اقتصادکشاورزی و توسعه، سال هفدهم، شماره ٦٨، زمستان ١٣٨٨

مدل بهره‌برداری پایدار از سفره آب زیرزمینی مشترک میان بهره‌برداران شهری و کشاورزی با استفاده از نظریه بازیها

حامد مازندرانی‌زاده*، دکتر عباس قاهری**، دکتر قهرمان عبدلی***

تاریخ دریافت : ۸۷/۳/۱۳ تاریخ پذیرش : ۸۷/۱۲/۱۷

چکیده

رشد و گسترش جمعیت از یک سو و تأمین آب برای تهیه مواد غذایی جمعیت در حال رشد از سوی دیگر در دهه‌های اخیر باعث بروز اختلافهای جدی در میان بهره‌برداران از منابع آب شده است. به جهت محدودیت این منابع، ضرورت بهره‌برداری پایدار از این منابع مشهود است. در سیستمهایی که متشکل از چندین تصمیم‌گیر مستقل می‌باشند، نظریه بازیها ابزاری توانمند در دستیابی بهره‌برداران به نقطه تعادل پایدار می‌باشد. هدف از این تحقیق نیز ارائه یک مدل پویا به منظور رفع اختلاف میان بهره‌برداران از آبخان مشترک و دستیابی به تعادل پایدار است.

* دانشجوی دوره دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول)
e-mail:hzadeh@ iust.ac.ir
** دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران e-mail:ghaheri@iust.ac.ir
*** استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران e-mail:g_abdoli@yahoo.com

در این مقاله براساس نحوه همکاری و میزان تعامل بهره‌برداران از آبخان، رفتار آنها در قالب سه سناریو مدل شده است: سناریوی الف) مدل بازیهای ایستا بدون همکاری، ب) مدل بازیهای پویا بدون همکاری و ج) مدل با همکاری کامل. به منظور مقایسه نتایج حاصل از اعمال سناریوهای فوق، بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی مشترک - که در بین دو بهره‌بردار شهری و کشاورزی در منطقه فرضی واقع شده است - مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد عواید حاصل از مدلِ با همکاری کامل بیش از مدلهای بدون همکاری است. همچنین استفاده از مدل رفع اختلاف پویای پیشنهادی افزایش ۲۰ درصد عایدی بهره‌برداران را نسبت به مدل رفع اختلاف ایستا در پی خواهد داشت.

طبقه‌بندی JEL: Q34, Q25, C73, C72 l, C11

کلیدواژه‌ها:

رفع اختلاف، بهره‌برداری پایدار، نظریه بازیها، سفره آب زیرزمینی، بهره‌بردار کشاورزی

مقدمه

از جمله مهمترین و ارزانترین منابع تأمین آب، آبهای زیر زمینی می‌باشد که همواره مورد اختلاف و نزاع میان بهره‌برداران در سطوح محلی، منطقه‌ای، ملی و بین المللی بوده است. تنوع موضوعات مورد اختلاف میان بهره‌برداران آبخانها با توجه به عدم انطباق مرزهای جغرافیایی و محدوده آبخان، گستردگی محدوده طبیعی یک آبخان و تعدد بهره‌برداران و تأثیرگذاران بر آن، تأثیر پذیری از عوامل متعدد کمی- کیفی نظیر بارش، پمپاژ، دفن مواد آلاینده، استفاده از سموم شیمیایی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی و... بسیار گسترده است. با توجه به کمبود منابع آب، از دیر باز روشهایی جهت بهبود کارایی و بهینه سازی عملیات بهره‌برداری، توزیع و انتقال منابع آب زیرزمینی مورد توجه محققین بوده است. تحقیقات

زیادی در زمینه بهینه سازی بهره‌برداری و تخصیص آبهای زیر زمینی انجام شده است. نکته حائز اهمیت در تمام تحقیقات گذشته این است که هر یک از زاویه دید مربوط به بهره‌بردار خاص به موضوع بهره‌برداری از آبخانها نگریسته اند و بهینه سازی انجام شده صرفاً معطوف به ارضای اهداف یک بهره‌بردار از مجموع بهره‌برداران می‌باشد. در حالی که در شرایط عملی باید قوانین بهره‌برداری از آبخانها به گونه ای تعیین شود که در عین اینکه به ملاحظات طبیعی آبخانها و محدودیتهای حاکم بر آنها توجه داشته باشد، قوانین بهره‌برداری را به گونه ای تنظیم نماید که منجر به رفع اختلاف میان بهره‌برداران شود و متضمن بهره‌برداری پایدار و بهینه از آبخان باشد.

انزوال و تخریب منابع طبیعی مشترک میان چند بهره‌بردار، تبدیل به قاعده ای فراگیر در وضعیت کمی و کیفی بهره‌برداری از منابع طبیعی شده است و هاردین (Hardin, 1968,1993) از آن با عنوان «تراژدی مشترکات[1]» نام برده است. وی در توضیح روند رو به گسترش تخریب منابع طبیعی مشترک به موضوع « سود یک بهره‌بردار در مقابل ضرر همگان[2]» اشاره می‌نماید. به عبارت دیگر سرپیچی یک بهره‌بردار از قوانین فقط منجر به سود کوتاه مدت شخص او خواهد شد در حالی که ضرر حاصل از تصمیم خطای وی دامنگیر تمام بهره‌برداران خواهد شد. در شرایطی که بازیکنان تن به قواعد بازی و محدودیتها ندهند، تنبیه‌های مناسب وضع نشده باشد و یا بازیکنان نتوانند منافع دراز مدت خویش را مدنظر قرار دهند، تراژدی مشترکات در انتظار بازیکنان خواهد بود. در زمینه بهره‌برداری از منابع طبیعی به شکل عام و بهره‌برداری ازمنابع آب زیر زمینی به شکل خاص مدارک متعددی وجود دارد که امکان شکل‌گیری چنین شرایطی‌رابه‌اثبات‌رسانیده‌اند (Clarke & et al., 1996) و(Loaiciga & et al., 2000). از دیرباز حرکت به سوی ارائه مدلهای همگون با محیطهای تصمیم‌گیری، به منظور رفع اختلاف میان بهره‌برداران و دستیابی به تعادل پایدار مورد توجه محققین بوده است.

1. tragedy of commons
2. common cost v.s. private profit (CC-PP)

هر چند تحقیقات بسیاری در تاریخ شکل‌گیری نظریه بازیها وجود دارد، اما عموماً شروع مباحث نظریه بازیها را به وان نیومن و مورگنسترن[1] پس از انتشار کتابی با عنوان "The theory of games in economic behavior" در سال ۱۹۴۴ می‌توان نسبت داد. پژوهشگران‌مختلفی‌نیز(Nash ,۱۹۵۰b ،۱۹۵۱a،۱۹۵۰و۱۹۵۳, ۱۹۵۳b ،۱۹۵۳a ,Shapley; ۱۹۵۳ , Gillies; ۱۹۸۸ , Harsanyi and Selten) درگسترش نظریه‌بازیها نقش‌ارزنده‌ای‌ایفا نمودند.

