Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹
Volume 16, No. 4, Winter 2020 (IR-WRR)
۱-۱۴

استفاده از روش ورشکستگی در کاهش منازعات منابع آب زیرزمینی و طرح تعادل‌بخشی آبخوان (مطالعه موردی: آبخوان حاجی‌آباد)

مونا جمال‌امیدی[۱] و علی مریدی[۲*]

چکیده

در دهه‌های اخیر، افزایش نیازهای آبی در ایران منجر به برداشت بیش از حد آب، به ویژه آب زیرزمینی شده است؛ لذا مدیریت آب زیرزمینی و برداشت‌ها باید طوری باشد که علاوه بر رفع نیاز مصرف‌کنندگان و رسیدن به نفع عادلانه، پایداری آبخوان و نیاز آیندگان نیز مورد توجه قرار گیرد. این تحقیق با هدف مدیریت و کاهش برداشت از آبخوان حاجی‌آباد واقع در استان هرمزگان انجام شده است. ابتدا مدل جریان آب زیرزمینی به وسیله نرم‌افزار MODFLOW شبیه‌سازی و صحت‌سنجی شد. سپس با استفاده از روش همکارانه (روش ورشکستگی)، مقادیر جدید برداشت آبخوان محاسبه گردید و این مقادیر به مدل شبیه‌سازی وارد شد و نتایج آن با وضع موجود مقایسه گردید. در این پژوهش از ۵ روش ورشکستگی نسبی[۱] (P)، ورشکستگی مقید به سود یکسان[۲] (CEA)، ورشکستگی مقید به ضرر یکسان[۳] (CEL)، تالمود (Talmud) و پینایل (Piniles) به منظور مدیریت برداشت چاههای بهره‌برداری استفاده شده است. مقادیر برداشت سالانه چاههای بهره‌برداری از آبخوان به عنوان تقاضای ذینفعان و مقدار تغذیه آب زیرزمینی محاسبه‌شده توسط مدل شبیه‌سازی در هر پلیگون به عنوان مقدار آب موجود است. در این ۵ روش مقادیر سطح آب زیرزمینی آبخوان افزایش و وضعیت کلی آبخوان بهبود نسبتاً خوبی داشته است. در نهایت شاخص پایداری ورشکستگی (BASI) برای ۵ روش محاسبه و مقایسه گردید.

کلمات کلیدی: MODFLOW، روش ورشکستگی، پایداری آبخوان، رویکرد همکارانه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۲/۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۵/۹

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Bankruptcy Method in Reducing Groundwater Resources Conflicts and Aquifer Balancing (Case Study: Haji Abad Aquifer)

*M. Jamalomidi[1], A. Moridi[2]**

Abstract

In recent decades, increasing water demand in Iran has resulted in excessive water exploitation, especially from groundwater resources. Accordingly, the groundwater should be managed in a way that both meet consumers' needs and fair benefits and maintain the aquifer sustainability and future needs. This study aimed at managing and reducing the water use in Haji Abad aquifer in Hormozgan province. Firstly, Groundwater simulation model was calibrated and validated by MODFLOW software and then, the new operation wells discharge values were calculated by using the cooperative method (bankruptcy). These values were then entered into the simulation model and the results were compared with the present situation. In this study, five bankruptcy methods were used to manage the discharge in operation wells; i.e. proportional (P), Constrained Equal Award (CEA), Constrained Equal Loss (CEL), Talmud (Tal) and Piniles (Pin). The annual discharge values of the operation wells are claimer demand and the amount of groundwater recharge which calculated by the simulation model in each polygon are the available water. In these five methods, groundwater head increased and overall aquifer status was improved relatively well. Finally, the Bankruptcy Allocation stability index (BASI) for five methods was calculated and compared.

Keywords: MODFLOW, Bankruptcy Method, Groundwater Sustainable Development, Cooperative Method

Received: April 22, 2020
Accepted: July 30, 2020

1- M.Sc. Student in Water Resources Management and Engineering, Water Resources Engineering Department, Civil, Water and Environmental Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: mo.jamalomidi@mail.sbu.ac.ir
2-Assistant Professor of Civil Engineering, Water Resources Engineering Department, Civil, Water and Environmental Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a_moridi@sbu.ac.ir
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

برای تأمین آب شیرین شهرها و روستاها علاوه بر استفاده از آب سطحی نیاز به برداشت از آب زیرزمینی داریم و در سالهای گذشته مقدار زیادی از آب شیرین مورد نیاز از طریق آبهای زیرزمینی تأمین شده است. با توجه به افزایش برداشت از آبخوانها، مدیریت کمی و کیفی آب زیرزمینی برای جلوگیری از بروز مشکلات در آینده اعم از نشست زمین، آلودگی آب زیرزمینی، کاهش آب زیرزمینی و غیره ضرورت یافته است. پژوهش‌های زیادی برای یافتن راههایی در جهت کاهش برداشت از آبخوان و مدیریت کمی و کیفی آب زیرزمینی به روش‌های مختلفی انجام شده است. یکی از راههای مدیریت کمی آب زیرزمینی، استفاده از مـــدل‌های بهینه‌سازی برداشت می‌باشد. Ketabchi and Ataie-Ashtiani (2011) در مطالعه‌ای، مدل شبیه‌سازی عددی با گسسته‌سازی تفاضلات محدود، بر اساس ایده‌ای عملی و ساده به روش جامعه مورچه‌ها برای مدیریت آبخوانهای ساحلی در معرض خطر پیشروی آب شور ارائه دادند و با هدف کنترل خطر پیشروی آب شور، مقدار برداشت از آبخوان را بهینه کردند و کارآیی مدل با استفاده از چندین مثال حل‌شده مورد بررسی قرار گرفت، همچنین Najjar ghabel et al. (2019) یک مدل شبیه‌ساز- بهینه‌ساز برای حل مشکل آب زیرزمینی اردبیل توسعه دادند که مقادیر تراز آب زیرزمینی را شبیه‌سازی کرده و مقادیر بهینه برای استخراج آب را تعیین می‌کند. از دیگر روشهای مورد استفاده در مدیریت آب زیرزمینی استفاده از مدلهای حل اختلاف و مدلهای مبتنی بر تئوری بازی‌ها است. محققان، رویکردهای حل اختلاف و تئوری بازی را برای کمک به ذینفعان و یافتن راه‌حلهای کاربردی توسعه دادند، تئوری بازی‌ها و رویکردهای حل اختلاف ثابت کرده است که می‌توانند به رفتار سهامداران بپردازند و تصمیم‌گیرندگان را قادر به ارائه استراتژی‌های مؤثرتری کنند. روش‌های مختلفی از تئوری بازی‌ها در پژوهشهای دهه‌های اخیر ارائه گردید و در موارد مختلف مورد مقایسه قرار گرفت (Ansink and Weikard, 2012; Burn and Lence, 1992; Burn and McBean, 1985; Estalaki et al., 2015; Liebman and Lynn, 1966; Nikoo et al., 2013). همچنین (Auman and Maschler, 1985; Dagan and Volij, 1993; O'Neill, 1982) برخی از شناخته‌شده‌ترین روش‌های ورشکستگی را در مدیریت منابع آب محدود مورد بررسی قراردادند. رویکرد همکارانه و غیرهمکارانه مانند ورشکستگی و نش عملکرد مناسبی در تخصیص منابع آب در مطالعات هیدرو- محیط زیست داشته‌است. Loáiciga (2004) با استفاده از تئوری بازی‌ها[۴] رویکرد همکارانه و غیرهمکارانه در پایداری استخراج آب‌های زیرزمینی امریکا را مطالعه کرد. Banihabib et al. (2018) به بررسی و ارزیابی روشهای همکارانه (نظریه ورشکستگی نسبی) و غیر همکارانه نظریه بازیها (روش حل اختلاف نش غیرمتقارن) برای بررسی شرایط تأمین حقابه زیست محیطی تالاب هورالهویزه در سناریوهای مختلف تخصیص بین سه کشور ایران، ترکیه و عراق پرداختند. Madani and Zarezadeh (2012) استفاده از قوانین ورشکستگی را برای توسعه برنامه‌های توزیع عادلانه منابع آبی پیشنهاد می‌کنند، در این تحقیق برای تأکید بر سودمندی قوانین ورشکستگی در حل منازعات آبی از روش‌های نسبی[۵] (P)، تعدیل متناسب (AP)، مقید به سود یکسان (CEA)، مقید به ضرر یکسان (CEL)، تالمود[۶] (Tal) و قوانین پینایل[۷] (PIN) برای حل مشکل فرضی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت ولی از این روشها برای حل منازعات یک منطقه مطالعاتی استفاده نشد و تمام روشهای گفته‌شده برای یک مثال فرضی مورد استفاده قرار گرفت. پژوهش‌های بسیاری برای حل منازعات آبی از روش ورشکستگی استفاده و روش‌های جدید ورشکستگی برای حل منازعات آبی ارائه کرده‌اند (Aghasian et al., 2019; Akbar Zadeh et al., 2016; Herrero and Villar, 2001; Madani and Dinar, 2013; Madani and Zarezadeh, 2012; Mianabadi et al., 2014; Moridi, 2018; Zare Farjoudi et al., 2019).

