تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹
Volume 16, No. 1, Spring 2020 (IR-WRR)
۳۶۰-۳۷۹

پتانسیل‌یابی منابع آب برای تخصیص به آبزی‌پروری از بودجه آبی به حساب نیامده

علیرضا شکوهی[۱*] و امید بهمنی[۲]

چکیده

این تحقیق با تمرکز بر مسأله صرفه‌جویی در استفاده از منابع آب شیرین در مناطق گرم و خشک با معرفی الگوریتمی ساده به پتانسیل‌یابی آبهای سطحی و زیرزمینی غیر قابل تخصیص به بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت پرداخته و با این پیش فرض که به کمک روشهای نوین آبزی‌پروری می‌توان از این آبهای به ظاهر نامرغوب استفاده کرد، مناطق مستعد از نظر تأمین آب برای آبزی‌پروری را شناسایی می‌نماید. منطقه مورد مطالعه دراین پژوهش حوضه‌های آبریز ۵ گانه واقع در مرزهای سیاسی استان خوزستان شامل کارون، دز، کرخه، مارون- جراحی و زهره است که به کمک الگوریتم توسعه داده شده مناطق مستعد برای آبزی‌پروری در آنها تعیین و به صورت نقشه در محیط GIS ارائه گردید. برای دستیابی به اهداف ذکر شده، در مرحله اول کیفیت آب از نظر سلامت اکولوژیکی و کاربری عمومی ارزیابی شد و در مراحل بعد کیفیت آن از نظر شرب، کشاورزی و صنعت تعیین و مناطق فاقد پتانسیل بهره‌برداری برای مصارف مزبور ولی مناسب برای آبزی‌پروری تعیین گردیدند. براساس نتایج بدست آمده بجز حوضه دز، در دیگر رودخانه‌های خوزستان می‌توان بطور متوسط تا ۳۵ درصد حجم موجود را به بخش آبزی‌پروری تخصیص داد. این حجم از جریان عموماً در بخش سفلای همه حوضه‌های چهارگانه کارون، کرخه، مارون- جراحی و زهره قرار داشته و می‌تواند در صورت تخصیص و البته با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی و اجتماعی، تراکم مزارع آبزی‌پروری را که بیشتر در سرآب و میانه این حوضه‌ها تجمع یافته‌اند به این قسمت‌ها منتقل و از بار عظیمی که بر رودخانه‌های منطقه و بخصوص کارون وجود دارد، بکاهد. با توجه به دو عامل کیفیت و افت سفره‌های ۲۳ گانه استان خوزستان تنها سه سفره اوان، هفتگل و زیدون برای استفاده در آبزی‌پروری قابل توصیه می‌باشند. الگوریتم ارائه شده و مفروضات مورد استفاده در توسعه آن برای اولین بار ارائه می‌گردد و دارای قابلیت عمومی‌سازی برای کاربرد در هر حوضه آبریز دیگر را داشته و ابزار لازم برای چانه‌زنی در سطح کلان برای گرفتن تخصیص برای آبزی‌پروری را فراهم می‌نماید.

کلمات کلیدی: آبزی‌پروری، پتانسیل‌یابی، تخصیص، ارزیابی کیفی، خوزستان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۲/۲۳

۱- استاد دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، گروه مهندسی آب، قزوین، ایران. کد پستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸

۲- مدیرگروه منابع طبیعی شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

The Potential for Allocating Water Resources to Aquaculture from an Unaccounted Water Budget

A.R. Shokoohi [1] and O. Bahmani [2]*

Abstract

This research, based on the belief that modern aquaculture technologies in the form of intensive and super-intensive aquaculture methods can use water resources of low quality for utilizing in other sectors, aims to focus on saving freshwater resources in arid and semi-arid areas. By introducing an intelligent algorithm, this study tries to find the potential of non-allocated water for agriculture, industry, and drinking. The study area includes Karun, Dez, Karkheh, Maroon-Jarahi and Hendijan basins/plains located in Khuzestan province, for which the areas suitable for allocating water to aquaculture were identified and mapped in GIS. Using the IRWQIsc method, water quality was firstly evaluated in terms of ecological health and general use and then based on the criteria of water quality for drinking, agriculture and industrial use the potential areas were investigated. The results showed that except Dez River, up to 35% of the available water in other Khuzestan rivers can be allocated to the aquaculture sector on average. The suitable parts of the four Karun, Karkheh, Maroon-Jarahi and Zohre-Hendijan Rivers are generally located in the lower parts of the basins. The achievements of the research allow decision-makers to redistribute the dense aquaculture farms, mostly located in the upper and middle parts of the rivers, and to reduce the high pressure on those parts of the rivers, especially on Karun River. Regarding both factors of quality and critical condition of the water table, just 3 out of 23 aquifers of the Khuzestan province were recommended for aquaculture development. The proposed algorithm and the assumptions used in its development, presented for the first time, have the capability of being generalized for use in any other catchment and provide the necessary tools for large-scale negotiation to obtain optimum aquaculture allocation.

Keywords: Aquaculture, Potential Finding, Water Allocation, Water Quality Assessment, Khuzestan Province.

Received: February 11, 2020
Accepted: May 12, 2020

1- Professor of Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir
2- Head of Natural Resources of Jihad Tahghighat Ab&Energy Company, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

در سالیان اخیر آبزی‌پروری در بسیاری از مناطق دنیا هم از نظر اشتغال‌زایی و هم از نظر تأمین امنیت غذایی مورد توجه قرار گرفته است. این صنعت در کشورهای درحال توسعه به علت استفاده از روشهای سنتی که به مفهوم استفاده از حجم زیادی از آب و سپس تخلیه مواد درون استخر پرورش ماهی به داخل آب رودخانه است، با چالش‌های زیادی از نظر تأمین آب و سپس ایجاد مسائل زیست محیطی روبرو شده است. با توجه به محدودیت بهره‌برداری از آبهای شیرین، علی‌الخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اخیراً آبزی‌پروری در آب‌های لب‌شور و شور مورد توجه قرار گرفته و گسترش قابل توجهی داشته است، به طوریکه عملاً نیمی از تولیدات آبزی‌پروری جهان به محیط آبهای لب‌شور و شور اختصاص دارد (FAO, 2012). یکی از فعالیت‌های مرتبط با صنعت آبزی‌پروری در آبهای داخلی، بهره برداری اقتصادی از آبهای زیرزمینی در مناطقی است که تحت تأثیر شوری قرار گرفته‌اند. این مسأله از نقطه نظر اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی دارای اهمیت زیادی است (Alizadeh and Bamani Kharanagh, 2017). این مشکل در کشورهایی نظیر ایران که در کمربند خشک دنیا قرار گرفته‌اند، به علت اولویت رقیبانی همچون شرب، صنعت و کشاورزی برای تخصیص منابع آب شیرین و اندک در دسترس، حادتر بوده و مانعی اساسی برای رشد صنعت شیلات شده است. این تحقیق بر این باور شکل گرفته است که استفاده از روشهای مدرن آبزی‌پروری به صورت متراکم و نیمه متراکم، می‌تواند از آبهایی که به علت مسائل کیفی در سایر بخش‌ها غیرقابل استفاده قلمداد می‌شوند، بهره‌برداری نماید. براین اساس تحقیق حاضر قصد دارد با تمرکز بر مسأله صرفه‌جویی در استفاده از منابع آب شیرین در مناطق گرم و خشک با معرفی یک الگوریتم، به پتانسیل‌یابی آبهای غیر قابل تخصیص به دیگر مصرف‌کنندگان بپردازد و با یافتن منابع آبهای سطحی و زیرزمینی ظاهراً نامرغوب، با افزایش بهره‌وری آب به کمک روشهای نوین آبزی‌پروری، به اشتغال‌زایی و همچنین افزایش امنیت غذایی کشور کمک نماید. منطقه مورد مطالعه دراین پژوهش استان خوزستان است که به کمک الگوریتم توسعه داده شده، مناطق فاقد پتانسیل برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی در حوضه های آبریز ۵ گانه استان شامل کارون، دز، کرخه، مارون- جراحی و زهره شناسایی شده و بر این اساس مناطق مستعد برای آبزی‌پروری تعیین و به صورت نقشه در محیط GIS[1] ارائه می‌گردند. برای دستیابی به اهداف ذکر شده، در مرحله اول کیفیت آب از نظر سلامت اکولوژیکی و کاربری عمومی ارزیابی شده و در مراحل بعد کیفیت آن از نظر شرب، کشاورزی و صنعت تعیین و مناطق فاقد پتانسیل بهره‌برداری برای مصارف مزبور ولی مناسب برای آبزی‌پروری تعیین می‌گردند.