استفاده از نظریه بازیها در زمینه بهره‌برداری از منابع طبیعی مشترک به منظور رفع اختلاف میان بهره‌برداران به تدریج مورد توجه محققین قرار گرفت؛ برای مثال فیشر و میرمان در بهره‌برداری از منابع آبی مشترک به منظور ماهیگیری (Fisher and Mirman, 1992) با استفاده از بازیهای بدون همکاری، برتون و همکارانش در زمینه کنترل انتشار آلاینده هوا (Breton & et al.,2006) و مازندرانی زاده و قاهری (۱۳۸۶) با استفاده از بازیهای بدون همکاری، کاپولا و زیداروفسکی در زمینه بهره‌برداری همکارانه از سفره آب زیرزمینی مشترک (Coppola and Szidarovszky,2004)، مسانگی در زمینه بهره‌برداری بدون همکاری از سفره آب زیرزمینی مشترک (Msangi, 2006) و گانجی و همکارانش در زمینه بهره‌برداری همکارانه از مخازن سد (Ganji & et al., 2007) به مطالعه پرداختند. بورنس و بریل (Burness and Brill,2001) به تشریح اثر ضریب تورم سالانه، اثر افزایش تقاضا، به کارگیری ادوات پمپاژ جدید با بهره‌وری بیشتر در طی سالهای بهره‌برداری، استفاده از مدلهای هیدرولیکی مناسب و... بر نتایج مدلهای رفع اختلاف پرداختند. با احتساب عوامل فوق مزیت استفاده از مدلهای همکارانه بر مدلهای غیر همکارانه به وضوح آشکار گشت. کاپولا و زیداروفسکی(Coppola and Szidarovszky, 2004) به بررسی حل اختلاف میان سازمان تأمین‌کننده آب و سازمان بهداشت پرداختند. مسئله به بررسی تعیین سیاستهای بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی جهت تأمین آب شرب شهر می پردازد، در حالی که بخشی از سفره آلوده به نوعی آلاینده می باشد. افزایش دبی پمپاژ باعث ایجاد شیب هیدرولیکی بیشتر و افزایش

1. Von Neumann and Morgenstern

ریسک آلودگی می شود و از طرفی کاهش میزان پمپاژ باعث نارضایتی ساکنین خواهد شد. به منظور محاسبه تغییرات سطح آبخان بر اثر تصمیمات بازیکنان، در ابتدا با استفاده از نتایج مدل هیدرولیکی Modflow به آموزش یک مدل شبکه عصبی[1] پرداخته شده است و در ادامه به منظورکاهش زمان محاسبات، از مدل شبکه عصبی آموزش داده شده به جای مدل هیدرولیکی Modflow استفاده گردیده است. لویسیگا و همکارانش (Loaiciga & et al.,2000) به بررسی رفتار همکارانه و بدون همکاری دو بهره‌بردار آبهای زیرزمینی از دیدگاه نظریه بازیها پرداختند. دو بهره‌بردار از آبخان مشترک مشغول پمپاژ آب هستند. این دو یا می توانند به صورت همکارانه نسبت به تعیین سهم خویش از میزان کل پمپاژ اقدام نمایند و یا بدون همکاری اقدام به بهره‌برداری نمایند. نتایج اجرای مدل، در آبخان ساحلی سانتاباربارا[2] در ایالات متحده، در حالت بازی دونفره حکایت از مزیت بسیار زیاد رفتار هم کارانه نسبت به رفتار بدون هم کاری دارد. ناکائو و همکارانش (Nakao & et al., 2002) به تشریح منافع موجود در همکاری دو رقیب دیرینه بهره‌برداری از آبخان مرزی مشترک آمریکا و مکزیک پرداختند. در اغلب تحقیقات گذشته به منظور کاهش حجم محاسبات، به جای استفاده از روابط هیدرولیکی در تخمین مقدار افت سطح آبخان، از روابط تقریبی استفاده شده است. در حالی که استفاده از روابط هیدرولیکی، که توانایی محاسبه دقیق مقدار افت سطح آب زیرزمینی را دارا باشند، به نتایج قابل اعتمادتری منجر خواهد شد. در این تحقیق از معادله چاه تایس به منظور پیش‌بینی مقدار افت سطح آبخان استفاده خواهد شد. همچنین در اغلب مطالعات فوق، تصمیمات بازیکنان به صورت متغیری پیوسته مدل شده است در حالی که در مسائل واقعی نظیر مسئله بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی دبی پمپاژ، به عنوان متغیر تصمیم بازیکنان، به صورت متغیر گسسته می باشد. در تحقیق حاضر استفاده از متغیرهای تصمیم گسسته مدنظر قرار گرفته است.

هدف‌از این تحقیق ارائه یک مدل رفع اختلاف پویا در شرایط بدون همکاری می‌باشد. مدل پیشنهادی نسبت به مدل تحقیقات قبلی در زمینه حل بازیهای ایستای بدون همکاری و

1. Neural Network
2. Santa Barbara

برنامه‌ریزی پویا، توسعه یافته‌تر می‌باشد. این مدل در مطالعه و تدوین راهبردهای بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی مشترک کاربرد دارد. در یک بازی پویا انتخاب راهبرد در هر مرحله از طریق انجام یک بازی ایستا و انتقال پیامدها از مرحله‌ای به مرحله دیگر از طریق برنامه‌ریزی پویا صورت می گیرد.

مواد وروشها

در این تحقیق براساس رفتار و نحوه تعامل بهره‌برداران با یکدیگر، بهره‌برداری از آبخان در قالب سه سناریو: الف) مدل بازیهای ایستا بدون همکاری، ب) مدل بازیهای پویا بدون همکاری و ج) مدل همکارانه بررسی شده است. از آنجا که هدف این تحقیق ارائه یک مدل رفع اختلاف پویا می باشد، افزایش تعداد بهره‌برداران بر نحوه مدلسازی بی‌تأثیر خواهد بود و صرفاً باعث افزایش حجم محاسبات خواهد شد. لذا در این تحقیق نظیر تمام مطالعات پیشگفته، که به رفع اختلاف میان تنها دو بهره‌بردار پرداخته اند، مدل پیشنهادی به همراه دو سناریوی دیگر، در مسئله رفع اختلاف میان دو بهره‌بردار شهری و کشاورزی که به منظور رفع تأمین آب شرب شهری و آبیاری مزارع گندم مشغول پمپاژ از آبخان مشترک هستند، اعمال شده است.

۱. مروری بر اصول و مبانی نظریه بازیهای ایستا

نظریه بازیها یا راهبرد رقابت، نظریه‌ای ریاضی است که با موقعیتهای رقابتی سروکار دارد. این نظریه زمانی سودمند است که دو یا چند تصمیم‌گیر با هدفهای متعارض سعی در تصمیم‌گیری داشته باشند. در چنین موقعیتی، تصمیم یکی از تصمیم‌گیران بر تصمیم سایرین تأثیر می‌گذارد. این نظریه در زمینه‌های بسیار وسیعی مانند پیکار دو بازیکن در عرصه شطرنج، مبارزات انتخاباتی نمایندگان، طرح تاکتیکهای جنگی دو کشور متخاصم، رقابت شرکتهای تجاری برای حفظ سهام خود در بازار و غیره کاربرد دارد. نظریه بازیها چگونگی اجرای بازی را شرح نمی‌دهد بلکه فقط به شرح روش و اصول انتخاب حرکات بازیکنان می‌پردازد (عبدلی، ۱۳۸۶).

راهبرد خالص (مجموعه انتخابهای پیش روی هر بازیکن): اگر تعداد راهبردهای خالص بازیکن i را با m_i و مجموعه آنها را با M_i نمایش دهیم، لذا می‌توان مجموعه اعضای M_i را با m_i عدد صحیح نخست نمایش داد؛ به عبارت دیگر $M_i = \{1,2,...,m_i\}$.

راهبرد آمیخته (ترکیب احتمالاتی از مجموعه انتخابهای پیش روی بازیکنان): اگر مجموعه احتمالات تعریف شده بر k نقطه را با x_k نمایش دهیم:

$$x_k = \left\{ (x_1, x_2, ..., x_k) \middle| \forall x_i \geq 0 \ \ and \ \sum_{i=1}^{k} x_i = 1 \right\} \qquad (۱)$$

مجموعه احتمالات تعریف شده بر m_i انتخاب بازیکن i، برابر x_{m_i} می‌باشد. لذا می‌توان مجموعه راهبردهای آمیخته بازیکن i را با S_i نمایش داد که $S_i = x_{m_i}$. در ادبیات نظریه بازیها S_i فضای تصمیم‌گیری بازیکن i نیز نامیده می‌شود.

شکل راهبردی بازی: بازی G در شکل راهبردی به صورت سه تایی زیر نمایش داده می‌شود:

$$G = \left(N, (M_i)_{i \in N}, (u_i)_{i \in N}\right) \qquad (۲)$$

به طوری که $N = \{1,2,...,n\}$ مجموعه بازیکنان و $M_1, M_2, ..., M_n$ مجموعه راهبردهای بازیکنان می‌باشد. $u_i(m_1, m_2, ..., m_n) \to R$ پیامد[1] بازیکن i است هنگامی که راهبرد برگزیدهٔ سایر بازیکنان $m_1, m_2, ..., m_n$ باشد به گونه‌ای‌که $m_j \in M_j$ برای $j = 1,2,...,n$. بنابراین، پیامد بازیکن i نه تنها به راهبرد انتخابی او، بلکه به راهبرد انتخابی سایر رقبا نیز بستگی دارد. ماتریس پیامد بازیکن i، ماتریسی است که درایه‌های آن پیامد بازیکن i را در مقابل هر جفت تصمیم او و رقبایش بیان می‌نماید.

