

# تخصیص آب با استفاده از مدل شکار- شکارچی و مقایسه آن با روش‌های مرسوم حل اختلاف (مطالعه موردی: حوضه آبریز اترک)

پروانه کاظمی مرشت<sup>۱</sup>، شهاب عراقی نژاد<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
(نویسنده مسئول) (۰۲۶) ۳۲۲۲۶۱۸۱ pkazemi@ut.ac.ir

۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(دریافت ۹۳/۲/۱۳ پذیرش ۹۳/۸/۲۱)

## چکیده

تخصیص منابع آب بین ذی‌مدخلان مختلف از مسائل مطرح در حوضه‌های آبریز در سطح ملی و بین‌المللی است. با وجود تحقیقات گسترده انجام شده در زمینه تخصیص منابع آب، هنوز نیاز به روشی که به صورت عادلانه و پایدار منابع آب را به ذینفعان تخصیص دهد، وجود دارد. در دهه‌های اخیر، روش‌های ریاضی مانند روش چانه‌زنی نش، سطح یکنواخت، خسارت متعادل و کالای اشمورودینسکی برای مسائل حل اختلاف به کار گرفته شده که به طور کلی در دسته روش‌های بهینه‌سازی جا دارند و در نهایت به یک جواب واحد منتهی می‌شوند. در این مطالعه برای اولین بار یک راه حل ریاضی موسوم به معادله شکار-شکارچی برای حل اختلاف در زمینه تخصیص آب کشاورزی پیشنهاد شد. مزیت اصلی روش پیشنهادی تخصیص متعادل آب بین ذی‌مدخلان در راستای توسعه پایدار در منطقه است که در طول سری زمانی، سود ذینفعان را محاسبه نموده و اثرگذاری آنها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. این مدل برای تخصیص منابع آب حوضه آبریز اترک در شمال شرق ایران که در حال حاضر با مشکل حاد تنش آبی مواجه است، به کار گرفته شد. مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های بهینه‌سازی حل اختلاف بر روی این حوضه، بیانگر کارایی مدل در ارائه پاسخ‌های پویا و دینامیکی به جای حل واحد است.

**واژه‌های کلیدی:** تخصیص آب، حل اختلاف، روش‌های بهینه‌سازی، مدل شکار-شکارچی، حوضه آبریز اترک

## ۱- مقدمه

گروه‌ها در نگرش‌ها، عقاید و ارزش‌ها و همچنین نیازها در مدیریت آب عنوان نمود که اغلب منجر به تعاملاتی در فرایند مدیریت منابع آب بین فاکتورهای مختلف و زیربخش‌ها و ذینفعان مختلف می‌شود [۱].

مناقشات بین حوضه‌های بین‌المللی که شامل مرزهای سیاسی بین دو یا چند کشور است نیز از مسائل مطرح مدیریت منابع آب دنیاست. این حوضه‌های بین‌المللی نصف مساحت زمین و ۴۰ درصد جمعیت جهان و ۶۰ درصد جریان‌های رودخانه‌ای دنیا را در بر می‌گیرند [۲]. از جمله حوضه‌های بین‌المللی می‌توان رودخانه مکونگ<sup>۱</sup> را نام برد که از آسیای جنوب شرقی سرچشمه گرفته و با گذر از تبت، میانمار، ویتنام، لائوس و تایلند و کامبوج به دریای جنوبی چین منتهی می‌شود. توسعه و برداشت از منابع آب این

رشد دو برابری جمعیت جهان طی پنجاه سال گذشته، افزایش رفاه و سطح زندگی و به تبع آن مصرف بیشتر کالری منجر شده تا نیاز آبی برای تولید محصولات غذایی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. این امر فشار بر محیط زیست را نیز تشدید کرده، به حدی که امروزه میزان برداشت آب از رودخانه‌ها در مقایسه با نیم قرن گذشته، سه برابر شده است. در چنین شرایطی تخصیص منابع آب بین ذینفعان مختلف از مسائل مهم در سطح ملی و بین‌المللی به شمار می‌رود. تاکنون مطالعات متعددی در خصوص چگونگی تخصیص منابع آب بین ذینفعان مختلف صورت پذیرفته است ولی هنوز نیاز به روشی است که تخصیص آب را بین ذینفعان به صورت عادلانه و پایدار انجام دهد.

امروزه افزایش نیازهای آبی منجر به افزایش رقابت‌ها بر سر تخصیص آب شده که مناقشات متعددی را به دنبال خود دارد. در سال ۲۰۰۳ ناندلال علت این مناقشات را تفاوت اشخاص و

<sup>1</sup> Mekong River

رودخانه در چند دهه اخیر به دلیل مناقشات فراوان میان کشورهای دینفع بسیار محدود شده است.

تاکنون روش‌های متعددی در زمینه تخصیص آب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته ولی به دلیل وجود مناقشات مذکور در دهه‌های اخیر، روش‌های حل اختلاف در تخصیص منابع آب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان مدل‌های مبتنی بر نظریه بازی و تئوری گراف و نیز سایر مدل‌های همکارانه را در یک طبقه کلی جای داد. در این دسته‌بندی مدل‌های مرسوم حل اختلاف نش<sup>۱</sup>، کالای اشمورودینسکی<sup>۲</sup>، خسارت متعادل<sup>۳</sup> و سطح یکنواخت<sup>۴</sup> در طبقه دیگر که عموماً از نوع مسائل بهینه‌سازی است، جای دارند.

راجر در سال ۱۹۶۹ کاربرد تئوری بازی برای حوضه‌های بین‌المللی را بررسی نموده و با برنامه‌ریزی خطی، سود حاصل از کنترل سیلاب رودخانه گنگ و براه‌اپوترا، رودخانه مرزی کشورهای هند و پاکستان، را محاسبه نمود [۳]. در ارتباط با تخصیص آب در سطح حوضه آبریز، کوچوک مونتگلو و گلدمن در سال ۲۰۰۴ مسئله تقسیم آب رودخانه‌های دجله و فرات میان سه کشور ترکیه، سوریه و عراق را از دید رفع اختلاف مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق پس از محاسبه حداکثر سود ممکن از تقسیم آب میان این سه کشور، از طریق یک مدل برنامه‌ریزی خطی، سناریوهای مختلف تقسیم آب بین این کشورها تعریف شده و توسط روش ارزش شاپلی<sup>۵</sup> این سناریوها مورد ارزیابی قرار گرفتند. میزان سود حاصل از تقسیم آب در هر سناریو از طریق این روش محاسبه شد. مطابق نظر محققان، نتایج حاصل از این مدل به منظور ارزیابی سناریوها بسیار مناسب است [۴]. شایان ذکر است که در این مطالعه سهم ایران در بالادست رودخانه دجله دیده نشده است. پاراچینو و همکاران در سال ۲۰۰۶ کاربردهای مختلف تئوری بازی مشارکتی را در منابع آب مورد بررسی قرار دادند و با توجه به این که با افزایش رقابت‌ها بر سر منابع آب، تخصیص آب با منازعات زیادی همراه خواهد بود، مرور کاملی بر استفاده از این روش در تخصیص آب در کاربری‌های مختلف اعم از پروژه‌های چند هدفه آبی، آبیاری، آب زیرزمینی، برقایی، تأمین آب شهری، فاضلاب و منازعات آب‌های مرزی انجام دادند [۵]. مدنی و هایپل در سال ۲۰۰۷ با به‌کارگیری نظریه بازی‌ها، به بررسی مشکلات تخصیص آب رودخانه اردن بین کشورهای لبنان، سوریه، اردن، اسرائیل و فلسطین پرداختند. با وجودی که نتایج این مطالعات

