

## ارزیابی تأثیر کمی اجرای پروژه های آبخیزداری بر سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: پروژه جمعب)

سید محمد تاج بخش<sup>۱\*</sup>، هادی معاریان<sup>۱</sup>، حسین پارسا صدر<sup>۲</sup>

۱-دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند

۲-دانشجوی دکتری آبهای زیرزمینی دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲

## نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

ارزیابی و کنترل عملکرد جزء لاینفک هر گونه فعالیت و کار اجرایی به شمار رفته و هدف از آن نیز اصلاح، بهبود و کاهش هدررفت ها و جهت بهره‌وری بهتر و اتخاذ تکنیک‌های مناسب که در نهایت به پیشرفت برنامه‌ها می‌انجامد. لذا بررسی حاضر با هدف شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و بررسی اثرات پروژه تغذیه مصنوعی جمعب بر منابع آب زیرزمینی دشت فریزی چناران با استفاده از مدل ریاضی و کد MODFLOW انجام پذیرفته است. مدل آبخوان مورد مطالعه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی و دبی بهره‌برداری از چاه‌ها دارد و نسبت به تغییرات تغذیه سطحی ناشی از بارندگی حساسیت کمتری از خود نشان می‌دهد. طرح تغذیه مصنوعی جمعب در سناریو شاهد باعث افزوده شدن سالانه ۴۵۳۷۱۷/۶ متر مکعب آب به آبخوان گردیده است. حداکثر حجم آب ورودی به سیستم آبخوان از طریق تغذیه مصنوعی جمعب بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ برابر با ۱/۸ میلیون متر مکعب می‌باشد و با توجه به سناریو شاهد میزان ۱/۳۵ میلیون متر مکعب افزایش داشته است، این مقدار افزایش تغذیه باعث شده است متوسط ارتفاع سطح ایستابی آبخوان دشت فریزی چناران نسبت به سناریو شاهد در دوره پیش بینی در سال‌های ۹۳، ۹۴ و ۹۵، به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۱۱ و ۰/۱۷ متر افزایش یابد، و حداقل حجم آب ورودی به سیستم آبخوان از طریق تغذیه مصنوعی جمعب بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ مربوط به سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱ می‌باشد که تقریباً برابر با ۱۷۰ هزار متر مکعب می‌باشد که نسبت به سناریو شاهد میزان ۲۸۳ هزار متر مکعب کاهش داشته است، برآورد درآمد در سیستم برابر با ۵۷/۵ میلیارد تومان در طول دوره بهره‌برداری تا سال ۱۳۹۱ بدست می‌آید. نسبت سود به هزینه پروژه با لحاظ کلیه درآمدهای حاصل از کارکردهای اکوسیستمی پروژه و تولید حدود ۱۱ می‌باشد. که این اعداد نشان دهنده توجیه اقتصادی پروژه در دوره بهره‌برداری تا سال ۱۳۹۱ است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، تغذیه مصنوعی، جمعب، کارکرد اکوسیستمی، نرم افزار GV.

## مقدمه

افت سطح ایستابی آبخوان‌ها در سطح ایران به دلیل استخراج بیش‌ازاندازه و حفر چاه‌های بدون پروانه معضلی است که همگان بر آن اتفاق نظر دارند. این در حالی است که از ۴۰۰ میلیارد مترمکعب بارش متوسط سالانه کشور فقط ۳۵ میلیارد مترمکعب آن به تغذیه آبخوان‌ها می‌رسد و بقیه آن به‌صورت روان‌آب از دسترس خارج می‌شود (کوثر، ۱۳۷۴). حجم آب تجدیدشونده سالیانه در سطح استان خراسان‌رضوی، حدود ۱۱/۹ میلیارد مترمکعب است که ۳/۹ میلیارد مترمکعب آن سطحی و ۸ میلیارد مترمکعب آن زیرزمینی است. هرساله حدود ۹/۷ میلیارد مترمکعب آب زیرزمینی از این آبخوان‌ها استخراج و به مصارف مختلف (به‌طور عمده کشاورزی) می‌رسد. توسعه‌ای که به‌صورت اضافه برداشت‌ها (برداشت بیشتر از تغذیه سالیانه) به‌وسیله چاه‌های عمیق صورت می‌گیرد، سبب شده است که آبخوان ۵۷ دشت از ۷۶ دشت استان، با کسری مخزن روبه‌رو شود و استان با بحران شدید آب مواجه گردد. کسری مخزن آب زیرزمینی، به ۱/۷ میلیارد مترمکعب در سال می‌رسد. پیامدهای جبران‌ناپذیر بحران آب عبارتند از بالا رفتن هزینه پمپاژ آب، شور شدن آب زیرزمینی، نشست زمین و ایجاد شکاف‌ها در سطح دشت‌ها و مشکلات محیط زیستی

نویسنده مسئول [Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir](mailto:Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir)<sup>۱\*</sup>

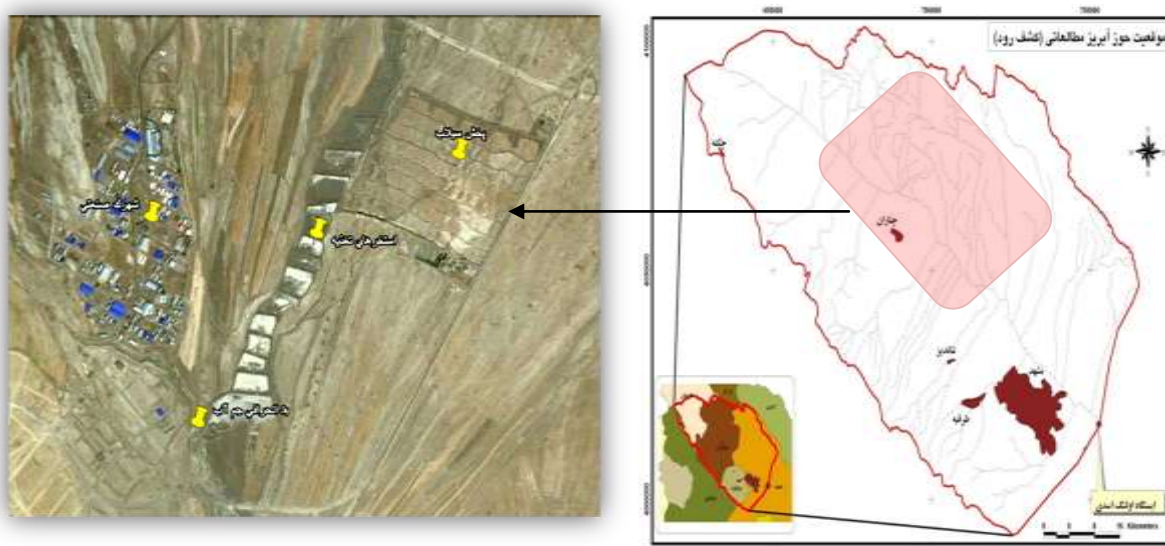
(دانشوری، ۱۳۸۹). تاکنون راهکارهای مختلفی جهت حل بحران کم‌آبی در دشت مشهد ارائه و بعضاً نیز به مرحله اجرا درآمده است. یکی از شاخص‌ترین راهکارهای اجرایی برای مقابله با کم‌آبی و کاهش بحران آب، تهیه و اجرای پروژه‌های آبخیزداری می‌باشد. در همین راستا جهت حفظ و ذخیره‌سازی منابع آبی در هر منطقه واجد شرایط مناسب، اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب مدنظر بوده است. اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب، به‌واسطه دارا بودن ظرفیت ذخیره‌سازی بالا، کم بودن تبخیر و تلفات آب، عدم نیاز به اختصاص زمین وسیع و غیره، نسبت به راه‌حل‌های دیگر دارای برتری می‌باشد (گزارش ارزیابی پروژه جمعب، ۱۳۹۲). سلاجقه (۱۳۸۸) تاثیر بهره‌برداری از مخازن چاه نیمه بر سطح آب زیرزمینی منطقه شیب آب را با استفاده از MODFLOW مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که افزایش ذخیره آب چاه نیمه‌ها باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی دشت سیستان خواهد شد.

تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی یکی از اهداف اجرای روزه‌های پخش سیلاب بر آبخوان‌ها می‌باشد. با در نظر گرفتن کل اعتبارات تخصیص یافته به طرح‌های پخش سیلاب از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۷ که قریب به ۳۶۰ میلیارد ریال بوده است، قیمت تمام شده هر مترمکعب آب استحصال شده حدود ۲۸۰ ریال و در یک دوره ۲۰ ساله به‌دست آمده است. در صورت به روز نمودن ارزش اعتبارات با سود ۱۵ درصد در سال، قیمت تمام شده هر مترمکعب آب استحصال شده کمتر از ۱۷۰۰ ریال خواهد بود. در مقام مقایسه، قیمت تمام شده هر مترمکعب آب در سال ۱۳۹۵ توسط وزارت نیرو ۱۵۰۰۰ ریال اعلام شده است (نیک کامی، ۱۳۸۷). ارزیابی و کنترل عملکرد جزء لاینفک هرگونه فعالیت و کار اجرایی به شمار رفته و هدف از آن نیز اصلاح، بهبود و کاهش هدررفت‌ها و با افزایش امید به چشم‌انداز طرح‌ها، منجر به پیشرفت برنامه‌ها می‌شود. لذا جهت بهره‌وری بهتر و اتخاذ تکنیک‌های مناسب و اصلاح تعامل با محیط، تعیین اثرگذاری پروژه جمعب شهرستان چناران بر روی آبخوان پایین‌دست در اولویت‌های پژوهشی دفتر مطالعات پایه منابع آب خراسان رضوی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات و ویژگی‌های محدوده مطالعاتی

محل اجرای سیستم پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی دشت جمعب در نیمه شرقی استان خراسان رضوی بر روی قسمتی از دشت مشهد و در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان چناران می‌باشد که از سال ۱۳۷۲ عملیات اجرایی آن شروع شده است (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه از شمال به روستاهای اخلمد علیا و سفلی، از شرق به روستاهای حسن آقه و رونگ، از غرب به روستای درخت جوز و از جنوب به روستای برفریز منتهی می گردد. محدوده مورد مطالعه شامل آبادی های مهمی به نام های جمعب (جمع آباد) و خیج در نزدیکی خروجی منطقه و روستاهای ابقد، کلاته پایین و فریزی درون منطقه مطالعاتی است. رودخانه ای که آب آن وارد سیستم تغذیه مصنوعی جمعب می شود، رودخانه فریزی نام دارد که سیستم مذکور در جناح راست رودخانه واقع شده و مختصات جغرافیایی آن معادل  $35^{\circ} 48' 58''$  تا  $21^{\circ} 06' 59''$  طول شرقی و  $36^{\circ} 20' 11''$  تا  $33^{\circ} 33' 58''$  عرض شمالی می باشد. رودخانه فریزی یکی از سرشاخه های سمت راست رودخانه بزرگ کشف رود بوده و دارای آب پایه و سیلاب های بهاری می باشد که در مواقع طغیان های شدید، آب آن به کشف رود منتهی به دشت مشهد وارد می شود. مساحت حوزه آبخیز رودخانه فریزی واقع در بالادست پروژه جمعب  $34137$  هکتار می باشد. اقلیم حوزه آبخیز فریزی که در بالادست سیستم پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی جمعب واقع شده، بر اساس روش آمبرژه از نوع نیمه خشک سرد می باشد. متوسط بارندگی سالانه محل طرح  $237$  میلی متر و حجم بارش سالانه  $80$  میلیون مترمکعب و دمای متوسط سالانه  $13$  درجه سانتی گراد می باشد. با توجه به منحنی آمبروترمیک طول دوره خشک منطقه مورد مطالعه  $6$  ماه است. این دوره هرساله از اردیبهشت شروع و تا آبان ماه ادامه می یابد (اعظمی راد و معماری،  $1391$ ).

از سال  $1352$  ایستگاه آب سنجی به نام موشنگ (نام محل ایستگاه) تأسیس شده که مکان این ایستگاه در جناح راست رودخانه فریزی بوده و فاصله آن تا محل سیستم تغذیه مصنوعی حدود  $1$  کیلومتر (بالادست سیستم) می باشد. با نگاهی اجمالی به آمار دبی حداکثر لحظه ای حوضه متوجه می شویم که احتمال وقوع سیلاب با دبی بالا، در منطقه طرح زیاد می باشد. به گونه ای که دبی  $5$  ساله،  $25$  ساله،  $50$  ساله و  $100$  ساله سیلاب حوزه به ترتیب  $49/82$ ،  $70/22$ ،  $77/42$  و  $83/94$  مترمکعب بر ثانیه است (ولایتی و همکاران،  $1383$ ؛ اعظمی راد و معماری،  $1391$ ). رودخانه فریزی از مهرماه تا بهمن ماه و از تیرماه تا شهریورماه به مدت  $8$  ماه دارای آب پایه بوده و در اواخر بهمن تا اوایل خرداد به مدت  $4$  ماه دارای رژیم سیلابی است. میزان آورد و رواناب سالانه این رودخانه  $59$  میلیون مترمکعب برآورد شده است (دوره آماری  $25$  ساله  $62-1361$  لغایت  $86-1385$ ) (اعظمی راد و معماری،  $1391$ ).

آبخوان جمعب بر روی نهشته های آبرفتی دشت مشهد واقع شده است. نهشته های آبرفتی دشت مشهد حاصل فعالیت رودخانه کشف رود و سیلاب های فصلی رودخانه های اطراف دشت می باشد. این نهشته ها از قدیم به جدید به ترتیب شامل سازند آبرفتی هزاردره، آبرفت جوان دشت مشهد و آبرفت های عهد حاضر هولوسن می باشد (بربریان و همکاران،  $1378$ ).

#### سوابق اجرای پروژه جمعب

معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی مطالعه و طراحی اجرای سیستم پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی جمعب چناران را در سال های  $71$  تا  $73$  در دستور کار خود قرار داد. با توجه به تأمین اعتبار پروژه به صورت تدریجی، در سال آبی  $74-75$ ، سه حوضچه نفوذ از مجموعه حوضچه های حال حاضر احداث گردید. در سال  $76-75$  تعداد حوضچه ها به  $6$  عدد و در سال  $81-80$  به  $8$  عدد و سپس در طرح توسعه پروژه، در نهایت به  $16$  حوضچه افزایش یافته است.