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که روش ورشکستگی کاربرد مناسبی در تحلیل سناریوهای مختلف و حل اختلاف در برنامه‌ریزی منابع آب دارد. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از روش ورشکستگی کمتر در حل مسایل کاربردی مدیریت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته در صورتی که یکی از موارد پرکاربرد این روش در تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی است. بررسی‌ها و نتایج کاربردی این پژوهش که در جمع نخبگان مدیریت آب کشور نیز مطرح شده، نشان می‌دهد که این روش می‌تواند کاربرد گسترده‌ای در بررسی سناریوهای مختلف تعدیل پروانه بهره‌برداری چاههای کشاورزی داشته باشد.

در این مقاله برای نخستین بار کاربرد روش ورشکستگی در برنامه‌ریزی جهت تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری از چاهها، به عنوان یکی از اقدامات مهم در طرح تعادل بخشی آبخوانها، مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین برخلاف تحقیقات گذشته که نتایج محاسبات روشهای مختلف ورشکستگی بر کل آبخوان بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی شرایط آبخوان انجام شده است، تلفیق روش ورشکستگی با مدل ریاضی شبیه‌سازی تغییرات آبخوان (MODFLOW) امکان بررسی دقیق‌تر زمانی و مکانی روشهای مختلف ورشکستگی فراهم شده است. توسعه مدل پیشنهادی در این مقاله زیرساخت لازم برای تحلیل نتایج روشهای مختلف بر تعادل بخشی آبخوان همراه با بررسی اثرات موضعی آن در بخشهای مختلف آبخوان را در کنار تحلیل تبعات

www.SID.ir

Archive of SID

اجتماعی فراهم کرده است. نتایج این روش می‌تواند مبنایی برای ارزیابی اثربخشی و پیش‌بینی تبعات اجتماعی و اقتصادی سناریوهای مختلف تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری از چاهها باشد. مدل ارائه شده در این مقاله با استفاده از رویکرد ورشکستگی می‌تواند زیرساختی برای ایجاد سامانه پشتیبان در تصمیم‌گیری برای ارزیابی مکانی و زمانی تبعات اقتصادی و اجتماعی سناریوهای مختلف تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری بر اساس رویکردهای مختلف ورشکستگی باشد که از مهمترین نوآوری‌های این تحقیق است و در ادامه بدان پرداخته شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده: آبخوان حاجی‌آباد (استان هرمزگان)

محدوده مطالعاتی دشت حاجی‌آباد از نظر تقسیمات استانی در حوضه آبریز کل- مهران و بطور کامل در استان هرمزگان قرار گرفته است. کشاورزی و باغداری فعالیت اقتصادی برجسته در دشت حاجی‌آباد است که بیشتر به روش سنتی انجام می‌شود، مهمترین محصولات آن مرکبات و خرما است. دشت حاجی‌آباد در محدوده طول جغرافیایی ´۵۵ °۵۲ تا ´۵۶ °۰۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۲۴ °۱۶ تا ´۲۸ °۲۲ شمالی قرار دارد. مساحت آبخوان ۲۷/۲۱ کیلومترمربع است. این منطقه شامل ۶ چاه مشاهداتی و ۹۶ چاه بهره‌برداری می‌باشد که ۵ چاه بهره‌برداری برای شرب و سایر چاهها برای مصارف شرب و صنعت استفاده می‌شود. شکل ۱ موقعیت دشت حاجی‌آباد و چاههای موجود در منطقه را نشان می‌دهد.

۲-۲- مدل MODFLOW

مدل MODFLOW توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا ایجاد گردیده است و در دسترس عموم قرار دارد. MODFLOW پس از آزاد شدن اولیه با بسته‌ها یا پکیج‌های جدید گوناگون تکمیل گردید و نسخه‌های کامپایل شده آن برای سکوهای رایانه‌ای و کامپیوترهای شخصی گوناگون به فروش رسیده است. بسته‌های نرم‌افزاری خاصی برای MODFLOW وجود دارد که وارد کردن داده‌ها و به تصویر درآوردن نتایج را به صورت نقشه و گراف آسان می‌سازد.

MODFLOW حل عددی معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی عبوری از محیط متخلخل است که مطابق رابطه (۱) بیان می‌گردد:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱)$$

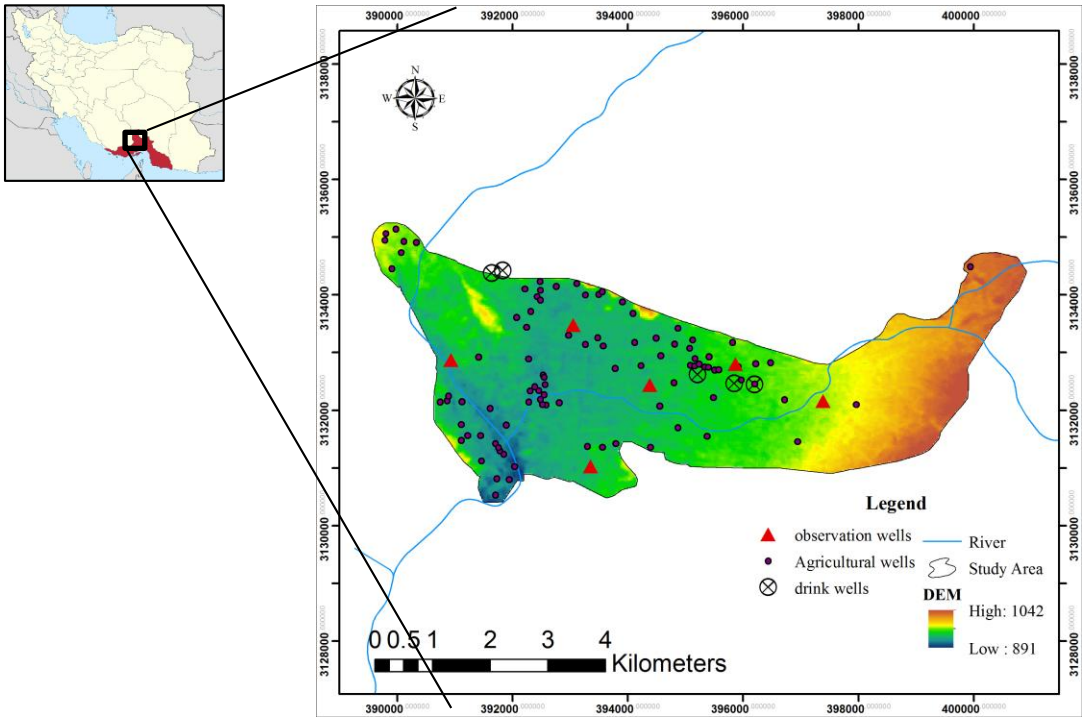

Fig. 1- Geographical location of Haji-Abad Plain and the wells

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت حاجی‌آباد به همراه چاهها

www.SID.ir

Archive of SID

که در این رابطه: K_{xx}، K_{yy} و K_{zz} ضرایب هدایت هیدرولیکی در راستای x، y و z برحسب واحد طول بر زمان، h سطح آب برحسب واحد طول، W نرخ تغذیه یا تخلیه در واحد سطح، S_s ضریب ذخیره برحسب درصد، t زمان و نیز W ممکن تابع فضا و زمان باشد یعنی $W = W(x, y, z, t)$.

معادله قید شده توصیف کننده جریان آب زیرزمینی تحت شرایط غیرماندگار در محیط ناهمگن و ناهمسان است، البته به این شرط که محورهای هدایت هیدرولیکی در امتداد جهت‌های مختصاتی باشند. در شرایط مدل‌سازی حرکت آب زیرزمینی در حالت پایدار، معادله دیفرانسیل جزیی حرکت ۳ بعدی آب زیرزمینی به صورت معادله ۲ در می‌آید که تعریف پارامترهای آن همانند معادله ۱ است:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=0 \qquad (۲)$$

مدل MODFLOW معادله جریان در محیط متخلخل را به روش تفاضل محدود حل می‌نماید. برای این کار، محدوده آبخوان در جهات مختلف به صورت مستطیل‌هایی گسسته‌سازی می‌شود. شبکه‌بندی بلوکها با ردیف‌ها، ستون‌ها و لایه‌های آبخوان مشخص می‌گردد. همچنین هر بلوک را یک سلول[۲] می‌نامند. پس از ورود داده‌ها (اطلاعات مربوط به چاهها، رودخانه‌ها، سایر اجزای ورودی و خروجی) مدل شبیه‌سازی اجرا می‌گردد و با حل مدل اطلاعات مربوط به تراز آب سلول‌ها و یا افت تراز آنها در فایل خروجی ثبت می‌گردد.

