

تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع با روش‌های

تصمیم‌گیری فاصله محور

نسیم صفاری¹، مهدی ضرغامی²

تاریخ دریافت: 89/12/02 تاریخ پذیرش: 90/11/11

¹- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز

²- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز

مسئول مکاتبه: Email: nasim_saffari@yahoo.com

چکیده

دریاچه ارومیه، بزرگترین دریاچه داخلی کشور و دومین دریاچه آب شور جهان است. تغییر شرایط اقلیمی و کاهش نزولات جوی، بهره‌برداری بیش از حد از رودخانه‌های جاری به دریاچه و پایین بودن بازده کشاورزی در حوضه سبب کاهش شدید سطح آب و افزایش شوری شده است. آورد متوسط سطحی حوضه در حدود 7/2 میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد که حداقل نیاز اکولوژیکی دریاچه در حدود 3/1 میلیارد مترمکعب در سال، باید از آن تامین گردد. بنابراین کنترل و تخصیص بهینه آب قابل برداشت، یعنی 4/1 میلیارد مترمکعب، بین سه استان ذینفع آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان، مسئله مهمی به شمار می‌آید. در این مقاله با استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر فاصله، به کمک روشهای جمع وزنی ساده، برنامه‌ریزی سازشی و روش TOPSIS، تخصیص آب حوضه دریاچه ارومیه بین ذینفعان با در نظر گرفتن معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی انجام شد و سهم بهینه هر یک از استان‌ها از آب سطحی تعیین گردید و توانایی این روش‌ها با هم مقایسه شد. مطابق نتایج مدل برنامه‌ریزی سازشی از 7/2 میلیارد مترمکعب آورد متوسط سالانه بلند مدت حوضه آبریز دریاچه ارومیه، سهم استان آذربایجان غربی برابر 1/804، سهم استان آذربایجان شرقی برابر 1/312 و سهم استان کردستان برابر 0/984 میلیارد متر مکعب در سال تعیین گردیده است.

واژه‌های کلیدی: تخصیص آب، تصمیم‌گیری چند معیاره، تصمیم‌گیری فاصله محور، دریاچه ارومیه.

Allocating the Surface Water Resources of the Urmia Lake Basin to the Stakeholder Provinces by Distance Based Decision Making Methods

N Safari¹, M Zarghami²

Received: 21 February 2011 Accepted: 31 January 2012

¹ MSc Student, Faculty of Civil Eng., Univ. of Tabriz, Iran.

² Assoc. Prof., Faculty of Civil Eng., Univ. of Tabriz, Iran.

* Corresponding Author Email: nasim_saffari@yahoo.com

Abstract

Urmia Lake is the largest inland lake of the country and the second largest saline lake in the world. Due to climate change, decrease of precipitation, overuse of surface water resources and low agricultural efficiency in the Urmia Lake Basin water level of the lake decreased and its water salinity increased. The average surface water amount of this basin is 7.2 billion cubic meters per year that this amount should provide the minimum environmental requirement of Urmia Lake (about 3.1 billion cubic meters per year). Thus, control and optimal allocation of surface water resources (4.1 billion cubic meters per year) to three stakeholder provinces (West Azerbaijan, East Azerbaijan and Kurdistan) is an important issue that must be considered. This paper introduces a multi-criteria decision making model as a possible approach to the problem of allocating the water resources of the Urmia Lake basin to all neighboring provinces. In this paper by using of simple additive weighting, compromise programming and TOPSIS methods and by considering the social, economical and environmental criteria the share of each stakeholder is obtained and then abilities of these methods are compared. According to the results of the compromise programming method, the shares of West Azerbaijan, East Azerbaijan and Kurdistan provinces respectively are 1.804, 1.312 and 0.984 billion cubic meters per year.

Keywords: Distance based decision making methods, Multi criteria decision making, Urmia Lake, Water allocation.

مقدمه

سایر منابع با حفظ عدالت، برابری اجتماعی و بازده اقتصادی تاکید دارد. بطوریکه پایداری اکوسیستم‌های حیاتی نیز حفظ شود. مطالعات مختلفی برای تخصیص بهینه در حل اختلافات بر سر منابع آب آرایه شده است. ون

در سال‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون جمعیت و توسعه صنعتی، اقتصادی و کشاورزی، مدیریت بهم پیوسته منابع آب مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. این دیدگاه بر توسعه منابع آب و خاک و

معرفی کرده است. در مطالعه اخیر آتوی و چولیز (2011)، به کمک تئوری بازی‌ها و با استفاده از مدل نش غیرمقارن سهم ذینفعان در حوضه آبریز رودخانه اردن را مشخص نمودند و معلوم گردید که رژیم صهیونیستی نصف کشورهای عربی سهم دارد ولی در حال حاضر دو برابر آنها از منابع آبی مشترک مصرف می‌نماید. لذا استفاده از مدل‌های ریاضی دارای توانایی لازم برای تخصیص بهینه آب در حل اختلاف بر سر منابع آب بوده و کاربرد آنها نشان دهنده کارایی و قابلیت این روش‌ها برای حل مسائل و مشکلات در مورد تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب است.

یکی از حوضه‌های آبریز مشترک کشور حوضه دریاچه ارومیه، دومین دریاچه شور دنیا به وسعت حدود پنج هزار کیلومتر مربع است که متاسفانه در دهه اخیر به دلیل تغییر شرایط اقلیمی، بهره‌برداری‌های بیش از حد و ورود فاضلاب شهرهای اطراف به دریاچه، در شرایط بحرانی قرار گرفته است. آب ورودی به این دریاچه کاهش و در نتیجه شوری آن افزایش یافته است که این مسائل باعث تهدید محیط زیست منطقه و افزایش آلودگی آب شده است. یکی از دلایل مدیریتی مربوط به این وضعیت بحرانی دریاچه آن است که سهم ذینفعان حوضه آبریز آن مشخص نشده، لذا حقا به زیست محیطی دریاچه که برای حیات آن ضروری است رعایت نمی‌شود. هدف این مقاله بررسی روش‌های مختلف برای تخصیص بهینه آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه بین سه استان ذینفع حوضه (آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان) بر مبنای معیارهای خاص این منطقه است. سه روش جمع وزنی، برنامه ریزی سازشی در حالت‌های مختلف و روش Topsis مورد استفاده قرار گرفته و به کمک این روش‌ها سهم هر یک از استان‌های ذینفع دریاچه تعیین شده است. همچنین توانایی این روش‌ها با هم مقایسه گردیده است.