اگر تعداد بازیکنان یک بازی برابر ۲ باشد، به آن بازی " بازی دونفره[2] " گویند. بازی دو نفره را می‌توان به صورت $BG = (S_I, S_{II}, A, B)$ نمایش داد که S_I و S_{II} به ترتیب مجموعه راهبردهای آمیخته بازیکن I و II است و A و B نیز به ترتیب ماتریس پیامد بازیکنان

1. Payoff
2. Bimatrix Game

I و II می‌باشد. هر بازی $BG=(S_{\mathrm{I}},S_{\mathrm{II}},A,B)$ حداقل یک نقطه تعادل دارد (Nash, 1951). جواب بازی BG از طریق حل مسئله برنامه ریزی درجه ۲ به شرح زیر به دست می‌آید:

شرط‌لازم‌وکافی‌برای‌آنکه (x^*,y^*) جواب بازی $BG=(S_{\mathrm{I}},S_{\mathrm{II}},A,B)$ باشد این است که این بردار، جواب مسئله برنامه ریزی درجه ۲ زیر باشد (Mangasarian and Stone, 1964):

$$\begin{aligned}&\max\ x^T(A+B)y-\alpha-\beta\\&st:\\&ay\le\alpha e,\qquad B^Tx\le\beta e,\qquad x\in S^m,y\in S^n,\quad \alpha,\beta\in R\end{aligned}\tag{۳}$$

اگر $(x^*,y^*,\alpha^*,\beta^*)$ جواب برنامه ریزی درجه دو فوق باشد می‌توان نتیجه گرفت:

$$^*=x^{*T}Ay^*,\qquad \beta^*=x^{*T}By^*\qquad and\qquad x^{*T}(A+B)y^*-\alpha^*-\beta^*=0\tag{۴}$$

x^* و y^* به ترتیب راهبرد تعادلی بازیکنان I و II نامیده می شود. به این ترتیب نقطه تعادل راهبردی بازی، برداری است که در آن هر یک از بازیکنان بهترین پاسخ را در مقابل بازی سایر رقبا به کار بسته باشند. در این صورت هیچ بازیکنی تمایل به تغییر راهبرد ندارد و بردار (x^*,y^*) نقطه تعادل پایدار بازی BG خواهد بود.

۲. توسعه بازیهای پویا و ارائه روش حل

در این بخش به توسعه بازیهای پویا پرداخته خواهد شد. بازی پویا به تکرار تعداد محدودی بازی ایستا در ایستگاه‌های زمانی مشخص (روزانه، ماهانه و...) گفته می‌شود که هر بازیکن از نتایج بازی در ایستگاه‌های زمانی گذشته آگاه است.

توسعه بازیهای پویا

یک بازی پویا متشکل از دو بازیکن I و II را در نظر می‌گیریم. فرض کنیم تصمیم بازیکن I و II در ایستگاه زمانی t به ترتیب D_t^{I} و D_t^{II} باشد به گونه‌ای که $D_t^I\in M_i$. مطابق تعریف بخش قبل، M_i مجموعه راهبردهای خالص بازیکن i است. t شمارنده ایستگاه‌های زمانی می‌باشد. اگر وضعیت اولیه سیستم در ایستگاه t را با R_t و همچنین کمترین و بیشترین مقدار ممکن از وضعیت اولیه سیستم را به ترتیب با $R^{\min}$ و $R^{\max}$ نمایش دهیم، در این

صورت متغیر گسسته وضعیت اولیه سیستم در ماه t را می‌توان به صورت $R_t = \{R^i \mid R^{\min} < R^i < R^{\max} \ , \ i = 1 \cdots k\}$ نمایش داد. اگر پیامد بازیکنان I و II در ایستگاه زمانی t را به ترتیب با P_t^{I} و P_t^{II} نمایش دهیم، پیامد هر بازیکن تابعی از وضعیت سیستم، تصمیم وی و همچنین تصمیم بازیکن رقیب می‌باشد، به طوری که $P_t^{\mathrm{I}} = f(R_t, D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}})$ و $P_t^{\mathrm{I}} = g(R_t, D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}})$ است. f و g به ترتیب توابع پیامد دلخواه برای بازیکن I و II می‌باشد. چنین پیامدهایی برای بازیکنان در طی تمام ایستگاه‌های بازی وجود خواهد داشت. تصمیمات بهینه هر بازیکن در طول بازی، مجموعه تصمیماتی است که کسب بیشترین مقدار سود را برای وی به همراه داشته باشد. به این ترتیب یک بازی پویای مرحله‌ای را می‌توان مطابق رابطه زیر بیان نمود:

$$U^{*\mathrm{I}} = \max_{D_t^{\mathrm{I}}} \left\{ \sum_{t=1}^{T_f} P_t^{\mathrm{I}} \right\} \qquad (۵)$$

$$U^{*\mathrm{II}} = \max_{D_t^{\mathrm{II}}} \left\{ \sum_{t=1}^{T_f} P_t^{\mathrm{II}} \right\}$$

که $U^{*\mathrm{I}}$ و $U^{*\mathrm{II}}$ به ترتیب بیشترین پیامد بازیکنان I و II در طی کل ایستگاه‌های بازی و T_f تعداد ایستگاه‌های انجام بازی می‌باشد. اگر هر دو بازیکن از وضعیت اولیه سیستم در ایستگاه زمانی t آگاه باشند، مطابق اصل بهینگیِ بلمن[1]، تصمیم تعادلی[2] هر بازیکن در این ایستگاه، تصمیمی است که منجر به کسب بیشترین مقدار پیامد تا انتهای دوره برنامه‌ریزی گردد؛ به عبارت دیگر در هر ایستگاه زمانی t، هر دو رابطه ۵ و ۶ باید به صورت توأم برای هر دو بازیکن برقرار گردد:

$$U_t^{*\mathrm{I}}\left(R_t, D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{*\mathrm{II}}\right) = \max_{D_t^{\mathrm{I}}} \left\{ P_t^{\mathrm{I}} + U_{t+1}^{*\mathrm{I}}\left(R_{t+1}, D_{t+1}^{*\mathrm{I}}, D_{t+1}^{*\mathrm{II}}\right) \right\} \qquad (۶)$$

$$U_t^{*\mathrm{II}}\left(R_t, D_t^{*\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}}\right) = \max_{D_t^{\mathrm{II}}} \left\{ P_t^{\mathrm{II}} + U_{t+1}^{*\mathrm{II}}\left(R_{t+1}, D_{t+1}^{*\mathrm{I}}, D_{t+1}^{*\mathrm{II}}\right) \right\} \qquad (۷)$$

1. Bellman
2. Equilibrium Decision

که در آن $U_t^{*\mathrm{I}}$ و $U_t^{*\mathrm{II}}$ به ترتیب بیشترین پیامد بازیکن I و II از ایستگاه t تا ایستگاه انتهایی T_f می‌باشد. $D_t^{*\mathrm{I}}$ و $D_t^{*\mathrm{II}}$ نیز به ترتیب تصمیم تعادلی بازیکن I و II در این ایستگاه می‌باشد. دقت در سمت راست معادلات فوق نشان می‌دهد که بازیکنان در انتخاب تصمیم تعادلی در مرحله t باید هم به منافع کوتاه‌مدت (P_t^{I} و P_t^{II}) توجه داشته باشند و هم منافع درازمدت، ($U_{t+1}^{*\mathrm{I}}$ و $U_{t+1}^{*\mathrm{II}}$) را مدنظر قرار دهند.

