نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1831-1820

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1820-1831

کاربرد روش‌های حل اختلاف در تخصیص استانی آب کشاورزی
مطالعه موردی: حوضه آبریز اترک

پروانه کاظمی مرشت[1*]- شهاب عراقی نژاد[2]

تاریخ دریافت: 1393/11/14
تاریخ پذیرش: 1395/02/21

چکیده

حوضه آبریز اترک در شمال شرق ایران، مشترک بین سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و گلستان از مناقشات مربوط به تخصیص آب در بخش کشاورزی بین ذینفعان بالادست و پایین دست متأثر می‌باشد. در چنین شرایطی، بررسی کارایی مدل‌های تخصیص آب در این حوضه و مقایسه نتایج آنها از اهداف این مطالعه می‌باشد. ابتدا یک مدل بهینه‌سازی تخصیص آب کشاورزی بر پایه برنامه‌ریزی خطی توسعه داده شد. سپس مدل تخصیص آب با رویکرد حل اختلاف با استفاده از توابع هدف بر پایه روش‌های حل اختلاف نش متقارن، نش غیرمتقارن، مدل غیرمتقارن کالای-اشمورودینسکی و مدل غیرمتقارن خسارت متعادل ایجاد گردید. مدل‌های فوق با معیارهای عملکرد مرسوم اطمینان‌پذیری حجمی، اطمینان‌پذیری زمانی و برگشت‌پذیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده برتری مدل‌های حل اختلاف در تأمین متعادل منابع بین ذینفعان مختلف در مقایسه با مدل تخصیص معمول را نشان می‌دهد. تشابه کلی موجود بین نتایج مدل‌های حل اختلاف و ارائه نتایج مطلوب‌تر مدل نش با اختلاف جزئی نسبت به سایرین از دیگر نتایج حاصل شده است. از سوی دیگر مدل‌هایی که تابع هدف آنها مبتنی بر روش‌های حل اختلاف است در مقایسه با مدل برنامه‌ریزی خطی، تخصیص متعادل‌تری را بین ذینفعان نتیجه می‌دهد. همچنین میزان حساسیت استان‌ها نسبت به مقدار درجه اهمیت آنها در مدل غیرمتقارن نش نیز مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در انتها نیز کاربرد روش‌های مبتنی بر حل اختلاف به جای مدل‌های مرسوم به منظور تخصیص متعادل آب بین ذینفعان مختلف پیشنهاد داده شده است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تخصیص آب، مدل‌های حل اختلاف

مقدمه

اگرچه در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های گسترده در زمینه تأسیسات زیربنائی سبب شده تا آب به نحو مناسب‌تری مورد استفاده قرار بگیرد اما با وجود رشد بی رویه جمعیت جهان طی پنجاه سال گذشته که از 2/5 میلیارد نفر به 6/5 میلیارد نفر رسیده، تأمین نیازهای مصرفی این جمعیت، استحصال سه برابری آب از منابع آب شیرین را موجب شده که در نهایت تبعات منفی این امر متوجه بخش محیط زیست گردیده است (7). در شرایطی که 70 درصد آب استحصال شده در سطح جهان و در ایران حدود 90 درصد، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، رقابت‌ها در برداشت بیشتر آب بطور عمده معطوف بخش کشاورزی بوده و حتی در آینده نیز با افزایش نیازهای آبی، پیش‌بینی می‌شود رقابت‌ها بر سر تخصیص آب در این بخش تشدید شود. ناندلال علت بروز مناقشات در بحث تخصیص آب را تفاوت اشخاص و گروه‌ها در نگرش‌ها، عقاید و ارزش‌ها و نیز نیازها در مدیریت آب می‌داند (8).

در سده اخیر در زمینه تخصیص آب مطالعات گسترده‌ای انجام و روش‌های تخصیص متعددی پیشنهاد و بکار گرفته شده است اما با افزایش مناقشات بین ذینفعان در تخصیص منابع آب‌های مشترک، در دهه‌های اخیر روش‌های معمول تخصیص آب جای خود را به رویکردهای تخصیص منابع آب مبتنی بر روش‌های حل اختلاف داده‌اند. با بررسی تحقیقات انجام شده بطور کلی می‌توان روش‌های تخصیص منابع آب مبتنی بر رویکرد حل اختلاف را به دو دسته کلی طبقه‌بندی نمود. دسته اول شامل مدل‌های مبتنی بر تئوری بازی و نظریه گراف بوده که در مجموع متعلق به طبقه مدل‌های همکارانه می‌باشند. دسته دیگر نیز شامل مدل‌های ریاضی مرسوم حل اختلاف می‌باشند که عمدتاً مبتنی بر مفهوم بهینه‌سازی هستند. روش‌های حل

1 و 2- دکتری مهندسی منابع آب و دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: pkazemi@ut.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v30i6.41396

اختلاف نش[1]، کالای-اشموردینسکی[2]، خسارت متعادل[3] و سطح یکنواخت[4] از جمله روش‌های فوق می‌باشند.

با وجود کارایی بالای روش‌های دسته اول همچون نظریه بازی‌ها و تئوری گراف در ایجاد امکان تعامل بین ذینفعان و انتخاب سیاست‌های مختلف، وجود ضعف در تطابق با تغییرات ناشی از عدم قطعیت‌ها و نیز عدم توانایی آنها در منظور نمودن اطلاعات دقیق و جزئی که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، موجب کاهش مطلوبیت آنها در کاربردهای عملی شده است.

دسته دیگر که مورد نظر این مطالعه می‌باشد، دارای پایه بهینه‌سازی بوده و بدلیل امکان منظور نمودن اطلاعات دقیق‌تر، از برتری نسبی برخوردار است. با وجود ماهیت غیرهمکارانه این دسته از روش‌ها، به دلیل امکان منظور نمودن اثر ذینفعان با درجه اهمیت‌های مختلف، در دهه‌های اخیر درکانون توجه پژوهشگران بوده است. از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به توسعه مدل حل‌اختلاف غیرمتقارن نش برای محاسبه سود حاصل از پروژه‌های کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی مشترک بین دو کشور مکزیک و ایالات متحده که توسط فریسولد و کسول انجام شد، اشاره نمود (4). در بحث مدیریت آب‌زیرزمینی کوپولا و همکاران از مدل‌های حل اختلاف غیرمتقارن نش، غیرمتقارن کالای- اشموردینسکی، غیرمتقارن سطح یکنواخت و غیرمتقارن خسارت یکسان برای حل تضاد میان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلوده شدن آنها استفاده کرد (1). مطالعه دیگری در خصوص تخصیص منابع آب مورد نیاز بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی بعنوان سه ذینفع در یکی از مناطق پرتنش مکزیک با استفاده از روش غیرمتقارن نش و تابع هدف حداقل‌سازی کمبودها توسط سالازار و همکاران انجام پذیرفت (9). در تحقیق فوق بهینه‌سازی وزن‌های رقبا برای رسیدن به یک جواب بهینه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقادیر اولویت ذینفعان یا رقبا اثر مستقیم بر نتایج نهایی مدل دارد.