در خصوص ارزیابی کلی بدنه آبی بدون توجه به نوع مصرف، دو روش مرسوم NSFWQI[2] که توسط US National Sanitation Foundation توسعه یافته است (NSF, 2006) و روش IRWQIsc[3] که توسط جمعی از محققین ایرانی توسعه یافته است، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hashemi et al., 2012). شایان ذکر است که استفاده از هر دو روش در ادبیات مربوط به این موضوع در سطح کشور گزارش شده و در سطح وسیعی از بدنه‌های آبی سطحی از رودخانه تا دریاچه و تالاب از آنها استفاده شده است (Shokoohi and Modaberi, 2019). گزارشهایی در خصوص استفاده از این شاخص در ارزیابی کیفیت منابع آبهای سطحی ایران در سالهای اخیر گزارش شده است. Mohseni Bandpey et al. (2014) در بررسی کیفیت رودخانه گل گل ایلام از شاخص NSFWQI استفاده نمودند و با ذکر تواناییهای شاخص مورد استفاده، وضعیت رودخانه مذکور را در همه ایستگاه‌ها و در همه دوره‌های زمانی، خوب تا متوسط ارزیابی کردند. Sharifdini et al. (2014) در بررسی کیفیت آب رودخانه دوهزار در تنکابن، شاخص NSFWQI را در بررسی کیفیت آب سطحی روشی مناسب ارزیابی نمودند. Sadeghi et al. (2015) با استفاده از دو شاخص NSFWQI و IRWQIsc به ارزیابی کیفیت آب رودخانه زرین گل در استان گلستان پرداخته و نتیجه‌گیری کردند که شاخص NSFWQI کیفیت آب رودخانه را متوسط ولی شاخص IRWQIsc کیفیت همین رودخانه را متوسط تا نسبتاً خوب برآورد می‌کند. براساس نتایج حاصله، محققین مذکور آب رودخانه را برای کشاورزی مناسب ولی برای شرب نیازمند تصفیه تشخیص دادند. Samadi (2016) با استفاده از شاخص IRWQI به بررسی آلودگی تالاب چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری با تحلیل تأثیرات کمی و کیفی پسابهای اراضی از دو بعد مکانی و زمانی بر کیفیت آب این تالاب پرداخت. Alizadeh et al. (2017) با استفاده از شاخص‌های NSFWQI، IRWQIsc و WQI به بررسی کیفیت آب رودخانه‌های کرج و کن پرداختند. شاخص NSFWQI کیفیت آب رودخانه‌های تحت مطالعه را بد تا متوسط، شاخص IRWQIsc آنها را دارای کیفیت بسیار بد تا نسبتاً خوب و بالاخره شاخص WQI کیفیت رودخانه‌های مذکور را خوب تشخیص دادند. براساس برآورد محققین مزبور از نتایج حاصل، آب این دو رودخانه برای شرب و کشاورزی مناسب می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌گردد محققین در استفاده از دو روش NSFWQI و IRWQIsc بدون آنکه به صراحت توصیه‌ای در خصوص استفاده از نتایج برای تجویز منبع آبی در صنعت، شرب یا کشاورزی داشته باشند، بیشتر به سلامت منبع آبهای سطحی از منظر حفظ شرایط اکولوژیکی توجه داشته‌اند. بر همین اساس در تحقیق حاضر یکی از این دو روش یعنی روش IRWQIsc برای شبکه آبهای سطحی به خدمت گرفته

شده و برای آبهای زیرزمینی از روشهای مرسوم دیگر که با توجه به نوع کاربری آب تعیین می‌شوند استفاده به عمل آمد.

برای ارزیابی کیفیت منابع آبهای سطحی و زیرزمینی برای شرب بطور معمول از دیاگرام شولر، برای کشاورزی از دیاگرام ویلکاکس و برای صنعت از شاخص‌های معرف تـــوان خورندگی استفاده می‌شود. Pourmoghadas et al. (2003) در ارزیابی آبهای زیرزمینی لنجان اصفهان، از نظر شرب از ۸ پارامتر مورد استفاده در دیاگرام شولر استفاده کردند و آبهای این منطقه را بطور کلی سخت ارزیابی کردند. Dindarlou et al. (2006) با بررسی کیفیت شیمیایی سفره‌های آب زیرزمینی بندرعباس، میزان سولفات، کلرور، سدیم، سختی کل، TDS و ضریب هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی را از حداکثر مجاز و میزان نیتریت و کلسیم را از حد مطلوب فراتر ارزیابی کردند. نظیر همین ارزیابی توسط Sadeghi and Rouhollahi (2007) برای شهر اردبیل صورت گرفت که بر اساس نتایج بدست آمده سختی کل، سولفات و فسفات بیش از حد مجاز ارزیابی شدند. Rajaee et al. (2012) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند و قائن برای مصارف شرب پرداخته و از دیاگرام شولر برای این‌کار استفاده نمودند. این محققین با مقایسه مقادیر باقیمانده جامدات خشک، سختی، سولفات، سدیم، کلرید، هدایت الکتریکی و فلوراید با استانداردهای جهانی آنها را مغایر مقادیر استاندارد دانسته و در دیاگرام شولر وضعیت عمومی آب را از نظر شرب بین خوب تا نامناسب اعلام نمودند. درخصوص ارزیابی کیفی آب برای مقاصد صنعتی نیز عموما از شاخص‌های لانژلیه و رایزنر استفاده به عمل آمده است. Asgari et al. (2015) در بررسی آب شرب بوشهر با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پورکوریوس آن را خورنده تشخیص دادند و برای رفع مشکل توصیه نمودند خطوط انتقال و توزیع آب از جنس مقاوم انتخاب شود یا اقداماتی همچون پوشش دیواره داخلی لوله یا اصلاح کیفیت آب انجام گیرد. Akhorzadeh (2019) به ارزیابی کیفیت آب کارون برای استفاده در نیروگاه رامین و زرگان با استفاده از دو شاخص نامبرده پرداخت و آب کارون را خورنده و برای نیروگاه نامناسب ارزیابی نمود.

در کنار مطالعات انجام شده برای ارزیابی کیفی آبهای سطحی و زیرزمینی از نظر شرب و کشاورزی، مجموعه‌ای از مطالعات را می‌توان یافت که به ارزیابی منبع آبی از نظر کیفیت مناسب برای آبزی‌پروری با توجه به گونه ماهی مورد نظر می‌پردازند. با توجه به اهداف تحقیق حاضر و برای آشنایی با عناصر مهم در کیفیت آب مورد استفاده برای آبزی‌پروری تنها به یک نمونه از مقالات عدیده‌ای که در این زمینه موجود است اشاره می‌شود. Jamali et al. (2012) به ارزیابی وضعیت کیفی آب‌بندان‌های شرق و غرب مازندران برای پرورش ماهیان گرم آبی نظیر کپورماهیان پرداختند و با ارزیابی فاکتورهای هیدروشیمیایی مانند قلیائیت، سختی، یون آمونیوم، نیترات، فسفات، DO،BOD5، pH و COD کدورت آب یا NTU و بعضی فلزات سنگین مثل Fe، Zn و Pb و نیز دمای آب و هوا در دو منطقه با مقادیر استاندارد، کیفیت آب آنها را در محدوده نرمال تشخیص دادند.