درزاگ (2005) به بررسی مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب پرداخته است و با استفاده از این مفهوم راه حلی برای مساله تخصیص بهینه آب در بخشی از آفریقای جنوبی ارائه نموده است و مدیریت یکپارچه منابع آب را به عنوان روش جدیدی برای مدیریت منابع و برای رسیدن به اهداف توسعه، احترام متقابل، تفاهم و همکاری بین مصرف‌کنندگان آب در آفریقای جنوبی بیان کرده است. مسائل حوضه آبریز کرخه در جنوب غربی ایران نیز با استفاده از روش تخصیص مورد بررسی قرار گرفته است (مسیح و همکاران 2009). در این مطالعه منابع آب سطحی حوضه نیمه خشک کرخه بطور جامع ارزیابی شده است و روشی را با بررسی پارامترهای آماری برای رسیدن به توسعه پایدار آب در این منطقه عنوان گردیده و نشان داده شده است که مقدار آب تخصیص یافته به بخش‌های مختلف، از کل مقدار آب در دسترس حوضه در دوره مطالعه شده کمتر می‌باشد و همچنین با در نظر گرفتن طرح‌های توسعه منطقه، تغییر کاربری‌ها و تغییرات آب و هوایی تامین نیازهای حوضه در آینده دشوار خواهد شد. در مورد نحوه همکاری و مذاکره در منابع آب تخصیص یافته شده کروناوتر و شامیر (2009)، مدل مناسبی تهیه نموده‌اند. در این مدل از یک سیستم پشتیبانی در مذاکره برای کمک به دو طرف شرکت کننده در مذاکرات تخصیص منابع آب استفاده شده است. با بررسی مزایای این سیستم، آن را بعنوان راه حلی برای یافتن جواب در فضای تصمیم معرفی کرده است. می‌می و ساوالهی (2003)، به کمک یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر جمع وزنی ساده و با لحاظ معیارهای مختلف تخصیص بهینه منابع آب رودخانه اردن بین ذینفعان را ارائه نمودند. در این مقاله به کاربرد قوانین بین‌المللی در حل اختلاف منابع آب رودخانه اردن که باعث ایجاد اختلاف در بین کشورهای ذینفع می‌باشد، پرداخته شده است و روش تصمیم‌گیری چند معیاره را بعنوان روشی برای تخصیص منابع آب رودخانه اردن بین ذینفعان

مطالعه موردی

حوضه آبریز دریاچه در شمالغرب ایران واقع شده است که مساحت این حوضه در سال 1389 در حدود 51876 کیلومتر مربع می‌باشد. این حوضه حدود نیمی از استان آذربایجان غربی، بخش وسیعی از استان آذربایجان شرقی و قسمتی از کردستان را شامل می‌-

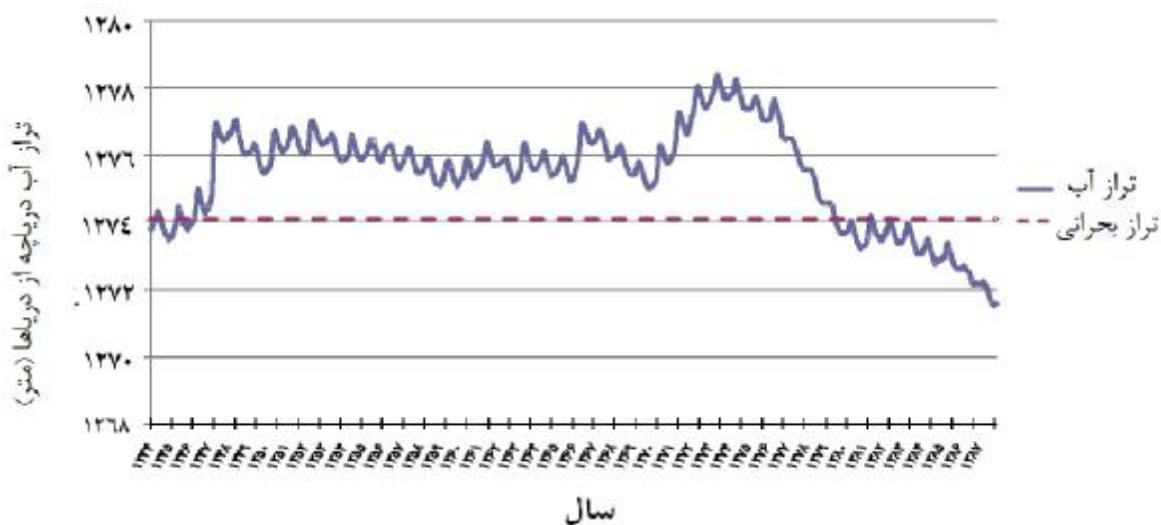
شود (بی‌نام 1389) (شکل 1). سهم هریک از استان‌ها از وسعت این حوضه به شرح زیر است: استان آذربایجان غربی 46%، آذربایجان شرقی 43% و کردستان 11% می‌باشد (بی‌نام 1385).



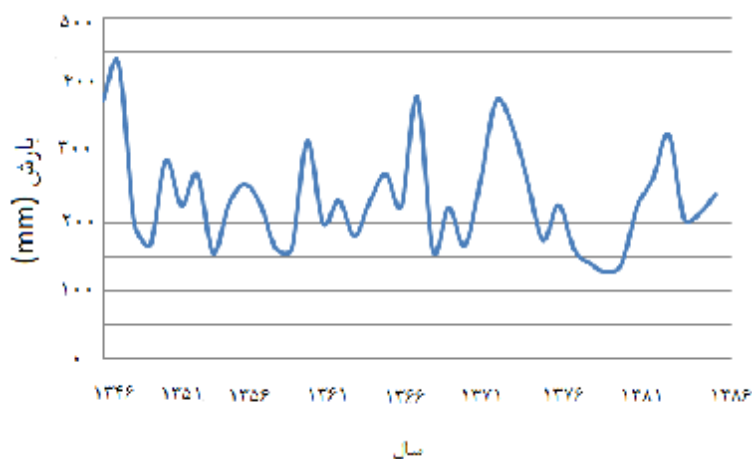
شکل 1- حوضه آبریز دریاچه ارومیه و استان‌های ذینفع

آماري 1375-1346 برابر 246/46 ميلي‌متر بوده است در شرايطي که در دوره 1386-1376 اين مقدار به 204/68 ميلي‌متر کاهش يافته است (شکل 3). از طرف ديگر ميانگين بلندمدت غلظت نمک اين درياچه 180 گرم بر ليتر و ميانگين غلظت نمک طی 20 سال گذشته 210 گرم بر ليتر بوده است، اين رقم در سال 1388 در بحراني ترين شرايط به 320 گرم بر ليتر که حد فوق اشباع است، رسیده است (بی‌نام 1389).