تاکنون توسعه مدل‌های تخصیص منابع آب بین مرزهای سیاسی در سطح حوضه‌آبریز با بهره‌گیری از روش‌های حل اختلاف بسیار انگشت‌شمار بوده و محدود به روش‌های حل ورشکستگی از شاخه نظریه بازی‌ها بوده است. زارع‌زاده برای حل اختلاف در حوضه آبریز قزل‌اوزن در شرایط تغییر اقلیم از روش حل ورشکستگی استفاده نمود. طبق نتایج تحقیق فوق، بکارگیری این روش موجب تولید جواب‌های متفاوتی نسبت به مقادیر ثابت تخصیص یافته بین استان‌های ذینفع در حوضه آبریز قزل اوزن شده که بیانگر کارایی مدل حل اختلاف با روش حل ورشکستگی در تخصیص منابع آب بخصوص در شرایط مختلف اقلیمی بوده است (11). در تحقیق دیگری در سطح حوضه آبریز ارومیه، دانش یزدی از رویکرد نظریه بازی همکارانه بهره گرفته و نشان داده که با بکارگیری این مدل می‌توان حالات مختلف همکاری ذینفعان در تخصیص منابع آب را تحلیل نمود (2).

در تحقیق حاضر، مدل‌های حل اختلاف متقارن نش، غیرمتقارن نش، غیرمتقارن کالای-اشموردینسکی و غیرمتقارن خسارت متعادل در تخصیص منابع آب حوضه آبریز اترک بین استان‌های ذینفع در قالب مدل‌های بهینه‌سازی غیرخطی توسعه داده شد. به منظور بررسی کارایی مدل‌های حل اختلاف در تخصیص منابع آب در مقایسه با مدل بهینه‌ساز تخصیص آب کشاورزی، این مدل نیز مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه ارزیابی و مقایسه کارایی مدل‌های حل اختلاف در تخصیص متعادل منابع آب بین استان‌های ذینفع در یک حوضه آبریز و نیز بررسی اختلافات موجود بین روش‌های حل اختلاف و روش‌های مرسوم در تخصیص آب است.

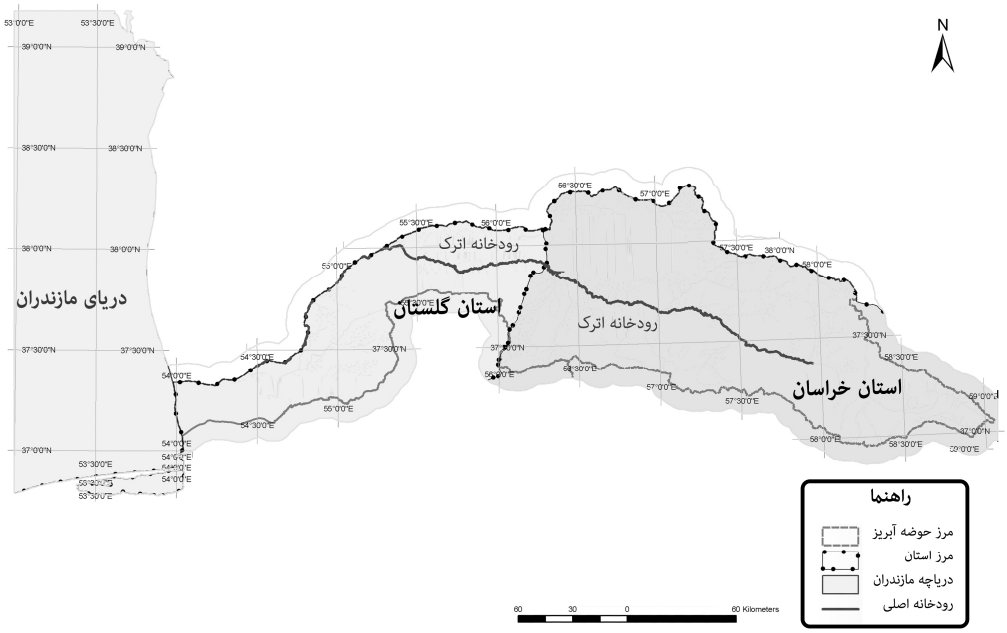
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز اترک که در منتهی الیه شمال شرقی ایران، از قوچان تا دریای خزر، بین مختصات جغرافیائی 00-54 تا 04-59 درجه طول شرقی و 58-36 تا 17-38 درجه عرض شمالی واقع شده است، به دلیل وجود اختلاف بین ذینفعان بالادست و پایین‌دست بر سر تخصیص آب آسیب‌پذیر است. از نظر تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، این حوضه‌آبریز بخشی از حوضه آبریز دریای خزر و محدود به حوضه آبریز رودخانه گرگان، کویر مرکزی، کشف‌رود و هریرود می‌باشد. جمعیت ساکن در سال 1385 در این حوضه، 847036 نفر بوده است که تقریبا معادل یک درصد جمعیت کل کشور است. این حوضه همچنین حدود 1/6 درصد از مساحت کل کشور را در بر گرفته که معادل 26791 کیلومتر مربع بوده و در تقسیمات سیاسی کشور، بخش‌هایی از استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی و گلستان را شامل می‌گردد (شکل 1).

توسعه مناطق پایین دست حوضه آبریز متأثر از رفتار ذینفعان بالادست حوضه بوده و درآینده پیش بینی می‌شود که با به اجرا درآمدن طرح‌های توسعه در بالادست، مناقشات متعددی در حال شکل‌گیری باشد. در این مطالعه به دلیل سهم اندک خراسان‌رضوی در حوضه (7درصد از مساحت کل حوضه و 8 درصد از مصارف آبی حوضه)، استان‌های خراسان‌رضوی و خراسان‌شمالی بصورت یک ائتلاف در رقابت با استان گلستان در نظر گرفته شده است. بنابراین در این مقاله منظور از استان خراسان همان ذینفعی است که از ائتلاف دو استان خراسان شمالی و رضوی تشکیل شده است.

1- Non-Symmetric Nash Solution
2- Kalai-Smorodinsky
3- Equal Loss Solution
4- Area Monotonic Solution



شکل 1- موقعیت کلی حوضه آبریز اترک

Figure 1- General Location of Atrak water basin

در حوضه اترک به منظور تنظیم آب مورد نیاز بخش‌های شرب، صنعت، زیست محیطی و کشاورزی از حجم مفید 11 سد مخزنی استفاده شده است. تخصیص کامل آب بخش‌های شرب، صنعت و محیط زیست از مفروضات این مطالعه است. در واقع سهم آب بخش کشاورزی هر استان در این حوضه مورد مناقشه جدی است که در این مطالعه به آن پرداخته می‌شود. با توجه به آمار موجود، مدل برنامه‌ریزی پویای منابع آب برای دوره زمانی 41 سال حد فاصل سال‌های آبی 46-1345 الی 86-1385 توسعه داده شد (3). در شکل 2 میزان آب در دسترس پس از تخصیص نیازهای شرب و صنعت و زیست‌محیطی در دوره زمانی فوق بهمراه میانگین درازمدت سالانه هر استان (ذینفع) نشان داده شده است.