یکی از تکنیک‌هایی که در دو دهه اخیر امکان گسترش ارزیابی نقطه‌ای به ارزیابی منطقه‌ای و لذا پهنه‌بندی و تهیه سیمای طرح‌های منابع آب را فراهم نموده است سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد (Shokoohi, 2006). در ارتباط با پهنه‌بندی کیفی آب می‌توان به پهنه‌بندی کیفی رودخانه گدارخوش در استان ایلام براساس شاخص NSFWQI اشاره کرد (Razmiani et al., 2014). یکی از مواردی که در ترکیب با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به تولید اطلاعات مکانی هوشمند کمک می‌نماید، استفاده از معیارهای تصمیم‌گیری چند معیاره ($MCDM^4$) در حالتی است که وزن یا اهمیت مؤلفه‌های تشکیل دهنده شاخص کیفی با هم متفاوت باشند. در خصوص شاخصی مانند IRWQIsc این مشکل وجود ندارد ولی در مورد شاخص شولر چنین نبوده و لازم است محقق با استفاده از روشهای MCDM اوزان عوامل شیمیایی را بدست آورد. در ارتباط با پهنه‌بندی مناطق با استفاده از روشهای وزن‌دهی و تصمیم‌گیری چند معیاره برای مقاصد آبزی‌پروری Kaboudi et al. (2016) با ترکیب وزنی نقشه سنگ و خاکشناسی با دقت و مقیاس مناسب، داده‌های مربوط به کیفیت آب (دمای آب، میزان اسیدیته آب و شوری)، موقعیت شهرها، جاده‌ها و طبقات ارتفاعی، نواحی نزدیک به جاده و مناطق شهری را مناسبترین پهنه‌های آبزی‌پروری (گرمابی و سردابی) در منطقه گلستان شناسایی کردند. Talebi et al. (2016) برای سنجش کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت قزوین از ترکیب روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP^5) و GIS استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که قسمت عمده آب منطقه مورد مطالعه در دشت قزوین وضعیتی مطلوب و مناسب دارد و قسمت‌های شرقی و مرکزی از لحاظ مصارف شرب قابل قبول می‌باشند. در مورد پهنه‌بندی کیفی آب برای مصارف کشاورزی استفاده از دیاگرام ویلکاکس عملاً به وزن‌دهی منبع آبی بر اساس وضعیت کیفی آب منجر می‌شود ولی اگر در تحقیقی لازم باشد که به غیر از مؤلفه هدایت الکتریکی و یا SAR (که براساس عناصر کلسیم، منیزیم و سدیم محاسبه می‌شود) از عوامل دیگر مثلاً وجود فلزات سنگین برای تعیین و ارزیابی وضعیت کیفی آب استفاده شود، برای پهنه‌بندی کیفی آب کشاورزی نیز باید از روشهای MCDM استفاده نمود. در یک نمونه از این نوع تحقیقات، Shahinzadeh et al. (2019) در بررسی کیفیت آب رودخانه دز در استان خوزستان در بازه بامدژ– دزفول از ۹ متغیر شامل هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات،

سولفات، کلر، پتاسیم و همچنین دبی (که با تحلیل عاملی بدست آمدند)، به ارزیابی کیفی آب رودخانه مذکور از نظر کشاورزی پرداختند.

یکی از راههای افزایش تولیدات آبزیان استفاده از آبهای شور و لب‌شور می‌باشد. همانطور که گفته شد مکان‌یابی این نوع آبها یکی از اهداف اصلی تحقیق حاضر می‌باشد. محققینی در سطح کشور و دنیا بدنبال این مهم می‌باشند. به عنوان مثال Mashaee and Rajabpour (2017) با استناد به تعدادی از تجارب بین‌المللی به ارزیابی امکان تولید ماهی تیلاپیا در پکیج‌های خانگی و تجاری سیستم آکواپونیک آب شیرین و لب‌شور با هدف تولید متراکم این ماهی در مرکز تحقیقات ملی آبزیان آبهای لب‌شور پرداختند و نتایج را مطلوب اعلام نمودند. Ansari et al. (2017) به مطالعه امکان توسعه فعالیتهای آبزی‌پروری در پسابهای کشاورزی و آبهای لب‌شور در منطقه جنوب غربی استان خوزستان پرداختند. در ۷ گونه ماهی صید شده برای مطالعه، بیشترین ماهیان از خانواده کفال ماهیان و شانک ماهیان بودند و در نهایت میگوی وانامی را به عنوان اولویت اول و تیلاپیا را به عنوان گونه دوم جهت پرورش در مناطق مذکور پیشنهاد نمودند. Alizadeh and Bamani Kharanagh (2017) در بررسی الزامات زیست محیطی توسعه آبزی‌پروری در مناطق تحت تأثیر شوری به این نتیجه رسیدند که توسعه پرورش آبزیان در مناطق تحت تأثیر شوری اگر با برنامه‌ریزی انجام شود، نه تنها خطری برای محیط زیست ندارد بلکه به حفظ محیط زیست، تعادل اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی کمک هم می‌نماید. آنها مناطق تحت تأثیر شوری را از مطلوبیت بالایی جهت توسعه پرورش آبزیان یا تلفیق کشاورزی و پرورش آبزیان دانستند. Smaeili Dahesht et al. (2017) ضمن ممکن دانستن استفاده از مناطق دارای منابع طبیعی آب شور بخصوص در اراضی شور و غیرقابل کشاورزی، انجام این مهم را در افزایش تولید در کشور و بهره‌مندی از منابع خدادادی و لذا رفع نیاز داخلی به این محصول، ارزآوری و اشتغال مؤثر می‌دانند. محققین یاد شده با ذکر مساحت مزارع پرورش میگو در ایران مدعی هستند که برای تولید اقتصادی میگو با ارزش غذایی مناسب، با استناد به برنامه توسعه کشور، واردات سیست و بیومس آرتمیا اجباری است. براساس ارقام ذکر شده توسط این محققین در سال مطالعه حداقل ۲۶ تن سیست و ۵۰ تن بیوماس مورد نیاز کشور بوده که تنها ۳/۵ تن سیست و ۲۰ تن بیوماس در داخل کشورتولید و الباقی به ازای هر کیلوگرم سیست، ۱۵۰–۱۰۰ دلار از خارج وارد می‌شود. محققین مزبور تولید تولید ۸ تن ذی توده و یا ۷۵ کیلوگرم سیست (تخم) آرتمیا در هر هکتار از اراضی شور غیرقابل کشاورزی را ممکن می‌دانند.

در این تحقیق با توجه به کمبود منابع آب شیرین و تجمع مزارع آبزی‌پروری در مناطق علیای دشت (Anonymous, 2016)، به پتانسیل‌یابی مناطق فاقد استانداردهای لازم برای شرب، صنعت و کشاورزی پرداخته و با نگرشی جدید به ارائه یک الگوریتم برای شناسایی این مناطق با پیش‌فرض قابلیت بهره‌گیری از آنها در روش‌های آبزی‌پروری مدرن اقدام شد. شایان ذکر است که در این مطالعه عناصر مورد استفاده برای ارزیابی کیفی آبهای سطحی و زیرزمینی شامل فلزات سنگین نمی‌گردد. در بخش‌های بعد، پس از ارائه روش مورد استفاده برای توسعه الگوریتم مورد نظر به ارائه نتایج در هر یک از حوضه‌های ۵ گانه استان خوزستان پرداخته خواهد شد.

۲- مواد و روشها

براساس آنچه که در بخش مقدمه در مورد اهداف مطالعه توضیح داده شد روشی برای مطالعه طراحی شده است که در جریان نمای شکل شماره ۱ ملاحظه می‌گردد. براساس آنچه که در این شکل مشاهده می‌شود ابتدا به بررسی منطقه مطالعاتی، داده‌های مورد نیاز و سپس روش‌های مورد استفاده در تعیین هر بخش از مصارف و الویت‌دهی تخصیص در هر دو سیستم سطحی و زیرزمینی پرداخته خواهد شد.

۲-۱- منطقه مطالعاتی

استان خوزستان از لحاظ هواشناسی جزء دشت‌های ساحلی خلیج فارس و جزء مناطق گرم و خشک جنوب می‌باشد (Anonymous, 2013). به همین دلیل و نیز به دلیل جاری بودن رودخانه‌های مهمی همچون کرخه و کارون، استان مزبور برای مطالعه موردی در این طرح انتخاب شده است. استان خوزستان دارای دو قلمرو آبی و خشکی است. شمال و شرق استان خوزستان را سلسله جبال زاگرس محصور نموده است. از نظر پستی و بلندی، خوزستان به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. منطقه کوهستانی بصورت عمده در شمال و شرق استان قرار گرفته و حدود دو پنجم مساحت کل استان را شامل می‌شود. منطقه جلگه‌ای استان از جنوب دزفول، مسجد سلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده و تا کرانه خلیج فارس و اروندرود ادامه دارد. این جلگه تقریباً دارای شیب کم و در برخی مناطق آن گنبدهای نمکی مربوط به دوران کامبرین وجود دارد که در شور کردن آبهای زیرزمینی و سطحی تأثیر عمده‌ای دارند. میزان بارندگی سالیانه در این استان ۲۵۵ میلیمتر و میزان تبخیر سالانه ۲۱۰۰ میلیمتر می‌باشد. آبهای جاری استان حدود ۳۳ میلیارد متر مکعب می‌باشد که شش رودخانه مهم (کارون، کرخه، زهره، جراحی، دز، مارون) در این استان واقع شده‌اند (Anonymous, 2013). شکل ۲ موقعیت استان در کشور و حوضه‌های آبریز استان خوزستان را نشان می‌دهد.