بیانگر عدم تمایل کشورهای بالادست به افزایش سهم خود از منابع آبی به دلیل عکس‌العمل‌های ممکن از سوی رقبای پایین دست بوده، مدل پیشنهادی قادر به یافتن تعادل‌های موجود مسئله بوده و راهکارهای ممکن را برای گروه‌های درگیر پیشنهاد می‌نماید [۶]. زارع‌زاده در سال ۲۰۱۰ برای حل اختلاف در حوضه آبریز قزل اوزن در شرایط تغییر اقلیم از رویکرد ورشکستگی استفاده نمود. تخصیص آب محاسبه شده با رویکرد حل ورشکستگی بین استان‌های دینفع در حوضه آبریز قزل اوزن با مقادیر ثابت تخصیص یافته متفاوت بوده و نتایج بیانگر کارایی مدل حل اختلاف در تخصیص منابع آب در شرایط مختلف اقلیمی می‌باشد [۷]. در نهایت دانش‌یزدی در سال ۲۰۱۱ از رویکرد نظریه بازی همکارانه در تخصیص منابع آب حوضه دریاچه ارومیه بهره گرفته و نشان داده که با به‌کارگیری این مدل می‌توان حالات مختلف همکاری دینفعان در تخصیص منابع آب را منظور نمود [۸]. با وجود کارایی بالای روش‌های مذکور در امکان تعامل بین دینفعان و انتخاب سیاست‌های مختلف، وجود ضعف این دسته از روش‌ها در تطابق با تغییرات ناشی از عدم قطعیت‌ها و نیز عدم توانایی آنها در نمودن اطلاعات دقیق، مطلوبیت آنها را در کاربردهای عملی کاهش داده است.

دسته دیگر روش‌ها که دارای پایه بهینه‌سازی بوده و امکان منظور نمودن اطلاعات دقیق سیستم را به تصمیم‌گیرنده می‌دهند، مورد نظر این تحقیق است. از جمله تحقیقات صورت پذیرفته در این بخش می‌توان به توسعه مدل حل اختلاف غیرمقارن نش برای محاسبه سود حاصل از پروژه‌های کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی مشترک بین دو کشور مکزیک و ایالات متحده که توسط فریسولد و کسول در سال ۲۰۰۰ انجام شد، اشاره نمود [۹]. در بحث مدیریت آب زیرزمینی، کوپولا و همکاران در سال ۲۰۰۱ از مدل‌های حل اختلاف غیرمقارن نش، غیرمقارن کالای اشمورودینسکی، غیرمقارن سطح یکنواخت و غیرمقارن خسارت یکسان برای حل تضاد میان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلوده شدن آنها استفاده کردند [۱۰]. سالازار و همکاران در سال ۲۰۰۷ از چهار روش بالا برای مطالعه دو هدف متضاد افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات محیط‌زیستی آبیاری از آب زیرزمینی بهره گرفتند [۱۱]. مطالعه دیگری در مورد تخصیص منابع آب مورد نیاز بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی به‌عنوان سه دینفع در یکی از مناطق پرتنش در مکزیک با استفاده از روش غیرمقارن نش و تابع هدف حداقل‌سازی کمبودها توسط سالازار و همکاران در سال ۲۰۱۰ انجام پذیرفت. در این تحقیق بهینه‌سازی وزن‌های رقبا برای رسیدن به یک جواب بهینه مورد بررسی قرار

<sup>1</sup> Non-Symmetric Nash Solution

<sup>2</sup> Kalai-Smorodinsky

<sup>3</sup> Equal Loss Solution

<sup>4</sup> Area Monotonic Solution

<sup>5</sup> Shapley Value

$Subjectto(b_1, b_2) \in H$

$$b_1 \geq b_1^*$$

$$b_2 \geq b_2^*$$

غیر متقارن بودن تصمیم‌گیرندگان به معنای نداشتن وزن‌های یکسان و یا اهمیت برابر آنها نسبت به هم است و در رابطه بالا  $b_1$  و  $b_2$  به ترتیب مقادیر سود ذینفعان ۱ و ۲ بوده و  $b_1^*$  و  $b_2^*$  حداقل مقادیر ممکن برای سودهای این دو ذیمدخل است و  $\alpha \in [0, 1]$  و  $1-\alpha$  توان‌های دو تصمیم‌گیرنده یا وزن‌های اهداف آنها می‌باشد. در روش کالای اشمورودینسکی یک بردار از شرایط موجود شروع شده و به سمت نقطه ایده‌آل حرکت می‌کند (شکل ۱-ب). آخرین نقطه قابل قبول به عنوان راه حل شناخته می‌شود. در واقع بردار سود از شرایط حاضر به سمت نقطه ایده‌آل تا حد امکان حرکت می‌نماید. بنابراین محاسبه راه حل واحد در صورت فرض معادله منحنی با فرمول دو نقطه‌ای از طریق رابطه ۲ صورت می‌پذیرد

$$f(b_1) - b_2^* = \frac{B_2^* - b_2^*}{B_1^* - b_1^*} (b_1 - b_1^*) \quad (2)$$

اگر معیار تصمیم‌گیرنده دارای وزن‌های با اهمیت مختلف باشد، آنگاه شیب منحنی تغییر می‌کند به نحوی که معیار با درجه اهمیت بالاتر با سرعت بیشتری حرکت می‌نماید. بنابراین در این مورد رابطه ۲ به رابطه ۳ تعمیم داده می‌شود

$$f(b_1) - b_2^* = \frac{(1-\alpha)(B_2^* - b_2^*)}{\alpha(B_1^* - b_1^*)} (b_1 - b_1^*) \quad (3)$$

حل خسارت متعادل در ابتدا برای حل موارد متقارن ایجاد شد که در آنها مقادیر معیارها به صورت هم‌زمان از مقادیر بیشینه خود با یک سرعت مساوی دور می‌شوند تا زمانی که یک توافق به دست آید (شکل ۱-ج).

در این روش هر دو بازیکن مقادیر سود خود را با نرخ برابر از نقطه ایده‌آل کاهش می‌دهند تا به راه حل قابل قبول برسند. بنابراین نقطه  $(b_1, f(b_1))$  بر روی مرز پارتو<sup>۲</sup> با رابطه ۴ قابل محاسبه است که در واقع یک معادله غیرخطی یکنواخت برای  $b_1$  است

$$B_1^* - b_1 = B_2^* - f(b_1) \quad (4)$$

گرفت و نتایج نشان داد که مقادیر اولویت ذینفعان یا رقبا اثر مستقیم بر نتایج نهایی مدل دارد [۱۲].

در یک جمع‌بندی، مطالعات انجام یافته تاکنون با فرضیات مختص به خود توانسته‌اند یک جواب واحد را برای تخصیص درازمدت یک حوضه یا رودخانه یا یک مخزن پیشنهاد دهند. این در حالی است که در شرایط واقعی، کلیه پارامترهای مؤثر در منابع و مصارف آب به صورت پویا در حال تغییر بوده و به همین دلیل اختصاص یک مقدار ثابت بدون در نظر گرفتن اثرات آن در آینده بر روی ذینفعان نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای واقعی سیستم باشد. در این مطالعه سعی شد تا برای اولین بار تخصیص پویای منابع آب به ذینفعان، با به‌کارگیری یک مدل رقابتی که متضمن پایداری سیستم باشد، مدنظر قرار گرفته و نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با نتایج مدل‌های بهینه‌سازی مرسوم حل اختلاف مقایسه شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

به دلیل وجود منابع محدود، مدیریت آب و محیط زیست همواره با مناقشات متعددی بین ذی‌مدخلان همراه بوده است. این‌گونه مسائل، زمانی که ذی‌مدخلان دارای معیارهای متناقضی باشند، از پیچیدگی زیادی برخوردار خواهد بود. در این‌گونه مسائل باید یک تعامل<sup>۱</sup> مناسب بین آنها ایجاد نمود. وقتی معیارها در تضاد با یکدیگر هستند، بهبود یک معیار، مساوی با بدشدن معیار دیگر است. به عنوان مثال بهره‌گیری اقتصادی از استحصال منابع با حفظ منابع طبیعی در تضاد است. پایداری محیط زیستی با استفاده از آب برای مصارف شرب و صنعت در تضاد هستند. روش شناسی این مطالعه به دو بخش روش‌های مرسوم حل اختلاف و روش پیشنهادی تقسیم شده است.