در این پژوهش از نرم‌افزار GMS برای وارد کردن داده‌ها و پردازش آن در MODFLOW استفاده شده است، یک شبکه‌بندی سلولی با ۱۵ ستون و ۱۵ سطر، یک لایه و ۲۲۵ سلول انجام شده است، ۱۳۷ سلول فعال و باقی سلول‌ها به دلیل خارج از محدوده بودن غیر فعال است. در مدل عددی شبیه‌سازی داده‌های تراز آب زیرزمینی، توپوگرافی منطقه، تراز سنگ کف، مختصات و مقدار برداشت چاههای بهره‌برداری، مختصات و سطح آب چاههای مشاهداتی، مرزهای ورودی و خروجی آبخوان و غیره به عنوان داده‌های ورودی به مدل داده می‌شود.

۲-۳- مدل ورشکستگی

دو دلیل برای استفاده از تئوری ورشکستگی وجود دارد، اولاً در حل مشکلات ورشکستگی واقعی، مطالبات بیشتر از منابع موجود است، ثانیاً، قوانین ورشکستگی نسبتاً ساده است و بـــه راحتی توسط مأموران و سیاست‌گذاران در مشکلات قابل استفاده است (Mianabadi et al., 2014). روش‌های مختلفی در تئوری ورشکستگی وجود دارد، در این تحقیق از ۵ روش ورشکستگی تعدیل شده (AP)، ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)، روش ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)، روش تالمود (Talmud) و روش پینایل (Piniles) به منظور مدیریت برداشت آبخوان استفاده شده است. روابط ریاضی روش‌های استفاده شده در ادامه توضیح داده شده است.

۲-۳-۱- ورشکستگی نسبی (P)

براساس این قانون، تقاضای ذینفعان تا حدی براساس معادله ۳ برآورده می‌شود. این قانون با ضریبی ثابت از مقدار نیازشان، آب را اختصاص می‌دهد:

$$Q_{new} = \lambda \times Q_{old} \qquad (۳)$$

$$\lambda = \frac{E}{C} \qquad (۴)$$

در این روابط E مقدار آب موجود، C مجموع برداشت از آبخوان، λ ضریب ثابت، Q_{new} مقدار برداشت تخصیص‌یافته جدید و Q_{old} مقدار برداشت موجود می‌باشد.

۲-۳-۲- ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)

ورشکستگی مقید بـــه سود یکسان، برداشتها را تا حـــد ممکن برابر می‌کند، مشروط بر این که هیچ چاهی بیشتر از تقاضای خود دریافت نکند. در این قانون مقدار برداشتها توسط چاههای بهره‌برداری به تدریج و بطور مساوی از صفر افزایش می‌یابد تا زمانی‌که مجموع برداشت‌های جدید برابر با مقدار آب موجود شود.

$$Q_{new} = \min(Q_{old}, \alpha) \qquad (۵)$$

تا زمانی‌که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{new} = E \qquad (۶)$$

در این روابط E مقدار آب موجود، n تعداد چاههای موجود، α بیشینه برداشت چاهها، Q_{new} مقدار برداشت تخصیص‌یافته جدید و Q_{old} مقدار برداشت موجود می‌باشد.

۲-۳-۳- روش ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)

در این روش سعی می‌شود که میزان کسری موجـود، بـین همـه چاهها به صورت یکسان تقسیم گردد. در این روش طبق رابطه ۷ و ۸ تفاضل مجموع برداشتها از مقدار آب موجود محاسـبه و بـر تعـداد چاههای موجود تقسیم میشود. مقدار حساب شده که در واقـع ضـرر یکسـان محسوب می‌شود از کلیه برداشت چاهها کسر می‌گـردد و بـه عنوان تخصیص هر چاه درنظر گرفته می‌شود. قانون CEL اولویت تخصیص را به چاههایی با نیاز بیشتر می‌دهد (Mirshafee et al., 2015).

www.SID.ir

Archive of SID

$$Q_{new} = \max(Q_{old} - \beta, 0) \quad (۷)$$

تا زمانی‌که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{new} = E \quad (۸)$$

در این روابط E مقدار آب موجود، n تعداد چاههای موجود، β مقدار برداشتی از چاهها که باید به ازای روش CEL کاسته شود، Q_{new} مقدار برداشت تخصیص‌یافته جدید و Q_{old} مقدار برداشت موجود می‌باشد.

۲-۳-۴- روش ورشکستگی تالمود (TAL)

در این روش که ترکیبی از روشهای نزدیک به سود یکسان (CEA) و ضرر یکسان (CEL) به کار گرفته می‌شود، سهم هر چاه براساس فرمول‌های ۹ تا ۱۱ محاسبه می‌شود. طبق این روش اگر مقدار آب موجود از نصف برداشت آبخوان کمتر باشد، چاهها بیشتر از نصف برداشت فعلی خود نمی‌توانند استخراج کنند و برعکس اگر مقدار آب موجود از نصف برداشت آبخوان بیشتر باشد، چاهها بیشتر از نصف برداشت موجودشان را استخراج می‌کنند و باقی‌مانده آب، با استفاده از روش CEL بین چاهها تقسیم می‌شود.

$$Q_{new} = CEA(0.5\ Q_{old}, E) \quad if \quad E \le 0.5\ C \quad (۹)$$

$$Q_{new} = 0.5\ Q_{old} + CEL(0.5Q_{old}, E - 0.5C) \quad if\ E \ge 0.5\ C \quad (۱۰)$$

تا زمانی‌که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{new} = E \quad (۱۱)$$

در این روابط E مقدار آب موجود، C مجموع برداشت از آبخوان، n تعداد چاههای موجود، Q_{new} مقدار برداشت تخصیص‌یافته جدید و Q_{old} مقدار برداشت موجود می‌باشد.

۲-۳-۵- روش ورشکستگی پینایل (PIN)

در این روش برخلاف روش تالمود از روش سود یکسان (CEA) برای تخصیص آب زمانی‌که مقدار آب موجود از نصف برداشت آبخوان بیشتر باشد استفاده می‌کند. سهم هر چاه براساس فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{new} = CEA(0.5\ Q_{old}, E) \quad if \quad E \le 0.5\ C \quad (۱۲)$$

$$Q_{new} = 0.5\ Q_{old} + CEA(0.5Q_{old}, E - 0.5C) \quad if\ E \ge 0.5\ C \quad (۱۳)$$

تا زمانی‌که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{new} = E \quad (۱۴)$$

در این روابط E مقدار آب موجود، C مجموع برداشت از آبخوان، n تعداد چاههای موجود، Q_{new} مقدار برداشت تخصیص‌یافته جدید و Q_{old} مقدار برداشت موجود می‌باشد.

۲-۴- بررسی پایداری تخصیص‌های ورشکستگی

برای بررسی قابل قبول بودن روشهای ورشکستگی استفاده شده در تخصیص منابع آب زیرزمینی، می‌توان از روشهای مختلفی استفاده کرد. یکی از این روشها، برررسی پایداری تخصیص‌ها می‌باشد. Madani et al. (2014) پارامتر پایداری تخصیص ورشکستگی[8] (BASI) را به عنوان شاخص پایداری در مسائل ورشکستگی، ارائه کردند. این شاخص از اصلاح شاخص پایداری که توسط Loehman et al. (1979) پیشنهاد گردید، به دست می‌آید. ابتدا یک شاخص قدرت ورشکستگی[9] (BPI) با استفاده از فرمول ۱۵ محاسبه می‌شود:

$$BPI_i = \frac{S_i - \upsilon_i}{\sum_{j\epsilon N}(S_j - \upsilon_j)} \quad i\epsilon N, \qquad \sum_{i\epsilon N} BPI_i = 1 \quad (۱۵)$$

که

$$S_i = \sum_{t=1}^{n} S_{i,t} \quad (۱۶)$$

$$\upsilon_i = \sum_{t=1}^{n} \upsilon_{i,t} \quad (۱۷)$$

در فرمول‌های بالا BPI_i بیانگر مقدار شاخص قدرت ورشکستگی برای چاه i، S_i مجموع آب تخصیص‌یافته و υ_i مجموع آب تصویب‌شده توسط دیگر سهامداران برای بهره‌بردار i در همه بازه‌های زمانی t هستند.

شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی (BASI) با استفاده از فرمول ۱۸ محاسبه شده و می‌تواند برای ارزیابی قابل قبول بودن احتمال ورشکستگی مورد استفاده قرار گیرد:

$$BASI = \frac{\sigma_{BPI}}{\overline{BPI}} \quad (۱۸)$$

همانطور که مشخص است σ_{BPI} انحراف معیار قدرتهای ذینفعان و $\overline{BPI}$ میانگین قدرت ورشکستگی هستند و هرچه مقدار شاخص بیشتر باشد، روش تخصیص از پایداری کمتری برخوردار است.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- نتایج شبیه‌سازی

آبخوان توسط مدل MODFLOW در حالت پایدار با استفاده از داده‌های سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ شبیه‌سازی شده است. در حالت پایدار مقادیر هدایت هیدرولیکی و تغذیه آبخوان محاسبه می‌گردد. همچنین در مدل ناپایدار مقدار ضریب ذخیره آبخوان (S_y) برای یک دوره ۳

www.SID.ir

Archive of SID

ساله (مهر ۹۰ تا شهریور ۹۳) کالیبره شد. فرآیند کالیبراسیون به صورت خودکار توسط تکنیک PEST انجام شده است. بعد از کالیبراسیون، مدل شبیه‌سازی آبخوان با استفاده از داده‌های سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در حالت پایدار صحت‌سنجی گردید، همچنین از داده‌های سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶(مهر ۹۳ تا شهریور ۹۶) برای صحت‌سنجی در حالت ناپایدار استفاده شده است. شکل ۲ تراز آب زیرزمینی محاسبه شده در هر سلول و تفاوت مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در پیزومترها را نشان می‌دهد. بیشترین خطای محاسباتی در پیزومترها ۱/۴ متر و کمترین مقدار ۰/۵ متر می‌باشد. نتایج کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل با استفاده از مقایسه موارد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دو حالت پایدار با ارائه مقدار رگرسیون در شکل ۳ ارائه شده است. در نهایت مقدار خطای محاسباتی کالیبراسیون و صحت‌سنجی در حالات پایدار و ناپایدار در جدول ۱ ارائه شده است.