روش حل بازیهای پویا

به منظور حل بازی پویا از ترکیب برنامه‌ریزی پویا[1] و حل بازیهای ایستا استفاده شده است. برنامه‌ریزی پویا روشی است که توسط بلمن (Bellman,1957) به‌طور گسترده بسط یافته است. برنامه‌ریزی از ایستگاه زمانی انتهایی ($t=T_f$) آغاز می‌شود. به ازای هر یک از حالتهای ممکن از وضعیت اولیه سیستم در انتهای دوره برنامه‌ریزی ($R_{T_f}=R^1\cdots R^k$) و به ازای کلیه تصمیمات بازیکنان ($De_{T_f}^i \in M_i, i=\mathrm{I},\mathrm{II}$)، ماتریس پیامد بازیکنان I و II تشکیل می‌شود. با حل هر یک از k بازی ایستا با استفاده از رابطه ۲، تصمیم تعادلی بازیکنان به دست می‌آید. با حرکت رو به عقب، در ایستگاه زمانی $t=T_f-1$ نیز به ازای هر یک از حالتهای ممکن از وضعیت اولیه سیستم و به ازای کلیه تصمیمات بازیکنان، پیامد آنها در ایستگاه زمانی $t=T_f-1$ محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه وضعیت انتهایی دوره $t=T_f-1$ معادل وضعیت ابتدایی دوره بعد $t=T_f$ می‌باشد و در ایستگاه زمانی $t=T_f$ نیز نتایج تصمیمات بازیکنان در صورت قرار گیری در هر یک از شرایط اولیه محاسبه شده است، لذا با جمع پیامد فعلی (ایستگاه $t=T_f-1$) و پیامد آینده (ایستگاه $t=T_f$)، ماتریس تجمعی پیامد بازیکنان در دوره $t=T_f-1$ ایجاد خواهد شد. با حل بازی شکل گرفته در این مرحله، بازیکنان تصمیمی را می‌گیرند که منجر به کسب بیشترین پیامد از ایستگاه $t=T_f-1$ تا انتهای دوره برنامه‌ریزی برای آنها شود. با حرکت رو به عقب تا رسیدن به ایستگاه زمانی $t=1$ عملیات فوق ادامه می‌یابد. لذا بازیکنان در ایستگاه اول با ماتریس پیامدی مواجهند که درایه‌های آن

1. Dynamic Programming

پیامد تجمعی بازیکنان از ابتدا تا انتهای بازی می‌باشد و از حل آن راهبرد تعادلی بازیکنان در ایستگاه اول محاسبه خواهد شد. در زیر الگوریتم حل بازی پویا نشان داده می‌شود.

$$
\begin{aligned}
&for\ t = T_f : 1\\
&\quad for\ R_t = R_t^1 : R_t^k\\
&\quad\quad for\ D_t^{\mathrm{I}} = 1 : m_{\mathrm{I}}\\
&\quad\quad\quad for\ D_t^{\mathrm{II}} = 1 : m_{\mathrm{II}}\\
&\quad\quad\quad\quad P_t^{\mathrm{I}} = f(D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}}, R_t)\ ,\ \ P_t^{\mathrm{II}} = g(D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}}, R_t)\\
&\quad\quad\quad\quad if\ \ t = T_f\\
&\quad\quad\quad\quad\quad U_t^{\mathrm{I}}(R_t, D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}}) = P_t^{\mathrm{I}}\ ,\ U_t^{\mathrm{II}}(R_t, D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}}) = P_t^{\mathrm{II}}\\
&\quad\quad\quad\quad else\\
&\quad\quad\quad\quad\quad U_t^{\mathrm{I}}(D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}}, R_t) = P_t^{\mathrm{I}} + U_{t+1}^{*\mathrm{I}}(D_{t+1}^{*\mathrm{I}}, D_{t+1}^{*\mathrm{II}}, R_{t+1})\\
&\quad\quad\quad\quad\quad U_t^{\mathrm{II}}(D_t^{\mathrm{I}}, D_t^{\mathrm{II}}, R_t) = P_t^{\mathrm{II}} + U_{t+1}^{*\mathrm{II}}(D_{t+1}^{*\mathrm{I}}, D_{t+1}^{*\mathrm{II}}, R_{t+1})\\
&\quad\quad\quad\quad end\\
&\quad\quad\quad end\\
&\quad\quad end\\
&\quad Construct\, A_t(R_t)\ and\ B_t(R_t) \Rightarrow Calculate\ D_t^{*\mathrm{I}}\ \ and\ D_t^{*\mathrm{II}}\\
&\quad if\ \ t = T_f\\
&\quad\quad U_t^{*\mathrm{I}}(R_t) = f(D_t^{*\mathrm{I}}, D_t^{*\mathrm{II}}, R_t)\quad ,\ \ U_t^{*\mathrm{II}}(R_t) = g(D_t^{*\mathrm{I}}, D_t^{*\mathrm{II}}, R_t)\\
&\quad else\\
&\quad\quad U_t^{*\mathrm{I}}(R_t) = f(D_t^{*\mathrm{I}}, D_t^{*\mathrm{II}}, R_t) + U_{t+1}^{*\mathrm{I}}(D_{t+1}^{*\mathrm{I}}, D_{t+1}^{*\mathrm{II}}, R_{t+1})\ ,\\
&\quad\quad U_t^{*\mathrm{II}}(R_t) = g(D_t^{*\mathrm{I}}, D_t^{*\mathrm{II}}, R_t) + U_{t+1}^{*\mathrm{II}}(D_{t+1}^{*\mathrm{I}}, D_{t+1}^{*\mathrm{II}}, R_{t+1})\\
&\quad end\\
&\ end\\
&end
\end{aligned}
$$

۳. سناریوهای تعامل بازیکنان با یکدیگر

در این بخش براساس نحوه تعامل بازیکنان با یکدیگر، رفتار آنها در قالب سه سناریوی زیر بررسی شده است:

مدل بازیهای ایستا بدون همکاری (سناریوی ۱)

در این‌مدل فرض‌می‌شود بازیکنان‌در تعیین مقدار پمپاژ ماهانه از سیاستهای نزدیک‌بینانه تبعیت می‌نمایند. به عبارت دیگر بازیکنان توانایی دوراندیشی نداشته و تصمیمات ماهانه آنها به منظور حصول به نقطه تعادل در همان ماه می‌باشد. بنابراین در طول دوره بهره‌برداری ، T_f بازی ایستای مستقل از یکدیگر میان بازیکنان شکل می‌گیرد.

$$\begin{aligned} &for\ t = 1 : T_f \\ &\quad for\ i = 1 : 2 \\ &\qquad \max_{D_t^i \in M}\ U_t^i = P_t^{\mathrm{i}} \qquad (۸) \\ &\quad end \\ &end \end{aligned}$$

مدل بازی پویا بدون همکاری (سناریوی ۲):

در بازیهای پویای مرحله‌ای، هدف هر بازیکن کسب بیشترین سود ممکن در عین توجه به نقطه تعادل و تصمیمات بازیکن رقیب می‌باشد. به عبارت دیگر بازیکنان در این سناریو دارای‌سیاستهای‌دوراندیشانه می‌باشند. مشخصات این مدل به تفصیل در بخش **۳** مورد اشاره قرارگرفته‌است. رابطه‌زیر به‌طور خلاصه و به شکل ریاضی فرایند این سناریو را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} &for\ i = 1 : 2 \\ &\max_{D_t^i \in M}\ \sum_{t=1}^{T_f} P_t^i \qquad (۹) \\ &end \end{aligned}$$

شکل‌گیری همکاری کامل میان بازیکنان (سناریوی ۳)

به منظور ارزیابی بهتر نتایج حاصل از سناریوهای ۱ و ۲ در رفع اختلاف میان بهره‌برداران از سفره آب زیرزمینی مشترک، مدل دیگری با هدف بهینه سازی بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی تهیه شد. تابع هدف مدل، بیشینه نمودن مجموع سود دو بازیکن در طی