۲-۲- داده‌های کیفی و آلودگی

برای ارزیابی منابع آب منطقه، از دو دسته داده‌های کیفی و آلودگی استفاده می‌گردد. داده‌های کیفی برای هر دو دسته آبهای زیرزمینی و سطحی و داده‌های آلودگی برای آبهای سطحی مورد نیاز است. شکل ۳–a توزیع مکانی ایستگاههای کیفی و آلودگی برای شبکه آبهای سطحی را نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل مزبور ملاحظه می‌گردد پراکندگی ایستگاههای اندازه‌گیری در سطح حوضه‌ها یکسان نمی‌باشد به نحوی که کارون بیشترین و بهترین توزیع و حوضه جراحی– زهره نامناسب‌ترین توزیع را داراست.

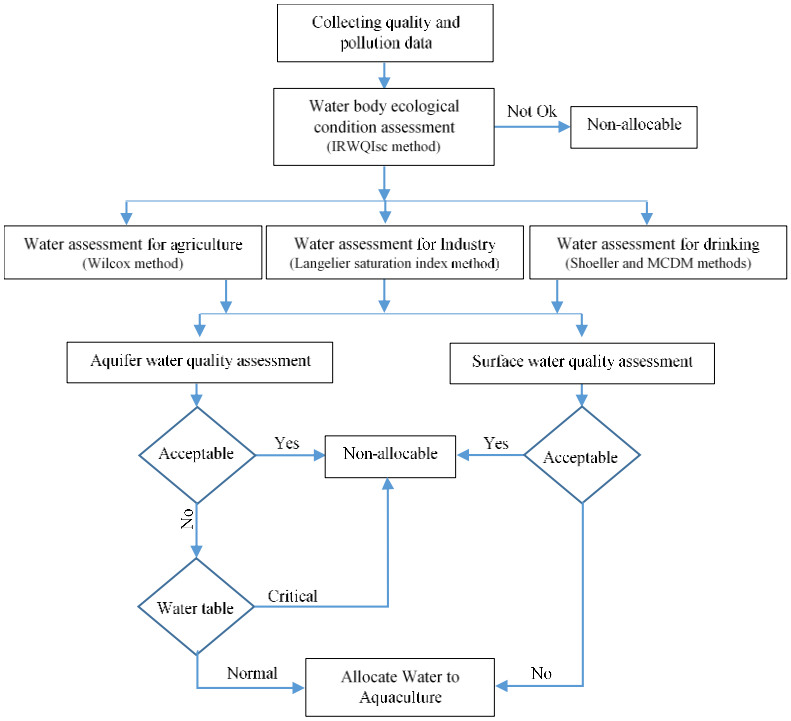

Fig. 1- Research flowchart

شکل ۱- جریان‌نمای تحقیق

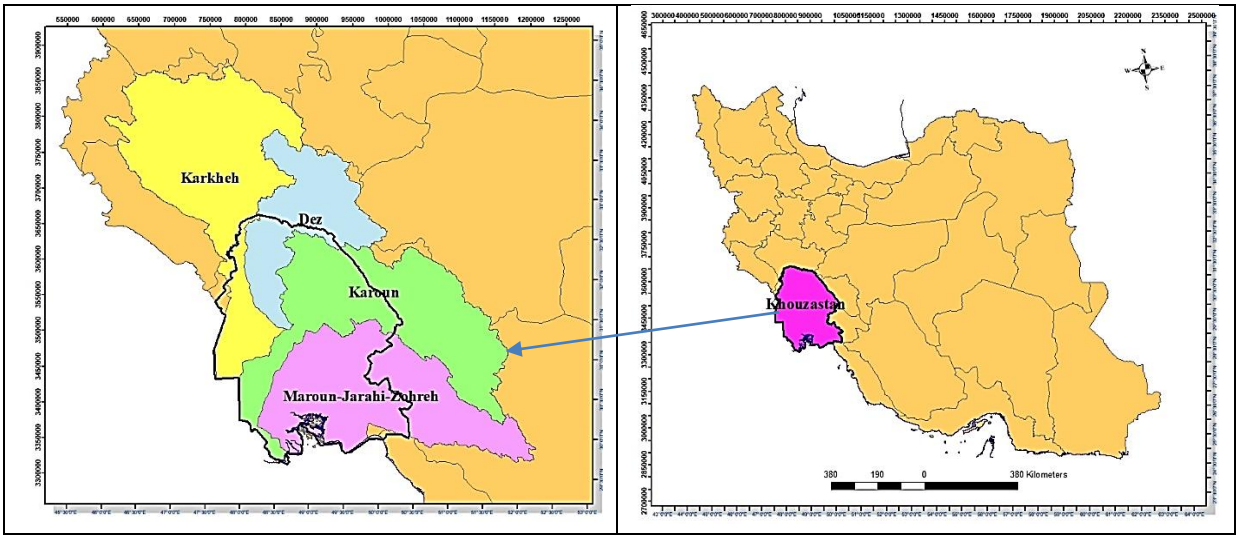

Fig. 2- Location of Khouzestan Province and its watersheds

شکل ۲- موقعیت استان خوزستان و حوضه‌های آبریز واقع درآن

در مورد آبهای زیرزمینی داده‌برداری کیفی محدود به چاههای انتخابی است که بعضاً برای مصارف کشاورزی در اختیار بخش خصوصی و بخشی دیگر برای مصارف شرب در اختیار ارگانهای دولتی می‌باشند. توزیع مکانی این چاهها در محدوده مورد مطالعه در شکل ۳-b نشان داده شده است. دوره آماری در دسترس مربوط به سالهای ۹۰ الی ۹۶ می‌باشد.

۲-۳- ارزیابی بدنه آبی به روش IRWQIsc

شاخص IRWQIsc، شاخصی تلفیقی از NSFWQI و BCWQI[6] می‌باشد که بر اساس نظریات کارشناسان حفاظت محیط زیست ایران طراحی شده است و وضعیت کیفیت آب را به صورت کمی ارائه نموده و یک شاخص عمومی و کاربردی در بیان کیفیت آب رودخانه به‌شمار می‌آید (Hashemi et al., 2012). شاخص $IRWQI_{SC}$ از ۱۱ پارامتر مندرج در جدول ۱ برای ارزیابی کیفی استفاده می‌کند. در این شاخص هر پارامتر وزن خاصی دارد و مقدار هر شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی رتبه‌بندی ویژه این روش بدست می‌آید. همانطور که در رابطه ۱ ملاحظه می‌گردد این شاخص، میانگین وزنی هندسی پارامترهای معرف آلودگی است:

$$IRWQISC = [\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}]^{1/\gamma} \quad (۱)$$

در رابطه ۱، n تعداد پارامترها، Ii مقدار شاخص برای پارامتر iام (مقادیر آن از منحنی رتبه‌بندی مربوط به هر پارامتر استخراج می‌شوند) و Wi وزن پارامتر iام است و ۷ نیز از رابطه ۲ بدست می‌آید:

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} W_i \quad (۲)$$

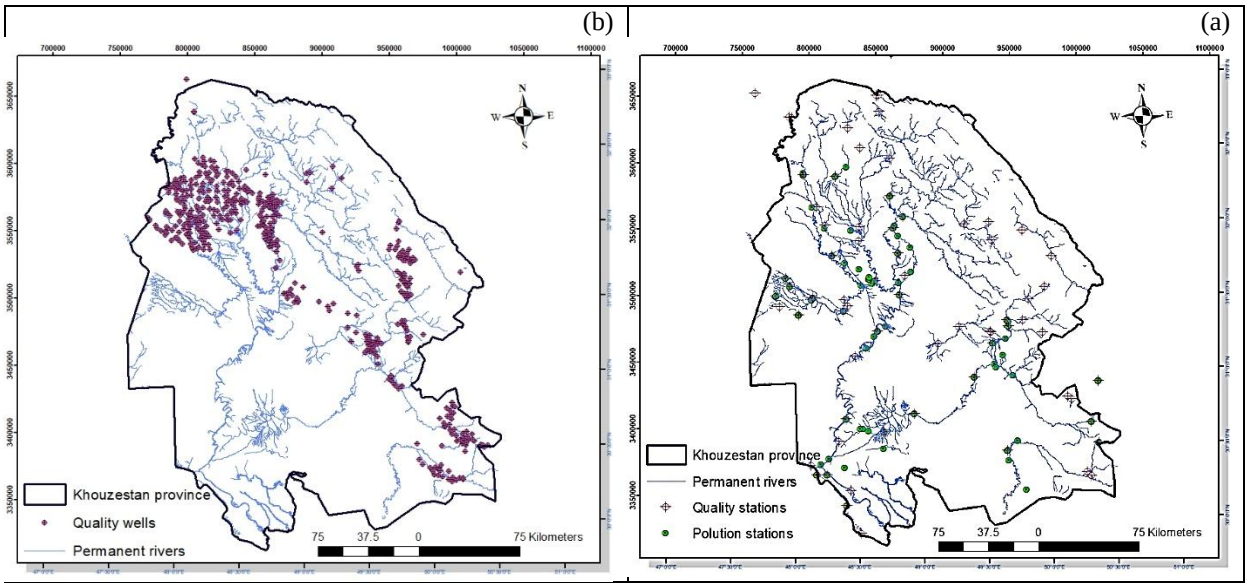

Fig. 3- Pollution and quality measurement stations on a) rivers and in b) aquifers