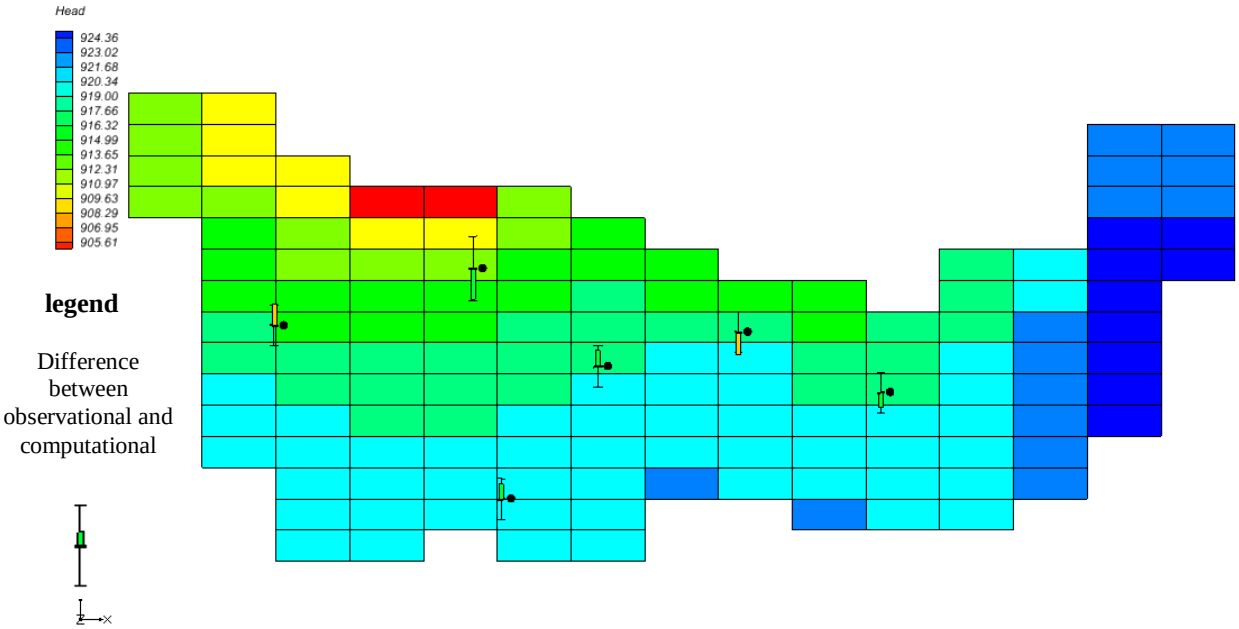

Fig. 2- Results of calibrated model in steady state (calculated groundwater head in each cell)
شکل ۲- نتایج مدل کالیبره شده در حالت پایدار (تراز محاسباتی در هر سلول)

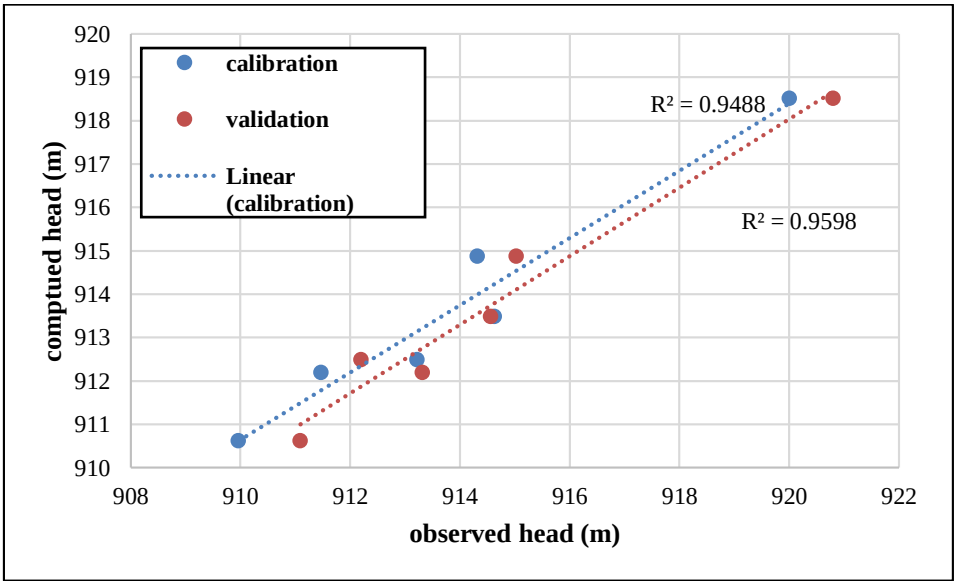

Fig. 3- Comparison of observation and computed head and regression value
شکل ۳- مقایسه تراز مشاهداتی و محاسباتی و مقدار رگرسیون

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1- Calibration and validation error for steady and unsteady state
جدول ۱- خطای کالیبراسیون و صحت‌سنجی در حالات پایدار و ناپایدار

PARAMETER	CALIBRATION		VALIDATION	
	STEADY	UNSTEADY	STEADY	UNSTEADY
RMSE(m)	1	1.4	1.1	1.6

بعد از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده، مقادیر تغذیه و برداشت از آبخوان محاسبه و تعیین میگردد. تغذیه آبخوان به صورت پلیگونی محاسبه شده است و پلیگون‌ها بر اساس کاربری اراضی منطقه تعیین گردید. شکل ۴ پلیگون‌های تغذیه آبخوان و جدول ۲ مقادیر تغذیه هر پلیگون را نشان می‌دهد. همچنین موقعیت و مقدار برداشت چاههای بهره‌برداری در شکل ۴ نشان داده شده است، همچنین در این شکل دسته‌بندی چاههای بهره‌برداری بر اساس دبی برداشتشان ملاحظه می‌گردد.

مطابق جدول ۳، چاههای بهره‌برداری بر اساس مقدار برداشتشان به ۵ دسته (خیلی کم تا خیلی زیاد) تقسیم شده‌اند، جزییات تقسیم چاهها، تعداد چاههای بهره‌برداری و مقدار برداشت هر دسته در این جدول نشان داده شده است، ۴۵ درصد چاههای منطقه در محدوده برداشت خیلی کم (دسته ۱) قرار دارند با این حال سهمشان از برداشت آبخوان فقط ۵ درصد می‌باشد، بیشترین درصد برداشت تقریباً ۳۱ درصد و مربوط به دسته چاههایی با برداشت خیلی زیاد است، تعداد چاهها در این دسته فقط ۶ عدد است ولی بیشترین سهم را در برداشت از آبخوان دارند.

Table 2- Recharge values for each polygon (m3/day)
جدول ۲- مقادیر تغذیه هر پلیگون (m3/day)

NO. POLY	Annual RECHARGE
1	286.6841707
2	912.1769067
3	703.679328
4	6708.409594
5	1219.710835

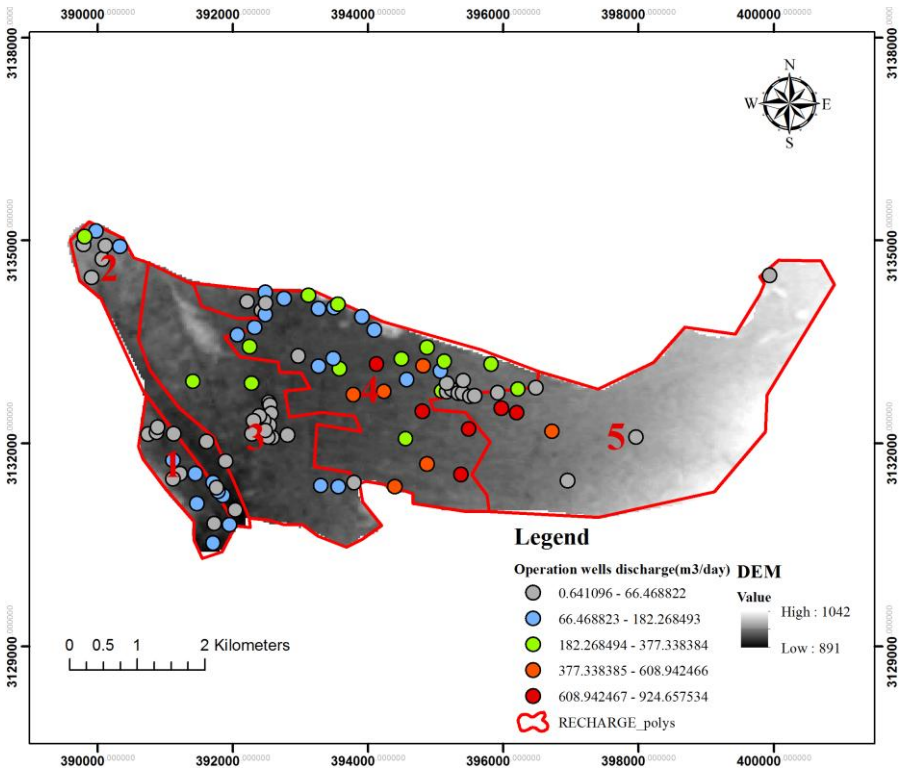

Fig. 4- polygon numbers and operation wells rating
شکل ۴- شماره پلیگون و دسته‌بندی چاههای بهره‌برداری