در سال  $1382$ ، از طرف اداره ارزیابی و اطلاعات جغرافیایی مدیریت آبخیزداری خراسان، طرح ارزیابی اجمالی تأثیر پروژه پخش سیلاب جمعب چناران بر آبخوان دشت مشهد- چناران، اجرا گردیده که بر اساس نتایج حاصل از این گزارش، میزان آب نفوذ داده شده از طریق  $8$  حوضچه موجود در آن (از سال  $1374$  تا  $1380$ )،  $14/26$  میلیون مترمکعب برآورد شده است.

در نهایت در سال  $1392$  نیز گزارش ارزیابی جامعی را بر روی عملکرد حوضچه های نفوذ رواناب و کل طرح سیستم تغذیه مصنوعی جمعب را مدیریت آبخیزداری خراسان انجام داده که در این ارزیابی به جوانب و ابعاد تأثیرگذار بر روی تغذیه آبخوان های آب زیرزمینی منطقه اشاره شده و مورد بررسی و برآورد قرار گرفته است.

پروژه سیستم تغذیه مصنوعی جمعب چناران شامل سازه های زیر می باشد:

- سد انحرافی باهدف تثبیت بستر رودخانه و هدایت سیل به سمت تأسیسات آبگیر سیستم
- تأسیسات آبگیر با دبی برداشت تنظیمی حداکثر ۸ مترمکعب در ثانیه
- حوضچه رسوب‌گیر و کانال آب‌رسان: حوضچه‌های آبگیر مجهز به دروازه و تخلیه سیل مازاد بر حجم دریاچه

### روش تحقیق

در این مطالعه هدف اصلی، بررسی سیستم هیدروژئولوژیکی آبخوان و پاسخ‌گویی به سناریوهای مختلف جهت مدیریت آب‌های زیرزمینی و بررسی تأثیر اجرای پروژه تغذیه مصنوعی جمع‌اب دشت فریزی چناران می‌باشد. با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود از محدوده دشت فریزی چناران و به دلیل محدودیت‌هایی که در فرایند شبیه‌سازی دشت وجود دارد، سعی شده است تا حداکثر دقت قابل قبول از مدل هیدرولیکی جریان در محدوده دشت فریزی چناران حاصل گردد.

در این مطالعه از ورژن ۷ نرم‌افزار Groundwater Vistas (GV) که در سال ۲۰۱۵ ارائه گردیده، استفاده شده است. از جمله کدهایی که این نرم‌افزار پشتیبانی می‌کند می‌توان به MODFLOW, MODPATH, MT3D, MF+MODPATH, MF+MT3D اشاره کرد. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی ابزاری مؤثر جهت بررسی آبخوان و انتخاب سناریوهای مناسب جهت بهینه نمودن بهره‌وری منابع آبی به شمار می‌رود. در این راستا در اختیار داشتن اطلاعات متناظر با مدل هیدرولیکی آبخوان فریزی چناران شامل اطلاعات فیزیکی و هندسی، هیدرودینامیکی و بیلان آبی و سایر مشخصه‌های مؤثر با مدل، لازمه اجرای دقیق‌تر مدل و واسنجی آن می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر اجرای پروژه‌های آبخیزداری از جمله تغذیه مصنوعی بر سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مدل آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت فریزی چناران تهیه شده است.

بیلان آب مجموع تمام ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم هیدروژئولوژی است و یکی از اصلی‌ترین بخش‌های مدل مفهومی می‌باشد (Anderson & Woessner, 1992). برای به دست آوردن ایده مناسب از جریان ورودی به منطقه مورد مطالعه، باید حوزه آبخیز به‌عنوان بخش کلی‌تری که منطقه مورد مطالعه را در برمی‌گیرد، بررسی شود (Herzog, 2007). بنابراین به‌منظور ارزیابی بیلان آب زیرزمینی لازم است هرگونه مؤلفه تغذیه سطحی، زیرزمینی و هر نوع مؤلفه تخلیه آب زیرزمینی در نظر گرفته شود و درنهایت تغییرات حجم ذخیره آبخوان در زمان مشخص، تعیین شود. اجزاء بیلان سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ آبخوان فریزی چناران در جدول شماره (۱) ارائه گردیده است.

| جدول (۱): اجزاء بیلان سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ آبخوان فریزی چناران |              |                               |
|-----------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------|
| تغذیه (MCM*)                                              | تخلیه (MCM*) | اجزاء بیلان                   |
| ۳۹                                                        |              | ورودی آب زیرزمینی             |
| ۴                                                         |              | تغذیه از بارندگی              |
| ۱۸                                                        |              | حجم آب برگشتی                 |
| ۲۱                                                        |              | حجم آب نفوذی از جریان‌ات سطحی |
|                                                           | ۰            | تبخیر و تعرق                  |
|                                                           | ۴۰           | خروجی آب زیرزمینی             |
|                                                           | ۸۸           | حجم بهره‌برداری از آبخوان     |
|                                                           | ۰            | حجم زهکشی                     |
| ۸۲                                                        | ۱۲۸          | مجموع مؤلفه                   |
| $\Delta V = 46$                                           |              |                               |

\* میلیون مترمکعب در سال

محدوده مدل سازی با توجه به اطلاعات موجود از مشخصه های فیزیکی و هیدرولیکی مؤثر در مدل سازی از جمله اطلاعات ژئوفیزیکی و سنگ کف و همچنین هدف تعریف شده برای مدل دارای مساحت ۱۴۵/۲ کیلومتر مربع می باشد و به طور کلی دارای شیب عمومی به طرف شمال تا شمال شرق می باشد. محدوده مدل سازی دارای چاه های عمیق، قنات ها و چاه های مشاهده ای می باشند.

شرایط مرزی بیان ریاضی است که به صورت متغیر وابسته (بار هیدرولیکی) و مشتق متغیر وابسته (جریان) به مرز های محدوده مدل نسبت داده می شود. برای شبیه سازی شرایط مرزی آبخوان دشت فریزی چناران، با توجه به اینکه بار هیدرولیکی در روی مرز نسبت به زمان ثابت نبوده از مرز با بار هیدرولیکی عمومی (GHB)<sup>۲</sup>، استفاده شده است. علت استفاده از مرز نوع GHB این است که برخلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در این نوع مرز ثابت نیست و ممکن است با رسیدن اثر تنش های داخلی به مرز، سطح آب تغییر نماید. تعداد منابع آبی واقع در محدوده مدل سازی شامل ۲۰۸ حلقه چاه می باشد که اطلاعات مربوط به آن ها با استفاده از محیط Constant Flux (Well) BC در نرم افزار GV به مدل اعمال شده است به طوری که در این محیط برداشت از چاه ها با علامت منفی و تغذیه توسط چاه ها با علامت مثبت مشخص می گردد. به منظور اعمال اثر رودخانه فریزی بر آبخوان مورد مطالعه، با توجه به فصلی بودن رودخانه مقدار تغذیه ناشی از رودخانه با استفاده از یک زون Recharge به مدل مفهومی آبخوان در نرم افزار GV اعمال گردیده است. به گونه ای که حدود مسیل ها و آبراهه های محدوده مدل در محیط Arc GIS تعیین و ساماندهی شده است، سپس مقادیر عددی ماتریس تغذیه (Recharge Matrix Value) با استفاده از منوی Props در نرم افزار GV وارد (import) مدل مفهومی گردیده است.