آمارها نشان می‌دهد که از سال 1374 تراز آب درياچه اروميه سیر نزولي داشته است به طوري که در اواخر سال 1388 به سطح 1271/4 متر از سطح آب‌های آزاد رسیده است (ضرغامی 2010)، که اين ميزان 2/7 متر کمتر از سطح تراز اکولوژیک و 4/3 متر کمتر از تراز متوسط درازمدت 40 ساله (1385-1345) آن می‌باشد (شکل 2). سطح تراز اکولوژیک، سطح آب اکولوژیکي با در نظر گرفتن نیازهای بيوشيميايي برای رشد و حیات آرتميا در نظر گرفته می‌شود. میانگين بارش بر روی سطح حوضه درياچه اروميه در دوره



شکل 2- تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه در سالهای اخیر (ضرغامی 2010)



شکل 3- تغییرات بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه در سالهای اخیر (حسن زاده و همکاران 2012)

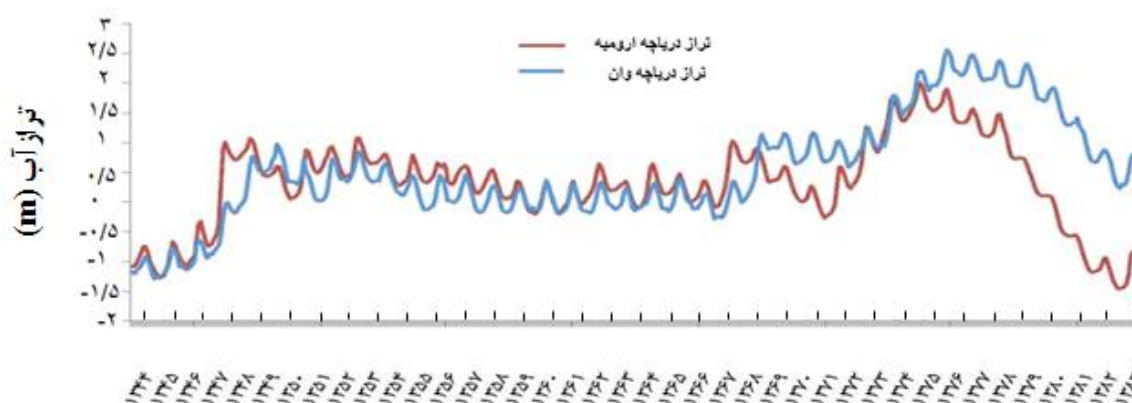
عدم اختصاص آب کافی برای تأمین نیاز بیولوژیکی رودخانه‌های منتهی به دریاچه از مهمترین عوامل بوجود آورنده بحران این زیستگاه و کویری شدن آن می‌باشد. در نتیجه این بحران میزان شوری دریاچه به حدی افزایش یافته که باعث افت محسوس جمعیت آرتمیا، توقف تولید مثل فلامینگوها (از سال 1377 تا کنون) و کاهش شدید تعداد زیادی از پرندهای آبی شده است (بی‌نام 1385). بر اساس تحقیقات حسن زاده و همکاران (2012)، با استفاده از مدل‌سازی

دریاچه ارومیه، یکی از نادرترین ذخیره‌گاه‌های زیستی ایران و جهان است که از سوی سازمان یونسکو به عنوان یک ذخیره‌گاه گونه‌های مختلف به ثبت جهانی رسیده است. اما در سال‌های اخیر این زیستگاه طبیعی رو به نابودی گذاشته است. بازده آبیاری حوضه در حد 32% می‌باشد که در مقایسه با استاندارد جهانی که در حد 63% می‌باشد بسیار پایین است (بی‌نام 1385). کاهش میزان نزولات جوی، پایین بودن بازده آبیاری کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و همچنین

دورودخانه آمودریا و سیردریا در زراعت صورت گرفته است (الادین و همکاران 2009). حصاری و طایفه نسکیلی (1389) همرفتاری تغییرات سطح دریاچه ارومیه با دریاچه وان را مطالعه نموده‌اند و مطابق نتایج این مطالعه که در شکل 4 آورده شده است، دو دریاچه همرفتار بوده و تغییرات آنها در طول دوره آماری تا سال 1374 روند یکسانی دارند، اما از سال 1374 به بعد با روند نزولی مواجه گشته و این روند در دریاچه ارومیه شدیدتر می‌باشد و وضعیت دریاچه ارومیه نسبت به دریاچه وان بحرانی‌تر می‌باشد که شاید بتوان به اثر سدها مربوط دانست. تجربیات سایر کشورها نشان می‌دهد که بی توجهی به مسئله دریاچه ارومیه آثار منفی غیرقابل جبرانی در پی خواهد داشت.

پویایی سیستم‌ها، نشان داده شده است که کاهش ورودی آب به دریاچه به دلیل استفاده بیش از حد از آب‌های جاری و همچنین تغییرات اقلیمی حدود 65 درصد، ساخت 4 سد مهم در حوضه حدود 25 درصد و کاهش بارندگی بر سطح دریاچه ده درصد در کاهش ارتفاع سطح آب موثر بوده است.

تغییرات سطح دریاچه‌ها نشانگر تغییرات جهانی، محلی و شرایط عملکرد بشر در ارتباط با آنها است. شواهد تاریخی بدست آمده از سایر دریاچه‌ها مانند دریاچه آرال در شوروی سابق گواه بارزی برای این مسئله می‌باشد. دریاچه آرال در فاصله زمانی 1963-2007 از 66100 کیلومترمربع به 6800 کیلومتر-مربع کاهش یافت که این کاهش در اثر استفاده بی‌رویه از آب رودخانه‌های حوضه این دریاچه علی‌الخصوص



شکل 4- مقایسه تراز بی بعد دریاچه ارومیه و دریاچه وان در دوره آماری 1349-1383 (حصاری و طایفه نسکیلی 1389)

نظر گرفتن نیازهای بیولوژیکی دریاچه 1274/1 به دست آمده است و غلظت نمک نیز 240 گرم بر لیتر (شرایط رشد و حیات آرتمیا) حاصل شده است (عباس پور و نظری دوست 2007). براین اساس و همچنین بر اساس میزان متوسط بارش و تبخیر دریاچه حداقل نیاز آبی دریاچه 3086 میلیون مترمکعب برآورد شده است که باید برای حفظ حیات آن، وارد دریاچه گردد. آورد کل حوضه آبریز 7/2 میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد.