جدول 1- میانگین درازمدت آب در دسترس جهت مصارف کشاورزی به تفکیک استانی (میلیون متر مکعب)

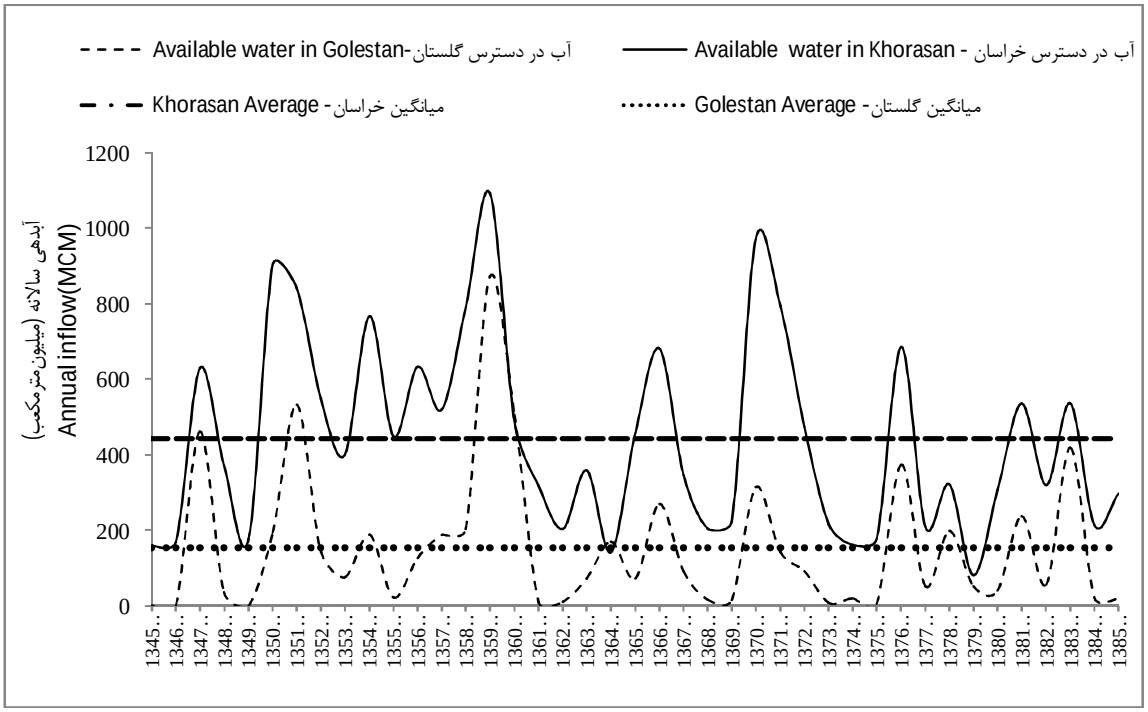
Table 1- Long-term average of available water for agricultural use (MCM)

ماه Month	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند Mar.	فروردین Apr.	اردیبهشت May.	خرداد Jun.	تیر Jul.	مرداد Aug.	شهریور Sep.	جمع Total
خراسان Khorasan	18	27	31	30	38	70	85	76	28	10	17	13	443
گلستان Golestan	4	8	10	7	9	20	29	27	10	2	18	12	156

جدول 2- نیاز کشاورزی استان‌های ذینفع در حوضه اترک (میلیون متر مکعب)

Table 2- Agricultural demands of provinces in Atrak basin (MCM)

ماه Month	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند Mar.	فروردین Apr.	اردیبهشت May.	خرداد Jun.	تیر Jul.	مرداد Aug.	شهریور Sep.	جمع Total
خراسان Khorasan	22	9	6	3	4	14	57	133	180	149	134	79	790
گلستان Golestan	12	26	4	4	7	23	66	98	53	51	46	30	420



شکل 2- آب در دسترس استان‌های خراسان و گلستان در دوره زمانی 41 ساله

Figure 2- Available water in Khorasan and Golestan for 41 years time series

از نمودار فوق می‌توان دریافت که دوره‌های کم آبی و پرآبی دو استان به طور کلی منطبق بر یکدیگر بوده و الگوی مشابهی را دنبال کرده‌اند. به قسمی که حدفاصل سال‌های 73-1372 الی 76-1375 هر دو استان با کمبود شدید منابع آب در دسترس در بخش سطحی مواجه بوده‌اند و سال‌های پرآب عمدتاً مربوط به دهه 50 بوده است. میانگین درازمدت آب در دسترس جهت مصارف کشاورزی و همچنین نیاز کشاورزی استان‌های (ذینفعان) خراسان و گلستان مطابق جداول 1 و 2 می‌باشد.

با بررسی جداول فوق می‌توان به سادگی دریافت که آب در دسترس برای نیازهای کشاورزی نمی‌تواند بطور بهنگام پاسخگوی کامل نیازهای استان‌ها باشد بنابراین نیاز به یک مدل تخصیص که بتواند نیازهای استان‌های ذینفع را بصورت متعادل تأمین نماید وجود دارد.

تخصیص منابع آب با استفاده از برنامه‌ریزی خطی

در مدل برنامه‌ریزی خطی، تابع هدف از نوع خطی بوده و بصورت بیشینه‌سازی مجموع اطمینان‌پذیری تأمین کشاورزی دو استان خراسان و گلستان تعریف شده است. برای این منظور از مدل لینگو نسخه 14[1] برای سیستم عامل 64 بیتی که یک مدل بهینه‌ساز با قابلیت حل مدل‌های خطی و غیرخطی می‌باشد استفاده شد (6 و 10).

تخصیص منابع آب با رویکرد حل اختلاف

در این مطالعه به منظور بکارگیری رویکرد حل اختلاف در تخصیص منابع آب حوضه آبریز اترک، تابع هدف مدل تخصیص مبتنی بر روش‌های حل اختلاف متقارن نش و نامتقارن نش، نامتقارن خسارت متعادل و نامتقارن کالای- اشموروديسکی بوده که این روش‌ها به تفصیل در مطالعات ضرغامی و زایدروفسکی توضیح داده شده است (12). متقارن بودن ذینفعان به معنای داشتن وزن‌های یکسان و یا اهمیت برابر آنها نسبت به هم و نامتقارن بودن به معنای درجه اهمیت‌های متفاوت ذینفعان می‌باشند. تابع هدف در تخصیص منابع آب بین دو استان در روش نش از نوع ضربی بوده و به قرار رابطه 1 تعریف می‌شود:

$$\max \sum_{t=1}^{nm} (RE_{KHt} - RE\min_{kh})^{w_{kh}} (RE_{got} - RE\min_{go})^{w_{go}} \qquad (1)$$

در رابطه فوق به ترتیب RE_{kht} و RE_{got} نسبت تأمین به نیاز کشاورزی در استان خراسان و گلستان در گام زمانی t بوده و $RE\min_{kh}$ و $RE\min_{go}$ مقادیر کمینه نسبت‌های فوق می‌باشد. شایان ذکر است که میزان تأمین در این استان نباید از نسبت فوق کمتر باشد. درجه اهمیت استان‌ها با پارامترهای w_{kh} و w_{go} به

1- Lingo14

ترتیب وزن استان خراسان و گلستان تعریف می‌شوند. در روش متقارن مقادیر این وزن‌ها با یکدیگر برابر بوده و در حالت نامتقارن درجه اهمیت استان‌ها با هم متفاوت و اعداد مثبت کمتر از یک را شامل می‌شوند. شایان ذکر است که در حالت نامتقارن مجموع وزن‌ها مقدار یک خواهد بود.