شکل ۳- ایستگاههای سنجش آلودگی و کیفیت در a) سطح حوضه‌ها و b) سفره‌های آب زیرزمینی

برخلاف روش NSFWQI در صورتی که تعداد پارامترهای انـدازه‌گیری شده کمتر از یـازده پارامتر مندرج در جدول ۱ باشد، رابطه بالا قابل استفاده بـوده و نیاز بـه هیچ‌گونـه تصحیحی نـدارد (Shokoohi and Modaberi, 2019). در این روش ابتدا با توجه به مقدار گزارش شده به هر پارامتر ارزشی عددی داده می‌شود. سپس مقدار یا ارزش عددی پارامتر با ضرب در وزنی که از جدول ۱ بدست می‌آید مقدار نهایی شاخص مربوط به هر یک از پارامترهای ۱۱ گانه را بدست می‌دهد. شاخص مربوط به ۱۱ پارامتر حاصل از معادله ۱، عدد نهایی ارزش کیفی منبع آبی را تعیین می‌کند که با استفاده از جدول ۲ کلاس مربوط به منبع آبی را بدست می‌دهد.

Table 1- Weighting coefficients for quality parameters in the IRWQIsc method (Hashemi et al., 2012)

جدول ۱- ضرایب وزنی مربوط به پارامترهای کیفی روش IRWQIsc (Hashemi et al., 2012)

No	Parameter	Weight	Measurement unit
1	Coliform	0.140	MPN/100ml
2	BOD_5	0.117	mg/lit
3	No3	0.108	mg/lit
4	DO	0.097	saturation percent
5	EC	0.096	mmhos/cm
6÷	COD	0.093	mg/lit
7	NH4	0.090	total Ammonium
8	PO4	0.087	mg/lit
9	Turbidity	0.062	NTU
10	TH	0.059	mg/lit of CaCo3
11	pH	0.051	-

Table 2- Classifying of water resources in IRWQIsc using WQI (Hashemi et al., 2012)

جدول ۲- طبقه‌بندی منبع آبی بر اساس شاخص WQI در روش IRWQIsc (Hashemi et al., 2012)

Class	Index value
Very bad	<15
Bad	15-29.9
Fairly bad	30-44.9
Medium	45-55
Fairly good	55.1-70
Good	70.1-85
Very good	>85

۲-۴- ارزیابی منابع آبهای سطحی از نظر کاربری کشاورزی، شرب و صنعت

در این مطالعه در صورتی‌که یک منبع آبی با استفاده از روش IRWQIsc مشکلی نداشته باشد، آن منبع از نظر بکارگیری برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. داده‌های کیفی مورد استفاده برای همه مصارف، به قرار جدول ۳ می‌باشند. واحد اندازه گیری همه کاتیونها و آنیونها میلی‌گرم در لیتر یا میلی‌اکی والان‌گرم در لیتر (برحسب مورد)، واحد اندازه گیری دما درجه سانتیگراد و EC میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

۲-۴-۱- ارزیابی از نظر مصارف کشاورزی و جایگاه آبزی‌پروری از نظر تخصیص منابع آب

روش معمول در ارزیابی کیفیت آب از نظر کشاورزی استفاده از دیاگرام ویلکاکس و بهره‌گیری از دو پارامتر EC^{7} و SAR^{8} می‌باشد. برای شوری به هر نوع آب از شوری کم تا زیاد شاخص C1 تا C4 و به هر نوع آب از خطر سدیم کم تا زیاد شاخص S1 تا S4 داده می‌شود. بدین‌ترتیب بهترین آب از نظر کاربردهای کشاورزی C1S1 و بدترین آب C4S4 می‌باشد. برای ارزیابی آبها از نظر کشاورزی، از تقسیم‌بندی جدول ۴ استفاده به عمل آمده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد با توجه به هدف این مطالعه، به نامناسب‌ترین آب از نظر کشاورزی که دارای رتبه ۴ می‌باشد برای استفاده در آبزی‌پروری رتبه ۱ داده شده است.

۲-۴-۲- ارزیابی از نظر مصارف شرب و جایگاه آبزی‌پروری از نظر تخصیص منابع آب

روش معمول در ارزیابی کیفیت آب از نظر شرب، استفاده از دیاگرام شولر و بهره‌گیری از ۸ پارامتر از پارامترهای جدول ۳ شامل کاتیون‌های Ca، Mg، Na، آنیون‌های SO4، HCO3،Cl و همچنین کل مواد جامد محلول (TDS) و سختی کل (TH) می‌باشد. مقادیر مناسب پارامترهای مزبور که از دیاگرام شولر نیز قابل برداشت است به قرار جدول ۵ می‌باشد.

همانطوری که در جدول فوق دیده می‌شود برای طبقه‌بندی آب شرب از شش کلاس استفاده شده است. برای این مطالعه (برای آبزی‌پروری) کلیه آبهایی که امکان استفاده از آنها برای شرب وجود دارد در زمره آبهای غیرقابل استفاده قلمداد شده و برای بقیه کلاس‌ها نیز به شرح جدول ۶ عمل شده است.

- **استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای تعیین توزیع مکانی کلاس آب شرب**

مشکلی که در مورد دیاگرام شولر در قیاس با دیاگرام ویلکاکس وجود دارد آن است که برخلاف دیاگرام ویلکاکس که نتیجه نهایی طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی به صورت کلاس‌های چهارگانه ارائه می‌شود، عموماً وضعیت کیفی شرب به ازای تک‌تک پارامترها تعیین می‌گردد و کلاس نهایی منبع آبی ارائه نمی‌شود. توجه به این امر که پارامترهای هشت‌گانه مورد استفاده در دیاگرام شولر هم ارز نبوده و علاوه بر مسائلی همچون اختلاف در تأثیر بر سلامت انسان، هزینه اصلاح و حذف عوامل نامساعد، میزان غلظت پارامترهای مورد نظر در مناطق مختلف نیز یکسان نمی‌باشد لازم است به کمک روشهایی نظیر روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به وزن‌دهی این پارامترها اقدام گردد. یکی از روشهای مرسوم در این زمینه روش تحلیل سلسله مراتبی AHP می‌باشد. در این روش در ابتدا لازم است که معیارهای مورد نظر برای قضاوت در خصوص کلاس آب (پارامترهای هشت گانه دیاگرام شولر) تعیین شوند و سپس تعدادی شاخص که بتوانند اهمیت معیار را از جنبه‌های مختلف نشان دهند تعریف گردند.

Table 3- Parameters used for evaluating the quality of surface and groundwater resources

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی کیفی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی

TH	EC	T.D.S	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	T

Table 4- Classifying of water in the region regarding agricultural and aquaculture activities based on Wilcox diagram

جدول ۴- رتبه‌بندی آبهای منطقه از نظر کاربری کشاورزی و پتانسیل بالقوه بهره‌برداری برای مقاصد آبزی‌پروری بر اساس دیاگرام ویلکاکس

Class for agriculture	very good	good	acceptable	bad
Rank for agriculture	1	2	3	4
Index	C1S1	C1S2, C2S2, C2S1	C1S3, C2S3, C3S1,C3S2, C3S3	C4S4, C4S3, C4S2
class for aquaculture	bad	bad	bad	very good
Rank for this study	4	4	4	1

Table 5- Limits of quality elements (mg/lit) and classes of potable water in the Schoeller diagram

جدول ۵- محدوده معیارهای کیفی (میلی‌گرم در لیتر) و کلاس آب شرب در دیاگرام شولر

Parameter	Good	Acceptable	Tolerable	Unsuitable	Potable in critical condition	Nonpotable
pH	7.3	7.8	9	10	11	>11
Ca	0-100	100-200	200-300	300-600	600-1000	>1000
Mg	0-70	70-120	120-200	200-400	400-800	>800
Na	0-100	100-220	220-470	470-920	920-1900	>1900
TDS	0-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8100	>8100
TH	0-250	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	>4000
Cl	0-190	190-380	380-800	800-1500	1500-3000	>3000
SO4	0-150	150-300	300-600	600-1200	1200-2200	>2200
CO3	0-200	200-300	300-600	600-1000	1000-2000	>2000