محاسبه نیاز آبی دریاچه

برای تعیین حداقل نیاز آبی دریاچه ارومیه در این تحقیق بر اساس مدل ارائه شده توسط شرکت مهندسی مشاور یکم (1384)، آرتمیا به عنوان معیار بیولوژیک دریاچه محسوب شده است و بر اساس حداکثر شوری ممکن برای حیات آرتمیا، حداقل سطح آب دریاچه محاسبه گردیده است و حداقل نیاز آبی از طریق مدل بیلان آبی دریاچه (تبخیر- بارندگی) بدست آمده است. از این محاسبات سطح آب اکولوژیکی با در

روش برنامه‌ریزی سازشی (CP)¹

ابتدا از روش برنامه‌ریزی سازشی (زلنی 1973) برای تخصیص بهینه منابع آب سطحی دریاچه ارومیه استفاده شده است. مزایای این روش از جمله ساده بودن درک آن، نرمال‌سازی داده‌ها، در نظر گرفتن فاصله از آرمان در محاسبه گزینه برتر و لحاظ وزن معیارها و همچنین کاربرد موفق این روش در مطالعات پیشین می‌باشد که علت انتخاب آن در این تحقیق است. آرمان‌ها با توجه به نیازها و خواسته‌های تصمیم‌گیرنده و براساس مقدار مشخص شده قبلی برای اهداف یا معیارها تعیین می‌گردد. معیارها نیز اندازه‌ها، قوانین، استانداردها، خواسته‌ها و راهنمای تصمیم‌گیرندگان می‌باشند. در این روش امتیاز هر ذینفع، F_i ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_i = \left(\sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}^p \cdot w_j^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad [1]$$

\bar{a}_{ij}^p مقادیر نرمال شده سهم ذینفع i ام از دید معیار j ام، w_j وزن معیار j ام و p عاملی است که حساسیت تصمیم‌گیر به فاصله از نقطه نامطلوب را، از دید هر یک از معیارها بیان می‌دارد که در این مقاله پارامتر i از 1 تا 3 و پارامتر j از 1 تا 6 متغیر می‌باشد. n نیز تعداد معیارهای مورد استفاده در تخصیص است که در مطالعه حاضر n برابر 6 می‌باشد. در حالتی که $p \in [0,1]$ باشد معادله (1) به مقادیر کوچکتر اهمیت می‌دهد که بیانگر دیدگاه بدبینانه نسبت به مساله تصمیم‌گیری است. در واقع مدیری که ریسک‌گریز باشد این دیدگاه را انتخاب می‌نماید. در حالت $p \rightarrow 1$ ورودی بزرگتر، اثر بیشتری دارد و در حالت $p \rightarrow \infty$ تنها عامل بزرگتر لحاظ می‌گردد. این حالت نیز بیانگر دیدگاه خوشبینانه نسبت به مساله است و منعکس کننده روحیه مدیر یا تصمیم‌گیر ریسک‌پذیر است (ضرغامی و سپیداروسکی 2010).

آورد سطحی متوسط بلندمدت براساس اطلاعات دوره آماری 35 ساله (1385-1350) حاصل از 100 ایستگاه از مجموع کل رواناب‌ها و جریان‌های ورودی سطحی بدست آمده است (بی‌نام 1387). لذا در این تحقیق هدف تعیین اختصاص بهینه مقدار آب موجود در این حوضه یعنی 4/1 میلیارد مترمکعب در سال به سه استان ذینفع شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان است.

بنابراین به منظور حفظ محیط زیست پایدار، بایستی موازنه‌ای بین پتانسیل آبی و نیازهای آبی بخش‌های گوناگون بویژه بخش کشاورزی برقرار نمود. برای حل این مشکل و تامین نیاز دریاچه، باید کنترل آب ورودی به دریاچه با همکاری سه استان ذینفع انجام گیرد. بنابراین نیاز به مدلی می‌باشد که تخصیص آب بین این سه استان را مشخص نماید تا هیچ یک از ذینفعان بیش از سهم خود برداشت ننموده و در نتیجه حداقل نیاز اکولوژیکی دریاچه تامین گردد. برای این منظور ساختار مدل مورد استفاده در بخش بعدی تشریح می‌گردد.

متدولوژی

هدف این مقاله توجه به مدیریت جامع منابع آب حوضه دریاچه ارومیه بخصوص مصارف کشاورزی و ارضاء حداقل نیاز زیست محیطی زیرحوضه‌ها و دریاچه ارومیه در شرایط آبی، با توجه به رشد جمعیت و توسعه اراضی کشاورزی، افزایش مصارف شرب و صنعت می‌باشد. آنچه مسلم است منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تقریباً ثابت است (بی‌نام 1385)، لذا با مدیریت این منابع و تخصیص بهینه آن می‌توان ضمن کنترل مصرف، رشد لازم اقتصادی و اجتماعی را در حوضه فراهم نمود. در مطالعه حاضر سه روش عمده مبتنی بر تصمیم‌گیری فاصله محور معرفی شده و از آنها برای تخصیص بهینه منابع آب حوضه دریاچه ارومیه استفاده شده است.

¹ Compromise Programming

مقدار $p = 2$ انتخاب می‌شود و امتیاز هر گزینه، F_i ، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$F_i = \frac{d_i}{d_i + D_i} \quad [5]$$

d_i فاصله گزینه i ام از نقطه آرمانی و D_i فاصله گزینه i ام از نقطه نامطلوب در حالت $p = 2$ می‌باشد.

پس از محاسبه امتیاز هر ذینفع سهم وی از کل منابع آب تجدید پذیر سالیانه به صورت زیر محاسبه می‌گردد که در آن m تعداد ذینفعان است:

$$\bar{F}_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^m F_i} * 100 \quad [6]$$

نتایج و بحث

برای انجام محاسبات در فرایند تخصیص مراحل زیر به ترتیب انجام می‌شود:

استخراج معیارها

معیارها باید جامع، ساده، معقول و مبتنی بر رویکرد توسعه پایدار باشند زیرا توسعه پایدار فرایند تغییری است در استفاده از منابع، هدایت سرمایه گذاری‌ها و سمت گیری توسعه فناوری که با نیازهای حال و آینده سازگار باشد و همچنین امکان دسترسی به داده‌های لازم برای ارزیابی عملکردها بر اساس آن معیار وجود داشته باشد، علاوه بر این معیارها باید انعکاس دهنده شرایط زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی باشند. بر اساس رویکرد مدیریت جامع و بهم پیوسته منابع آب و نیز لحاظ توسعه پایدار در منطقه در این مطالعه معیارها به سه گروه اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی تقسیم شده‌اند. عملکرد ذینفعان از دید هر معیار مربوط به استان نبوده بلکه تنها آن قسمت از استان که در حوضه دریاچه ارومیه قرار دارد، ملاک محاسبه مقادیر است. البته لازم به ذکر است که کار گروه مدیریت آب و کشاورزی شورای مدیریت منطقه‌ای حوضه آبخیز دریاچه ارومیه زیر نظر

برای نرمال کردن داده‌ها (سهم ذینفع i ام از دید معیار z ام) از روابط زیر استفاده می‌شود، بدین ترتیب که رابطه (2) برای نرمال سازی معیارهای مثبت و رابطه (3) برای نرمال سازی معیارهای منفی استفاده می‌گردد.