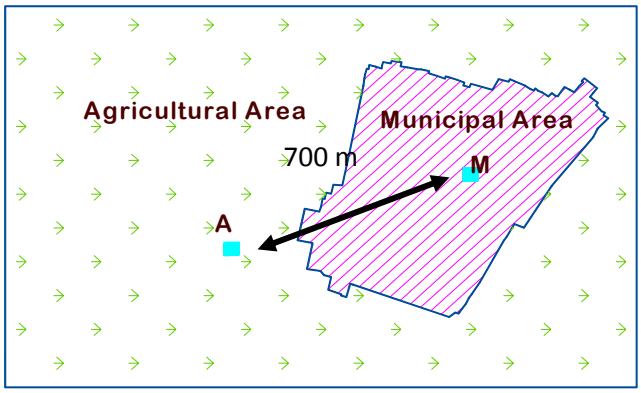
مدت بهره‌برداری می باشد. رابطه ۹ تابع هدف مدل بهینه سازی را نمایش می‌دهد. به عبارت دیگر در مدل بهینه سازی به جای فرض وجود دو تصمیم‌گیر که هر یک دارای یک چاه هستند (شرایط نظریه بازیها) فرض می‌شود که یک تصمیم‌گیر نظیر دولت، مالک هر دو چاه است و یا اینکه آنها در برداشت آب با هم تشکیل ائتلاف داده و قصد دارند در طی دوره بهره‌برداری مجموع عواید حاصل از بهره‌برداری را بیشینه نمایند.

$$\max_{\left(D_t^{\mathrm{I}},D_t^{\mathrm{II}}\right)\in M_{\mathrm{I,II}}} \left(\sum_{t=1}^{T_f} \sum_{i=1}^{2} (P_t^i) \right) \qquad (۱۰)$$

نتایج و بحث

۱. مشخصات مطالعه موردی و ارائه روابط محاسبه میزان افت سطح سفره آب زیرزمینی

سفره آب زیرزمینی بستهٔ فرضی به وسعت ۲۰۰۰ متر در ۲۰۰۰ متر در بین دو بهره‌بردار شهری و کشاورزی واقع شده است. برداشت از چاه M به منظور تأمین آب شرب شهری و برداشت از چاه A به منظور تأمین آب مورد نیاز مزارع گندم اطراف شهر صورت می‌گیرد. شکل ۱ پلان موقعیت عمومی منطقه و نحوه قرارگیری چاه‌ها نسبت به یکدیگر را نمایش می‌دهد. وضعیت قرارگیری سفره آب زیرزمینی در بین دو بهره‌بردار به گونه‌ای است که استفاده هر یک از آنها از سفره آب زیرزمینی منجر به کاهش تراز آب زیرزمینی منطقه و در نتیجه کاهش آب قابل برداشت خواهد شد.



شکل ۱. موقعیت قرارگیری چاه‌های شهری و کشاورزی نسبت به یکدیگر

هر بازیکن مجاز است با شدت ثابت در طی یک ماه، از صفر تا صد درصد از کل ظرفیت نهایی پمپ خویش را به کار گیرد. مجموعه راهبردهای خالص بازیکن i به شکل گسسته ۱۰ تایی عبارت است از:

$$M_i = \{0, \%10, \ldots, \%100\} \qquad i \in \{\mathrm{I}, \mathrm{II}\} \tag{۱۱}$$

که علامتهای I و II به ترتیب نشانهٔ بازیکن شهری و کشاورزی می‌باشد. به عبارت دیگر هر بهره‌بردار، پیش از شروع بهره‌برداری در طی ماه t نسبت به میزان استفاده از ظرفیت نهایی پمپاژ در طی ماه پیش رو تصمیم‌گیری می‌نماید. سود هر بازیکن در ماه t عبارت است از:

$$Payoff_t^i = (Pr_t^i - hp_t^i \times C) \times De_t^i \times Q_i \qquad De_i^t \in M_i \tag{۱۲}$$

که Pr_i^t ارزش آب برای بازیکن i در ماه t مطابق جدول ۱، C هزینه پمپاژ یک متر مکعب آب به ارتفاع یک متر برابر ۰/۰۱ واحد پولی، Q_i ظرفیت پمپاژ بهره‌بردار i و hp_t^i ارتفاع پمپاژ آب در چاه i در ماه t است که از رابطه ۱۲ به دست می‌آید:

$$hp_t^i = h_0 - 0.5 \times \left(h_t^i + h_{t+1}^i\right) \tag{۱۳}$$

که h_0 تراز سطح زمین نسبت به کف سفره آب زیرزمینی و h_t^i تراز سطح سفره آب زیرزمینی نسبت به کف در ماه t در محل چاه بازیکن i می‌باشد. میزان افت سطح آب زیرزمینی در هر دوره بر اثر پمپاژ از معادله چاه *Tiess* قابل محاسبه است:

$$\text{Tiess Well Equation}: s_i^t = -\frac{1}{4\pi T} \sum_{i=1}^{2} De_t^i \times Q_i \times W_i(u_t^i)$$

$$W(u_t^i) = \int_{u_t^i}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx \tag{۱۴}$$

$$u_t^i = \frac{{r_i}^2}{4\alpha d}\ ,\ \alpha = \frac{T}{S_{ya}}$$

که s_i^t میزان کاهش سطح آب در چاه i در طی ماه t، r_i فاصله تا چاه i برابر ۷۰۰ متر، T قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی برابر ۴۳۲ مترمربع در روز، d مدت زمان تداوم بهره‌برداری با شدت ثابت برابر ۳۰ روز و S_S ضریب ذخیره مخصوص سفره آب زیرزمینی بسته برابر

۰/۰۰۰۴ می‌باشد. ارتفاع آب در شروع دوره بهره‌برداری مساوی ارتفاع سفره آب زیرزمینی فرض شده و برابر ۲۰ متر در نظر گرفته شده است. ظرفیت پمپهای نصب شده بر روی چاه‌های شهری و کشاورزی به ترتیب برابر ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ متر مکعب در روز می‌باشد.

بر مبنای میزان مصرف ماهانه آب شرب شهری و مصرف آبیاری مزارع گندم و همچنین با استفاده از سالنامه آماری استان قزوین در سال ۱۳۸۴، ارزش نسبی ماهانه آب برای هر بهره‌بردار شهری و کشاورزی مشخص گردید (جدول ۱). ارزش آب برای بهره‌بردار شهری در طی ۶ ماه اول سال (ماه‌های گرم) بیش از ۶ ماه دوم سال می‌باشد. همچنین ارزش آب برای بخش کشاورزی نیز در طی ماه‌های آبیاری گندم، متفاوت از سایر ماه‌های سال می‌باشد. ردیف سوم همین جدول به میزان افزایش ارتفاع آب زیرزمینی ماهانه بر اثر جریانهای ورودی ناشی از بارش و ذوب برف اختصاص یافته است.

جدول ۱. ارزش آب برای بهره‌برداران شهری و کشاورزی و میزان جریان ورودی به مخزن در طی ماه‌های سال

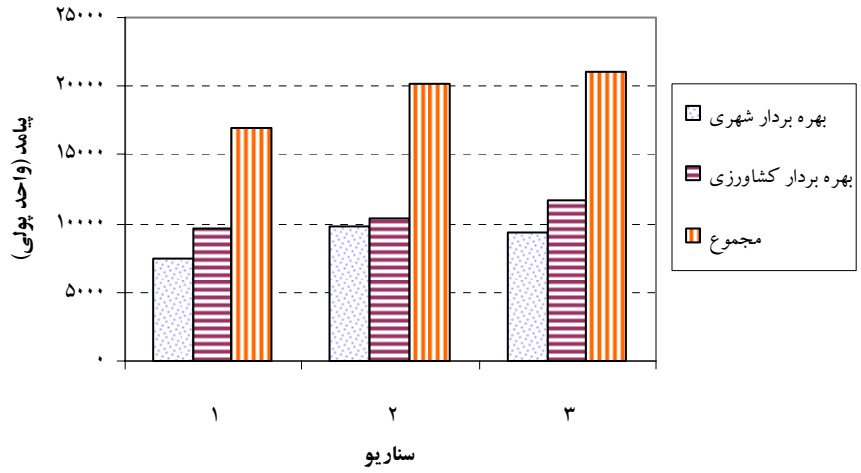
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ارزش آب بخش شهری (واحدپولی)	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
ارزش آب بخش کشاورزی (واحدپولی)	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱	۱	۱
جریان آب ورودی (متر)	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۲	۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۲. تحلیل نقاط تعادل