با در اختیار داشتن مدل هیدرولیکی جریان در آبخوان و شبیه سازی تراز آب در محل چاه های مشاهداتی که در سطح دشت توسعه یافته اند، و از طریق کالیبراسیون مدل هیدرولیکی می توان مقدار ضرایب هیدرودینامیکی را بر آورد نمود. با توجه به نتایج مطالعات ژئوتکنیک و تغییرات تراز ارتفاعی سنگ کف و ارتفاع بار هیدرولیکی، متوسط پارامتر هدایت هیدرولیکی ۱۰-۳۰ متر در روز به عنوان مقدار اولیه در فرآیند کالیبراسیون اعمال گردید. بدین منظور با استفاده از نتایج مطالعات هیدروژئولوژی، آبخوان دشت به لحاظ هدایت هیدرولیکی، پهنه بندی گردید و تعداد ۴ پهنه با مقادیر کمتر از ده متر در روز شناسایی گردید. پس از واسنجی مدل مقادیر هدایت هیدرولیکی بین ۱۸ تا ۲۶ متر در روز متغیر می باشد. پارامتر آبدی ویژه نیز با در نظر گرفتن متوسط ۶ درصد به عنوان مقدار اولیه در فرآیند کالیبراسیون اعمال شده است.

بعد از آنکه تمامی پارامترهای هیدروژئولوژیکی به هر سلول از مدل تخصیص داده شد، به منظور بررسی صحت داده ها و پیدا کردن خطاهای مدل GV پس از ترجمه داده ها به کد MODFLOW خطاهای موجود در بسته های نرم افزاری مختلف را ارائه می دهد و این امکان را به کاربر می دهد تا خطاها را رفع نماید. سپس مدل آماده اجرا و واسنجی می باشد.

مهم ترین هدف در واسنجی مدل دشت فریزی چناران به حداقل رسانیدن اختلاف بین بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی می باشد. در واقع حساس ترین و زمان برترین مرحله مدل سازی مرحله واسنجی و به عبارتی تطبیق پارامترهای مدل می باشد. روش سعی و خطا در واقع مؤثرترین روش واسنجی می باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش پارامترهای مدل در ابتدا به عنوان ورودی به مدل داده می شود و پس از اجرای مدل بین مقادیر سطح آب مشاهده شده و محاسبه شده مقایسه انجام می شود.

متوسط تراز سطح ایستابی در سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ مبنای واسنجی مدل در حالت پایدار و در ۱۲ دوره تنش یک ماهه در حالت ناپایدار، مدل صحت سنجی شده است. به منظور ارزیابی صحت نتایج واسنجی مدل، از انواع میانگین خطاها در نتایج واسنجی استفاده شده است. همان طور که قبلاً ذکر شد چنانچه خطاها به صورت نرمال توزیع شده باشند، خطای RMS بهترین معیار خطا می باشد (Anderson and Woessner, 1992). برای دشت فریزی چناران نیز این خطاها محاسبه گردیده است که مقادیر RM<sup>۲</sup>،

<sup>۲</sup> General Head Boundary

<sup>۳</sup> Residual Mean

ARM<sup>۴</sup>، RMSE<sup>۵</sup> به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۳۷، ۰/۵۳ می‌باشد. با توجه به اینکه دقت اندازه‌گیری سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای  $\pm 1$  لحاظ شده است بنابراین میزان خطای RMS ایجاد شده ۰/۵۳ متر در مدل، قابل قبول می‌باشد. برای شبیه‌سازی جریان در حالت ناپایدار نیاز به داشتن داده‌ها و پارامترهایی است که در طول زمان متغیر می‌باشد. از جمله این داده‌ها می‌تواند میزان تغییرات پمپاژ چاه‌ها در طول زمان، تغییرات سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای و یا به تغییرات تغذیه سطحی اشاره نمود. با توجه به آمار و اطلاعات موجود و با توجه به اندازه‌گیری ماهانه سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای در سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۹۱، مدل جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت فریزی چناران در ۱۲ دوره تنش یک‌ماهه در حالت ناپایدار اجرا گردید.

به‌منظور بررسی و پاسخ مدل به تغییرات پارامترهایی که دارای عدم قطعیت در مدل واسنجی شده می‌باشند از آنالیز حساسیت استفاده می‌شود. به عبارتی هدف از آنالیز حساسیت به کمیت درآوردن عدم قطعیت‌های موجود در مدل واسنجی شده می‌باشد (Anderson and Woessner, 1992). به کمک آنالیز حساسیت می‌توان تغییرات ایجاد شده در پارامترهایی از جمله هدایت هیدرولیکی، ضخامت لایه، تغذیه ناشی از بارندگی، نرخ پمپاژ آب از چاه‌های بهره‌برداری، بار هیدرولیکی در مرزهای مدل، آبدی و ویژه را بر خروجی مدل بررسی نمود.

در این مطالعه سناریو شاهد مؤید شرایط کنونی آبخوان است، به‌گونه‌ای که در این سناریو مقادیر تغذیه از نزولات جوی و پروژه تغذیه مصنوعی جمع‌اب در مدل آب زیرزمینی متناسب با مقادیر برآورد شده از بارش و روان آب طی دوره آماری است. به عبارتی به‌منظور واسنجی مدل عددی آبخوان در حالت پایدار مدل طی دوره آماری کاملاً متناسب با شرایط واقعی آبخوان تهیه شده است که طی این دوره آبخوان متأثر از تغذیه مصنوعی جمع‌اب نیز بوده است.

پس از واسنجی و آنالیز حساسیت، برای تأمین اعتبار مدل و سنجش دقت آن و اثبات اینکه مدل قابلیت پیشگویی‌های صحیح را خواهد داشت، صحت سنجی مدل صورت می‌گیرد. بنابراین مدل حداقل برای یک دوره آماری متفاوت با مرحله واسنجی، اجرا می‌شود تا توانایی مدل در شبیه‌سازی شرایط متفاوت مشخص شود. مدل زمانی تأیید می‌شود که از مقایسه بین مشاهدات صحرایی و نتایج حاصل از محاسبات نتایج رضایت‌بخش و انطباق مناسب حاصل شود.

به منظور تعیین ارزش اقتصادی طرح علاوه بر ارزش مستقیم تولید آب کارکردهای دیگر اکوسیستمی به‌عنوان درآمد دوم طرح بر اساس نظریه De Groot و همکاران (۲۰۰۲) شامل تنظیم آب‌وهوا، تنظیم آب، حفاظت خاک، ترسیب کربن، تولید غذا و ... برای آن در نظر گرفته شده است. ارزش‌های استخراجی از آب معمولاً به دو صورت ارزش‌های استفاده‌ای و ارزش‌های غیر استفاده‌ای تقسیم می‌شود. روش‌هایی که برای تعیین ارزش اقتصادی آب استفاده می‌گردد را به دودسته قیاسی و استقرایی می‌توان دسته‌بندی کرد. روش‌های قیاسی به‌طور عمده شامل روش پسماند یا تغییر در خالص سودهای اقتصادی، روش‌های هزینه جایگزین، مدل داده-ستاده، تعادل عمومی محاسباتی و برنامه‌ریزی ریاضی می‌شود. روش‌های استقرایی نیز شامل تحلیل‌هایی مبتنی بر تابع تولید و هزینه، تقاضای استخراجی از مشاهدات بازار آب و روش ارزش‌گذاری ضمنی است (Cartaud et al., 2005).