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \quad [2]$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{M_j - a_{ij}}{M_j - m_j} \quad [3]$$

در این روابط M_j, m_j به ترتیب بیشترین و کمترین امتیاز ذینفعان از جهت معیار z ام هستند.

روش جمع وزنی ساده (SAW)²

در حالت $p = 1$ روش برنامه ریزی سازشی به روش جمع وزنی ساده تبدیل می‌شود که در آن همه ورودی‌ها که مقادیر نرمال شده سهم ذینفع i ام از دید معیار z ام می‌باشند، به اندازه خود در نظر گرفته می‌شوند. در این روش امتیاز هر ذینفع، F_i ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_i = \left(\sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} \cdot w_j \right) \quad [4]$$

روش TOPSIS³

این روش در سال 1981 توسط هوانگ و یون ارائه گردید. مفهوم پایه‌ای این روش بر این اصل استوار است که گزینه انتخابی بایستی دارای کوتاهترین فاصله از راه حل ایده آل مثبت و دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی باشد. راه حل ایده آل مثبت، راه حلی است که معیارهای سود را حداکثر و معیارهای هزینه را حداقل می‌نماید، در حالیکه راه حل ایده آل منفی بر عکس معیارهای هزینه را حداکثر و معیارهای سود را حداقل می‌کند (هوانگ و یون 1981). در این روش

² Simple additive weighting

³ Technique for order performance by similarity to ideal solution (TOPSIS)

ذینفع در ادامه ارایه می‌شود. با توجه به اینکه نتایج این تحقیق برای کمک به تصمیم‌گیری سازمان‌های اجرایی صورت گرفته لذا حتماً معیارهای مورد بررسی بایستی مطابق معیارهای مطرح در کارگروه باشد. همچنین با توجه به محدودیت اطلاعات موجود در منطقه امکان لحاظ سایر معیارها نبوده است.

دفتر حفاظت از تالاب‌های سازمان محیط زیست ایران جلسات متعددی برای تدوین این معیارها داشته‌اند که در این مقاله با استفاده از نظرات آنها، تجربیات بین-المللی، برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه (1387) و لحاظ ویژگی‌های ذکر شده، معیارهای جدول (1) ارائه شده است که شرح آنها و محاسبات امتیاز و عملکرد هر

جدول 1- معیارهای تخصیص آب حوضه دریاچه ارومیه

معیارها	نوع معیار	شرح
C1		جمعیت (میلیون نفر)
C2	اجتماعی	سرانه مصرف آب (مترمکعب)
C3		وسعت اراضی قابل آبیاری (هکتار)
C4	اقتصادی	سرانه تولید ناخالص منطقه ای (میلیون ریال)
C5		سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی (میلیارد ریال)
C6	زیست‌محیطی	پتانسیل آب سطحی (میلیون متر مکعب)

صنعت و کشاورزی بر جمعیت استان (بی‌نام 1389). این معیار نشانگر سطح توسعه سیستم آبی برای پشتیبانی و حمایت از مردم در فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی است. این معیار، یک معیار منفی در تخصیص آب به استان می‌باشد تا به نوعی مشوق کاهش مصرف باشد.

معیار وسعت اراضی قابل آبیاری (هکتار)
این معیار پتانسیل اقتصادی استان برای توسعه بخش کشاورزی را نشان می‌دهد و یک معیار مثبت در تخصیص آب به استان می‌باشد. استانی که پتانسیل بالاتری در زمینه کشاورزی دارد آب بیشتری دریافت می‌کند. اراضی قابل آبیاری اراضی هستند که از لحاظ اقتصادی (کارایی) و فیزیکی (نوع خاک) در وضعیت مناسبی باشند. برای محاسبه این معیار مجموع اراضی قابل آبیاری کلاس I و II و III در نظر گرفته شده است (بی‌نام 1389).

معیار جمعیت (میلیون نفر)

این معیار بیانگر جمعیتی از هر استان است که نیاز آبی آنها از حوضه دریاچه تامین می‌شود. این معیار، یک معیار مثبت در محاسبات می‌باشد، بدین ترتیب که استانی با جمعیت بیشتر، آب بیشتری را دریافت خواهد کرد. سال 1410 به عنوان افق جمعیتی در نظر گرفته شده است، نرخ رشد جمعیت در هر استان به ترتیب زیر می‌باشد: آذربایجان شرقی (بی‌نام 0/88)، آذربایجان غربی (بی‌نام 1/40)، کردستان (بی‌نام 0/70). بنابراین جمعیت سال 1410 با رابطه زیر محاسبه شده است:

$$p_t = p_0 \times (1 + r)^t \quad [7]$$

P_t : جمعیت در سال 1410

P_0 : جمعیت در سال 1385

r : نرخ رشد جمعیت هر استان.

معیار سرانه مصرف آب (مترمکعب در سال)

سرانه مصرف آب برابر است با تقسیم متوسط مصرف سالانه آب در هر استان شامل مصارف شرب،

معیار سرانه تولید ناخالص منطقه‌ای (میلیون ریال در سال)

این معیار بیانگر الزامات یک استان برای حمایت از مردم آن استان، در رابطه با توسعه است، که یک معیار منفی در تخصیص آب در نظر گرفته شده است. تولید ناخالص داخلی هر استان، از مجموع ارزش افزوده کلیه فعالیت‌های اقتصادی واحدهای تولیدی مقیم در هر استان به دست می‌آید. ارزش افزوده در واقع عبارتست از ثروت اضافه‌ای که از طریق فرآیند تولید و یا ارائه خدمات ایجاد می‌شود که با کسر نهاده‌های واسطه از عایدی‌ها به دست می‌آید. این معیار طبق سالنامه‌های مرکز آمار ایران و حساب‌های منطقه‌ای به دست آورده شده است. سال مبنا برای تولید ناخالص استانی، سال 1388 در نظر گرفته شده است (بی‌نام 1389).

معیار سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی (میلیارد ریال در سال)

این معیار نمایانگر سرمایه‌گذاری به قیمت روز در برنامه‌های توسعه بخش کشاورزی و آبیاری تقسیم بر جمعیت زیر حوضه مربوطه می‌باشد. هدف از این معیار استفاده بهینه از زیرساخت‌ها و سرمایه‌گذاری‌های قبلی کشور است. این یک معیار مثبت در تخصیص آب به استان می‌باشد. با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات دقیق، این معیار در جدول نهایی 3 ملحوظ نگردید.