Table 6- Classifying of water in the region for drinking and aquaculture activities based on Schoeller diagram

جدول ۶- رتبه‌بندی آبهای منطقه از نظر کاربری شرب و پتانسیل بالقوه بهره‌برداری برای مقاصد آبزی‌پروری بر اساس دیاگرام شولر

Class for drinking	Good	Acceptable	Tolerable	Unsuitable	Potable in critical condition	Nonpotable
Rank for drinking	1	2	3	4	5	6
class for aquaculture	bad	bad	bad	bad	good	Very good
Rank for this study	4	4	4	4	2	1

در نهایت با مقایسه شاخص‌ها با یکدیگر و همچنین معیارها بر حسب هر یک از شاخص‌ها به صورت زوجی، اوزان نهایی پارامترها بدست می‌آید. مقایسه معیارها بر اساس اهمیت معیار و دادن اوزان از ۱ الی ۹ بدانها صورت می‌گیرد. در این میان با توجه به اینکه در مقایسه‌های زوجی یاد شده از نظر خبرگان استفاده می‌شود و این امر می‌تواند موجب عدم همگنی نتایج ماتریس‌های تولید شده گردد از شاخصی بنام شاخص سازگاری استفاده به عمل می‌آید که می‌باید کوچکتر از ۰/۱ باشد. در غیر این‌صورت یا انتخاب شاخص‌ها نامناسب است و یا نحوه مقایسه میان معیارها دچار تناقض می‌باشد که برای رفع مشکل و رسیدن به نرخ ناسازگاری کوچکتر از ۰/۱ مطالعه باید از ابتدا مجدداً انجام گیرد.

۲-۴-۳- ارزیابی از نظر مصارف صنعتی و جایگاه آبزی‌پروری از نظر تخصیص منابع آب

جهت تخصیص آب برای مصارف صنعتی و حتی انتقال آب بوسیله لوله‌های فلزی، لازم است که دو مسئله خورندگی و رسوبگذاری آب مورد توجه قرار گیرند. خوردگی و رسوبگذاری می‌توانند سبب وارد آمدن خسارتهای عمده‌ای به تأسیسات انتقال، پمپ‌ها، شیرآلات و غیره چه از نظر خوردگی و سوراخ شدن جدار و چه بصورت گرفتگی و انسداد مجرا گردند. این نکته حائز اهمیت است که آب پس از تصفیه نیز باید از نظر پایداری[۹] کنترل گردد. این امر بدان مفهوم است که ویژگیهای کیفی آب نظیر درجه حرارت، سختی، قلیاییت، دما، TDS، pH، دی‌اکسید کربن و غلظت کلر باقیمانده باید در حالت تعادل قرار داشته باشند (Pendashteh et al., 2016). رسوبگذاری در لوله‌ها و مخازن زمانی شکل می‌گیرد که یون‌های فلزی دوظرفیتی موجود در آب و یا

در واقع عوامل سختی آب با سایر یون‌های محلول ترکیب شده و بر جدار لوله‌ها و مخازن رسوب نمایند. عمده‌ترین رسوبات یاد شده عبارتند از: کربنات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات کلسیم و کلرید منیزیم. در این مطالعه از شاخص لانژلیه برای تعیین وضعیت آب از نظر خورندگی و رسوبگذاری استفاده شده است. معادلات مورد استفاده در روش مزبور به قرار زیر است:

$$pHs=(9.3+A+B)-(C+D)= X- (C+D) \quad (۳)$$

$$SI= pHs - pH \quad (۴)$$

که در آن A، B، C و D به ترتیب مقادیر مربوط به TDS بر حسب میلی گرم در لیتر، درجه حرارت بر حسب سانتیگراد، سختی کلسیم برحسب میلیگرم در لیتر کربنات کلسیم و قلیائیت کل برحسب میلیگرم در لیترکربنات کلسیم، pH و pHs اسیدیته موجود و اسیدیته اشباع آب می‌باشند. SI نیز اندیس اشباع نامیده می‌شود. پس از محاسبه اندیس اشباع (SI)، کیفیت آب اینطور تفسیر می‌شود: ۰ >SI: آب رسوب‌دهنده؛ ۰ < SI: آب‌خورنده.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج ارزیابی آلودگی رودخانه‌های استان خوزستان با روش IRWQIsc

برای دوره آماری ۹۰-۹۶ محاسبات لازم صورت گرفت. تغییرات مکانی آلودگی (کیفیت اکولوژیکـــــی) بدنه آبی در طول رودخانه‌های استان در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود قسمت اعظم منابع آبی استان از نظر ارزیابی کلی در حد واسط (متوسط تا نسبتاً بد) قرار دارند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که از نظر آلودگی شیمیایی و بیولوژیکی منطقه از مشکلی خاص برخوردار نمی‌باشد و منابع آب سطحی موجود قابلیت بهره‌برداری برای همه انواع مقاصد و منجمله آبزی‌پروری را دارا می‌باشند.

۳-۲- بررسی وضعیت کیفی آبهای سطحی برای تخصیص به آبزی‌پروری

برای بهره‌برداری از آبهای سطحی در کشاورزی، صنعت و شرب برای رودخانه‌های کارون، کرخه، دز، مارون، جراحی، زهره و هندیجان محاسبات لازم صورت گرفت. برای جلوگیری از تطویل مقاله نتایج محاسبات تخصیص بر مبنای کیفیت فقط برای کارون ارائه شده و در نهایت پتانسیل تخصیص برای بخش آبهای سطحی نشان داده می‌شود.

۳-۲-۱- آب قابل تخصیص در رقابت با کشاورزی

ارزیابی کیفی آب رودخانه‌ها برای کشاورزی بر حسب معیارهای مندرج در جدول ۴ صورت گرفت. جدول ۷ نتیجه طبقه‌بندی برای برخی ایستگاه‌های اندازه‌گیری کیفیت بر روی رودخانه کارون را نشان می‌دهد.

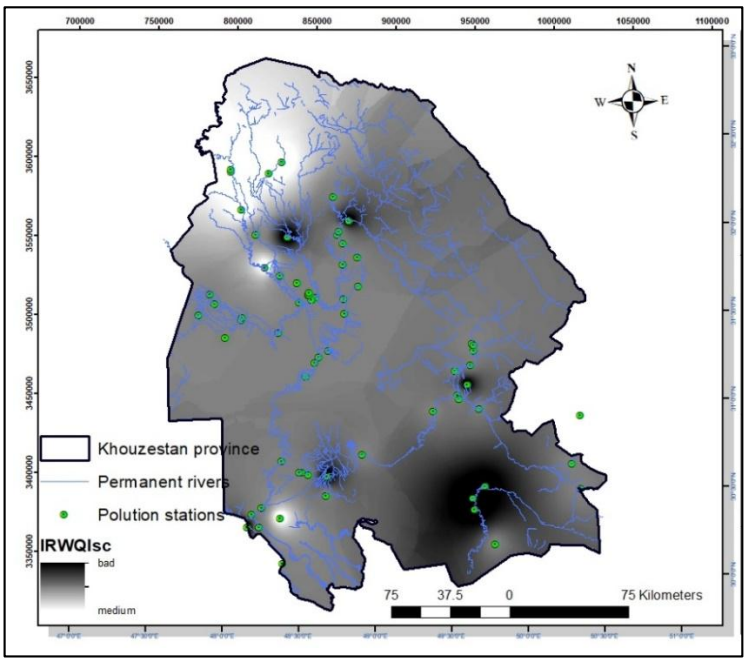

Fig. 4- Quality map of the Khouzestan Province rivers via IRWQIsc

شکل ۴- نقشه تغییرات کیفی رودخانه‌های استان خوزستان با استفاده از روش IRWQIsc

بر اساس نتایج همین جدول، شکل ۵ تهیه شده است که در آن، شکل (a) نمایش دهنده وضع کلاس آب رودخانه‌های حوضه کارون برای تخصیص به کشاورزی و شکل (b) معرف وضعیت و کلاس آب رودخانه‌های حوضه کارون برای تخصیص به آبزی‌پروری براساس کیفیت آب نامرغوب برای کشاورزی می‌باشد. شایان ذکر است که نقشه مزبور می‌تواند برای پتانسیل‌یابی با توجه به نوع ماهی و شوری قابل تحمل برای گونه‌های پیشنهادی فیلتر شده و محـــدوده مناسب برای آبزی‌پروری گونه‌های خاص معرفی گردد.