در روش کالای-اشموروودینسکی رابطه 2 برقرار بوده که وزن ذینفعان بجای توانی، بصورت ضربی اثرگذار می‌باشند.

$$\sum_{t=1}^{nm}(RE_{kht}-RE\min_{kh})*w_{kh}=\sum_{t=1}^{nm}(RE_{got}-RE\min_{go})*w_{go} \quad (2)$$

چنانچه در تخصیص منابع آب، تعادل میزان خسارات، مدنظر باشد می توان از روش حل خسارت متعادل استفاده نمود. در این روش حل، مطابق رابطه 3 ذینفعان از میزان بیشینه سود یا مطلوبیت خود که همان $RE\max_{kh}$ و $RE\max_{go}$ به ترتیب بیشینه میزان تأمین نسبی استان‌های خراسان و گلستان است با یک سرعت مشخص که ارتباط با میزان درجه اهمیت هر استان دارد فاصله گرفته تا به حالت تعادل برسند.

$$\sum_{t=1}^{nm}(RE\max_{kh}-RE_{kht})*w_{kh}=\sum_{t=1}^{nm}(RE\max_{go}-RE_{got})*w_{go} \quad (3)$$

در روش سطح یکنواخت نیز مطابق روابط 4 الی 6 فضای تصمیم بین دو ذینفع به تناسب وزن‌های آن‌ها به دو سطح تقسیم می‌شوند.

$$A_1*w_{kh}=A_2*w_g \quad (4)$$

$$A_1=-0.5RE_{go}^2+RE_{go}-0.375-0.5(RE_{go}-0.5)(0.5+RE_{kh}) \quad (5)$$

$$A_2=+0.5RE_{go}^2+RE_{go}+0.375+0.5(RE_{go}-0.5)(0.5+RE_{kh}) \quad (6)$$

در کلیه مدل‌های فوق به منظور حفظ بیلان منابع و مصارف آب در حوضه، رابطه پیوستگی به قرار روابط 7 و 8 به ترتیب برای محدوده استان‌های خراسان و گلستان برقرار است.

$$St_{kh}(t+1)=St_{kh}(t)+Aw_{kh}(t)-AgrS_{kh}(t)-Sp_{kh}(t)+Ragrs_{kh}(t) \quad (7)$$

$$St_{go}(t+1)=St_{go}(t)+Aw_{go}(t)-AgrS_{go}(t)-Sp_{go}(t)+Ragrs_{go}(t) \quad (8)$$

در این روابط $St_{kh}(t+1)$ حجم آب در مخازن موجود در استان خراسان در گام $t+1$ بوده و $St_{kh}(t)$ مقدار این پارامتر در گام قبل است. میزان آب در دسترس در زمان t در استان خراسان برای تأمین نیازهای کشاورزی این استان با پارامتر $Aw_{kh}(t)$ تعریف شده و میزان آب خروجی از استان خراسان که به استان پایین دست وارد می شود در پارامتر $Sp_{kh}(t)$ گنجانده شده است. برای منظور نمودن دقت بیشتر در محاسبات بیلان، پارامتر $Ragrs_{kh}(t)$ برای میزان آب برگشتی از مصارف کشاورزی برابر 10 درصد میزان کل تامین، تعریف شده است. برای استان گلستان نیز پارامترهای فوق بطور مشابه با نمایه استانی متفاوت تعریف شده‌اند. از تلفات تبخیر در این بخش صرفنظر شده و در محاسبه میزان آب در دسترس کسر شده است. قیودات اصلی توابع هدف ذکر شده در روش‌های فوق به قرار روابط 9 الی 12 تعریف می‌شوند.

$$0<AgrS_{kht}\le AgrD_{kht} \quad (9)$$

$$0<AgrS_{got}\le AgrD_{got} \quad (10)$$

$$0<AgrS_{kht}\le Aw_{kht} \quad (11)$$

$$0<AgrS_{got}\le Aw_{got} \quad (12)$$

در این روابط $AgrD_{kht}$ و $AgrD_{got}$ به ترتیب نیاز کشاورزی استان‌های خراسان و گلستان در گام زمانی t می‌باشد.