برای تعیین یک چارچوب مناسب برای ارزش‌گذاری جامع، کارکردهای اکوسیستم‌های طبیعی به چهار گروه اصلی شامل کارکردهای تنظیمی<sup>۶</sup>، کارکردهای زیستگاهی<sup>۷</sup>، کارکردهای تولیدی<sup>۸</sup> و کارکردهای اطلاعاتی<sup>۹</sup> تقسیم شده‌اند (پژوهنده و همکاران، ۱۳۸۴). کارکردهای تنظیمی، یک برآورد از کارکردهای اصلی، کالاها و خدماتی را که می‌توانند به اکوسیستم‌های طبیعی و ساختارها و فرایندهای اکولوژیکی مربوط به آن‌ها کمک کنند، ارائه می‌دهد و کارکردهای زیستگاهی هر یک از کارکردهای زیستگاهی و ساختارهای اکولوژیکی و فرآیندی آن‌ها را نشان می‌دهد و کارکردهای تولیدی به پنج کارکرد مجزا شامل غذا، مواد

<sup>4</sup> Absolute Residual Mean

<sup>5</sup> root-mean-square error

<sup>6</sup> Regulatory function

<sup>7</sup> Habitat functions

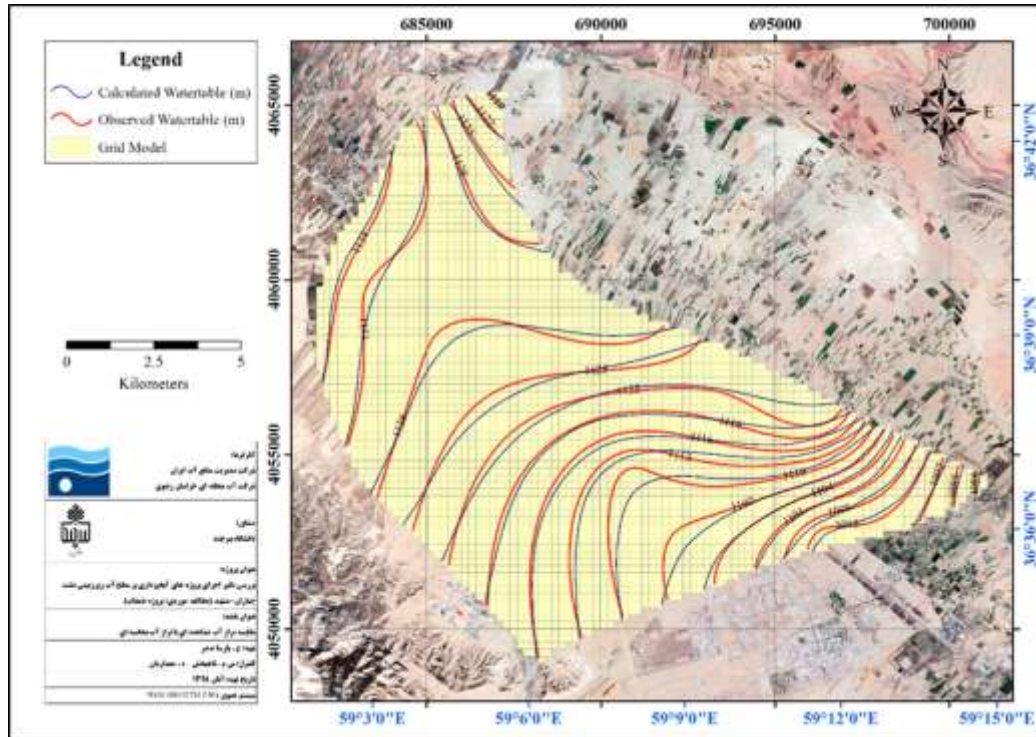
<sup>8</sup> Production functions

<sup>9</sup> Information functions

خام، منابع ژنتیکی، منابع دارویی و منابع تزئینی تقسیم می‌شوند و کارکردهای اطلاعاتی به پنج کارکرد مجزا شامل اطلاعات زیباشناختی، تفریح و اکوتوریسم، الهامات فرهنگی و هنری، اطلاعات مذهبی و تاریخی، و اطلاعات علمی و آموزشی تقسیم شده است (De Groot et al., 2002).

### بحث و نتایج

از آن جهت که مهم‌ترین هدف از مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، بررسی راهکارها و پاسخ‌گویی به سناریوهای مختلف جهت مدیریت آب‌های زیرزمینی از جمله بررسی پروژه تغذیه مصنوعی آبخوان فریزی چناران و ارزیابی کمی عملکرد آن و میزان انطباق نتایج و عملکردهای حاصل از اجرای پروژه تغذیه مصنوعی دشت جمعاب چناران بوده، بایستی اثر سناریوهای موردنظر بر روی عوامل مؤثر بر وقوع جریان آب زیرزمینی در مدل مفهومی و مدل عددی تعریف گردد و همچنین پاسخ مدل عددی نسبت به این سناریوها سنجیده شود. سناریوهای موردبررسی شامل پیش‌بینی شرایط آبخوان در شرایط فعلی (به عبارتی سناریو شاهد)، پیش‌بینی شرایط آبخوان در صورت تغذیه حداکثر و حداقل (برآورد شده در طول دوره آماری) و پیش‌بینی شرایط آبخوان در صورت افزایش پنجاه درصدی و کاهش سی درصدی نسبت به سناریو شاهد می‌باشد. سهم افزایشی تغذیه آبخوان در اثر اجرای تغذیه مصنوعی توسط بسته نرم‌افزاری Recharge در مدل عددی اعمال گردیده است. در شکل (۲) تراز سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در حالت پایدار با هم مقایسه شده است. از مقایسه خطوط تراز مشاهده‌ای و محاسبه‌ای می‌توان دریافت انطباق قابل قبولی در بیشتر بخش‌های آبخوان وجود دارد. به گونه‌ای که در همه چاه‌ها اختلاف تراز سطح ایستابی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در بازه تغییرات ۱- و ۱+ قرار گرفته است. بنابراین می‌توان بیان نمود روند توزیع بار هیدرولیکی محاسبه‌ای در مدل‌سازی مورد تأیید می‌باشد.



شکل (۲): تراز سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در حالت پایدار