۳-۲-۲- آب قابل تخصیص در رقابت با شرب

برای تحلیل وضع کیفی رودخانه کارون از نظر شرب، از دیاگرام شولر استفاده به عمل آمده است. نتایج حاصله برای چند ایستگاه منتخب بر روی رودخانه کارون در جدول ۸ آورده شده است.

Table 7- Evaluating the quality of the Karoun River for using in agriculture and aquaculture

جدول ۷- ارزیابی کیفیت آب کارون در ایستگاههای کیفی موجود از نظر کشاورزی و بهره‌برداری بالقوه از آن در آبزی‌پروری

No	Station	Station Code	SAR	EC (mmhos/cm)	Class	Quality for agriculture	Rank for agriculture	Rank for aquaculture
1	Karoun- Sousan	21-108	8.53	8674.44	C2-S1	A little salty-Yes	2	4
2	Talouk- Bibi Tarkhoun	21-122	2.15	929.3	C3-S1	Salty- Yes	3	4
3	Karoun- Gotvand	21-243	3.77	1337.35	C3-S1	Salty- Yes	3	4
4	Gargar- Shoushtar	21-251	4.07	1603.04	C3-S1	Salty- Yes	3	4
5	Gargar- Valiabad	21-254	7/96	3578.44	C4-S3	Very salty- No	4	1
6	Karoun- Molasani	21-307	4.91	2124.49	C3-S2	Salty- Yes	3	4
7	Karoun- Ahwaz	21-309	4.91	2124.49	C3-S2	Salty- Yes	3	4
8	Karoun- Darkhowein	21-311	6.74	2835.77	C4-S2	Very salty- No	4	1
9	Karoun- Salmanieh	21-313	7.42	3238.39	C4-S2	Very salty- No	4	1
10	Karoun- Abfa Khoramshahr	21-317	9.19	3888.64	C4-S3	Very salty- No	4	1
11	Bahmanshir- Tareh bokha	21-321	7.57	3083.66	C4-S2	Very salty- No	4	1

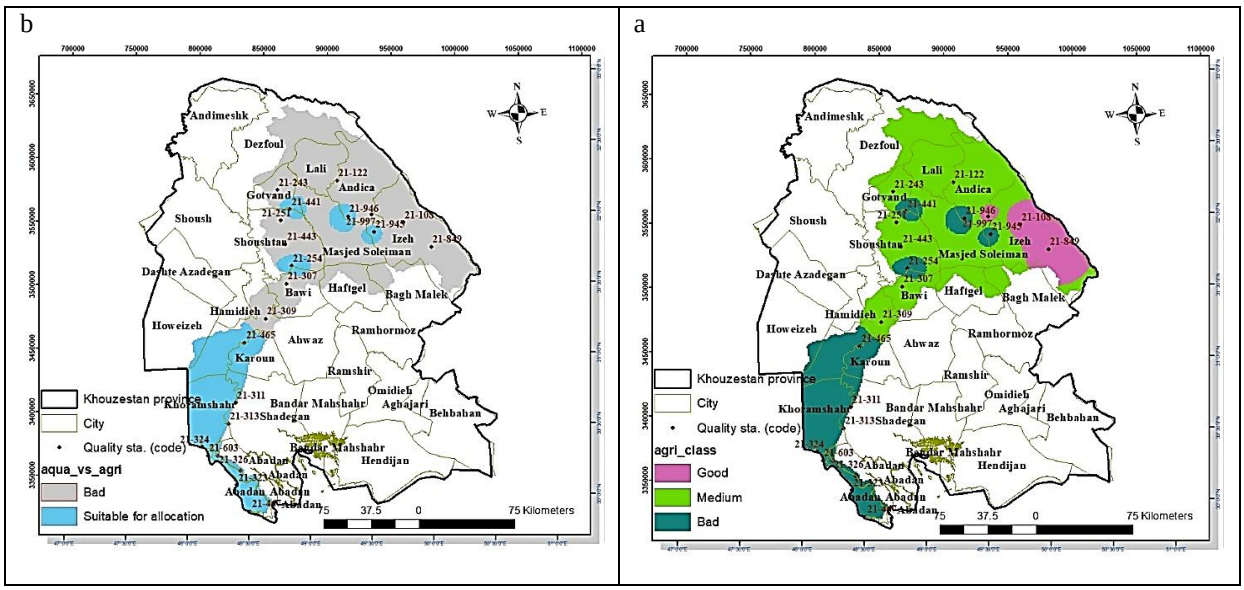

Fig. 5- Classifying Karoun River water for a) agriculture and b) locating suitable zones for aquaculture

شکل ۵- نمایش مکانی a) رتبه آب برای کشاورزی و b) مناطق بالقوه مناسب برای آبزی‌پروری در قیاس با مصارف کشاورزی درکارون

Table 8- Values of Schoeller diagram parameters for some quality stations of Karoun River (mg/lit except for TH)

جدول ۸- مقادیر پارامترهای دیاگرام شولر برای ایستگاههای کیفی کارون (برای همه مقادیر بجز TH بر حسب mg/lit)

No	Station	Station code	TH	HCO3	SO4	Cl	T.D.S	Na	Mg	Ca
1	Karoun- Sousan	21-108	214.6	180.2	45.49	112.2	421	63.02	16.8	56.3
2	Talouk- Bibi Tarkhoun	21-122	276.7	222.66	74.62	134.60	594	82.41	21.86	74.27
3	Karoun- Gotvand	21-243	304.9	171.74	171.81	256.93	835.42	159.22	19.19	102.91
4	Gargar- Shoushtar	21-251	118	177.56	235.02	300.46	803.2	189.79	20.48	130.18
5	Gargar- Valiabad	21-254	429	195.93	601.97	749.24	2119.5	503.11	72.48	181.13

براساس مبانی تشریح شده در بخش مواد و روشها و نتایج جدول ۸، روش AHP برای تعیین ارزش (وزن) پارامترهای دیاگرام شولر در حوضه کارون محاسبه و در شکل ۶ آورده شده است. نرخ سازگاری برای این مطالعه ۰/۰۳۳ بدست آمد که قابل قبول می‌باشد.

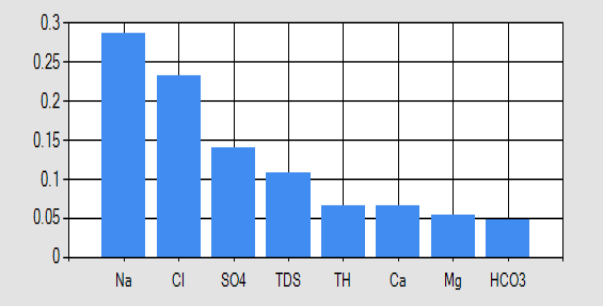

Fig. 6- Weights of the parameters in the Schoeller diagram for AHP method

شکل ۶- نمایش مقایسه‌ای اهمیت پارامترهای مورد استفاده برای طبقه‌بندی آب شرب در حوضه کارون حاصل از اعمال روش AHP

هر کدام از ۸ پارامتر (عنصر) کیفی دیاگرام شولر دارای تقسیم‌بندی داخلی برمبنای اثرشان بر کیفیت نهایی آب شرب (شاخص‌ها) می‌باشند (Soleimani et al., 2014). این تقسیم‌بندی داخلی برای تعیین نحوه ترکیب لایه‌های مربوط به معیارها (عناصر) هشت‌گانه به چهار کلاس و چهار وزن به شرح جدول ۹ ارائه می‌گردد. در این جدول ستون دوم (وزن یا اهمیت شاخص) از مطالعات AHP (شکل ۶)، ستون سوم (محدوده) از جدول ۵ و ستون چهارم با توجه به اهمیت معیار و امتیازی که برای شرب می‌گیرد تعیین شده است. در نهایت ستون پنجم جدول ۹ از ضرب ستون دوم (وزن شاخص) در ستون چهارم (امتیاز) بدست آمد. به عنوان مثال برای سدیم: از شکل ۶ وزن ۰/۲۹ استخراج و سپس براساس ارقام جدول ۵ محدوده تغییرات عنصر به چهاردسته تقسیم و برای هر دسته براساس اهمیت معیار امتیازی در نظر گرفته شد. برای دسته اول امتیاز ۹ در نظر گرفته شده است که از حاصلضرب این امتیاز در وزن ۰/۲۹ مقدار نهایی وزن لایه معادل ۲/۶۱ محاسبه می‌گردد.