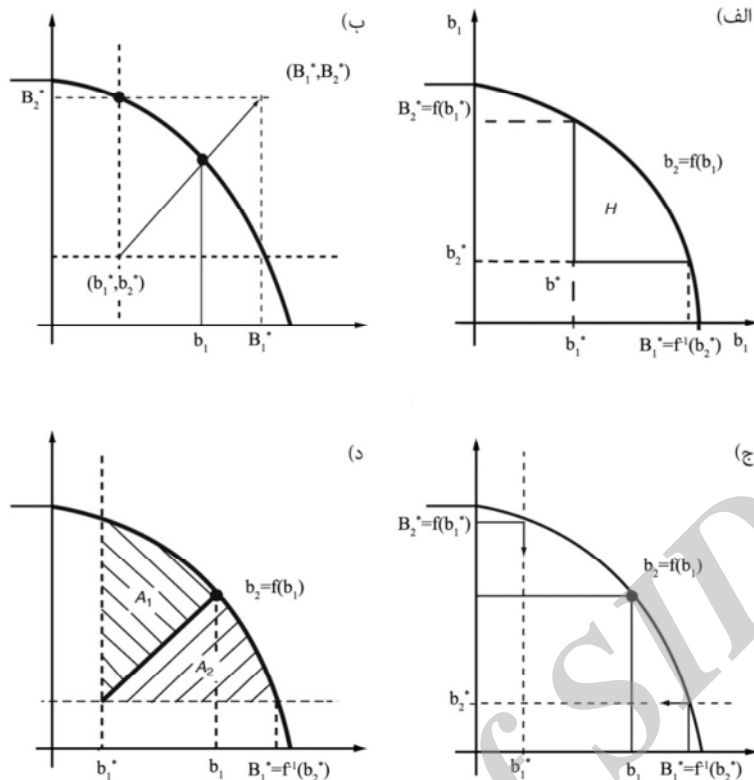
### ۱-۲- روش‌های متداول حل اختلاف

در تحقیقات مختلف به منظور حل مناقشات از روش‌های مختلفی از جمله روش نامتقارن نش، خسارت متعادل، سطح یکنواخت و کالای اشمورودینسکی بهره گرفته شده است که هر کدام از آنها به دلیل اینکه یک مدل بهینه‌سازی می‌باشند، در نهایت به یک جواب ثابت ختم شده و رفتار سیستم را به صورت پویا در نظر نگرفته‌اند. روش چانه‌زنی نش برای تصمیم‌گیرندگان غیرمتقارن (شکل ۱-الف) به قرار رابطه ۱ تعریف می‌شود

$$\text{Maximize } (b_1 - b_1^*)^\alpha (b_2 - b_2^*)^{1-\alpha} \quad (1)$$

<sup>2</sup> Pareto

<sup>1</sup> Trade-off



شکل ۱- روش‌های حل اختلاف: الف) حل چانه‌زنی نش، ب) کالای اشمورودینسکی، ج) حل خسارت متعادل، د) حل سطح یکنواخت

## ۲-۲- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی این طرح تحقیق، مدل لوتکا-ولترا<sup>۱</sup> بود که معادله شکار-شکارچی<sup>۲</sup> نیز نامیده می‌شود. این معادله یک زوج معادله دیفرانسیلی غیرخطی از درجه یک است که به عنوان مدلی برای بررسی رفتار دینامیکی سیستم‌های زیستی که در آنها دو گونه به صورت شکارچی و شکار وجود دارند، به کار می‌رود.

این معادلات اولین بار توسط آلفرد لوتکا، دانشمند آمریکایی در ۱۹۲۵ و ویتو ولترا، دانشمند ایتالیایی در ۱۹۲۶ ارائه شدند. آلفرد لوتکا برای اولین بار مدل شکار-شکارچی را در تئوری "واکنش‌های شیمیایی خود پیشرو"<sup>۳</sup> در سال ۱۹۱۰ مطرح نمود [۱۳] و سپس طی سال‌های بعد مدل به "سیستم‌های آلی" با استفاده از انواع گیاهان و حیوانات گیاه‌خوار توسعه داده شد. به عنوان مثال در سال ۱۹۲۵ او معادله شکار-شکارچی را برای تحلیل تعاملات شکار-شکارچی در کتاب خود در زمینه ریاضیات زیستی به‌شکلی که امروزه موجود است، مورد استفاده قرار داد [۱۴]. ویتو ولترا دانشمند ایتالیایی نیز به صورت جداگانه بر روی این معادلات در سال ۱۹۲۶ در خصوص تحلیل آماری صید ماهیان از

در صورتی که بازیکنان دارای توان‌های مختلف بوده یا به عبارتی متقارن نباشند، رابطه ۵ کاربرد دارد

$$\alpha(B_1^* - b_1) = (1 - \alpha)(B_2^* - f(b_1)) \quad (5)$$

راه حل سطح یکنواخت بر اساس انتخاب یک آرایه خطی با شروع از نقطه عدم توافق و تقسیم H به دو زیرسطح مساوی است (شکل ۱-د). بنابراین نقطه شروع حل،  $f_1$ ، ریشه معادله غیر خطی  $A_1 = A_2$  است که هر طرف این معادله مطابق روابط ۶ و ۷ تعریف می‌شود

$$A_1 = \int_{b_1^*}^{b_1} f(b) db - \frac{1}{2}(b_1 - b_1^*)(b_2^* + f(b_1)) \quad (6)$$

و

$$A_2 = \frac{1}{2}(b_1 - b_1^*)(b_2^* + f(b_1)) + \int_{b_1}^{B_1^*} f(b) db - (B_1^* - b_1^*)b_2^* \quad (7)$$

نکته‌ای که وجود دارد این است که  $A_1$  افزایش می‌یابد در  $b_1$  و  $A_2$  کاهش می‌یابد در  $b_1$ ؛ بنابراین معادله  $A_1 - A_2 = 0$  یک حل واحد دارد.

<sup>1</sup> Lotka- Volterra Model

<sup>2</sup> Prey-Pradatore Equation

<sup>3</sup> In the Theory of Autocatalytic Chemical Reactions

$$\frac{dNB_U}{dt} = \alpha NB_U - \beta NB_U \cdot NB_D \quad (10)$$

$$\frac{dNB_D}{dt} = \delta NB_U \cdot NB_D - \gamma NB_D \quad (11)$$

که در این روابط

$NB_U$  میزان منافع اقتصادی محدوده بالادست و  $NB_D$  میزان منافع اقتصادی محدوده پایین دست،  $\alpha$  تابعی از میزان آب قابل استحصال در محدوده بالادست،  $\beta$  تابعی از میزان آب خروجی محدوده بالادست به محدوده پایین دست،  $\gamma$  تابعی از میزان آب قابل استحصال در محدوده پایین دست، میزان تلفات محدوده پایین دست و در نهایت  $\delta$ ، تابعی بر حسب بخشی از میزان آب ورودی از حوضه بالادست است که به صورت خالص در پایین دست مورد استفاده قرار گرفته است. با قرار دادن مقادیر منافع در تابع معکوس منافع به میزان تخصیص آب، مقادیر بهینه تخصیص به دست خواهند آمد. نکته قابل ذکر این که برای حل عددی نیاز به شرایط اولیه است که بر اساس داده‌های مسئله میزان منافع اقتصادی حاصل از تأمین آب در وضع موجود برای هر استان وجود داشته که همان مقادیر اولیه حل است. لازم به ذکر است که در مقایسه روش‌های حل اختلاف و مدل پیشنهادی، سود خالص حاصل از تخصیص آب کشاورزی مبنای مقایسه قرار گرفته است.