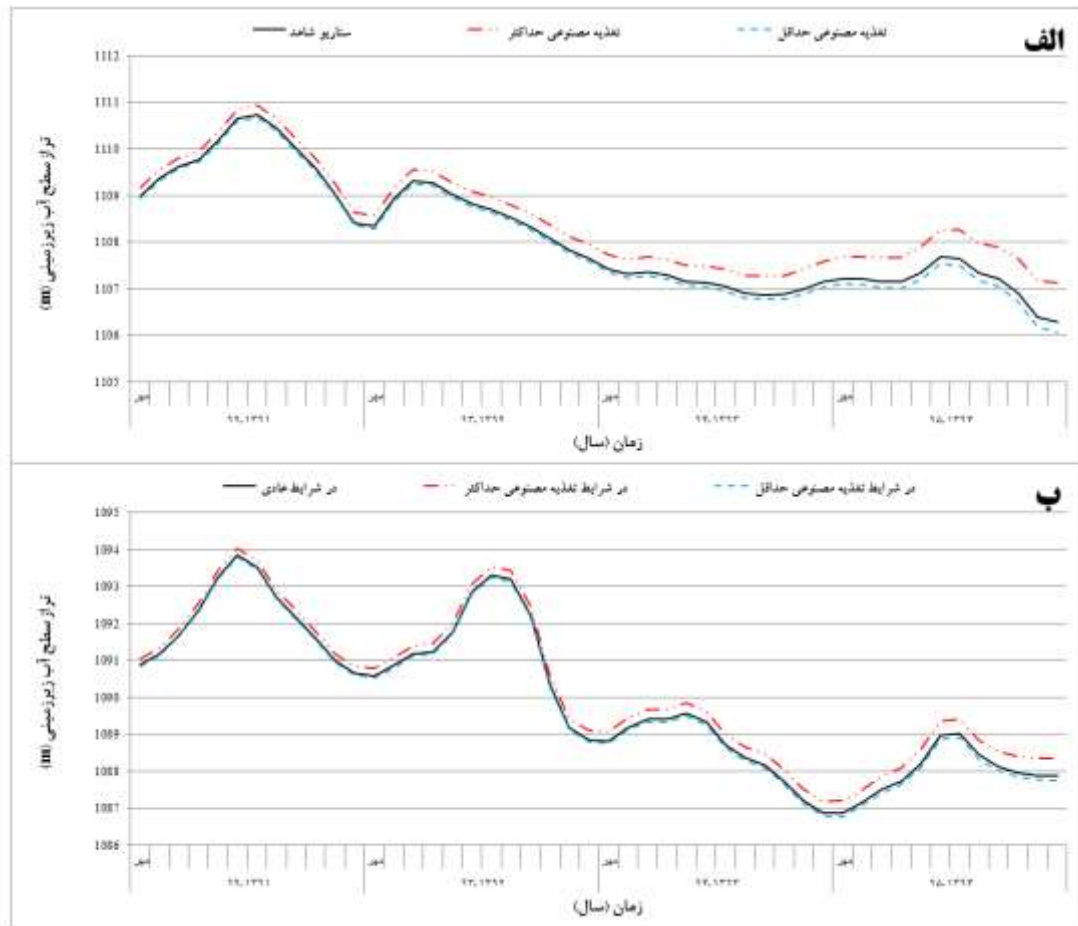
### انتخاب دوره پیش‌بینی و سناریوهای مرتبط با تغذیه مصنوعی

با در اختیار داشتن مدل عددی جریان آب زیرزمینی در محدوده آبخوان دشت فریزی چناران، امکان بررسی سناریوهای مختلف فراهم می‌باشد. نظر به این که مهم‌ترین هدف از مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، بررسی راهکارها و پاسخ‌گویی به سناریوهای مختلف جهت مدیریت آب‌های زیرزمینی دشت فریزی چناران می‌باشد، لذا بررسی و اجرای مدل عددی در دوره پیش‌بینی در حالت سناریو شاهد، شرایط آبخوان در صورت اعمال تغذیه حداکثر و حداقل برآورد شده در طول دوره آماری در محدوده حوضچه‌های تغذیه مصنوعی و پیش‌بینی شرایط آبخوان در صورت افزایش پنجاه درصدی و کاهش چهل درصدی تغذیه مصنوعی نسبت به سناریو شاهد می‌باشد. بدین منظور یک دوره پیش‌بینی ۵ ساله پس از انتهای دوره صحت‌سنجی از سال آبی ۱۳۹۲-۹۳ تا انتهای سال آبی ۱۳۹۵-۹۶ در نظر گرفته شده است. به عبارتی در این مطالعه دوره پیش‌بینی مدت‌زمان اجرای مدل پس از انتهای دوره صحت‌سنجی می‌باشد. که اطلاعات خروجی از مدل عددی در این دوره مبنای مدیریت و پیش‌بینی شرایط آبخوان نسبت به شرایط آینده می‌باشد.

با توجه به بررسی آماری انجام‌شده، حداکثر حجم آب ورودی به سیستم آبخوان از طریق تغذیه مصنوعی جمع‌اب بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ برابر با ۱/۸ میلیون مترمکعب می‌باشد که با توجه به شرایط فعلی یا سناریو شاهد که میزان تغذیه برابر ۴۵۳۷۱۷/۶ مترمکعب می‌باشد میزان ۱/۳۵ میلیون مترمکعب افزایش داشته است. بنابراین به‌منظور بررسی اثر تغذیه مصنوعی حداکثر در طول دوره آماری بر منابع آب زیرزمینی دشت فریزی چناران، مدل آب زیرزمینی آبخوان دشت فریزی چناران، در دوره پیش‌بینی ۵ ساله با توجه به ایجاد شرایطی که این مقدار تغذیه مصنوعی برافزایش میزان تغذیه آبخوان اعمال می‌نماید اجرا شد. حداقل حجم آب ورودی به سیستم آبخوان از طریق تغذیه مصنوعی جمع‌اب بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ مربوط به سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱ می‌باشد که تقریباً برابر با ۱۷۰ هزار مترمکعب می‌باشد که با توجه به سناریو شاهد که میزان تغذیه برابر ۴۵۳۷۱۷/۶ مترمکعب می‌باشد میزان ۲۸۳ هزار مترمکعب کاهش داشته است. بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۱ شرایط خشک‌سالی بر آبخوان حاکم بوده است و مقادیر تغذیه ناشی از پروژه جمع‌اب در این دوره کمتر از شرایط فعلی (سناریو شاهد) بوده است. از این‌رو در مدل تهیه‌شده شرایط تغذیه حداقل، مشابه سال‌های مذکور در نظر گرفته شده است و تحت این شرایط تراز سطح ایستابی پیش‌بینی شده است. بنابراین به‌منظور بررسی اثر تغذیه مصنوعی حداقل در طول دوره آماری بر منابع آب زیرزمینی دشت فریزی چناران، مدل آب زیرزمینی آبخوان دشت فریزی چناران، در دوره پیش‌بینی ۵ ساله با توجه به ایجاد شرایطی که این مقدار تغذیه مصنوعی بر کاهش میزان تغذیه آبخوان نسبت به سناریو شاهد اعمال می‌نماید اجرا شد.

### بررسی و مقایسه وضعیت آبخوان در صورت اعمال سناریوهای افزایش و کاهش تغذیه مصنوعی نسبت به سناریو شاهد

از بررسی تراز سطح ایستابی در حالت‌های مختلف تغذیه مصنوعی شامل تغذیه مصنوعی در شرایط فعلی، تغذیه مصنوعی حداکثر در طول دوره آماری، تغذیه مصنوعی حداقل در طول دوره آماری و افزایش پنجاه درصدی و کاهش سی درصدی تغذیه مصنوعی نسبت به سناریو شاهد می‌توان دریافت که، تغییرات ارتفاعی تراز سطح آب در همه سناریوهای موردبررسی، تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد. در صورت اعمال سناریو تغذیه مصنوعی حداکثر، تراز سطح ایستابی در محل چاه‌های مشاهداتی و به‌طور خاص در قسمت‌های جنوبی دشت، در محدوده حوضچه‌های پخش سیلاب جمع‌اب، بیشتر از مقادیر متناظر با سناریوهای تغذیه مصنوعی در شرایط فعلی و تغذیه مصنوعی حداقل، ملاحظه شده است. به‌طوری‌که متوسط ارتفاع سطح ایستابی آبخوان دشت فریزی چناران در حالت تغذیه حداکثری نسبت به سناریو شاهد در سال‌های ۹۳، ۹۴ و ۹۵، به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۱۱ و ۰/۱۷ متر افزایش خواهد یافت و مقادیر متوسط سطح ایستابی آبخوان دشت فریزی چناران نسبت به شرایط فعلی یا به عبارتی در سناریو تغذیه مصنوعی حداقل نسبت به سناریو شاهد در سال‌های ۹۳، ۹۴ و ۹۵، به ترتیب برابر ۰/۰۱۶، ۰/۰۲ و ۰/۰۲۸ متر کاهش خواهد یافت. از مقایسه هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای در دوره پیش‌بینی در سناریوهای موردبررسی می‌توان به اثر تغذیه مصنوعی جمع‌اب بر ارتفاع سطح ایستابی پی برد (شکل ۳).