معیار پتانسیل آب سطحی (میلیون متر مکعب در سال) پتانسیل آب سطحی عبارت است از متوسط جریان طبیعی تولید شده در استان، که این معیار میزان آورد استان یا مقدار آب تولید شده در استان را نشان می‌دهد. در این معیار الویت استفاده از آب تولیدی با استان مولد آب است. این یک معیار مثبت در تخصیص آب محسوب شده است. لازم به ذکر است که نیاز حداقل دریاچه یعنی 3/1 میلیارد مترمکعب به این صورت لحاظ شده است که از متوسط آبدهی سطحی بلند مدت حوضه (7/2 میلیارد مترمکعب)، تنها 4/1 میلیارد مترمکعب در سال به سه استان اختصاص یابد، لذا سهم حداقل دریاچه به عنوان زینفع اکولوژیکی حوضه به صورت یک قید لحاظ می‌گردد.

اهمیت معیارهای استفاده شده در این تحقیق، با وزن آنها مشخص می‌شود. این وزنها با استفاده از پرسشنامه‌هایی از کارشناسان هر استان در بخش‌های آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی، استانداری و محیط زیست سوال شده و سپس با محاسبه میانگین و نیز وزن نسبی، مقادیر نهایی به دست آمده‌اند (بی‌نام 1389).

در جدول 2 امتیاز هر استان از دید معیارها و وزن داده‌ها برای انجام محاسبات تخصیص ارائه می‌گردد.

جدول 2- امتیاز هر استان از دید معیارها و وزن معیارها

جمعیت (میلیون نفر در سال)	جمعیت (میلیون نفر در سال)	سرانه مصرف آب (متر مکعب در سال)	وسعت اراضی قابل آبیاری (ha)	سرانه تولید ناخالص منطقه‌ای (میلیون ریال در سال)	پتانسیل آب سطحی (میلیون متر مکعب در سال)
1385	1410	منفی	0/272	0/122	0/229
استان‌های زینفع	0/190	0/187	0/272	0/122	0/229
آذربایجان شرقی	2/65	3/3	303000	28/0	1526/3
آذربایجان غربی	1/41	2/0	416739	18/3	4124/2
کردستان	0/58	0/7	19430	7/5	1583/4

وزن دهی به معیارها

لحاظ وزن معیارها نتایج با استفاده از نرم افزار Excel بدست آمده و در جدول (3) ارائه شده است.

حال به کمک روشهای جمع وزنی ساده، برنامه-ریزی سازشی و TOPSIS محاسبات انجام گرفته و با

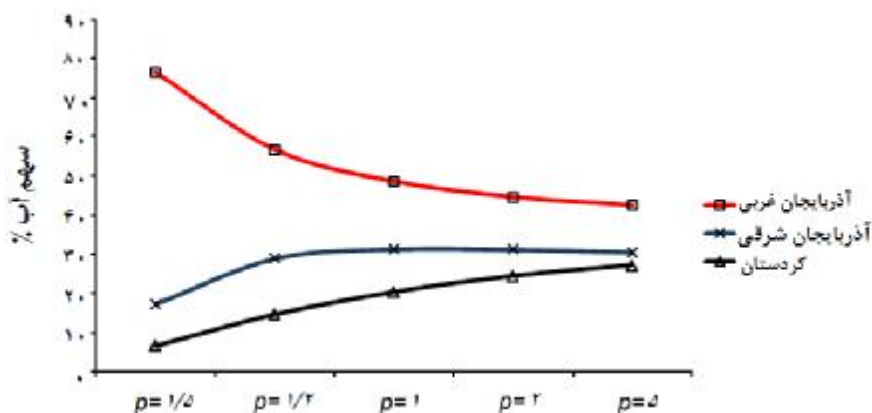
جدول 3- سهم درصدی هر استان از منابع آب دریاچه ارومیه با استفاده از روشهای مختلف

ذینفع	TOPSIS	CP P=10	CP P=2	SAW CP,P=1
آذربایجان شرقی	%34	%31	%32	%31
آذربایجان غربی	%42	%41	%44	%48
کردستان	%24	%28	%24	%20

تحلیل حساسیت

است در شرایط آتی برای معیارها اتفاق بیفتد) محاسبات تغییر اساسی در نتایج را نشان نمی‌دهند. نتایج تغییر در پارامتر p در مدل برنامه‌ریزی سازشی بررسی شده و نتایج در شکل 5 نشان داده شده است.

این تخصیص آب بر اساس وزنهای اعلام شده از طرف تصمیم‌گیران می‌باشد و در واقع نمی‌توان تغییرات زیادی در این وزن‌ها ایجاد کرد. ولی با تغییر جزئی در وزن معیارها (با توجه به تغییراتی که ممکن



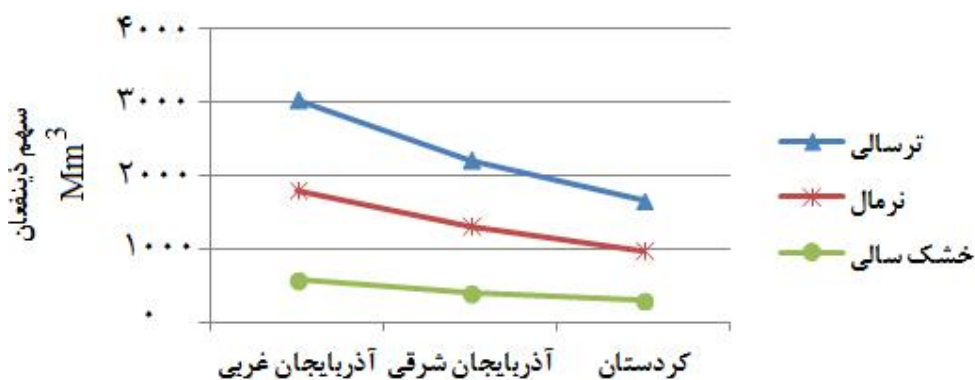
شکل 5- سهم هر ذینفع (%) در شرایط مختلف عدم قطعیت

مختلف که نماینده سال‌تر، نرمال و خشک می‌باشند، استفاده شده است و منابع آب سطحی حوضه تحت این 3 سناریو محاسبه شده و در مدل تخصیص لحاظ گردیده است. این 3 دوره از روی داده‌های تاریخی ثبت شده (بی‌نام 1387) و به کمک روابط زیر بدست آمده است.