### ۳- مطالعه موردی

حوضه اترک در منتهی الیه شمال شرقی ایران، از قوچان تا دریای خزر، بین مختصات جغرافیایی ۵۴-۰۰ تا ۵۹-۰۴ درجه طول شرقی و ۳۶-۵۸ تا ۳۸-۱۷ درجه عرض شمالی واقع شده است. از نظر تقسیم بندی کلی هیدرولوژی ایران، این حوضه آبریز بخشی از حوضه آبریز دریای خزر و محدود به حوضه آبریز رودخانه گرگان، کویر مرکزی، کشف رود و هریرود است. جمعیت ساکن در این حوضه در سال ۱۳۸۵، ۸۴۷۰۳۶ نفر بوده است که تقریباً معادل ۱ درصد جمعیت کل کشور است [۱۸]. این حوضه همچنین ۱/۶ درصد از مساحت کل کشور را در بر گرفته که معادل ۲۶۷۹۱ کیلومتر مربع بوده و در تقسیمات سیاسی کشور، بخش‌هایی از استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی و گلستان را شامل می‌شود (شکل ۲). در این مطالعه به دلیل سهم اندک خراسان رضوی در حوضه، استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی به صورت یک ائتلاف در رقابت با استان گلستان در نظر گرفته شدند. هدف، متعادل نمودن سود خالص هر یک از ذی‌مدخلان (استان‌های خراسان و گلستان) در نتیجه تخصیص آب کشاورزی در منطقه است. بر اساس آمار و اطلاعات موجود در گزارش‌های اقتصاد کشاورزی

دریای آدریاتیک مطالعاتی را انجام داد [۱۵]. معادلات لوتکا-ولترا تاریخچه طولانی در تئوری اقتصاد دارد، به نحوی که اولین کاربرد آنها به نقل از ولویلائی توسط گودوین در سال ۱۹۶۷ بوده است [۱۶].

یک روش پیشنهادی برای مدل سازی پویایی صنایع مختلف، این است که توابع غذایی بین بخش‌های مختلف و صرف نظر از بخش‌های کوچک تر با منظور نمودن تعاملات تنها دو بخش تعریف می‌شود.

مدل لوتکا-ولترا یا همان شکار-شکارچی دارای فرضیاتی به شرح زیر است: الف- جمعیت شکار همواره غذای کافی را در اختیار دارد، ب- غذای مورد نیاز جمعیت شکارچی همواره بستگی به جمعیت شکار دارد، ج- نرخ تغییر در جمعیت بستگی به میزان جمعیت دارد و د- در طول فرایند، شرایط محیطی تغییر نکرده و تنوع زیستی بسیار کند صورت می‌پذیرد. این معادلات در زمان به صورت زیر بیان می‌شوند

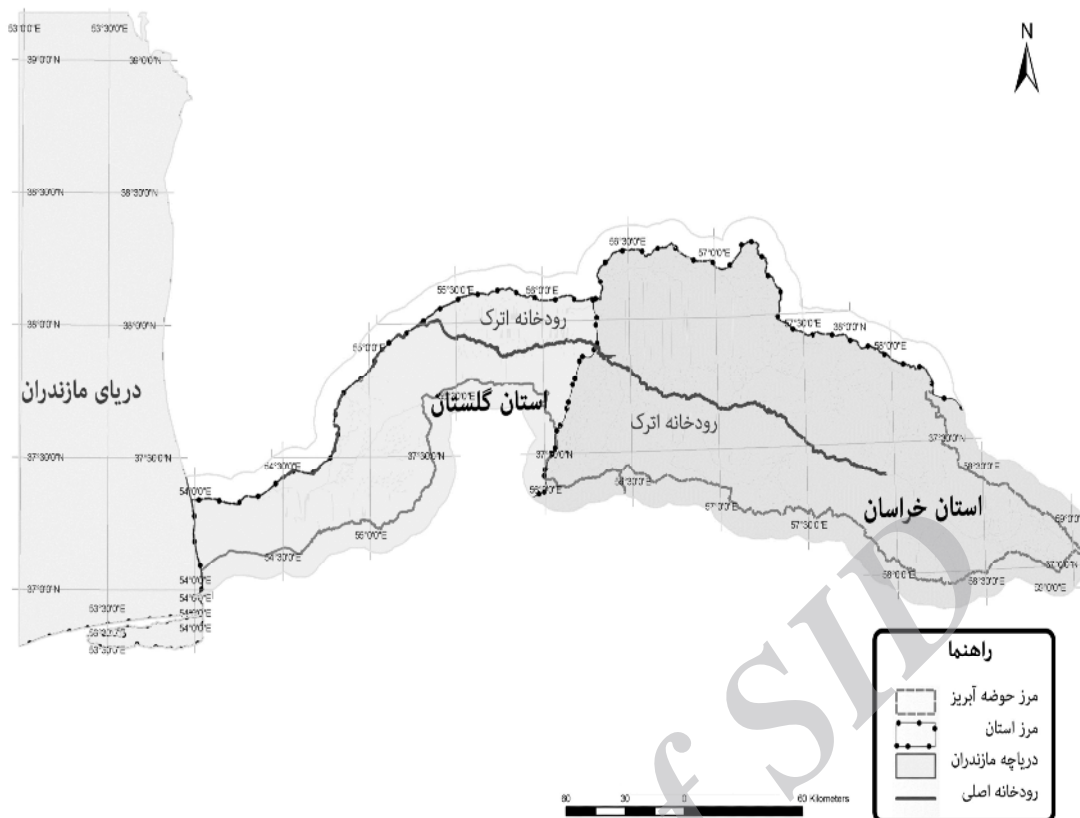
$$\frac{dx}{dt} = x(\alpha - \beta y) \quad (8)$$

$$\frac{dy}{dt} = -y(\gamma - \delta x) \quad (9)$$

که در این روابط

$y$  تعداد شکارچی به عنوان مثال گرگ‌ها،  $x$  تعداد شکار مثل خرگوش‌ها،  $\frac{dx}{dt}$  و  $\frac{dy}{dt}$  رشد دو جمعیت شکار و شکارچی در زمان  $t$ ،  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\delta$  پارامترهای مشخصه برهم‌کنش شکارچی‌ها و شکارها می‌باشد.

