning and Management 117, no: 6: 662678.

Reichard. E. G., 1995, Groundwater-Surface Water Management with Stochastic Surface Water Supplies - a Simulation Optimization Approach.Water Resources Research 31, no: 11, p: 2845-2865.

Rushton. K.R., Tomlinson, L.M., 1979, Possible mechanisms for leakage between aquifers and rivers, Journal of Hydrology 40, 49-65.

Rushton. K.R., 2007, Representation in regional models of saturated river-aquifer interaction for gaining/losing rivers, Journal of Hydrology 334 (12), p:262-281.

Sophocleous. M. 2002., Interaction Between Ground Water and Surface Water, The State of the Science, Hydrogeology Journal, 10, p:52-56

www.SID.ir

Archive of SID

Wang. C. C., B. Mortazavi, W. K. Liang, N. Z. Sun and W. W. G. Yeh 1995, Model Development For Conjunctive Use Study of the San Jacinto Basin, California. Water Resources Bulletin31, no: 2, p: 227-24.

Winter T.C. Judson W.H. Franke O. L. and Ally W.M. 1998. Ground Water and Surface Water A Single Resource. Circular 1139U.S.Geological Survey Denver.

Woessner. W.W., 2000, Stream and fluvial plain groundwater interactions, Rescaling hydrogeological thought, Ground Water, 38(3), p: 423-42.

Wroblicky GJ, Campana ME, Valett HM, Dahm CN (1998) Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hyporheic area of two stream-aquifer systems. Water Resour Res 43:317–328.doi:10.1029/97WR03285

www.SID.ir