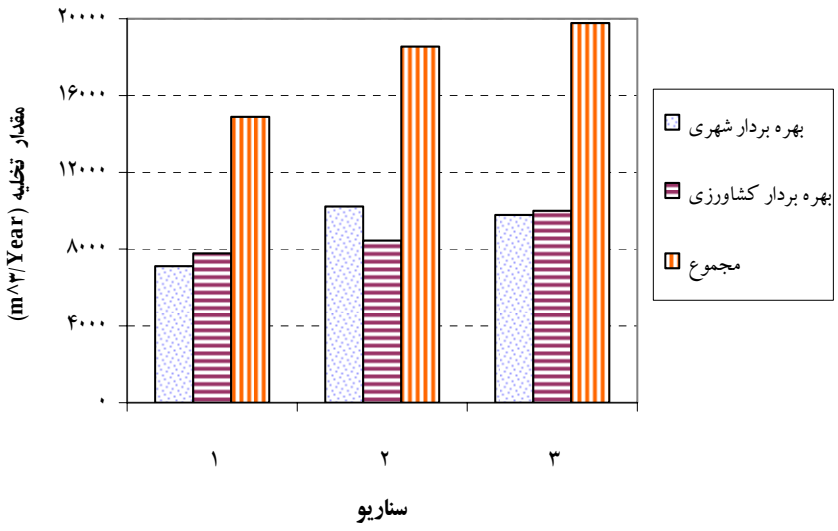
نمودار ۱ پیامدهای دو بازیکن شهری و کشاورزی را طی دوره بهره‌برداری در سناریوهای مختلف نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مجموع سود دو بازیکن در سناریوی ۳ بیش از سایر سناریوها می‌باشد، در حالی که سود بازیکن شهری در همین

سناریونسبت به سناریوی ۲ کمتر است. به عبارت دیگر در سناریوی رفتار همکارانه، مالک چاه‌ها به منظور دستیابی به سود بیشتر تصمیم گرفته است که از میزان بهره‌برداری چاه شهری بکاهد و در عوض در ماههای پرارزش به تولید آب برای بهره‌بردار کشاورزی بپردازد؛ در حالی که هدف از سناریوی ۱و ۲ رفع اختلاف میان بهره‌برداران می باشد و در چنین شرایطی هر بهره‌بردار به سود خویش می اندیشد و حاضر به چشم پوشی از سود خود در مقابل افزایش سود عمومی نمی‌باشد. همچنین از آنجا که بهره‌برداران در سناریوی ۱ دارای سیاستهای نزدیک بینانه می‌باشند، بنابراین سیاستهای ماهانه آنها بدون توجه به ارزش آب در ماههای آینده وضع می شود. در چنین شرایطی بازیکنان در ماههای ابتدایی سال، فارغ از مقدار ارزش آب، به برداشت و تخلیه آب از آبخان می‌پردازند. در حالی که در سناریوهای ۲ و ۳ با توجه به سیاستهای دور اندیشانه بازیکنان، از مصرف آب در ماه‌های با ارزش نسبی کم پرهیز شده و آب برای ماه‌های با ارزش تر حفظ خواهد شد. به این ترتیب در سناریوی ۱ شاهد دستیابی بهره‌برداران به مقادیر کمتری از سود می باشیم.



نمودار ۱. پیامد بهره‌برداران شهری و کشاورزی طی کل دوره بهره‌برداری در سناریوهای مختلف

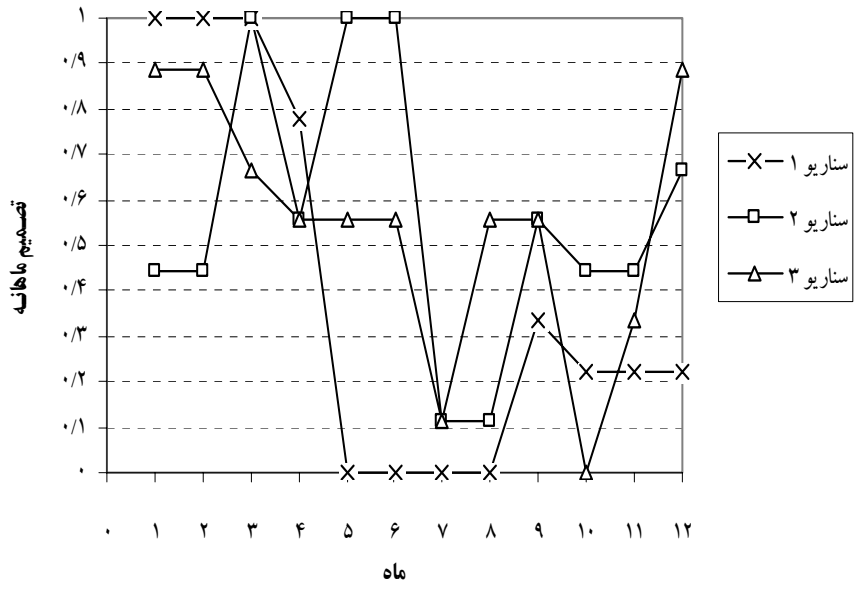
نمودار ۲ مجموع آب استحصال شده در کل دوره بهره‌برداری برای هر بازیکن به ازای سناریوهای مختلف را نمایش می‌دهد. سناریوی ۱ (مدل بازی ایستا) نه تنها کمترین مقدار پیامد را برای بازیکنان در پی دارد بلکه بازیکنان براساس رویه بهره‌برداری که در پیش گرفته اند باعث از بین رفتن هر چه زودتر منابع آبی شده اند و مخزن نسبت به سناریوهای دیگر زودتر تخلیه می‌شود و به این ترتیب آب کمتری نصیب بازیکنان شده است. توجه بهره‌برداران به منافع دراز مدت در سناریوهای ۲ و ۳ باعث تفاوت آشکار در میزان بهره‌برداری از آبخان شده است. در سناریوی ۳ نیز با توجه به اینکه هدف، کسب بیشترین مقدار سود دو بهره‌بردار تعیین شده است، لذا بازیکنان به نحوی همکاری می نمایند که بتوانند بیشترین مقدار آب را از سفره آب زیرزمینی استحصال و متعاقب آن بیشترین سود را کسب نمایند. به این ترتیب سناریوی ۳ منجر به شکل گیری بیشترین مقدار آبکشی از آبخان شده است.



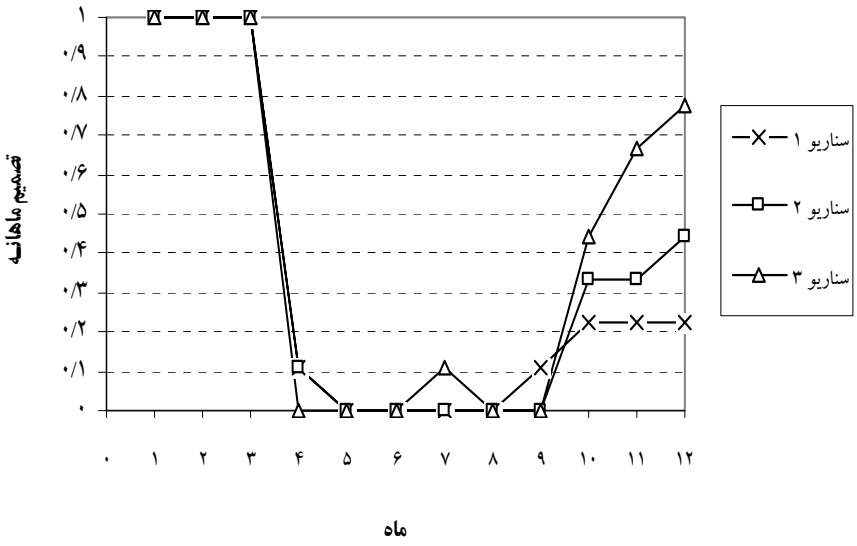
نمودار ۲. مجموع آب استحصال شده در کل دوره بهره‌برداری در سناریوهای مختلف