معادله لوتکا - ولترا به عنوان یک مدل رقابتی مطرح است که در مبحث حل مناقشات قابل استفاده است. با در نظر گرفتن منابع آب به عنوان شکار و مصرف آب (به دلیل رشد جمعیت، توسعه صنعتی و کشاورزی) به عنوان شکارچی می‌توان این مسئله را تعریف نمود. همچنین در تخصیص منابع آب بین ذینفعان بالادست و پایین دست حوضه می‌توان این معادله رقابتی را مورد استفاده قرار داد که در مطالعه حاضر سود خالص هر حوضه از مصرف آب کشاورزی به عنوان پارامترهای این مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. رقابتی بودن ماهیت معادله به همراه قابلیت منظور نمودن پویایی سیستم، برقراری شرط پایداری و نیز غیر خطی بودن معادله موجب شد تا در تخصیص منابع آب با رویکرد حل اختلاف مورد استفاده قرار گیرد [۱۷]. بر این اساس معادلات لوتکا ولترا را می‌توان به قرار زیر در نظر گرفت:



شکل ۲- موقعیت کلی حوضه آبریز اترک

خطی و غیر خطی است، توسعه داده شد [۲۰ و ۲۱]. نتایج مدل‌های نش، کالای اشمورودینسکی، خسارت متعادل و سطح یکنواخت به ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۴ ارائه شده است. در این مدل‌ها، بیشینه‌سازی میزان سود کل حوضه آبریز به ازای مصرف آب کشاورزی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. به منظور اثرگذاری اهمیت استان‌ها نسبت به یکدیگر از وزن‌های مختلف برای استان‌ها به عنوان ذینفعان استفاده شده (حل غیر متقارن) و برای حل متقارن نیز به هر دو استان وزن برابر اختصاص داده شد.

در جدول‌های ۱ تا ۴ پارامتر  $P$ ، وزن استان خراسان در تابع هدف است که در مقابل وزن استان گلستان  $1-P$  خواهد بود. پارامترهای  $F_{Kh}$  و  $F_G$  به ترتیب مقادیر نرمال شده سود استان‌های خراسان و گلستان بوده و  $It$  نیز بیانگر تعداد تکرارهای مدل لینگو برای هر اجرا است.

در شکل ۳ نیز نتایج چهار روش بالا برای استان خراسان به صورت گرافیکی با یکدیگر مقایسه شده است. اثر وزن ذینفع در روش‌های نش و خسارت یکسان نسبت به دو روش دیگر کمتر بوده به قسمی که ذینفعان با وجود وزن کم از یک سود حداقل بهره‌مند خواهند شد. این در حالی است که در روش‌های کالای اشمورودینسکی و سطح یکنواخت، سود ذینفع با وزن اهمیت آن تقریباً به صورت خطی رابطه دارد.

$$NB_{Gt} = -0.05AW_G^{2.17} + 1.51AW_G \quad (۱۳)$$

حوضه اترک، سود خالص به دست آمده در نتیجه تخصیص آب کشاورزی به ترتیب برای استان‌های خراسان و گلستان در روابط ۱۲ و ۱۳ ارائه شده است [۱۹].

$$NB_{Kht} = -0.04AW_{Kh}^{2.17} + 1.51AW_{Kh} \quad (۱۲)$$

که در این روابط  $NB_{Kht}$  سود خالص حاصل از آب تخصیص داده شده  $AW_{Kh}$  استان خراسان به مصارف کشاورزی در زمان  $t$  است. در مورد استان گلستان نیز  $NB_{Gt}$  سود خالص حاصل از آب تخصیص داده شده  $AW_G$  این استان به مصارف کشاورزی در زمان  $t$  است.

#### ۴- نتایج و بحث

##### الف- مدل‌های حل اختلاف

مدل‌های بهینه‌سازی اشاره شده در بخش قبل برای حوضه اترک با مدل لینگو نسخه ۱۴ که یک مدل بهینه ساز با قابلیت حل مدل‌های

<sup>1</sup> Lingo14

جدول ۱- نتایج مدل نش با وزن‌های متغیر برای استان‌های خراسان و گلستان

حل	P	B <sub>Kh</sub>	AW <sub>Kh</sub>	B <sub>G</sub>	AW <sub>G</sub>	F <sub>Kh</sub>	F <sub>G</sub>	OF	It
غیر مقارن	۰/۱	۳/۸۹۰	۲/۸۲۰	۷/۰۴۸	۵/۸۳۲	۰/۴۲۴	۰/۹۲۲۵	۰/۸۵۳	۴۰۰۷
	۰/۲	۴/۵۹۶	۳/۴۲۷	۶/۸۴۹	۵/۶۱۸	۰/۵۰۱	۰/۸۹۶	۰/۷۹۸	۳۳۰۶
	۰/۳	۵/۱۴۲	۳/۹۱۹	۶/۵۹۸	۵/۳۵۴	۰/۵۶۰	۰/۸۶۳	۰/۷۵۸	۲۰۱۸
	۰/۴	۵/۶۳۵	۴/۳۸۷	۶/۲۸۲	۵/۰۳۲	۰/۶۱۴	۰/۸۲۲	۰/۷۳۱	۱۸۹۶
	۰/۵	۶/۱۱۳	۴/۸۷۰	۵/۸۷۶	۴/۶۳۲	۰/۶۶۶	۰/۷۶۹	۰/۷۱۶	۲۰۷۵
	۰/۶	۶/۶۰۰	۵/۴۰۰	۵/۳۴۶	۴/۱۳۳	۰/۷۱۹	۰/۶۹۹	۰/۷۱۱	۲۴۵۲
	۰/۷	۷/۱۲۰	۶/۰۱۶	۴/۶۳۷	۳/۴۹۹	۰/۷۷۵	۰/۶۰۷	۰/۷۲۱	۸۴۲
	۰/۸	۷/۶۹۷	۶/۷۸۷	۳/۶۵۴	۲/۶۷۴	۰/۸۳۸	۰/۴۷۸	۰/۷۴۹	۱۱۶۶
	۰/۹	۸/۳۶۴	۷/۸۶۸	۲/۲۲۴	۱/۵۶۴	۰/۹۱۱	۰/۲۹۱	۰/۸۱۳	۱۴۱۶
مقارن	-	۶/۱۱۲	۴/۸۷۰	۵/۸۷۵	۴/۶۳۲	۰/۶۶۵	۰/۷۶۹	۰/۵۱۲	۱۴۰۳

جدول ۲- نتایج مدل کالای اشمورودینسکی با وزن‌های متغیر برای استان‌های خراسان و گلستان

حل	P	B <sub>Kh</sub>	AW <sub>Kh</sub>	B <sub>G</sub>	AW <sub>G</sub>	F <sub>Kh</sub>	F <sub>G</sub>	It
غیر مقارن	۰/۱	۰/۹۸۱	۰/۶۶۰	۷/۳۴۵	۶/۱۶۲	۰/۱۰۷	۰/۹۶۱	۶۰
	۰/۲	۲/۱۶۸	۱/۴۵۰	۷/۲۱۶	۶/۰۱۸	۰/۲۳۶	۰/۹۴۴	۳۵
	۰/۳	۳/۶۵۱	۲/۶۳۴	۷/۰۹۰	۵/۸۷۹	۰/۳۹۷	۰/۹۲۸	۴۲
	۰/۴	۵/۲۹۷	۴/۰۱۰	۶/۵۴۲	۵/۲۹۷	۰/۵۷۱	۰/۸۵۶	۴۰
	۰/۵	۶/۵۲۸	۵/۳۱۹	۵/۴۳۲	۴/۲۱۳	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۳۶
	۰/۶	۷/۴۳۶	۶/۴۲۴	۴/۱۲۵	۳/۰۶۳	۰/۸۱۰	۰/۵۴	۳۸
	۰/۷	۸/۰۷۷	۷/۳۶۸	۲/۸۸۰	۲/۰۶۲	۰/۸۷۹	۰/۳۷۷	۳۶
	۰/۸	۸/۵۴۵	۸/۲۱۹	۱/۷۷۸	۱/۲۳۶	۰/۹۳۱	۰/۲۳۲	۳۸
	۰/۹	۸/۹۰۱	۹/۰۵۰	۰/۸۲۳	۰/۵۵۹	۰/۹۶۹	۰/۱۰۸	۳۶
مقارن	-	۶/۵۲۸	۵/۳۱۸	۵/۴۳۲	۴/۲۱۳	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۳۶