شکل (۳): مقایسه هیدروگراف پیش‌بینی سطح آب مشاهده‌ای در شرایط اعمال سناریو تغذیه مصنوعی فعلی، حداکثر و حداقل در چاه‌های مشاهده‌ای (الف) جمع‌اب (ب) کلاته شیخ‌ها

#### تحلیل اقتصادی-اکوسیستمی سیستم تغذیه و پخش سیلاب جمع‌اب

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی مجموع هزینه کرد این پروژه از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۱ حدود ۲/۳ میلیارد تومان بوده است. در محاسبه درآمدهای حاصل از این پروژه باید دو نوع درآمد را لحاظ نمود. اول درآمد مستقیم حاصل از تولید آب که جهت برآورد درآمد حاصل از آن از میزان آب نفوذ یافته به آبخوان برحسب مترمکعب استفاده شده است. بر اساس رقم ارزش آب شرب اعلام شده توسط آب و فاضلاب استان در هر سال (از شروع پروژه) درآمد حاصل از نفوذ آب تعیین گردیده که مجموع آن ۲/۴ میلیارد تومان بوده است. برای یک برآورد مالی صحیح و واقعی از یک سیستم طبیعی نیاز به یک همه‌جانبه نگری در آن بوده که منافع مختلف در آن دیده شود هرچند که همیشه بخش‌هایی از این منافع پنهان و غیرقابل برآورد می‌باشد. لذا تغذیه فقط یک بخش از کارکرد عملی سیستم بوده و کارکردهای اکوسیستمی بر مبنای مدل De Groot (۲۰۰۲) که در جدول (۲) نشان داده شده ملاک برآورد بوده است.

جدول (۲): ارتباط بین کارکردهای اکوسیستم و روش های ارزش گذاری اقتصادی (2002, De Groot)

| کارکردهای اکوسیستم (و کالاها و خدمات مربوطه) | دامنه ارزش های پولی (\$/ha) |
|----------------------------------------------|-----------------------------|
| الف) کارکردهای تنظیمی                        | ۷-۲۵۶                       |
| ۱-تنظیم گاز                                  |                             |
| ۲-تنظیم آب و هوا                             | ۲۲۳-۸۸                      |
| ۳-تنظیم اختلالات                             | ۷۲۴۰-۲                      |
| ۴-تنظیم آب                                   | ۵۴۴۵-۲                      |
| ۵-تأمین و عرضه آب                            | ۷۶۰۰-۳                      |
| ۶-حفاظت خاک                                  | ۲۵۴-۲۹                      |
| ۷-تشکیل خاک                                  | ۱۰-۱                        |
| ۸-چرخه مواد مغذی                             | ۲۱۱۰۰-۸۷                    |
| ۹-عملیات دفع مواد زائد                       | ۶۶۹۶-۵۸                     |
| ۱۰-گرده افشانی                               | ۲۵-۱۴                       |
| ۱۱-کنترل بیویکی                              | ۷۸-۲                        |
| ب) کارکردهای زیستگاهی                        |                             |
| ۱-کارکرد پناهگاهی                            | ۱۵۲۳-۳                      |
| ۲-کارکرد خزانه ای                            | ۱۹۵-۱۴۲                     |
| ج) کارکردهای تولیدی                          |                             |
| ۱-غذا                                        | ۲۷۶۱-۶                      |
| ۲-مواد خام                                   | ۱۰۱۴-۶                      |
| ۳-منابع ژنتیکی                               | ۱۱۲-۶                       |
| د) کارکردهای اطلاعاتی                        |                             |
| ۱-اطلاعات زیبایی شناختی                      | ۱۷۶۰-۷                      |
| ۲-توریسم و تفریح                             | ۶۰۰۰-۲                      |

در این طرح از حداقل دامنه ارزش های پولی برای ارزش گذاری کارکردهای اکوسیستمی مرتبط با سیستم پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی جمعاب استفاده گردیده است. نتایج حاصل از محاسبه کارکردهای اکوسیستمی نشان می دهد که درآمد حاصل از کارکردهای اکوسیستمی پروژه (با در نظر گرفتن حداقل درآمد) برای هر هکتار ۴۵۰ دلار می باشد. با توجه به اینکه مدل De Groot کارکردهای اکوسیستمی را به دلار ارائه می دهد، لذا درآمد حاصل از تولید آب و هزینه های اجرای پروژه هم در هر سال به رقم ارزش دلار در همان سال تبدیل شده که در نهایت بدین ترتیب برآورد گردیده است. درآمد حاصل از تولید آب ۱/۴ میلیون دلار و هزینه ها ۴/۶ میلیون دلار و کارکرد اکوسیستمی ۵۰/۱ میلیون دلار برآورد گردیده است. بر این اساس نسبت سودبه هزینه (B/C) پروژه با لحاظ کلیه درآمدهای قابل محاسبه، حدود ۱۱ می باشد. که نشان دهنده توجیه اقتصادی پروژه در دوره بهره برداری تا سال ۱۳۹۱ است.

### نتیجه گیری

نظر به این که مهم ترین هدف از مدل سازی جریان آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، بررسی راهکارها و پاسخ گویی به سناریوهای مختلف جهت مدیریت آب های زیرزمینی دشت فریزی چناران می باشد، لذا بررسی و اجرای مدل عددی در دوره پیش بینی در حالت سناریو شاهد، شرایط آبخوان در صورت اعمال تغذیه حداکثر و حداقل برآورد شده در طول دوره آماری در

محدوده حوضچه های تغذیه مصنوعی و پیش بینی شرایط آبخوان در صورت افزایش پنجاه درصدی و کاهش چهل درصدی تغذیه مصنوعی نسبت به سناریو شاهد می باشد. بدین منظور یک دوره پیش بینی ۵ ساله پس از انتهای دوره صحت سنجی از سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ تا انتهای سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ در نظر گرفته شده است. به عبارتی در این مطالعه دوره پیش بینی مدت زمان اجرای مدل پس از انتهای دوره صحت سنجی می باشد. طرح تغذیه مصنوعی جمعبان در سناریو شاهد باعث افزوده شدن سالانه  $453717/6$  مترمکعب آب به آبخوان گردیده است. حداکثر حجم آب ورودی به سیستم آبخوان از طریق تغذیه مصنوعی جمعبان بین سال های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ برابر با  $1/8$  میلیون مترمکعب می باشد و با توجه به سناریو شاهد که میزان تغذیه سالانه برابر  $453717/6$  مترمکعب می باشد میزان  $1/35$  میلیون مترمکعب افزایش داشته است، این مقدار افزایش تغذیه باعث شده است متوسط ارتفاع سطح ایستابی آبخوان دشت فریزی چناران نسبت به سناریو شاهد در دوره پیش بینی در سال های ۹۳، ۹۴ و ۹۵، به ترتیب برابر  $0/11$  و  $0/17$  متر افزایش یابد، و حداقل حجم آب ورودی به سیستم آبخوان از طریق تغذیه مصنوعی جمعبان بین سال های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ مربوط به سال های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱ می باشد که تقریباً برابر با  $170$  هزار مترمکعب می باشد که نسبت به سناریو شاهد میزان  $283$  هزار مترمکعب کاهش داشته است، این مقدار کاهش تغذیه باعث شده است که متوسط ارتفاع سطح ایستابی آبخوان دشت فریزی چناران نسبت به سناریو شاهد در دوره پیش بینی در سال های ۹۳، ۹۴ و ۹۵، به ترتیب برابر  $0/16$ ،  $0/2$  و  $0/28$  متر کاهش نماید. با توجه به نقشه هم تراز سطح ایستابی به دست آمده از مدل آبخوان نشان می دهد که مرز غربی دشت، مرز ورودی آب زیرزمینی و مرزهای شرقی، مرزهای تخلیه جریان آب زیرزمینی آبخوان می باشند.