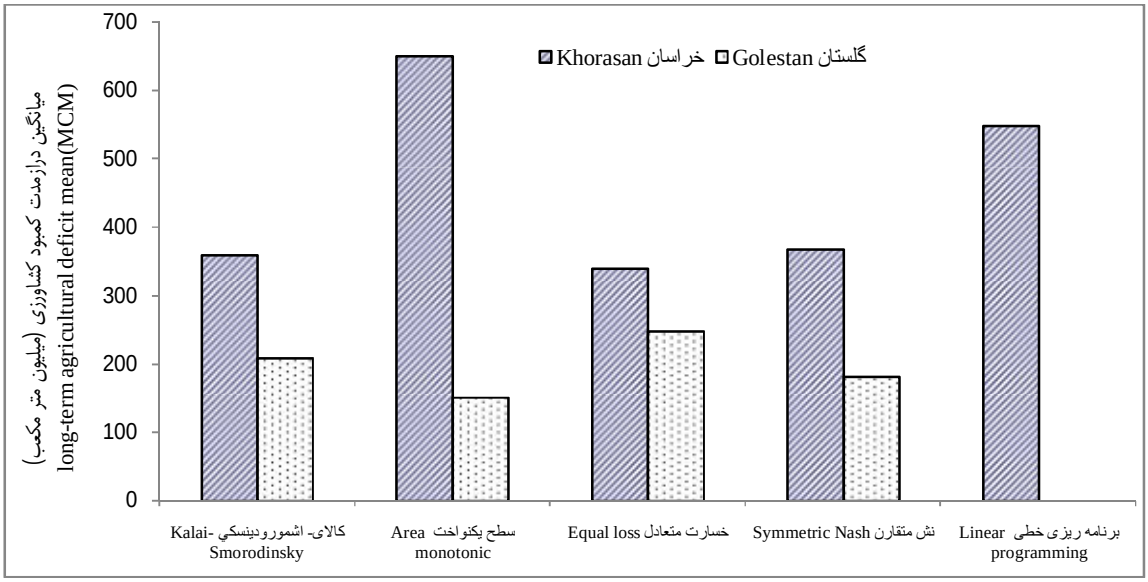
معیارهای عملکرد سیستم

در این تحقیق، معیار کارایی مدل‌های فوق، میزان اطمینان‌پذیری سیستم در تأمین نیازهای کشاورزی است که طبق تعریف هاشیموتو میانگین میزان حجم آب تأمین شده به میانگین نیاز کشاورزی در طول دوره زمانی می‌باشد. به این شاخص اصطلاحاً اطمینان‌پذیری حجمی اطلاق می‌شود. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد مطلوبیت عملکرد سیستم بالاتر است. از سوی دیگر تعداد زمان‌های دچار کمبود نیز دارای اهمیت است که برای این منظور شاخص اطمینان‌پذیری زمانی تعریف می‌شود که همان نسبت تعداد دفعات تامین تا یک آستانه مشخص به کل دوره زمانی داده‌ها می‌باشد. تداوم یک شکست (کمبود در سیستم تا آستانه مشخص) نیز از موارد با اهمیت در یک سیستم منابع آبی بوده که با معیار برگشت‌پذیری تعریف می‌شود و نشان دهنده سرعت فرار سیستم از وضعیت شکست یا کمبود است. هرچه برگشت‌پذیری سیستمی بیشتر باشد آن سیستم مدت زمان کمتری تحت تنش خواهد بود و به تبع آن میزان خسارات کمتری به آن وارد شده و مطلوب‌تر است (5).

نتایج و بحث

مدل‌های بهینه‌سازی اشاره شده در بخش قبل برای حوضه اترک که در مدل لینگو توسعه داده شده اجرا شد و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه گردید. در شکل 3 نتایج مدل‌های فوق در مقدار میانگین سالانه درازمدت کمبود کشاورزی استان‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

نتایج بیانگر کارایی مدل‌های حل اختلاف در توزیع متعادل‌تر تأمین آب بین دو استان ذینفع نسبت به مدل برنامه‌ریزی خطی است که در آن، بطور کامل آب مورد نیاز یک استان تأمین شده و استان دیگر با درصد کمبود بسیار بالایی مواجه شده است. وجود رفتار مشابه مدل‌های حل اختلاف در تخصیص منابع آب نتیجه دیگری است که از شکل فوق می‌توان استنباط نمود.



شکل 3- میانگین سالانه درازمدت کمبود کشاورزی استان‌ها در مدل های مختلف تخصیص آب

Figure 3- Long-term average of agricultural deficit in provinces in several water allocation models

از سوی دیگر کارایی مدل‌های فوق از دیدگاه معیارهای عملکرد سیستم که در این مطالعه شامل اطمینان‌پذیری زمانی، اطمینان‌پذیری حجمی و برگشت‌پذیری بوده و در دسته شاخص‌های پایداری سیستم قرار دارند، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج در جدول3 ارائه شده است.

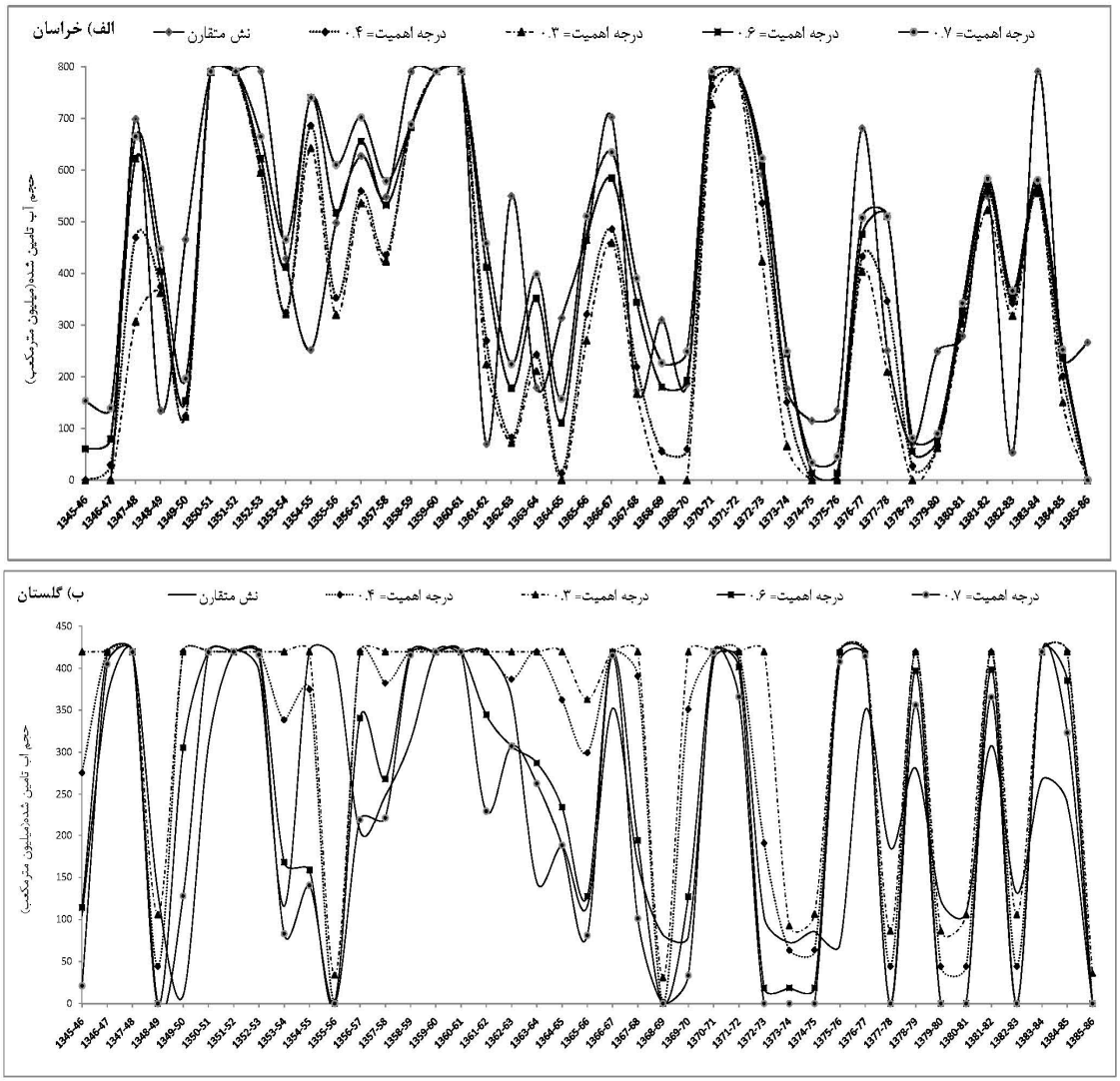
جدول 3- مقایسه مدل‌های تخصیص با استفاده از شاخص‌های پایداری