جدول ۳- نتایج مدل خسارت متعادل با وزن‌های متغیر برای استان‌های خراسان و گلستان

حل	P	B <sub>Kh</sub>	AW <sub>Kh</sub>	B <sub>G</sub>	AW <sub>G</sub>	F <sub>Kh</sub>	F <sub>G</sub>	It
غیر مقارن	۰/۱	۳/۴۹۱	۲/۵۰۶	۷/۱۱۳	۵/۹۰۵	۰/۳۸۰	۰/۹۳۱	۱۳
	۰/۲	۴/۸۵۸	۳/۶۶۰	۶/۷۴۰	۵/۵۰۳	۰/۵۲۹	۰/۸۸۲	۲۵
	۰/۳	۵/۵۴۸	۴/۳۰۳	۶/۳۴۴	۵/۰۹۵	۰/۶۰۴	۰/۸۳	۲۳
	۰/۴	۶/۰۷۱	۴/۸۲۷	۵/۹۱۵	۴/۶۷۰	۰/۶۶۱	۰/۷۷۴	۲۲
	۰/۵	۶/۵۲۸	۵/۳۱۹	۵/۴۳۲	۴/۲۱۳	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۳۶
	۰/۶	۶/۹۶۱	۵/۸۲۱	۴/۸۷۰	۳/۷۰۴	۰/۷۵۸	۰/۶۳۷	۲۱
	۰/۷	۷/۴۰۱	۶/۳۷۸	۴/۱۸۵	۳/۱۱۳	۰/۸۰۶	۰/۵۴۸	۴۶
	۰/۸	۷/۸۷۶	۷/۰۵۳	۳/۳۰۱	۲/۳۹۱	۰/۸۵۸	۰/۴۳۲	۴۱
	۰/۹	۸/۴۳۴	۷/۹۹۹	۲/۰۵۵	۱/۴۳۹	۰/۹۱۸	۰/۲۶۹	۲۹
مقارن	-	۶/۵۲۸	۵/۳۱۸	۵/۴۳۲	۴/۲۱۳	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۴۴

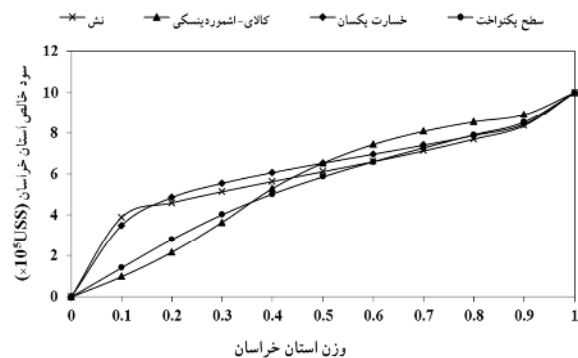
جدول ۴- نتایج مدل سطح یکنواخت با وزن‌های متغیر برای استان‌های خراسان و گلستان

حل	P	B <sub>Kh</sub>	AW <sub>Kh</sub>	B <sub>G</sub>	AW <sub>G</sub>	F <sub>Kh</sub>	F <sub>G</sub>	It
غیر مقارن	۰/۱	۱/۴۱۲	۰/۹۵۹	۷/۲۷۹	۶/۰۸۸	۰/۱۵۴	۰/۹۵۳	۱۳
	۰/۲	۲/۷۹۹	۱/۹۶۹	۷/۱۷۹	۵/۹۷۷	۰/۳۰۵	۰/۹۳۹	۲۲
	۰/۳	۴/۰۲۱	۲/۹۳۷	۷/۰۱۹	۵/۸۰۱	۰/۴۳۸	۰/۹۱۹	۳۰
	۰/۴	۵/۰۲۵	۳/۸۱۱	۶/۶۶۱	۵/۴۱۹	۰/۵۴۷	۰/۸۷۲	۲۲
	۰/۵	۵/۸۶۴	۴/۶۱۵	۶/۱۰۰	۴/۸۵۱	۰/۶۳۹	۰/۷۹۸	۲۲
	۰/۶	۶/۵۹۷	۵/۳۹۶	۵/۳۵۱	۴/۱۳۸	۰/۷۱۹	۰/۷	۲۲
	۰/۷	۷/۲۶۸	۶/۲۰۳	۴/۴۰۶	۳/۳۰۰	۰/۷۹۲	۰/۵۷۷	۲۲
	۰/۸	۷/۹۰۷	۷/۰۹۹	۳/۲۳۹	۲/۳۴۲	۰/۸۶۱	۰/۴۲۴	۲۲
	۰/۹	۸/۵۳۸	۸/۲۰۴	۱/۷۹۸	۱/۲۵۱	۰/۹۳۰	۰/۲۳۵	۲۲
مقارن	-	۵/۸۶۴	۴/۶۱۵	۶/۱۰۰	۴/۸۵۱	۰/۶۳۹	۰/۷۹۸	۲۲

(ایستگاه هیدرومتری قازانقایه) واسنجی<sup>۲</sup> شد. در مدل توسعه داده شده برای این مطالعه، سود خالص استان بالادست (خراسان) به عنوان شکار و سود خالص استان پایین دست (گلستان) به عنوان شکارچی در نظر گرفته شد. تغییرات میزان سود خالص استان‌ها که همان طرف چپ روابط ۱۰ و ۱۱ است، با متغیرهایی از نوع ذخیره<sup>۳</sup> و طرف سمت راست معادلات با علامت مثبت با متغیر از نوع جریان<sup>۴</sup> به متغیر ذخیره وارد و با علامت منفی از آن خارج می‌شود. اثرگذاری دو معادله با رابط<sup>۵</sup> از متغیر جریان خروجی بالادست به متغیر جریان ورودی پایین دست تعریف می‌شود. ضرایب مدل شکار-شکارچی بر اساس تغییرات زمانی میزان سود استان‌ها محاسبه و وارد مدل شد. در شکل ۴ نمایی از یکی از صفحات مدل شبیه‌سازی نمایش داده شده است.

مدل برای دوره آماری حد فاصل سال‌های ۳۷-۱۳۳۶ تا ۸۶-۱۳۸۵ در طول پنجاه سال با گام‌های زمانی ماهانه اجرا شد. نتایج به دست آمده بیانگر این مطلب است که در مدل شکار-شکارچی در طول زمان با افزایش جمعیت شکارچی از میزان جمعیت شکار کاسته شده و این منجر به کاهش جمعیت شکارچی شده و پس از گذشت زمان به تبع این موضوع، جمعیت شکار افزایش می‌یابد و واضح است دوباره شکارچی با داشتن میزان غذای بیشتر بر جمعیت خود می‌افزاید و این سیکل تکرار می‌شود. البته این مدل یک نقطه تعادل دارد که در آن جمعیت شکار و شکارچی به صورت متعادل بوده و در اصطلاح نقطه پایدار<sup>۶</sup> در سیستم است که در شکل ۵ نمایش داده شده است. در شکل بالا تغییرات سود خالص به دست آمده برای دو استان نسبت به یکدیگر نمایش داده شده که همان محدوده جواب‌های ممکن برای این مدل است. نقطه تعادل با وجودی که تضمین کننده پایداری سیستم است، اما اختلافاتی با نتایج مدل‌های حل اختلاف در حالت متقارن داشته به قسمی که مقدار سود خالص برای استان بالادست (خراسان) به میزان ۴/۴ واحد بوده که در مقایسه با نتایج روش‌های حل اختلاف ذی‌مدخلان مقدار کمتری بوده و این اختلاف در مورد استان پایین دست نیز مشاهده می‌شود. در نهایت نتایج مدل شکار-شکارچی با مدل‌های حل اختلاف مقایسه و در شکل ۶ نشان داده شده است.