نمودارهای ۳و ۴ به ترتیب نقاط تعادل بازیکنان (تصمیمات بهره‌برداران) شهری و کشاورزی را در سناریوهای مختلف طی دوره بهره‌برداری نمایش می‌دهد. همان‌گونه که

مشاهده می‌شود، در سناریوی ۱ بازیکنان تا زمانی که آب در مخزن وجود دارد، با بیشترین توان خود اقدام به پمپاژ می‌نمایند وپس از تخلیه کامل مخزن، پمپاژ آنها نیز قطع می‌شود تا دوباره بر اثر بارندگی و افزایش ارتفاع آب مخزن، پمپاژ نمایند. دقت در رفتار بهره‌بردار کشاورزی نشان می‌دهد که طی ماه‌های ۴ تا ۹ در تمام سناریوها تمایل به پمپاژ آب وجود ندارد. علت این امر را می‌توان به ارزش بسیار کم آب در این ماه‌ها نسبت داد. قیمت آب در این ماه‌ها برای بهره‌بردار کشاورزی برابر ۰/۲ است. با توجه به اینکه هزینه پمپاژ هر متر مکعب آب به ارتفاع ۱ متر برابر ۰/۰۱ است، بهره‌بردار کشاورزی ترجیح می‌دهد در ماه‌هایی که آب از ارزش بیشتری برخوردار است اقدام به پمپاژ نماید.

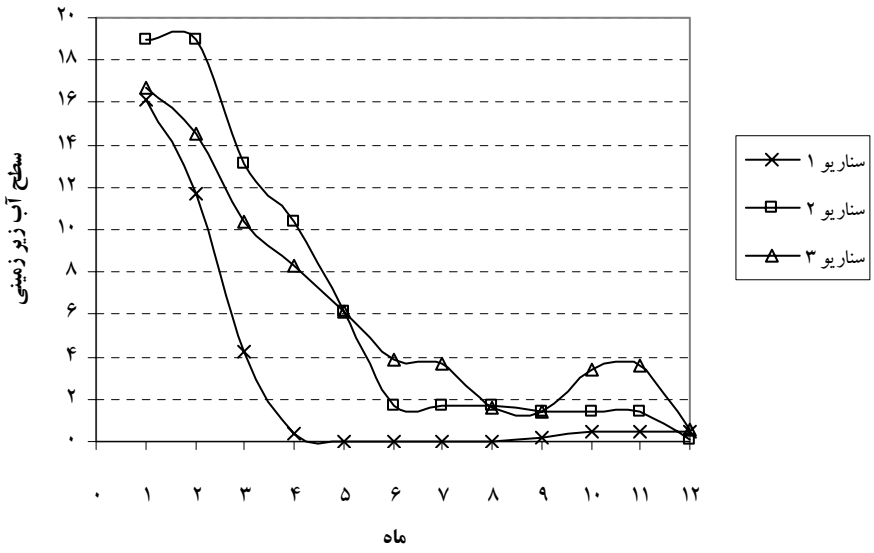


نمودار۳. تصمیمات بهره‌بردار شهری طی دوره بهره‌برداری در سناریوهای سه گانه

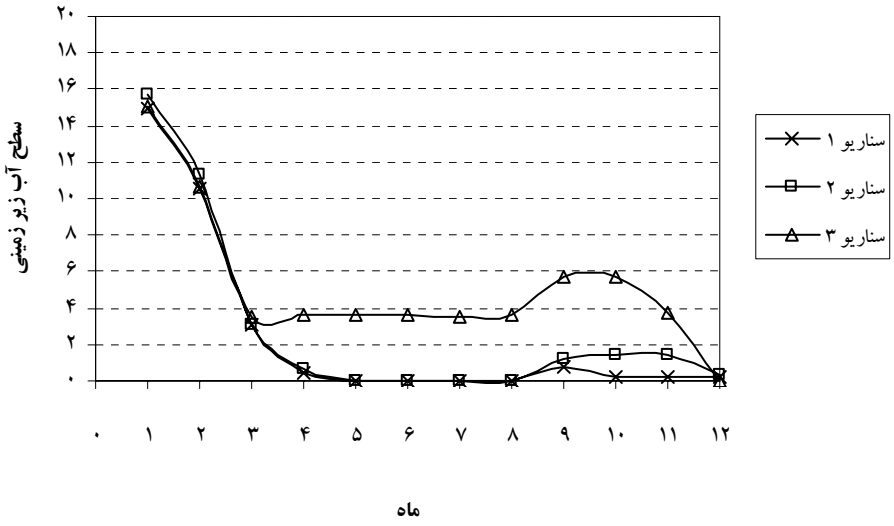


نمودار ٤. تصمیمات بهره‌بردار کشاورزی طی دوره بهره‌برداری در سناریوهای سه گانه

نمودارهای۵ و۶ به ترتیب تغییرات سطح آب زیرزمینی در محل چاه بهره دار شهری و بهره‌بردار کشاورزی را نشان می دهد. دقت در شکل زیر مشخص می‌سازد که در محل چاه شهری و کشاورزی و به ازای تمام سناریوها شاهد تخلیه کامل آبخان هستیم. این موضوع با توجه به استفاده از مدلهای بهینه‌سازی در تدوین برنامه بهره‌برداری صحیح می باشد. همچنین همان‌گونه که مشاهده می شود، در محل چاه بهره‌بردار شهری شیب تغییرات سطح آب زیرزمینی در سناریوی ۱ تند است، به‌گونه‌ای که برداشتهای از مخزن باعث تخلیه سریع آبخان و رسیدن سطح آب زیرزمینی به حداقل مقدار شده است، در حالی که در سناریوهای ۲ و ۳ شاهد کاهش تدریجی سطح آب زیرزمینی و افت آب آبخان در طی دوره برنامه‌ریزی می باشیم. چنین وضعیتی در محل چاه بهره‌بردار کشاورزی نیز قابل مشاهده است.



نمودار ۵. تغییرات سطح آب زیرزمینی در محل چاه بهره‌بردار شهری در سناریوهای مختلف



نمودار ٦. تغییرات‌سطح‌آب‌زیرزمینی در محل چاه بهره‌بردار کشاورزی در سناریوهای مختلف

در جمعبندی تحلیل نمودارهای فوق باید به این نکته اذعان داشت که مدل بازی بدون همکاری ایستا باعث تخلیه سریع و کاهش عمر مفید قابل بهره‌برداری آبخان خواهد شد،

به‌گونه‌ای که در مطالعه موردی فوق پیروی از قواعد حاصل از بازیهای ایستا بدون همکاری باعث خواهد شد عمر بهره‌برداری آبخان به ۴ ماه تنزل یابد و پس از گذشت ۴ ماه به علت تخلیه سریع آبخان برداشت از سوی بازیکنان متوقف شود. حرکت به سوی مدلهای دور اندیشانه و شکل‌گیری سناریوی ۲، در عین عدم همکاری دو بازیکن باعث افزایش عمر آبخان برای بهره‌بردار شهری به ۱۲ ماه و برای بهره‌بردار کشاورزی به ۸ ماه خواهد شد. در مدل همکاری کامل بین بازیکنان، در طول دوره برنامه‌ریزی هیچ‌گاه شاهد تخلیه کامل آبخان نیستیم. در سناریوی ۳ نه تنها عمر مفید قابل بهره‌برداری آبخان افزایش می‌یابد، بلکه شاهد افزایش میزان استحصال کلی بهره‌برداری از آبخان در محل چاه بهره‌بردار شهری و کشاورزی می باشیم.