Table 3- Comparison of water allocation models in terms of sustainable indices

مدل Model	اطمینان‌پذیری زمانی(درصد) Reliability in time (%)			اطمینان‌پذیری حجمی(درصد) Reliability in volume (%)			برگشت‌پذیری (درصد) Resiliency in volume (%)		
	خراسان Khorasan	گلستان Golestan	کل Total	خراسان Khorasan	گلستان Golestan	کل Total	خراسان Khorasan	گلستان Golestan	کل Total
برنامه ریزی خطی Linear- programming	20	100	26	31	100	55	18	100	23
نش متقارن Symmetric Nash	34	41	36	54	57	55	33	38	42
کالای -اشمورودینسکی Kalai-Smorodinsky	37	32	29	54	50	53	38	25	31
خسارت متعادل Equal loss	39	12	34	57	41	52	40	11	37
سطح یکنواخت Area Monotonic	12	59	8	17	64	34	14	41	9

نتایج فوق بیانگر این مطلب است که مدل‌های حل اختلاف سعی در ایجاد تعادل بین ذینفعان در مقادیر تأمین‌ها دارند این در صورتی که در مدل‌های برنامه‌ریزی خطی معمول این هدف دنبال نمی‌شود. با وجودی که می‌توان نتایج مدل‌های حل اختلاف را مشابه یکدیگر دانست اما از بین این مدل‌ها مدل متقارن نش به پاسخ‌های مطلوب‌تری در هر سه معیار عملکرد مورد نظر نسبت به سایرین دست یافته است. بیشترین میزان برگشت پذیری سیستم و نیز بیشترین میزان اطمینان‌پذیری زمانی از طریق این مدل بدست آمده و در مورد اطمینان‌پذیری حجمی نیز بین دو ذینفع تعادل منطقی را ایجاد نموده است. نتایج برآمده از مدل سطح یکنواخت نیز نسبت به سایر مدل‌ها از مطلوبیت کمتری برخوردار است و وزن تخصیص نسبت به استان گلستان در این روش بیشتر شده است.

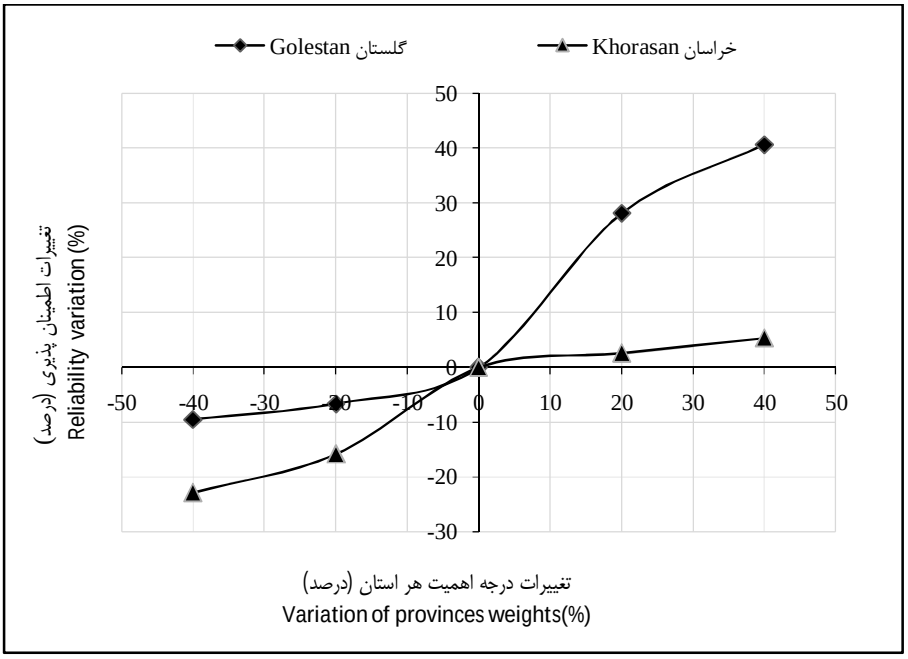
به منظور بررسی درجه اهمیت ذینفعان در نتایج مدل نش از روش غیرمتقارن این مدل نیز استفاده شد. در این روش به جای اختصاص وزن‌های یکسان به ذینفعان، از وزن‌های متفاوت 0/3، 0/4، 0/6 و 0/7 برای هر یک استفاده شده به قسمی مجموع وزن‌های ذینفعان در هر سناریو برابر مقدار واحد (یک) شود. در شکل 4 نتایج این مدل در تامین نیاز کشاورزی به ازای وزن‌های مختلف برای استان خراسان به تفکیک هر استان نشان داده شده است.



شکل 4- سری درازمدت تأمین سالانه نیاز کشاورزی به ازای درجه اهمیت‌های مختلف استان خراسان در روش نش

Figure 4- Long-term average of annual agricultural supply in terms of variation of provinces weights in Nash solution method

با بررسی شکل فوق می‌توان دریافت که میزان تأمین هر استان با درجه اهمیت آن رابطه مستقیم دارد به این معنی که هر چه درجه اهمیت آن استان افزایش یابد میزان تأمین آن استان در اولویت بالاتر قرار می‌گیرد و بالعکس چنانچه وزن هر استان در مدل حل اختلاف نسبت به سایرین کمتر باشد، استان با تنش بیشتری روبرو خواهد بود. شدیدترین کمبودها در دوره خشکسالی اخیر برای استان خراسان زمانی اتفاق افتاده که وزن این استان کمتر از 0/5 بوده است (خطوط نقطه چین). از سوی دیگر میزان اثرپذیری هر استان به ازای تغییر درصد مشخصی از درجه اهمیت آن استان با ذینفع دیگر متفاوت بوده و مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل 4 تغییرات نتایج از جنبه اطمینان‌پذیری حجمی به ازای میزان تغییرات درجه اهمیت هر استان نشان داده شده است.



شکل 5- تغییرات میانگین بلندمدت اطمینان پذیری سالانه تامین آب کشاورزی در استان‌ها به ازای تغییر درجه اهمیت هر استان نسبت به حالت متقارن در روش نش

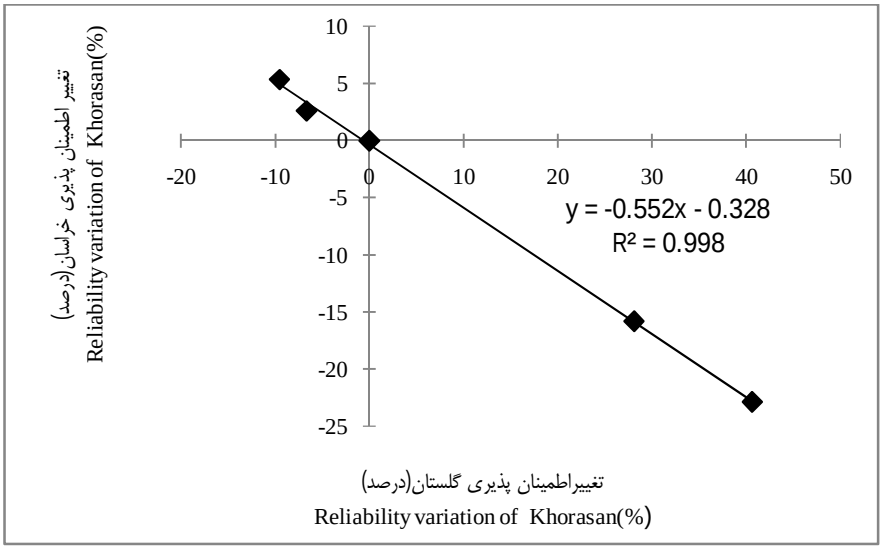
Figure 6- Long-term average of reliability variation in agricultural supply at provinces in terms of variation of provinces weights