با وجود اختلاف بین نتایج مدل‌ها در حالت در نظر گرفتن ذینفعان به صورت متقارن مشاهده می‌شود که چنانچه برای ذینفعان وزن‌های مختلفی منظور شود، نتایج مدل شکار-شکارچی در محدوده



شکل ۳- مقایسه نتایج مدل‌های حل اختلاف برای استان خراسان

با مقایسه نتایج می‌توان دریافت که روش نش با داشتن تابع هدف بهینه‌سازی دارای تعداد تکرارهای محاسباتی بیشتری نسبت به سه روش دیگر بوده و بیشینه نمودن سود در کل سیستم را دنبال می‌کند، در صورتی که روش‌های دیگر اصل تعادل بین سودهای ذی‌مدخلان را رعایت کرده‌اند. بیشینه سود محاسبه شده برای ذی‌مدخل پایین دست (استان گلستان) در روش سطح یکنواخت به دست آمده در حالی که دو روش کالای اشمورودینسکی و خسارت متعادل سود بیشتری را برای ذی‌مدخل بالادست (استان خراسان) نتیجه داده‌اند. در نهایت همانطور که پیش از این نیز اشاره شد، بیشترین سود خالص برای کل سیستم از بین چهار روش محاسباتی بالا از طریق روش نش حاصل شده است.

### ب- مدل شکار - شکارچی

مدل شکار-شکارچی حوضه اترک برای دو استان خراسان و گلستان در محیط نرم افزار ونسیم<sup>۱</sup> توسعه داده شد. طبق معرفی که و نتاننا از این مدل می‌نماید، ونسیم یک ابزار مدل‌سازی شی‌گرا است که به کاربر امکان تعریف، ذخیره، شبیه‌سازی، تحلیل و بهینه‌سازی مدل‌های پویایی سیستم را داده و برای ایجاد مدل‌های شبیه‌ساز از نمودارهای جریان و ذخیره یا حلقه‌های علی و معلولی، روشی ساده و قابل انعطاف ارائه می‌نماید [۲۲]. در این مدل متغیرهایی همچون آبدهی‌ها، نیازها و مخازن با رابطه‌ها به یکدیگر متصل شده و به این ترتیب ارتباط علی و معلولی شکل می‌گیرد. چگونگی این ارتباط‌ها با معادلات مشخص می‌شوند، مانند تعریف قانون استاندارد بهره‌برداری برای هر سد که با گزاره‌های شرطی نوشته می‌شود. در زمان ساخت، مدل بارها مورد ارزیابی قرار گرفته و بیلان آبی سیستم کنترل شده و پس از اتمام کار، تحلیل‌های متنوعی از سیستم فراخور سناریوهای تعریف شده استخراج می‌شود. پیش از انجام تحلیل، مدل با داده‌های آماری ثبت شده

<sup>۱</sup> Vensim@PLE

<sup>۲</sup> Calibration

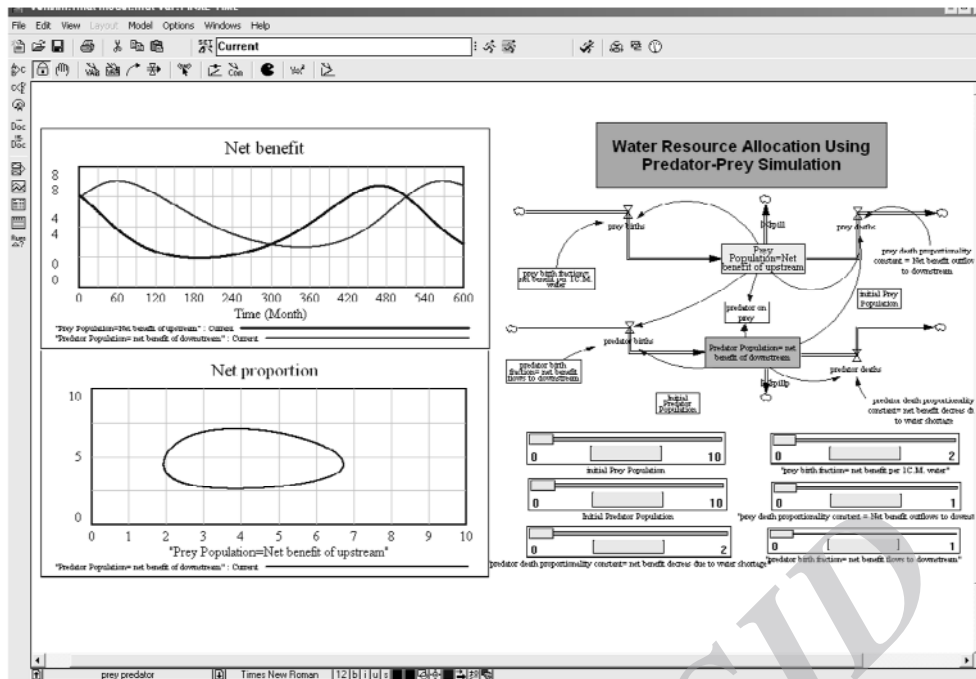
<sup>۳</sup> Level

<sup>۴</sup> Rate

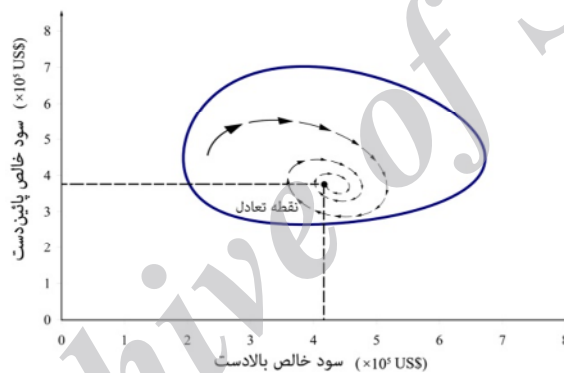
<sup>۵</sup> Arrow

<sup>۶</sup> Stability Point





شکل ۴- نمونه‌ای از محیط شبیه‌سازی در مدل پویایی سیستم

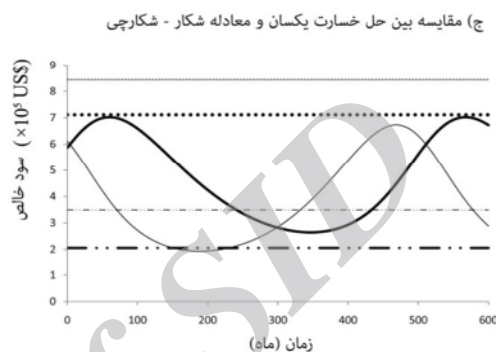
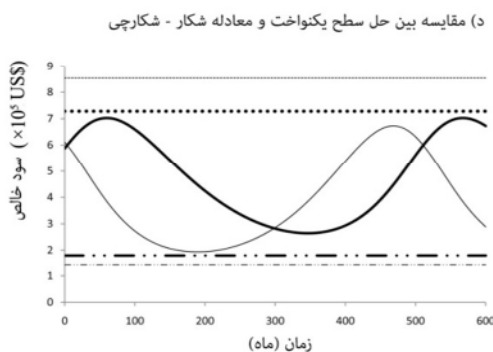
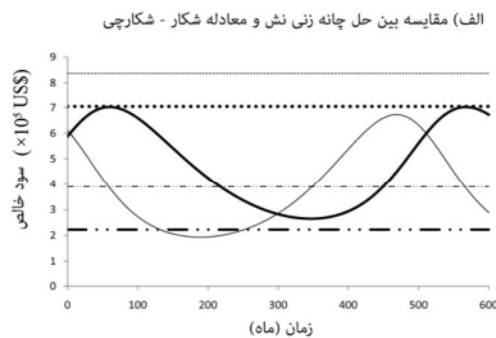
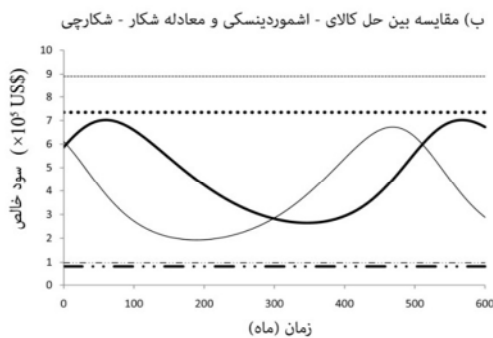


شکل ۵- پارتوی جواب‌های بهینه مدل شکار- شکارچی برای حوضه اترک

متعادل در نظر گرفته و به همین علت دامنه تغییرات مقادیر سود و به تبع آن مقادیر تخصیص آب در این مدل بسیار محدودتر شده اما در عوض وجود پایداری در سیستم را تضمین می‌نماید. شایان ذکر است که مقادیر آب تخصیص یافته با عکس توابع تعریف شده روابط ۱۲ و ۱۳ قابل دستیابی است.