بر اساس اطلاعات جمع آوری شده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی مجموع هزینه کرد این پروژه از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۱ حدود  $2/2$  میلیارد تومان بوده است. در این طرح از حداقل دامنه ارزش های پولی برای ارزش گذاری کارکردهای اکوسیستمی مرتبط با سیستم پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی جمعبان استفاده شده است. نتایج حاصل از محاسبه درآمد حاصل از تولید آب و کارکردهای اکوسیستمی نشان می دهد که نسبت سود به هزینه (با در نظر گرفتن حداقل درآمد) تا سال ۱۳۹۱ حدود  $11$  می باشد که این اعداد نشان دهنده توجیه اقتصادی است.

#### تقدیر و تشکر

بدین وسیله از سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی و کارگروه تحقیقات کاربردی که طرح پژوهشی بررسی تأثیر کمی اجرای پروژه های آبخیزداری بر سطح آب زیرزمینی منطقه (مطالعه موردی: پروژه جمعبان) با حمایت مالی آن سازمان در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۵ انجام پذیرفته و این مقاله حاصل آن طرح پژوهشی می باشد. همچنین از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی برای همکاری در ارائه اطلاعات مورد نیاز طرح تقدیر و تشکر می نمایم.

#### منابع

۱. اعظمی راد، م. و ع. معماری (۱۳۹۱). بررسی عملکرد سیستم پخش سیلاب در تغذیه دشت ها و نفوذ آن به سفره های زیرزمینی (مطالعه موردی پروژه پخش سیلاب جمعبان چناران). اولین کنفرانس ملی سامانه های سطوح آبرگیر باران. مشهد.
۲. بربریان، م.، قریشی، ج. شجاع طاهری و م. طالبیان (۱۳۷۸). پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت و خطر زمین لرزه- گسلش در گستره مشهد-نیشابور، سازمان زمین شناسی ایران گزارش ۷۲.
۳. بنی هاشمی، ا. (۱۳۹۰). مدل سازی جریان ناحیه غیر اشباع با استفاده از نرم افزار Groundwater Vistas (مطالعه موردی: دشت بیرجند)، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه بیرجند.
۴. پژوهنده، ا.، ک. عطایی، ج. رفیعی و ه. امیرنژاد (۱۳۸۴). تعیین یک چارچوب استاندارد برای ارزش گذاری جامع کارکرد- ها، کالاهای و خدمات اکوسیستم های طبیعی. سازمان جنگل ها و مراتع.
۵. دانشوری، س. (۱۳۸۹). بحران آب خراسان رضوی [www.kavir2509.blogfa.com](http://www.kavir2509.blogfa.com).

۶. سلاجقه، ع.، ک. قادری و ف. حسن پور (۱۳۸۸). مدل سازی سطح آب زیرزمینی دشت سیستان با استفاده از MODFLOW. دهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۷. غفوریان، ر.، م. باقریان کلات و ا. کرد نوشهری (۱۳۹۱). بررسی و توسعه مدل‌های برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های منتخب استان خراسان رضوی. نشریه آب و خاک دانشگاه فردوسی، ۲۶(۵)، ۱۲۸۹-۱۲۹۸.
۸. کوثر، آ. (۱۳۷۴). مقدمه‌ای بر مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری از آن‌ها، سازمان تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، چاپ اول.
۹. مهندسین مشاور نقش آب، (۱۳۹۲). گزارش ارزیابی جمع‌آب، اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی.
۱۰. نیک کامی، د. (۱۳۸۷). نقش اقدامات آبخیزداری در استحصال آب و کاهش بحران کم‌آبی، هفتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران، تهران.
۱۱. ولایتی، س.، ح. غیور و ص. شفیعا (۱۳۸۳). بررسی رژیم هیدرولوژیکی رودخانه فریزی (زیر حوضه کشف رود) و نقش آن در تغذیه آبخوان دشت مشهد. مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان، ۷۲-۴۷.
12. Anderson M.P. and Woessner W.W. (1992). *Applied groundwater modeling Simulation of flow and advective transport San Diego, California*.
13. Cartaud F., Touze-Folts N. and Duval Y. (2005). *Experimental investigation of the influence of a geotextile beneath the geomembrane in a composite liner on leakage through a hole in the geomembrane* Geotext. Geomembr 23(2): 117-143.
14. DeGroot R. S., Wilson M. A. and Boumans R. M. (2002). *A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services*. Ecological economics, 41(3), 393-408.
15. Herzog A. (2007). *Transient groundwater modeling in Peri-Urban Kampala, Uganda*. (Master's thesis). Department of Land and Water Resource Engineering, Sweden.

## Evaluation of Quantitative Impact of Watershed Management Projects on Underground water Level (Case Study: Jamab Project)

Seyed Mohammad Tajbakhsh<sup>1\*</sup>, Hadi Memarian<sup>1</sup>, Hossein Parsasadr<sup>2</sup>

1. Associated prof, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Iran
2. Ph.D. student of underground waters, Shahid Beheshti University, Iran

Received: 2021/02

Accepted: 2021/03

### Abstract

Performance and control are two important components in any executive activity and their purposes are to correct and improve the functions and reduce wasting resources for better productivity and adoption of appropriate techniques that ultimately lead to the development of programs. Therefore, the present study aimed to simulate underground water flow and investigate the effects of artificial water supply projects on the underground water resources of Frizi plain in Chenaran using a mathematical model and MODFLOW code. The studied aquifer model is the most sensitive to changes in hydraulic conductivity and discharge of wells and shows less sensitivity to changes in surface water supply due to rainfall. The artificial water supply scheme of Jamab in the control scenario had caused an annual increase of 453717.6 meters<sup>2</sup> of water to the aquifer. The maximum volume of water entering the aquifer system through the artificial water supply of Jamab in 1995-2012 was equal to 1.8 million cubic meters, and according to the control scenario had increased by 1.35 million cubic meters, this amount of supply had increased the average of the water level of the aquifer of Frizi plain compared to the control scenario in the forecast period in 2014, 2015, and 2016 by 0.09, 0.11 and 0.17 m, respectively. The minimum volume of water entering the aquifer through the artificial supply of Jamab in 1995-2012 was in 1995 and 2002, which was approximately equal to 170 thousand cubic meters, which compared to the control scenario had decreased by 283 thousand cubic meters, the estimated revenue in the system obtained during the operation period until 2012 and was equal to 57.5 billion tomans. The profit to cost ratio of the project in terms of all revenues from project ecosystem functions and production was about eleven, which showed that the project was profitable until 2012.

**Keywords:** Aquifer, Artificial nutrition, Jamab, Ecosystem function, GV software.