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3- Rating scale for operation wells

جدول ۳- درجه‌بندی چاه‌های بهره‌برداری

	Operation wells discharge (m3/day)	Type	Number of wells	Percentage of wells	Total Discharge	Percentage of discharge
1	0.641096 - 66.468822	Very Low	45	46.875	800.6285479	5.058233892
2	66.468823 - 182.268493	Low	25	25	3112.187178	19.66226498
3	182.268494 - 377.338384	Medium	14	15.625	3837.392082	24.24398523
4	377.338385 - 608.942466	High	6	6.25	3178.218082	20.07943691
5	608.942467 - 924.657534	Very High	6	6.25	4899.79726	30.95607898

به طور کلی، نزدیک به ۵۰ درصد برداشت آبخوان توسط چاههایی با برداشت زیاد و خیلی زیاد و ۵۰ درصد دیگر توسط چاههایی با برداشت خیلی کم تا متوسط است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، تمرکز چاهها در غرب و میانه آبخوان بیشتر است و چاههای غرب آبخوان بیشتر چاههایی با برداشت کم و خیلی کم و چاههایی که در مرکز آبخوان قرار دارند چاههایی با برداشت زیاد و خیلی زیاد هستند. همانطور که قبلاً اشاره شده، محاسبات نظریه‌های ورشکستگی به صورت پلیگونی بوده و در هر پلیگون محاسبات جداگانه صورت گرفته است لذا بررسی شرایط هر پلیگون در جدول ۴ آمده است، مطابق جدول بیشترین برداشت مربوط به پلیگون ۴ می‌باشد که نواحی مرکزی آبخوان را در برمی‌گیرد و نسبتاً دارای بیشترین مساحت نسبت به سایر پلیگون‌ها می‌باشد و چاههایی که بیشترین برداشت را دارند در این پلیگون قرار دارند و کمترین برداشت در پلیگون ۱ صورت گرفته است زیرا تعداد چاههای بهره‌برداری با برداشت کم در این پلیگون بیشتر از سایر پلیگون‌ها بوده و مساحت کمتری دارد.

۳-۲- نتایج نظریه‌های ورشکستگی

بعد از شبیه‌سازی آبخوان، ارتباط بین مدل شبیه‌سازی و مدل ورشکستگی انجام شده است. نظریه‌های روش ورشکستگی نسبی (P)، ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)، ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)، تالمود (Talmud) و پینایل (Piniles) با استفاده از اطلاعات مدل شبیه‌سازی آبخوان که در جدول ۲ آمده است حل شدند. مقادیر تغذیه هر پلیگون به عنوان مقدار آب موجود برای تأمین نیاز و برداشت از چاههای بهره‌برداری در پلیگون به عنوان متقاضیان در این نظریه تعریف می‌شوند، محاسبات این پژوهش به صورت پلیگونی می‌باشد و هریک از نظریه‌های ورشکستگی برای همه پلیگون‌ها به صورت جداگانه محاسبه گردید. نتایج به دست آمده از مدل ورشکستگی و تغییرات حجم برداشت آب در جدول ۵ ارائه شده است.

در رابطه با مقایسه ۵ روش، مطابق نتایج ارائه‌شده در جدول ۵، در روش ورشکستگی نسبی (P) تمام مدعیان مجاز به برداشت درصدی از تقاضای خود هستند و مقدار درصد کاهش‌یافته برداشت‌شان به یک اندازه است؛ اما نتایج روش‌های (CEA) و (CEL) متفاوت‌تر از روش ورشکستگی (P) است، روش ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA) به نفع متقاضیانی است که حجم آب کمتری درخواست دارند؛ زیرا این روش حداقل ادعایی که از طرف ذی‌نفعان اعلام شده است را به عنوان پایه‌ای برای تخصیص‌ها درنظر می‌گیرد و در نهایت مقدار آب موجود بین همه ذینفعان تقسیم می‌شود. برخلاف روش (CEA)، روش مقید به ضرر یکسان (CEL) به سود متقاضیانی است که درخواست حجم آب بیشتری دارند زیرا در این روش ابتدا به متقاضیان حجم آب بیشتر، آب تخصیص می‌یابد سپس با کسر مقدار ثابتی از ادعای ذینفعان، حجم آب موجود بین متقاضیان تقسیم می‌شود.

Table 4- Well discharges in aquifer zones

جدول ۴- مشخصات دبی برداشت چاهها برحسب منطقه‌بندی آبخوان

Polygon. numb	Very Low		Low		Medium		High		Very High		Total discharge (m3/day)
	No.	Discharge (m3/day)	No.	Discharge (m3/day)	No.	Discharge (m3/day)	No.	Discharge (m3/day)	No.	Discharge (m3/day)	
1	7	89.0235	4	576.063	0	0	0	0	0	0	665.086
2	7	169.079	5	688.832	1	258.312	0	0	0	0	1116.22
3	14	190.218	3	290.327	2	521.743	0	0	0	0	1002.28
4	13	258.706	11	1556.96	12	3057.33	5	2569.27	4	3409.24	10851.5
5	4	93.6000	0	0	0	0	1	608.942	2	1490.54	2193.09

www.SID.ir

Archive of SID

Table 5- Bankruptcy results and change of discharge in each polygon

جدول ۵- نتایج تئوری ورشکستگی و تغییرات برداشت‌ها در هر پلیگون

Pol.number	Discharge type	current discharge (m3/day)	Reduced Discharge (m3/day)					Discharge Reduction Percentage				
			P_method	CEA_method	Cel_method	TAL_method	PIN_method	P_method	CEA_method	Cel_method	TAL_method	PIN_method
1	Very Low	89.02	38.37	79.36	0.00	44.51	44.51	56.90	10.86	100	50	50
	Low	576.0	248.3	207.33	286.68	242.17	242.17	56.90	64.01	50.23	57.9	57.9
2	Very Low	169.0	138.1	169.08	74.36	93.34	169.08	18.28	0.00	56.02	44.79	0
	Low	688.8	562.9	609.75	597.72	581.91	568.79	18.28	11.48	13.23	15.52	17.42
	Medium	258.3	211.1	133.34	240.09	236.93	174.30	18.28	48.38	7.05	8.27	32.52
3	Very Low	190.2	133.5	190.22	37.33	37.33	95.11	180.4	0.00	80.38	80.37	50
	Low	290.3	203.8	283.04	202.90	169.34	215.49	29.79	2.51	30.11	41.67	25.77
	Medium	521.7	366.3	230.42	463.46	439.23	307.76	29.79	55.84	11.17	15.81	41.01
4	Very Low	258.7	159.9	258.71	0.00	129.35	258.71	38.18	0.00	100	50	0
	Low	1557	962.5	1557	228.39	778.48	1174.9	38.18	0.00	85.33	50	24.53
	Medium	3057	1890	2694.37	1596.8	1528.67	1961.1	38.18	11.87	47.77	50	35.85
	High	2569	1588	1221.31	1960.7	1621.15	1464.8	38.18	52.46	23.69	36.90	42.98
	Very High	3409	2107	977.05	2922.4	2650.75	1848.7	38.18	71.34	14.28	22.24	45.7
5	Very Low	93.60	52.06	93.60	0.00	46.80	93.60	44.38	0.00	100.00	50	0
	High	608.9	338.6	375.37	315.68	304.47	329.93	44.38	38.36	48.16	50	45.81
	Very High	1490	828.9	750.74	904.03	868.44	796.18	44.38	49.63	39.35	41.73	46.58

مطابق نتایج به دست‌آمده، در همه پلیگون‌ها متقاضیان حجم آب کمتر، هیچ برداشتی نخواهند داشت و درصد کاهش برداشت‌شان ۱۰۰ درصد می‌باشد. روش تالمود (TAL) و پینایل (PIN) نسبت به دو روش CEA و CEL متعادل‌تر است، همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود در پلیگون ۱ به دلیل اینکه مقدار آب موجود از نصف برداشت‌ها کمتر است دو روش تالمود و پینایل یک نتیجه را می‌دهد و در پلیگون‌هایی که مقدار آب موجود از نصف برداشت‌ها بیشتر باشد (پلیگون‌های ۲ تا ۴) درصد کاهش برداشتها در دو روش تالمود و پینایل کمتر از ۵۰ درصد است و تمام متقضیان بیشتر از نصف نیازشان برداشت می‌کنند. تفاوت این دو روش در این است که، در روش تالمود تعادل برداشت‌ها به نفع برداشت‌کنندگان کمتر و بالعکس در روش پینایل تعادل به نفع برداشت‌کنندگان بیشتر است.