۳. خلاصه و نتیجه گیری

در این تحقیق یک مدل رفع اختلاف پویا میان بهره‌برداران از سفره آب زیرزمینی مشترک در شرایط بدون همکاری توسعه یافت. مدل پیشنهادی براساس تلفیق مطالعات بازیهای ایستا بدون همکاری و برنامه‌ریزی پویا توسعه یافته است. سفره آب زیرزمینی فرضی که در بین دو بهره‌بردار شهری و کشاورزی واقع است، به عنوان مطالعه موردی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور مقایسه بهتر نتایج حاصل از به کارگیری مدل پیشنهادی، مدلهای دیگری براساس بازیهای ایستا بدون همکاری و مدل با همکاری کامل (بهینه سازی) بر مطالعه اعمال شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل با همکاری کامل منجر به کسب منافع بیشتر برای جمع بازیکنان خواهد بود ولی از آنجا که بهره‌برداری براساس چنین رویه‌ای، منجر به تضییع منافع یکی از بازیکنان در جهت منافع عمومی می‌شود، لذا نتایج حاصل از مدل با همکاری کامل در عمل ضمانت اجرایی ندارد و نمی‌تواند مورد توافق کلیه بهره‌برداران واقع شود. بنابراین، مدلهای رفع اختلاف با اینکه منافع کمتری برای جمع بازیکنان در پی دارند، باعث شکل گیری بهره‌برداری پایدار از آبخان خواهند شد. نتایج نشان می‌دهد که در بین مدلهای رفع اختلاف،

مدل رفع اختلاف پویای پیشنهادی که مبتنی بر آینده نگری است، نسبت به مدل بازیهای ایستا که در پی کسب منافع آنی است، منافع بیشتری نصیب بازیکنان می‌کند. به عبارت دیگر صبر و دوراندیشی بازیکنان و توجه به ارزش آب در ماه‌های آینده باعث دستیابی به عواید بیشتر و تخلیه دیرتر آبخان خواهد شد. لذا می توان گفت که در روش رفع اختلاف پیشنهادی، در کنار دستیابی بهره‌برداران به نقطه تعادل پایدار، پیامدهای بازیکنان بسیار نزدیک به پیامدهای مدلِ با همکاری کامل می‌باشد، به گونه‌ای که در مطالعه انجام گرفته، پیامد بهره‌بردار شهری در شرایط استفاده از مدل پیشنهادی ۴٪ بیشتر از مدل با همکاری کامل می‌باشد و پیامد بهره‌بردار کشاورزی در مدل پیشنهادی ۱۱٪ درصد کمتر از مدل همکارانه است.

مقایسه نتایج حاصل از مدلهای ارائه شده نشان می دهد که سیاستگذاران بخش آب به منظور دستیابی به بهره‌برداری پایدار از منابع آبی مشترک، تا حد امکان باید زمینه‌های شکل‌گیری ائتلاف و همکاری را در بین بهره‌برداران فراهم کنند. یکی از زمینه‌های افزایش همکاری، جلوگیری از به وجود آمدن بهره‌برداران خرد وکوچک می باشد؛ زیرا در بین بهره‌برداران خرد نه تنها امکان شکل گیری ائتلاف وجود ندارد بلکه افزایش رقابت بین آنها می تواند باعث تسریع از بین رفتن منابع مشترک شود. دولتهای منطقه‌ای و یا ملی می توانند با وضع قوانین تشویقی برای بهره‌برداران کلان موجبات شکل گیری ائتلاف در بین بهره‌برداران خرد را مهیا سازند. به این ترتیب می توان به زمینه‌های شکل گیری الگویی نظیر الگوی بهینه‌سازی فارغ از رقابت میان بهره‌برداران نزدیک شد.

این تحقیق کوششی بوده است در جهت تبیین ضرورت کاربرد مدلهای رفع اختلاف در تدوین سیاستهای بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی مشترک. در انجام تحقیق فوق هر چند از اطلاعات مطالعه فرضی در مورد ارزش نسبی آب برای بهره‌برداران استفاده شده است، ولی یاد آور می شود که هدف اصلی تحقیق حاضر ارائه یک مدل پویای رفع اختلاف میان بهره‌برداران از سفره آب زیرزمینی بوده، به طوری که مدل رفع اختلاف پویای ارائه شده مستقل از خصوصیات و مشخصات مطالعه موردی می‌باشد. عمومیت مدل حاضر به گونه‌ای

است که می‌توان از آن برای رفع اختلاف میان بهره‌برداران از هر منبع طبیعی مشترک استفاده کرد. لذا به نظر می‌رسد استفاده از مدل فوق در کنار استفاده از مفاهیم اقصادی نظیر تابع کشش تقاضا، کشش درآمدی، محاسبه دقیق ارزش نسبی آب برای بهره‌برداران، محاسبه دقیق هزینه پمپاژ و... بتواند منجر به ایجاد مدلهایی با کاربرد بیشتر شود و زمینه‌ای برای تحقیقات آینده فراهم سازد.

منابع:

۱.حامد مازندرانی زاده، عباس قاهری (۱۳۸۶)، بررسی اثرات همکاری کشورها در کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای براساس پیمان کیوتو با استفاده از نظریه بازیها، اولین کنفرانس ملی روز جهانی محیط زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، چکیده مجوعه مقالات، صفحه ۴۶.

۲.صادقی، اکرم، محمد حسین نیک خصلت (۱۳۸۰)، سالنامه آماری استان قزوین.

۳.عبدلی، قهرمان (۱۳۸۶)، نظریه بازیها و کاربردهای آن (بازیهای ایستا و پویا با اطلاعات کامل)، جهاد دانشگاهی، تهران.

4.Bellman (1957), Dynamic Programming, Princeton University Press.

5.Breton., M.و G. Zaccour and M. Zahaf (2006), A game-theoretic formulation of joint implementation of environmental projects, *European Journal of Operational Research*, 168: 221–239.

6.Burness., H.S. and T.C. Brill (2001), The role for policy in common pool groundwater use, *Resource and Energy Economics*, 23: 19-40.

7.Clarke., R., A. Lawrence and S. Foster (1996), Groundwater: a threatened Resource, Environment Library 15, United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya, 15.

8.Coppola., E. and F. Szidarovszky (2004), Conflict between water supply and environmental health risk: a computational neural network approach, *International Game Theory Review*, 6 (4): 475-492.

9.Fisher R.D. and L.J. Mirman(1992), Strategic dynamic interactions: fish wars, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 16: 267-287.

10.Ganji, A., D. Khalili and M. Karamouz (2007), Development of stochastic conflict resolution models for reservoir operation, I. The perfect symmetric stochastic model, Adv Water Resour Manag (in press) doi 10.1016/j, advwatres, 2006.04.004.

11.Gillies, D. (1953), Locations of solutions informal conf., theory of n-person games, Princeton Mathematics, Princeton, NJ, pp. 11–

12.Hardin G. (1968), The tragedy of the commons, *Science*, 162: 1243–1248.

13.Hardin G. (1993), Living within limits, Oxford University Press, New York.

14.Harsanyi, J. and R. Selten (1988), A general theory of equilibrium selection in games, Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

15.Loaiciga, H.A., D.R. Maidment, J.B. Valdes (2000), Climate change impacts in a regional karst aquifer, *Journal of Hydrology*, 227: 173–194.

16.Mangasarian, O.L. and H. Stone (1964), Two-person nonzero-sum games and quadratic programming, *J. Math. Anal. Appl*., 9: 348–355.

17.Msangi, S. (2006), Dynamic resource usage externalities under non-cooperative behavior and agent heterogeneity: the case of groundwater extraction, The 6th Meeting On Game Theory And Practice, Zaragoza, Spain, (10-12 July).

18.Nakao, M., D. Wichelns and J. Montgomery (2002), Game Theory analysis of competition for groundwater involving El Paso, Texas and Ciudad Juarez, Mexico, Presented at 2002, Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association, Long Beach, California, (July 28-31, 2002).

19.Nash, J. (1950a), The bargaining problem, *Econometrica*, 18: 155-162.

20.Nash, J. (1950b), Equilibrium points in n-person games, Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A., 36: 48-49.

21.Nash, J. (1951), Non-cooperative games, *Annals of Mathematics*, 54: 286-295.

22.Nash, J. (1953), Two-person cooperative games, *Econometrica*, 21: 128-140.

23.Schelling (1960), The strategy of conflict, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press; Second Edition, 1980.

24.Shapley, L. (1953a), A value for n-person games, Kuhn and Tucker, Eds., in Contributions to the Theory of Games, Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, pp. 207–317.

25.Shapley, L. (1953b), Open question informal conf., theory of n-person games, Princeton Mathematics, Princeton, NJ, pp. 11–12.

26.Von Neumann, J. and O. Morgenstern (1944), Theory of games and economic behavior, Princeton University Press,.