مشاهده می‌شود که استان خراسان با شیب کمتری نسبت به استان گلستان از درجه اهمیت متأثر شده است. با افزایش 20 درصدی درجه اهمیت استان گلستان نسبت به حالت متقارن در حدود 30 درصد شاخص اطمینان پذیری بهبود یافته است در حالی‌که استان خراسان فقط 4 درصد بهبود یافته است (ربع اول). همچنین با مقایسه ربع اول و سوم نمودار فوق می‌توان دریافت که چنانچه 20 درصد درجه اهمیت استان گلستان کاهش یابد که به اندازه همین میزان درجه اهمیت استان خراسان افزایش می‌یابد به اندازه‌ای که استان گلستان تحت تنش قرار می‌گیرد در وضعیت استان خراسان بهبودی حاصل نمی‌شود. بطور کلی می‌توان دریافت که استان گلستان، واقع در پایین دست سیستم، حساسیت بیشتری به درجه اهمیت در مدل حل اختلاف نش از خود نشان می‌دهد.

بطور کلی تغییرات اطمینان‌پذیری دو استان نسبت به یکدیگر همانطور که در شکل 6 نشان داده شده با ضریب همبستگی بالایی بصورت خطی بوده و شیب این خط به سمت استان گلستان می‌باشد. بدین مفهوم که با بهبود 28 درصدی میزان اطمینان‌پذیری تأمین در استان گلستان به میزان 16 درصد میزان این شاخص در استان خراسان کاهش می‌یابد و همینطور چنانچه هدف افزایش میزان اطمینان‌پذیری استان خراسان به میزان 5 درصد باشد این موجب کاهش 10 درصدی میزان این شاخص در استان پایین دست می‌شود.

نتیجه‌گیری

در شرایطی که افزایش مصارف از سویی و تغییرات شرایط آب و هوایی از سوی دیگر عمده حوضه‌های آبریز را در بحران شدید قرار داده، تخصیص متعادل منابع آب بین ذینفعان مختلف از موضوعات اساسی و مهم در بیشتر نقاط دنیا می‌باشد. در این مطالعه روش‌های بهینه‌سازی حل اختلاف در برآورد تخصیص منابع آب کشاورزی ذینفعان در مقیاس استانی در حوضه اترک بکار گرفته شد و پس از مقایسه نتایج این روش‌ها با یکدیگر بر اساس معیارهای عملکرد اطمینان‌پذیری حجمی، اطمینان‌پذیری زمانی و برگشت‌پذیری در خصوص شباهت زیاد نتایج نهایی آنها بحث شد. با مشاهده نتایج بدست آمده میتوان نتیجه‌گیری نمود که روش نش در مقایسه با سایر روش‌ها از عملکرد مطلوب‌تری برخوردار بوده به قسمی که میانگین اطمینان‌پذیری زمانی کل حوضه بدست آمده در این روش (معادل 36%) علی رغم نامطلوب بودن عدد فوق برای شاخص اطمینان‌پذیری، نسبت به سایر روش‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد.



شکل 6- رابطه میزان تغییرات اطمینان‌پذیری دو استان نسبت به یکدیگر (درصد)

Figure 6- Relation between two provinces reliability variation

این تفاوت در سایر معیارها من‌جمله اطمینان‌پذیری حجمی (برای کل حوضه 55%) و برگشت‌پذیری (برای کل حوضه 42%) نیز بوضوح مشاهده می‌شود. علاوه بر این توزیع مقدار معیارهای مذکور بین دو ذینفع نیز در این روش نسبت به سایر روش‌ها متعادل‌تر بوده و مقادیر بدست آمده برای دو ذینفع با هم فاصله زیادی ندارند به طوری‌که شاخص اطمینان‌پذیری حجمی بدست آمده از روش نش برای استان‌های گلستان و خراسان به ترتیب برابر 57% و 54% می‌باشد در صورتی‌که به عنوان مثال در روش سطح یکنواخت مقدار این شاخص به ترتیب برای دو استان فوق 64% و 17% می‌باشد و در روش‌های دیگر نیز این تفاوت بوضوح دیده می‌شود. از آنجایی که معیارهای مذکور در دسته معیارهای پایداری سیستم قرار دارند می‌توان به این مهم دست یافت که از جنبه توسعه پایدار در منطقه اولویت کاربرد روش نش در درجه بالاتری قرار دارد. در بخش دیگر این تحقیق، به دلیل اهمیت روش نش نسبت به سایر روش‌ها، درجه اهمیت استان‌ها در میزان بهبود و یا کاهش شاخص اطمینان‌پذیری حجمی مورد تحلیل قرار گرفت و مشاهده شد استان پایین دست نسبت به افزایش و یا کاهش وزن خود حساس‌تر بوده است. این بدان معناست که با کاهش تخصیص آب به اندازه یک واحد استان پایین دست (گلستان) بیش از استان بالادست (خراسان) متحمل خسارت خواهد شد که پیشنهاد می‌گردد در برنامه‌ریزی کلان تخصیص آب به این موضوع با دقت ویژه‌ای پرداخته شود.

منابع

1- Coppola E. 2001. Balancing risk with water supply for a public well field, Journal of Water Resource Planning and Management, 126(2): 1-36.

2- Daneshyazdi M. 2011. Conflict resolution of water resource allocations using the game theory approach: The case of Orumieh River basin, MSc Thesis, Sharif University of Technology. (in Persian with English abstract)

3- Engineering M.G.C. 2012. Water resource planning report of Atrak basin.

4- Frisvold G.B., and Caswell M.F. 2000. Transboundary water management (Game theoretic lessons for projects on the US–Mexico border), Agricultural Economics, 24(1): 101-111.

5- Hashimoto T., Stedinger J. R., and Loucks D. P. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, Water resources research, 18.1: 14-20.

6- http://www.lindo.com/. (visited May 2014).

7- Molden D. 2007. Water for food, water for life. International Water Management Institute.

8- Nandalal K., and Simonovic S.P. 2002. State-of-the-art report on systems analysis methods for resolution of conflicts in water resources management, Department of Civil and Environmental Engineering. The University of

Western Ontario.

9- Salazar R., Szidarovszky F., and Rojano A. 2010. Water distribution scenarios in the Mexican Valley. Water resources management, 24(12): 2959-2970.

10- Schrage L. 2002. Optimization Modeling with LINGO®. Lindo System Inc. USA.