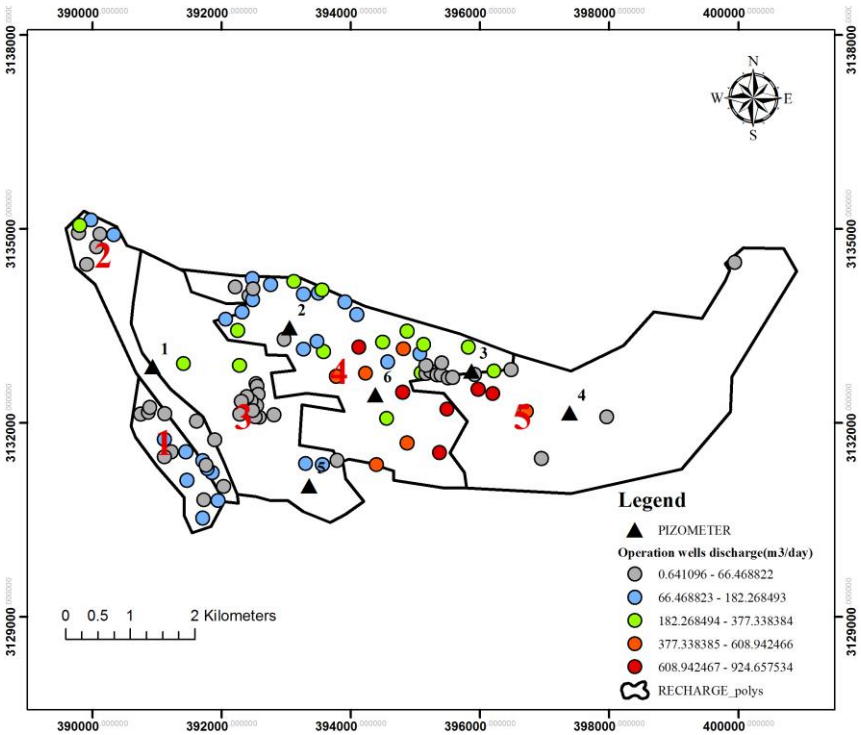

Fig. 5- Piezometer and operation wells in each polygon

شکل ۵- موقعیت پیزومترها و چاههای بهره‌برداری در هر پلیگون

www.SID.ir

Archive of SID

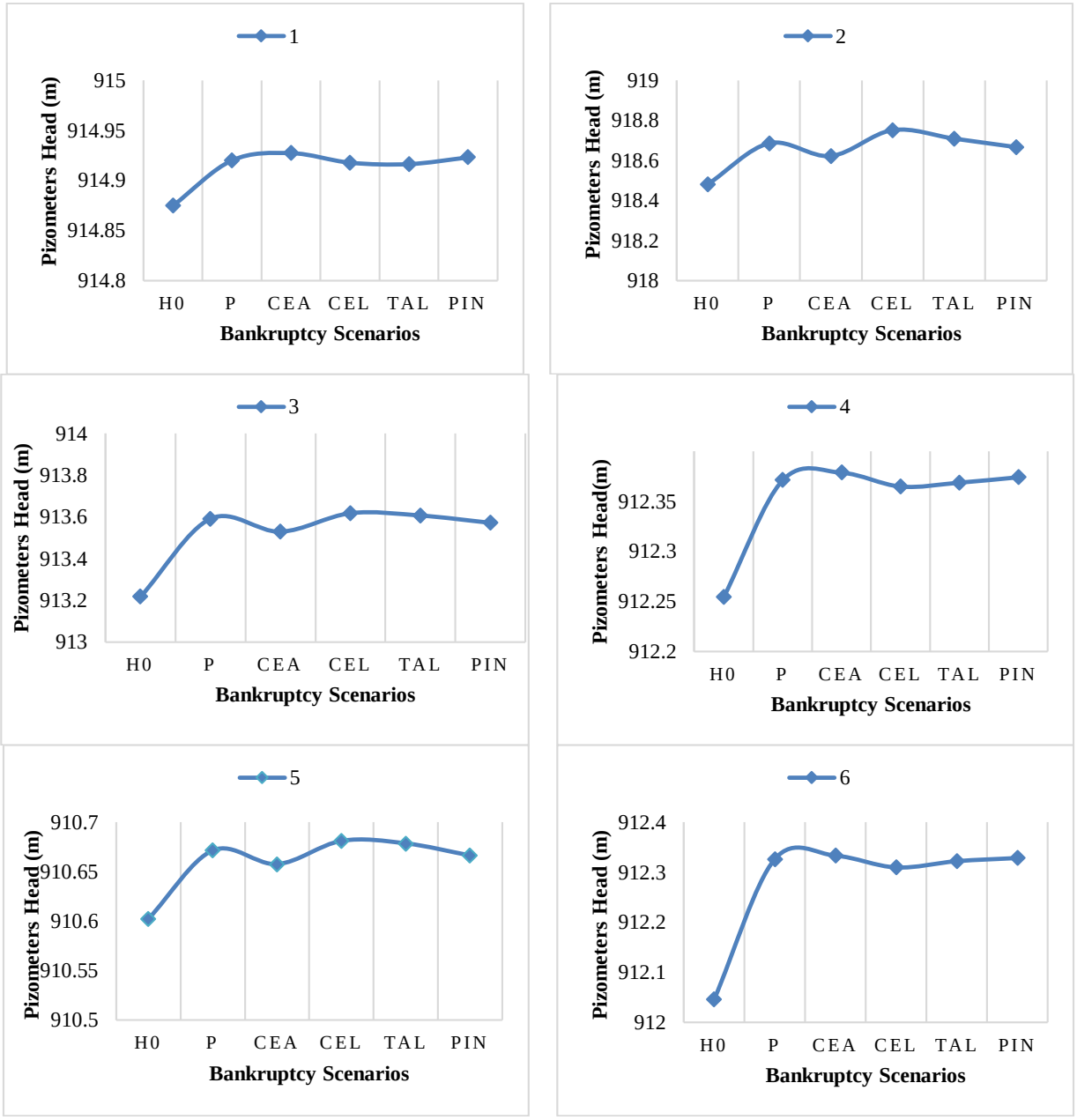

Fig. 6- Piezometers 1 to 6 head changes in bankruptcy method

شکل ۶- تغییرات تراز پیزومترهای ۱ تا ۶ در روش ورشکستگی

www.SID.ir

Archive of SID

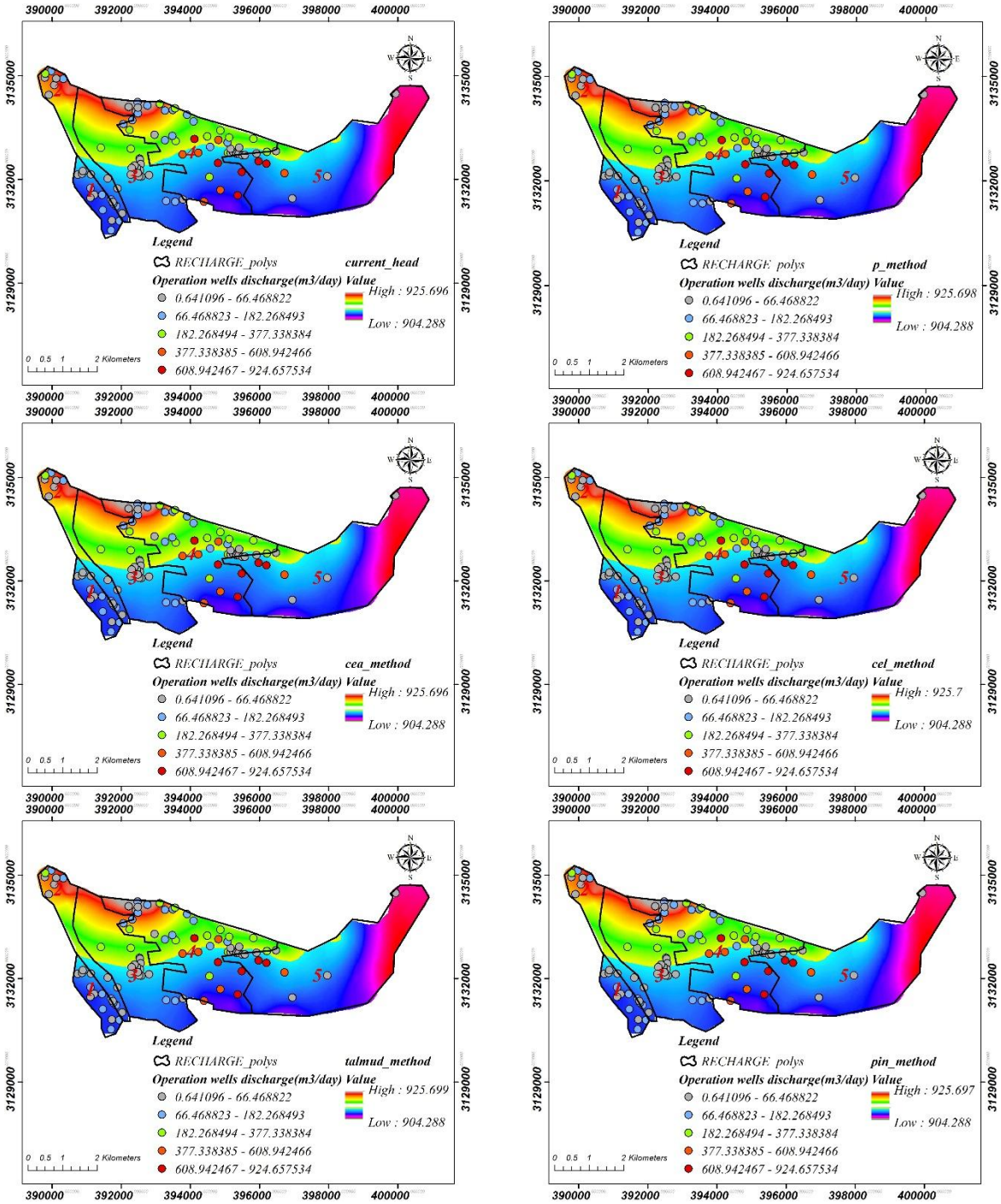

Fig. 7- Groundwater head before and after applying the bankruptcy methods

شکل ۷- تراز آب زیرزمینی قبل و بعد از اعمال تئوری ورشکستگی

در ادامه تأثیر تغییر برداشت‌ها بر تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد، مقدار آب اختصاص یافته به هر یک از چاهها بعد از اعمال تغییرات توسط ۵ تئوری ورشکستگی P، CEA، CEL، TAL و PIN به مدل شبیه‌سازی MODFLOW وارد و تراز آب زیرزمینی در کل آبخوان و پیزومترها محاسبه می‌شود.

شکل ۶ و شکل ۷ بیانگر نتیجه ترکیب مدل شبیه‌سازی آبخوان و نظریه ورشکستگی هستند و شکل ۶ موقعیت پیزومترها در پلیگون‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، بعد از اعمال نظریه ورشکستگی در برداشت از آبخوان، به علت کاهش برداشت آب از آبخوان، تراز آب زیرزمینی در پیزومترها تقریباً افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

داشته است ولی روند افزایش تراز پیزومترها به یک شکل نمی‌باشد و در هر پیزومتر یکی از روشها، روش مناسب‌تری از لحاظ افزایش تراز آب زیرزمینی است. مطابق شکل ۶ در پیزومترهای ۲، ۳ و ۵ روش CEL نتایج بهتری نسبت به سایر روشها دارد، زیرا تراکم چاههایی با برداشت کم و متوسط پلیگونهایی که این پیزومترها در آن قرار دارند، اطراف این پیزومترها بیشتر بوده لذا این چاهها مقدار برداشت‌شان کاهش زیادی یافته و در برخی موارد ممکن است هیچ برداشتی از آبخوان نداشته باشند. بنابراین سطح آب زیرزمینی در این پیزومترها بهبود و افزایش بیشتری یافته‌است. از طرف دیگر تراز آب زیرزمینی پیزومترهای ۴ و ۶ در روش CEA نسبت به سایر روشها افزایش بیشتری داشته‌است، زیرا چاههایی با برداشت زیاد و خیلی زیاد پلیگون‌هایی که این پیزومترها در آن قرار دارند در نزدیکی این پیزومترها بوده و در روش CEA که به نفع متقاضیان با برداشت کمتر است، این چاهها تغییر برداشت زیادی دارند بنابراین تراز آب زیرزمینی افزایش بیشتری داشته است. پیزومتر ۱ که در مرز پلیگون ۳ قرار دارد مطابق شکل ۶ در روش CEA نتیجه مطلوب‌تری دارد زیرا چاههایی با برداشت متوسط که بیشترین برداشت را در این پلیگون دارد نزدیک این پیزومتر واقع شده است و تغییر برداشت بیشتری نسبت به سایر چاههای پلیگون دارد بنابراین تراز آب زیرزمینی افزایش بیشتری نسبت به سایر روشها دارد. همانطور که قبلاً گفته شد در روش تالمود (TAL) تخصیص به صورت متعادل‌تری به نفع متقاضیانی که آب بیشتری درخواست می‌کنند دارد. بنابراین تأثیر این روش همانند روش CEL است و در مناطقی که روش CEL مطلوبتر است روش تالمود