تخصیص بهینه در این مقاله برای میانگین بلند مدت محاسبه شده است ولی تغییر پذیری آبدهی سالانه رودخانه‌های حوضه ارومیه در مجموع زیاد می‌باشد. این مسئله آسیب‌پذیری منابع آب حوضه و اکوسیستم دریاچه را نشان می‌دهد. در این مدل، برای شبیه‌سازی واقعیت و در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی 3 سناریو

برای نشان دادن تغییر شرایط اقلیمی، مقدار بهینه اختصاص یافته به استان‌های ذینفع با روش برنامه‌ریزی سازشی در حالت $p = 2$ در شکل 6 نشان داده شده است.

0.5^* میزان میانگین منابع آب: سناریو 1 (ترسالی)
انحراف معیار استاندارد
میزان میانگین منابع آب: سناریو 2 (نرمال)
-میزان میانگین منابع آب: سناریو 3 (خشکسالی)
انحراف معیار استاندارد 0.5^*



شکل 6- سهم بهینه استان‌های ذینفع تحت سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی

حسب میلیون مترمکعب با وضعیت فعلی مصرف هر ذینفع با استفاده از گزارش بسته معلومات جلسات کارگروه آب و کشاورزی مقایسه می‌گردد که در جدول 4 ذکر شده است.

مقایسه وضعیت فعلی برداشت از منابع سطحی با وضعیت بهینه
برای این منظور نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی سازشی در حالت $p = 2$ را مدنظر قرار داده و سهم بهینه هر ذینفع را بر اساس سهم درصدی هر استان از میانگین بلند مدت منابع آب سطحی بر

جدول 4- مقایسه مقادیر برداشت با مقدار بهینه حاصل از روش برنامه‌ریزی سازشی برای میانگین

بلند مدت (میلیون مترمکعب)		
سهم بهینه	برداشت فعلی	ذینفعان
1312	650	آذربایجان شرقی
1804	2570	آذربایجان غربی
984	211	کردستان

میلیارد متر مکعب) در این سال تامین نشده است ولی مقادیر تخصیص بهینه برای میانگین بلند مدت محاسبه شده‌اند و با ادامه روند فعلی مصارف از منابع حوضه، دریاچه با شرایط بحرانی تری مواجه خواهد شد.

مقادیر برداشت‌های فعلی مربوط به سال 1388 می‌باشد که با توجه به خشکسالی حاضر منابع آب سطحی حوضه کمتر از $7/2$ میلیارد مترمکعب (آورد متوسط سالانه بلند مدت حوضه آبریز دریاچه ارومیه) می‌باشد و حداقل نیاز اکولوژیکی سالانه دریاچه $(3/1)$

بحث در نتایج

این تخصیص در شرایط خوشبینانه بوده و حسب شرایط تصمیم‌گیری و مقدار معینی از ریسک تصمیم‌گیری مقدار دقیق تخصیص ارائه شده است. طبق مطالعات پردنویج و سیمونیچ (2003)، رانتیوار و اسموت (2010) و فتاحی و فیاض (2010) روش برنامه‌ریزی سازشی موفقیت خوبی در مدل‌سازی حل اختلاف و نیز تصمیم‌گیری در مدیریت مسایل آبی داشته است. همچنین براساس نتایج این تحقیق بخاطر قابلیت درک پارامتر ریسک مدل برنامه‌ریزی سازشی نتایج بهتری نسبت به روش جمع وزنی ساده و TOPSIS ارائه می‌نماید، لذا روش برنامه‌ریزی سازشی که جامع روش‌های تصمیم‌گیری فاصله محور است برای استفاده در سایر مطالعات مدیریت منابع آب توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در تخصیص آب، تقسیم منصفانه آن یک اصل اساسی می‌باشد که به دلیل وجود معیارهای مختلف تعیین آن مشکل است و با توجه به موثر بودن معیارهای متنوع در تخصیص آب که بصورت کمی و کیفی قابل طرح هستند، استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در این خصوص مفید می‌باشد. با توجه به شرایط بحرانی دریاچه ارومیه مسئله تخصیص آب تبدیل به یکی از موضوعات محوری در بین استان‌ها شده است. در حوضه دریاچه ارومیه قانون تخصیص مشخص و مدونی که بتواند حقایق هر یک از ذینفعان را از دید بهم پیوسته مشخص کند هنوز ارایه نشده است. این مقاله می‌تواند شروع مناسبی برای عملی کردن قانون تخصیص آب و حل مسئله دریاچه ارومیه باشد که در آن سهم هر استان بر اساس معیارهای مشخصی بدست آمده است. البته می‌توان با بررسی‌های دقیق‌تر و با در نظر گرفتن قیود بیشتر، بهترین گزینه برای تخصیص آب را تعیین کرد. در شرایط آتی با این فرض که میزان مصارف از منابع آبهای سطحی حوضه به صورت فعلی ادامه یابد و

مطابق نتایج مدل برنامه‌ریزی سازشی در حالت $p = 2$ از 4/1 میلیارد مترمکعب آورد متوسط سالانه بلند مدت قابل برداشت حوضه آبریز دریاچه ارومیه، سهم استان آذربایجان غربی برابر 1/804، سهم استان آذربایجان شرقی برابر 1/312 و سهم استان کردستان برابر 0/984 میلیارد مترمکعب در سال تعیین گردید. بر مبنای معیار پتانسیل آب سطحی اولویت مصرف آب با استان مولد است ولی سهم تعیین شده برای هر استان از کل منابع آب سطحی حوضه قابل تامین می‌باشد. مطابق نتایج تحلیل حساسیت تغییر در پارامتر p در روش برنامه‌ریزی سازشی اختلاف مهمی در نتایج محاسبات نشان می‌دهد. مطابق شکل 4، در واقع با افزایش مقدار این پارامتر سهم استان کردستان افزایش پیدا کرده و از سهم استان آذربایجان غربی کاسته می‌شود. سهم استان آذربایجان شرقی تا حدودی دارای صلبیت بوده و تغییر چندانی نمی‌کند.

از آنجا که مقدار پارامتر p بیانگر حساسیت نتایج به ریسک و عدم قطعیت است می‌توان نتیجه گرفت که در بلند مدت سهم استان کردستان وابسته به درجه ریسک‌پذیری مدیران بوده و خیلی سهم معینی نمی‌تواند داشته باشد. البته به طور کلی هر مقدار که مدیران تصمیم‌گیر دیدگاه خوشبینانه داشته و ریسک‌پذیر باشند سهم استان آذربایجان غربی کاسته شده و به سهم استان کردستان افزوده خواهد شد. در بررسی تغییر شرایط اقلیمی (شکل 6) مشاهده می‌شود که در شرایط خشک‌سالی مقدار آب تخصیص یافته به ذینفعان حوضه نسبت به شرایط ترسالی کاهش یافته است و به تبع آن مشکلات موجود در حوضه نیز افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که در توسعه این تحقیق می‌توان نسبت به مطالعه دقیق تخریر از سطح آب و نیز تخریر تعلق در سطح حوضه در شرایط تغییر اقلیم اقدام نموده و نتایج آن را در مطالعه لحاظ نمود.