11- Zarezadeh M. 2010. Water resource allocation under climate change using bankruptcy in conflict resolution. MS Thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian with English abstract)

12- Zarghami M., and Szidarovszky F. 2011. Multi criteria Analysis Applications to Water and Environment Management, Springer, pp. 95-104.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1820-1831

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1831-1820

Provincial Water Resource Allocation in Agricultural Sector using Conflict Resolution Methods in Atrak Basin

P. Kazemi-Meresht[1*]- Sh. Araghinejad[2]

Received: 03-02-2015
Accepted: 10-05-2016

Introduction: In spite of improving the water productivity due to development in water infrastructure systems, population increasing causing the water withdrawal is triple in the last fifty years. In this situation competition on water consumption especially in the agricultural sector which is the biggest consumer in the world and also in Iran is a severe problem. Water allocation has been assessed widely in the recent past. Additionally, several studies have explored methods to incorporate conflict resolution methods in water allocation. In a general classification, there are two types of methods. One is the method based on game theory, graph theory and general models based oncooperative game into a category that has the ability to consider the stakeholder preferences and assess the several scenarios under specified policy. Although this type of methods iseligible to cooperate the stakeholder in modeling but due to their weakness on considering the information on details and their limitations in adoption with changes caused from uncertainty, they are not popular in practical cases. Another type of conflict resolution method which is eligible to considering more detailed information of systems has the optimization approach basically, has the most interests between researchers. There is namely the Nash bargaining solution, the Kalai-Smorodinesky solution, the Equal loss solution and the area monotonic solution. There are several studies which areapplied these methods to investigate about groundwater (5, 6 and10). There are a few applications of water resource allocation models which is incorporated with conflict resolution methods in Transboundary Rivers nowadays and restricted to game theory related methods (1 and 2). The aim of this study is the assessment of the application of conflict resolution methods such as symmetric and non symmetric Nash solution, non symmetricKalai-Smorodinesky, non symmetric equal loss solution and finally the area monotonic solution in water allocation between beneficiary's provinces in Atrak basin. The performances of these methods are compared with each other and also with the common water allocation model.

Materials and Methods: In the last decades, Atrak river basin located at the eastern north of Iran, shared between three provinces; Razavi Khorasan, northern Khorasan and Golestan, has a tense conflict between upstream and downstream beneficiaries. It is predictable that this conflict will be more tense in the near future due to development of upstream and increasing the water withdrawal. Because of the venial role of the Razavi Khorasan province in the Atrak basin, this province is considered as a coalition with northern Khorasan. Related data for 41 years time series and other information were gathered. Due to Hydrology studies, wet and dry periods in the two regions have not differences. As a fact that the main problem of water allocation belongs to the agricultural sector and it is the biggest consumer in the region, supply of the municipal, industrial and environmental requirement is assumed.To begin, a linear programming model is developed to optimize the agricultural water resource allocation using the LINGO® which is a comprehensive tool designed to make building and solving Linear, Nonlinear (convex &nonconvex/Global), Quadratic, Quadratically Constrained, Second Order Cone, Stochastic, and Integer optimization models faster, easier and more efficient. In the second place, conflict resolution methods such as symmetric Nash, non symmetric Nash, Kalai-Smorodinsky, equal loss, uniform area solutions are applied as an object function of water allocation models one by one. In all of these methods the stakeholder preferences should be defined with their weights in the object function. Moreover, the mentioned models are assessed with performance criteria such as reliability in time and in volume and also the resiliency.

Results and Discussion: Comparison of the results of 4 water allocation models using conflict resolution methods besides the common water allocation model using LP is shown in the figure 3 which shows the differences between models in mean of Agricultural water deficit in both provinces separately.

1 and 2- Ph.D. Student and Associated Professor Water Resource Engineering, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: pkazemi@ut.ac.ir)

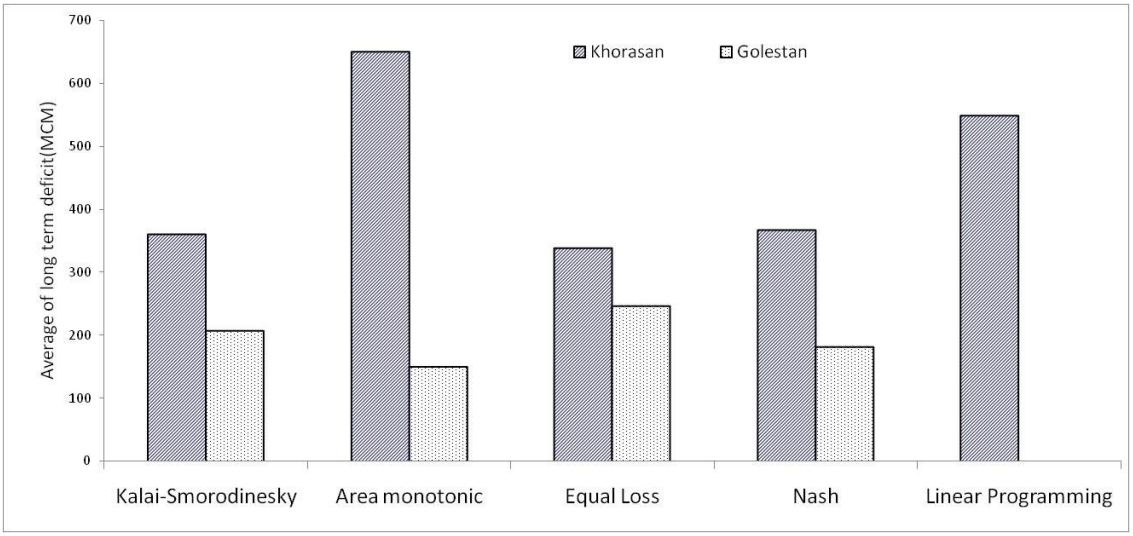


Figure 3- Mean of long term of agricultural deficit in different models

As mentioned before water allocation models are evaluated with performance criteria and the result is revealed in the table3.

Table 3- Comparison of conflict resolution models using the performance criteria

	Reliability in time (%)			Reliability in volume (%)			Resiliency (%)		
	Golestan	Khorasan	Total	Golestan	Khorasan	Total	Golestan	Khorasan	Total
LP	100	20	26	100	31	55	100	18	23
Nash	41	34	36	57	54	55	38	33	42
Kalai	32	37	29	50	54	53	25	38	31
Loss	12	39	34	41	57	52	11	40	37
Area	59	12	8	64	17	34	41	14	9

It is clear that models which have the Nash, Kalai-Smorodinesky, Equal Loss, Area Monotonic solution as the object function produce an equitable allocation between two stakeholders in comparing with the LP.

Conclusion: Without better management in agricultural water in the future which is treated by increasing population and changing the climate, growing conflicts between stakeholders are expected. In this study application of conflict resolution methods in water allocation models in Atrak basin is considered. Comparison of models in terms of their performance to allocate water equitably between two beneficiary provinces is appraised. Results revealed that the conflict resolution methods have the same action in water allocation in general though; the Nash has desirable results than others. All the conflict resolution models have the better performance in general in comparison with the common water allocation model using the linear programming. To conclude, the dependencies of results to provinces weights are appraised. Application of conflict resolution methods are proposed instead of common water allocation models without stakeholder's preference consideration due to water allocation between several stakeholders equitably.

Keywords: Conflict resolutions, Optimization, Water allocation