با مقایسه مدل‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های حل اختلاف به یک نتیجه ثابت منتهی می‌شوند و از اثرات میزان آب تخصیص یافته به هر استان در زمان‌های آتی چشم‌پوشی می‌نماید. این در حالی است که مدل شکار- شکارچی به صورت پویا اثرات تخصیص آب به ذینفعان را در گام‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی نموده و اثر مقدار آب تخصیص یافته به استان بالادست را بر روی سود استان پایین‌دست و بالعکس نشان داده است.

جواب‌های مدل‌های حل اختلاف قرار گرفته به قسمی که مدل‌های حل اختلاف محدوده وسیع تری از جواب‌ها را پوشش داده است. با بررسی شکل ۵ و جدول‌های ۱ تا ۴ می‌توان دریافت که حداکثر سود خالص به دست آمده از چهار روش حل اختلاف برای استان خراسان در بالادست سیستم در حدود ۹ واحد سود خالص بوده که این پارامتر در روش لوتکا ولترا به کمتر از ۷ واحد می‌رسد. واضح است که داشتن اهمیت بالاتر هر استان (ذینفع) در مدل حل اختلاف، دلیل کشش منافع به سمت آن استان در تابع هدف بهینه‌سازی بوده و این موضوع وقتی که استان با درجه اهمیت بالاتر در بالادست قرار داشته باشد، از قوت بیشتری برخوردار است و این منجر به کاهش شدید منافع برای استان پایین‌دست می‌شود. در مقابل این روش‌های مرسوم بهینه‌سازی، روش معادلات لوتکا ولترا به دلیل وجود یک رویکرد پایدار، منافع دو طرف را به قسمی



شکل ۶- مقایسه نتایج روش‌های حل اختلاف با مدل شکار-شکارچی

## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، کاربرد مدل ریاضی شکار-شکارچی که پایداری اکولوژیکی در یک منطقه را شبیه‌سازی می‌کند مورد بررسی قرار گرفت. این روش برای تخصیص آب بین استان‌های ذینفع در حوضه آبریز اترک، از حوضه‌های درجه دو واقع در شمال شرقی ایران مورد مطالعه قرار گرفت.

به‌منظور بررسی میزان قابلیت مدل فوق در مقایسه با مدل‌های مرسوم حل اختلاف از تابع هدف اقتصادی که همان بیشینه‌سازی سود خالص هر استان از تخصیص آب کشاورزی است، استفاده شد. با مقایسه نتایج روش‌های بهینه‌سازی حل اختلاف نش متقارن و غیرمتقارن، روش‌های کلای اشموردینسکی، خسارت متعادل و سطح یکنواخت با یکدیگر مشخص شد که این روش‌ها به دلیل دارا بودن رویکرد مشابه، نتایج تقریباً یکسانی را ارائه داده و از سوی دیگر با وجودی که حداکثر سود کل سیستم را دنبال می‌کنند، از بررسی پایداری سیستم که در مدل شکار-شکارچی به‌عنوان اصل رعایت

به‌منظور بررسی میزان قابلیت مدل فوق در مقایسه با مدل‌های مرسوم حل اختلاف از تابع هدف اقتصادی که همان بیشینه‌سازی سود خالص هر استان از تخصیص آب کشاورزی است، استفاده شد. با مقایسه نتایج روش‌های بهینه‌سازی حل اختلاف نش متقارن و غیرمتقارن، روش‌های کلای اشموردینسکی، خسارت متعادل و سطح یکنواخت با یکدیگر مشخص شد که این روش‌ها به دلیل دارا بودن رویکرد مشابه، نتایج تقریباً یکسانی را ارائه داده و از سوی دیگر با وجودی که حداکثر سود کل سیستم را دنبال می‌کنند، از بررسی پایداری سیستم که در مدل شکار-شکارچی به‌عنوان اصل رعایت

1. 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.
2. Wolf, A.T., Kramer, A., Carius, A., and Dabelko, G.D. (2005). *Managing water conflict and cooperation*, State of the World Redefining Global Security, Oregon State University, Oregon, USA.
3. Rogers, P. (1969). "A game theory approach to the problems of international river basins." *Water Resources Research*, 5(4), 749-760.
4. Kucukmehmetoglu, M., and Guldmann, J.-M. (2004). "International water resources allocation and conflicts: The case of the Euphrates and Tigris." *Environment and Planning*, 36(5), 783-802.
5. Parrachino, I., Dinar, A., and Patrone, F. (2006). "Cooperative game theory and its application to natural, environmental, and water resource issues: 3. application to water resources." World Bank Policy Research Working Paper, No. 4073.
6. Madani, K., and Hipel, K.W. (2007). "Strategic insights into the Jordan River conflict." In *Proceeding of the 2007 world Environmental and Water Resources Congress*, American Society of Civil Engineers, Tampa, Florida.
7. Zarezadeh, M. (2010). "Water resource allocation under climate change using bankruptcy in conflict resolution." MS Thesis, Tarbiat Modares University, Iran.
8. 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, Tehran. (In Persian)
9. 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.
10. Coppla, E., et al., (2001). "Balancing risk with water supply for a public wellfield." *J. Water Res. Plann. Manage. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 126(2), 1-36.
11. Raquel, S., et al. (2007). "Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico." *J. of Environmental Management*, 84(4), 560-571.
12. Salazar, R., Szidarovszky, F., and Rojano, A. (2010). "Water distribution scenarios in the Mexican Valley." *Water Resources Management*, 24(12), 2959-2970.
13. Lotka, A.J. (1910). "Contribution to the theory of periodic reactions." *The Journal of Physical Chemistry*, 14(3), 271-274.
14. Lotka, A.J.(1925). *Elements of physical biology*, Williams and Wilkins, Balimore, MD.
15. Volterra, V. (1926). "Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically." *Nature*, 118, 558-560.
16. Velupillai, K. (1979). "Some stability properties of Goodwin's growth cycle." *J. of Economics*, 39(3), 245-257.
17. Kazemi, P., and Araghinejad, S. (2013). "A novel water resource allocation model comparing with the conflict resolution method." *International Proc. of Chemical, Biological and Environment, Academic, J. of Tehran University*, Vol. 55, pp. 6.
18. Engineering, M.G.C. (2012). *Water resource planning report of Atrak basin*, UK.
19. Engineering, M.G.C. (2012). *Agricultural economics report*, UK.
20. <http://www.lindo.com/>. (May 2014).
21. Schrage, L. (2002). *Optimization modeling with LINGO®*, Lindo System Inc., USA.
22. Eberlein, R. L. (2002). "Vensim® PLE Software (5.2 a). Ventana Systems." Inc.: Harvard, MA.