آبیاری و اصلاح الگوی کشت منطقه و مدیریت بهره- برداری از منابع آب حوضه و رعایت تخصیص بهینه از تشدید بحران جلوگیری کرد. امیدوار است که با رعایت این تخصیص دریاچه ارومیه بتواند به وضعیت متعادل اکولوژیکی خود برسد و ذینفعان حوضه نیز با رعایت عدالت به توسعه اقتصادی لازم دسترسی یابند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری مسئولان و کارشناسان محترم کارگروه آب و کشاورزی شورای مدیریت منطقه‌ای حوضه آبخیز دریاچه ارومیه (در هر سه استان) که انجام این تحقیق با مساعدت‌ها و راهنمایی‌های آنها میسر گردید قدردانی می‌شود. همچنین از خانم‌ها سیمین اکبری و آیدا حسینی بقانام به جهت همکاری در این تحقیق سپاسگزاری می‌گردد.

بازده مصارف کشاورزی نیز افزایش چندانی نداشته باشد، کمبود آب در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت در هر سه استان افزایش می‌یابد و در صورت رعایت نکردن این تخصیص بهینه، این اکوسیستم حیاتی با شرایط بحرانی مواجه خواهد شد. این تخصیص در شرایط موجود و براساس میانگین بلند مدت منابع آب سطحی حوضه انجام شده است و این در شرایطی است که طرح‌های متعدد کنترل، نگهداری، تنظیم، انتقال آب در حوضه دریاچه ارومیه در دست مطالعه و اجرا می‌باشد که اجرای این پروژه‌ها مدیریت منابع محدود آب حوضه و پیامدهای زیانبار زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را به مسئله ای بفرنج و پیچیده تبدیل کرده است. با ادامه این روند شاهد از بین رفتن بخش‌های وسیعی از استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، خشک شدن باغ‌ها و اراضی مجاور، افزایش آلودگی و مشکلات جبران ناپذیری خواهیم بود که می‌توان با نظام‌مند کردن مصرف آب کشاورزی، استفاده از شیوه‌های نوین

منابع مورد استفاده

- بی‌نام، 1387. برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه. موسسه تحقیقات آب. وزارت نیرو.
- بی‌نام، 1387. سالنامه آماری آذربایجان شرقی. دفتر آمار و اطلاعات وزارت کشور.
- بی‌نام، 1387. سالنامه آماری آذربایجان غربی. دفتر آمار و اطلاعات وزارت کشور.
- بی‌نام، 1386. سالنامه آماری کردستان. دفتر آمار و اطلاعات وزارت کشور.
- بی‌نام، 1389. بسته معلومات جلسات کارگروه آب و کشاورزی شورای مدیریت منطقه‌ای حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. طرح حفاظت از تالاب‌های ایران.
- بی‌نام، 1389. گزارش بهنگام‌سازی طرح جامع آب حوضه‌های مازندران و دریاچه ارومیه. وزارت نیرو.
- بی‌نام، 1384. مطالعات پیامدهای زیست محیطی طرح‌های توسعه منابع آب حوضه دریاچه ارومیه. شرکت مهندسی مشاور یکم.
- بی‌نام، 1385. گزارش سنتز، مطالعات طرح جامع دریاچه ارومیه. موسسه تحقیقات آب. وزارت نیرو.
- حصاری ب، طایفه نسکلی ن. 1389. بررسی تغییرات سطح دریاچه ارومیه و همرفتاری آن با تغییرات سطح دریای خزر و دریاچه وان ترکیه و عوامل آب و هوایی منطقه، صفحه‌های 68-62. دومین همایش ملی بحران زیست محیطی دریاچه ارومیه، نقده.
- هاشمی م، فروردین 1387. گزارش هم‌نهاد: مروری بر وضعیت منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران. کارگروه آب و کشاورزی شورای مدیریت منطقه‌ای حوضه آبخیز دریاچه ارومیه.

- Aladin N, Igor S, Plotnikov I, Micklin P and Ballatore T, 2009. Aral Sea: Water level, salinity and long-term changes in biological communities of an endangered ecosystem-past, present and future. *Natural Resources and Environmental Issues* 15. Article 36.
- Atwi M and Chóliz JS, 2011. A negotiated solution for the Jordan Basin. *Journal of the Operational Research Society* 62(1):81-91.
- Abbaspour M and Nazarioust A, 2007. Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach. *International Journal of Environmental Studies* 64(2):161-169.
- Fattahi P and Fayyaz S, 2010. A compromise programming model to integrated urban water management. *Water Resources Management* 24(6): 1211-1227.
- Gorantiwar SD and Smout IK, 2010. Multi criteria decision making (compromise programming) for integrated water resources management in an irrigation scheme. Pp.1-10. 3rd International Perspective on Current & Future State of Water Resources & the Environment, EWRI-ASCE, Chennai, India.
- Hassanzadeh E, Zarghami M and Hassanzadeh Y, 2012. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling, *Water Resources Management* 26(1): 129-145.
- Hwang, CL and Yoon K, 1981. *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*. Springer, Berlin.
- Kronaveter L and Shamir U, 2009. Negotiation support for cooperative allocation of a shared water resource: Methodology. *Journal of Water Resources Planning and Management* 135(2): 60-69.
- Masih I, Uhlenbrook S, Maskey S., Ahmad M.D, Turrall H and Karimi P, 2009. Analyzing stream flow variability and water allocation for sustainable management of water resources in the semi-arid Karkheh river basin, Iran. *Physics and Chemistry of the Earth* 34: 329-340.
- Mimi Z and Sawalhi BI, 2003. A decision tool for allocating the waters of the Jordan river basin between all riparian parties. *Water Resources Management* 17: 447-461.
- Prodanovic P and Simonovic SP, 2003. Fuzzy compromise programming for group decision making. *systems, Man and Cybernetics* 33(3):358-365.
- Van der Zaag P, 2005. Integrated water resources management: relevant concept or irrelevant buzzword? A capacity building and research agenda for Southern Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 30: 867-871.
- Zarghami M, 2010. Urban water management using fuzzy-probabilistic multi-objective programming with dynamic efficiency, *Water Resources Management* 24(15): 4491-4504.
- Zarghami M and Szidarovszky F, 2010. On the relation between compromise programming and the ordered weighted averaging operator, *Information Sciences* 180(11): 2239-2248.
- Zeleny M, 1973. Compromise programming, Pp. 262-301. In: Cochrane J and Zeleny M (Eds.), *Multiple Criteria Decision Making*, University of South Carolina Press, Columbia, USA.