نیز مطلوبیت دارد. همچنین روش پینایل (PIN) برعکس روش تالمود تخصیص متعادل به نفع متقاضیان آب بیشتر صورت می‌گیرد؛ لذا تأثیر این روش مانند روش CEA است و در مناطقی که روش CEA وضعیت را بهبود می‌بخشد روش PIN نیز می‌تواند مؤثر باشد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است به دلیل تمرکز بیشتر چاهها، به ویژه چاههایی با برداشت زیاد و خیلی زیاد در مرکز آبخوان تراز آب زیرزمینی تغییر بیشتری نسبت به سایر نواحی کرده است همچنین به دلیل تمرکز کمتر چاهها و برداشت کمتر از شرق آبخوان، تراز آب در هر ۵ روش ورشکستگی تغییر نداشته است. در غرب آبخوان علی‌رغم تعداد زیاد چاهها، تراز آب بعد از اعمال تغییرات مطابق نقشه‌های شکل ۶، تفاوتی نکرده است؛ زیرا بسیار زیادی از این چاهها برداشت زیادی از آبخوان ندارند و تغییر برداشت‌شان تأثیر بسزایی بر تغییر تراز آب زیرزمینی ندارند.

با توجه به نتایج به دست‌آمده در این تحقیق می‌توان با اهداف مدیریتی مختلف، تصمیماتی را اتخاذ کرد، اگر تمرکز بر مدیریت مصرف‌کننده‌های عمده باشد، باتوجه به جدول ۵، CEA روش مناسبی برای کنترل برداشت چاهها می‌باشد زیرا اکثر مصرف‌کننده‌های آبخوان چاههایی با برداشت‌های کم هستند؛ لذا این روش به دلیل اولویت قرار دادن نیاز مصرف‌کنندگان کمتر، روش مناسبی است و منجر به کاهش تنش‌های اجتماعی می‌شود. معمولاً این متقاضیان توانایی سرمایه‌گذاری در تغییر الگوی کشت و بهبود راندمان آبیاری را ندارند و در این روش مصرف‌کنندگان می‌توانند به اندازه نیاز خود یا درصد بیشتری از نیاز خود را از آبخوان برداشت کنند بنابراین خسارت کمتری به آنها وارد خواهد شد. در مقابل اگر نیاز متقاضیانی که برداشت بیشتری از آبخوان دارند به دلیل مسائلی همچون داشتن قدرت بیشتر جهت جلوگیری از بروز خسارت و توایی مالی بیشتر در انجام تغییرات، در اولویت قرار گیرد روش CEL روش مناسبتری است. بنابراین با توجه به نتایج به دست‌آمده از این پژوهش می‌توان جوانب بسیاری را درنظر گرفت و قدرت تصمیم‌گیری با توجه به تعادل‌بخشی و حفظ پایداری آبخوان، افزایش می‌یابد. روش P نسبت به سایر روشها روش متعادل‌تری در اختصاص دادن آب به هر یک از متقاضیان می‌باشد و در این روش همه متقاضیان به یک نسبت از مقدار نیاز خود اجازه برداشت دارند ولی میزان رضایت همه ذینفعان ممکن است به یک اندازه نباشد. در روش تالمود (TAL) و پینایل (PIN) سعی بر این است که تعادل در تخصیص برقرار شود با این تفاوت که این تعادل در روش تالمود به نفع متقاضیان کمتر و در روش پینایل به نفع متقاضیان بیشتر است لذا در مواردی که نخواهیم فقط منافع یک گروه از مصرف‌کنندگان در اولویت قرار گیرد می‌توان از این دو روش استفاده کرد تا یک گروه از مصرف‌کنندگان مجبور نباشند هیچ برداشتی از آبخوان نداشته باشند زیرا در واقعیت امکان چنین اتفاقی کم است و همه مصرف‌کنندگان می‌بایست الگوی آبیاری و کشت خود را تغییر دهند و ممکن است از مقدار مجاز برداشت جدید خود ناراضی باشند لذا این موضوع باعث ایجاد تنش در کل آبخوان می‌شود.

۳-۳- بررسی پایداری تخصیص آب در نظریه‌های ورشکستگی

همانطور که گفته شد، در انتها پایداری نتایج ورشکستگی با استفاده از شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی (BASI) مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۶ مقادیر BASI را در هر روش نشان می‌دهد، هرچه این مقدار بیشتر باشد، پایداری روش کمتر است.

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۶، روش CEA بیشترین و روش CEL کمترین پایداری را دارند. بنابراین اگر در تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، پایداری آبخوان نیز مورد توجه قرار گیرد بـــهترین روش در تخصیـــص آب روش CEA می‌باشد همچنین در

www.SID.ir

Archive of SID

Table 6- Bankruptcy allocation stability index (BASI) for different bankruptcy solutions

جدول ۶- شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی (BASI) در روشهای مختلف ورشکستگی

Bankruptcy Allocation Stability Index (BASI)				
P_method	**CEA-method**	**CEL_method**	**TAL_method**	**PIN_method**
1.30	0.98	1.72	1.51	1.17

آبخوان حاجی‌آباد اکثر چاهها برداشت کم تا متوسط دارند و روش CEA برای این دسته از بهره‌برداران منفعت بیشتری دارد لذا این روش علاوه بر رضایت تعداد زیادی از مدعیان، باعث حفظ بیشتر پایداری آبخوان نیز می‌شود. از طرفی اگر روش متعادل‌تری در تخصیص منابع آب با در نظر گرفتن حفظ پایداری آبخوان هستیم، روش PIN نسبت به روش تالمود پایداری بیشتری دارد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

این پژوهش سعی در ارائه راهکارها و نتایجی برای تعادل‌بخشی آبخوان با استفاده از مدیریت و کاهش برداشت چاههای بهره‌برداری به وسیله روش ورشکستگی دارد. روشهای روشهای ورشکستگی نسبی (P)، ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)، روش ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)، روش تالمود (Talmud) و روش پینایل (Piniles) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از نتایج مدل شبیه‌سازی آبخوان در محاسبات روش ورشکستگی استفاده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده مناطقی که دارای چاههایی با برداشت زیاد هستند حساسیت بیشتری نسبت به سایر مناطق در برابر تغییر برداشتها داشته و تراز آب زیرزمینی در این مناطق افزایش بیشتری داشته است؛ لذا می‌توان فقط برداشت چاههای این مناطق را کاهش داد. بعد از اعمال ورشکستگی، بهترین روش از لحاظ افزایش تراز آب زیرزمینی در هر یک از مناطق، متفاوت است و یک روش واحد برای کل آبخوان نمی‌توان درنظر گرفت بنابراین اگر مسائل زیست‌محیطی مانند افزایش تراز آب زیرزمینی اولویت داشته‌باشد در مناطق مختلف، روش مناسب، متفاوت است. اگر مسائل مربوط به تنش‌های اجتماعی اولویت داشته‌باشند روش CEL، TAL، PIN و CEA روش مناسب‌تری است و طبق آنچه قبلا گفته شده است روش CEA و PIN به نفع مصرف کنندگان کمتر و روش CEL و TAL به نفع مصرف کنندگان بیشتر است لذا بنابر ملاحظات اجتماعی یکی از این روشها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در انتها پایداری تخصیص با استفاده از شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی (BASI) مورد بررسی قرار گرفت که در این تحقیق روش CEA پایداری بیشتری نسبت به سایر روشها دارد. نتایج این مقاله در قالب یک کارگاه مشورتی با عنوان کاربرد روش ورشکستگی در اصلاح پروانه چاهها در دشتهای ممنوعه و بحرانی، با حضور کارشناسان دفتر حفاظت و بهره‌برداری و مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب ایران مطرح گردید. در این کارگاه بیان شد که به جای تعدیل کلیه پروانه‌های بهره‌برداری از چاهها که تعارضات اجتماعی با خیل وسیعی از بهره‌برداران ایجاد می‌کند با استفاده از روش سودیکسان (CEA) یا پینایل (PIN) با بخشی از بهره برداران عمده وارد مذاکره شویم. در این قالب امکان تغییر تخصیص و همچنین راه‌اندازی بازار آب با محوریت بهره‌برداران عمده از آبخوان مطرح و تبادل نظر گردید. یکی از جنبه‌ها کاربردی این روش در طرح تعادل‌بخشی آبخوانها شناسایی بهره‌برداران عمده و تبادل نظر با آنها در خصوص تعدیل پروانه، تغییر تخصیص و یا ایجاد بازار آب به منظور کاهش برداشت از آبخوان با حفظ درامد (یا کاهش ناچیز درآمد) صاحبان چاه و بهره‌برداران می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1- Adjusted Proportional
2- Constrained Equal Award
3- Constrained Equal Loss
4- Game Theory
5- Proportional
6- Talmud
7- Piniles
8- Bankruptcy Allocation Stability Index
9- Bankruptcy Power Index

۵- مراجع

Aghasian K, Moridi A, Mirbagheri A, and Abbaspour M (2019) A conflict resolution method for waste load reallocation in river systems. International Journal of Environmental Science and Technology, Springer Berlin Heidelberg 16(1):79–88

Akbar Zadeh M, Ghahraman B, and Davary K (2016) Optimization of groundwater quality monitoring network in Mashhad Aquifer using spatio-temporal modeling. Iran-Water Resources Research, PhD Candidate, Irrigation & Drainage, International Campus, Ferdowsi University of Mashhad, Iran 12(1):133–144

Ansink E and Weikard H-P (2012) Sequential sharing rules for river sharing problems. Social Choice and Welfare 38(2):187–210

www.SID.ir

Archive of SID

treatment system. Water Resources Research 15(2):193–202

Madani K and Dinar A (2013) Exogenous regulatory institutions for sustainable common pool resource management: Application to groundwater. Water Resources and Economics 2–3:57–76

Madani K and Zarezadeh M (2012) Bankruptcy methods for resolving water resources conflicts. World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, 2247–2252

Madani K, Zarezadeh M, and Morid S (2014) A new framework for resolving conflicts over transboundary rivers using bankruptcy methods. Hydrology and Earth System Sciences 18(8):3055

Mianabadi H, Mostert E, Zarghami M, and van de Giesen N (2014) A new bankruptcy method for conflict resolution in water resources allocation. Journal of Environmental Management 144:152–159

Mirshafee S, Ansari H, and Mianabadi H (2015) Bankruptcy methods in transboundary rivers allocation problems, Case study: Atrak River. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 9(4):594–604 (In Persian)

Moridi A (2018) A bankruptcy method for pollution load reallocation in river systems. Journal of Hydroinformatics, IWA Publishing 21(1):45–55

Najjar Ghabel S, Zarghami M, Akhbari M, and Nadiri AA (2019) Groundwater management in Ardabil Plain using agent-based modeling. Iran-Water Resources Research 15(3):1–16 (In Persian)

Nikoo MR, Kerachian R, Karimi A, and Azadnia AA (2013) Optimal water and waste-load allocations in rivers using a fuzzy transformation technique: A case study. Environmental Monitoring and Assessment 185(3):2483–2502

O'Neill B (1982) A problem of rights arbitration from the Talmud. Mathematical Social Sciences 2(4):345–371

Zare Farjoudi S, Moridi A, and Mousavi Nadoushani S (2019) Applying bankruptcy approach in allocating point and non-point pollution in rivers. Iran-Water Resources Research 15(2):88–97 (In Persian)

Auman R and Maschler M (1985) Game theoretic analysis of a bankruptcy problem from the Talmud. Journal of Economic Theory 36(2):195–213

Banihabib M E and Najafi Morghmaleki S (2018) Assessment of game and bankruptcy theories to supply environmental water of Hawizeh Wetland. Iran-Water Resources Research 14(2):12–22 (In Persian)

Burn D H and Lence B J (1992) Comparison of optimization formulations for waste-load allocations. Journal of Environmental Engineering, American Society of Civil Engineers 118(4):597–612

Burn DH and McBean EA (1985) Optimization modeling of water quality in an uncertain environment. Water Resources Research 21(7):934–940

Dagan N and Volij O (1993) The bankruptcy problem: A cooperative bargaining approach. Mathematical Social Sciences, Citeseer 26(3):287–297

Estalaki SM, Abed-Elmdoust A, and Kerachian R (2015) Developing environmental penalty functions for river water quality management: Application of evolutionary game theory. Environmental Earth Sciences 73(8):4201–4213

Herrero C and Villar A (2001) The three musketeers: Four classical solutions to bankruptcy problems. Mathematical Social Sciences 42(3):307–328

Ketabchi H and Ataie-Ashtiani B (2011) Development of combined ant colony optimization algorithm and numerical simulation for optimal management of coastal aquifers. Iran-Water Resources Research 7(1):1–12 (In Persian)

Liebman JC and Lynn WR (1966) The optimal allocation of stream dissolved oxygen. Water Resources Research 2(3):581–591

Loáiciga HA (2004) Analytic game- Theoretic approach to ground-water extraction. Journal of Hydrology 297(1–4):22–33

Loehman E, Orlando J, Tschirhart J, and Whinston A (1979) Cost allocation for a regional wastewater

www.SID.ir