با ارزش‌گذاری نهایی لایه‌ها از نظر تأمین آب شرب می‌توان اولویت تخصیص برای آبزی‌پروری را از جدول ۱۰ بدست آورد. نهایتاً با استفاده از جدول مزبور کلاس آب شرب و کلاس آب قابل تخصیص به آبزی‌پروری (در مکانهای نامناسب برای آب شرب) بدست می‌آید. نتایج حاصله در محیط GIS پردازش شده و در شکل‌های ۷- a و b ارائه شده است.

۳-۲-۳- آب قابل تخصیص در رقابت با صنعت

نتایج محاسبات مربوط به قابلیت تخصیص برای صنعت برای چند ایستگاه منتخب در جدول ۱۱ آورده شده است.

بر این اساس قسمت اعظم آبهای جاری در کارون در صورت استفاده برای صنعت و همچنین انتقال می‌تواند از هر دو نظر رسوبگذاری و خورندگی (بیشتر رسوبگذاری) مسأله‌آفرین باشند.

۳-۲-۴- جمع‌بندی پتانسیل آبهای سطحی قابل تخصیص برای آبزی‌پروری

در این طرح فرض بر آن قرار گرفته است که آبهای تخصیص نیافته در رودخانه‌های استان خوزستان همان آبهای به ظاهر نامرغوب برای سایر کاربری‌ها بوده ولی با تمهیداتی که در آبزی‌پروری نوین در کشت متراکم و نیمه متراکم بکار گرفته می‌شوند می‌توان از این پتانسیل برای تخصیص جریان به آبزی‌پروری استفاده نمود. در ارزیابی مقدماتی مصرف آبهای سطحی استان خوزستان برای صنعت دیده شد که همه آبهای سطحی استان و بخصوص کارون از نظر خورندگی و رسوب‌گذاری دارای محدودیت مصرف بوده و بدون اجرای برخی تمهیدات قابل بهره‌برداری نمی‌باشند.

در ارزیابی به عمل آمده در خصوص پتانسیل آبهای سطحی قابل تخصیص برای مصارف شرب براساس نتایج بدست آمده به‌جز نقاطی در بخش سفلای رودخانه کارون، در حوالی آبادان، و همچنین در حوالی مسجد سلیمان و ایذه و همچنین رودخانه کوپال از سرشاخه‌های جراحی ، تقریبا تمامی سیستم آبهای سطحی استان قابلیت تخصیص برای آب شرب را دارا می‌باشند.

Table 9- Weights and Scores for Schoeller diagram parameters and layers for potable water classification

جدول ۹- اوزان و امتیازات داده شده به لایه‌های مربوط به پارامترهای دیاگرام شولر برای تعیین توزیع مکانی کلاسهای آب شرب

Parameter	Index weight (Fig. 6)	Limits (Table 5)	Score	Layer Weight (Index weight*Score)
Na	0.29	0-470	9	2.61
		470-920	5	1.45
		920-1900	3	0.87
		>1900	1	0.29
Cl	0.23	0-800	9	2.07
		800-1500	5	1.15
		1500-3000	3	0.69
		>3000	1	0.33
SO4	0.14	0-600	9	1.26
		600-1200	5	0.7
		1200-2200	3	0.42
		>2200	1	0.14
TDS	0.11	0-2000	9	0.99
		2000-4000	5	0.55
		4000-8100	3	0.33
		>8100	1	0.11
TH	0.065	0-1000	9	0.585
		1000-2000	5	0.325
		2000-4000	3	0.195
		>4000	1	0.065
Ca	0.065	0-300	9	0.585
		300-600	5	0.325
		600-1000	3	0.195
		>1000	1	0.065
Mg	0.05	0-200	9	0.45
		200-400	5	0.25
		400-800	3	0.15
		>800	1	0.05
HCO3	0.05	0-600	9	0.45
		600-1000	5	0.25
		1000-2000	3	0.15
		>2000	1	0.05

Table 10- Guidance for defining the spatial pattern of the allocable water for drinking and aquaculture

جدول ۱۰- راهنمای تولید نقشه برای توزیع مکانی اولویت تخصیص برای آب شرب و آبزی‌پروری

1-2.99 (4)	3-4.99 (3)	5-6.99 (2)	7-9 (1)	Score for allocating water for drinking (rank)
Nonpotable	Unacceptable	Unsuitable	Good	Class for potable water
1	2	3	3	Rank for allocating water for aquaculture
Good	Unsuitable	Bad	Bad	Class for aquaculture

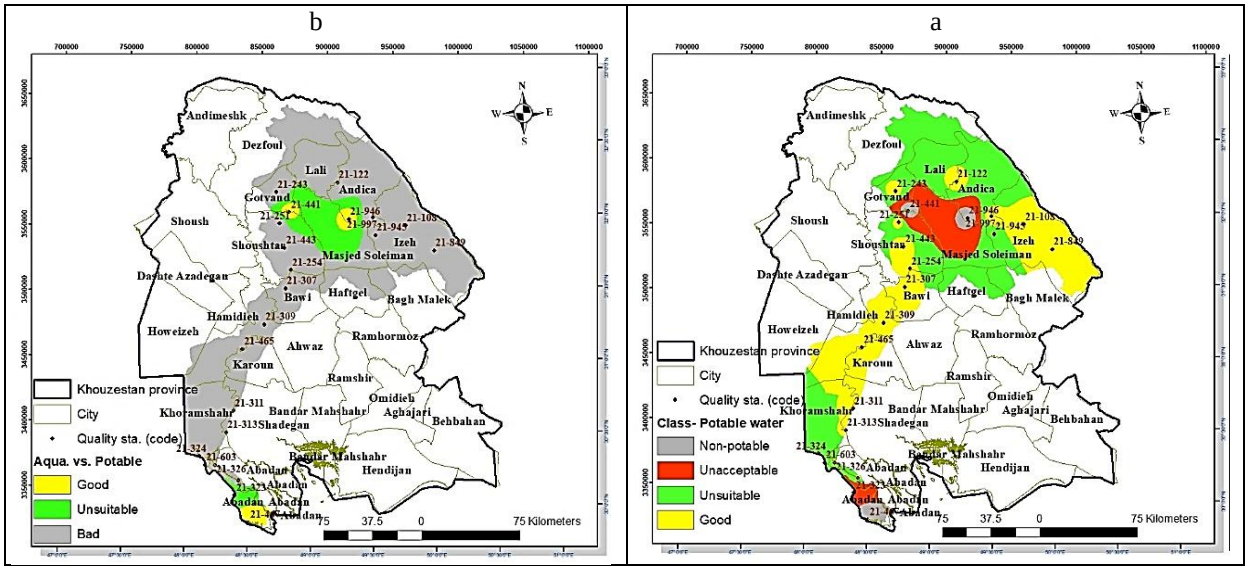

Fig. 7- Spatial distribution and allocable water for a) potable water b) aquaculture in Karoun River

شکل ۷- توزیع مکانی و کلاس آب قابل تخصیص برای a) شرب و b) آبزی‌پروری در سیستم آبهای سطحی حوضه کارون

Table 11- Karoun surface water quality for industrial consumption

جدول ۱۱- وضعیت آب‌های سطحی حوضه کارون از نظر مصارف صنعتی

Station	Station Code	Alkalinity (CaO)	C (Coefficient)	Ca (mg/l)	pHs	pH	PHs-PH	**Quality for industry**
Karoun-Sousan	21-108	995.49	11.35	591.55	5.6	7.66	-2.06	Deposit
Talouk- Bi Bi Tarkhoun	21-122	83.88	11.3	74.27	7.5	7.69	-0.19	Deposit
Karoun- Shahid Abbaspour Dam	21-849	33.67	11.28	62.38	8	7.74	0.26	Corrosive
Morghab- Jeloagir Morghab	21-945	517.46	11.33	196.85	6.3	7.88	-1.58	Deposit
Shour Karoun- Andika-Tange Doulab	21-946	4430.89	11.37	550.77	5	7.65	-2.65	Deposit
Karoun- Spring of Shahid Abbaspour Dam	21-997	28.89	11.28	64.58	8	7.72	0.28	Corrosive

در ارزیابی به عمل آمده در خصوص پتانسیل آبهای سطحی استان برای مصارف کشاورزی دیده شد که تقریبا همه نقاط جنوبی استان فاقد شرایط لازم برای استفاده در بخش کشاورزی با بهره‌وری مناسب بوده و بخش‌های دیگر نظیر آبزی‌پروری قابلیت رقابت با آن را دارا می‌باشند. در نهایت می‌توان رقیب اصلی برای تخصیص به آبزی‌پروری را با توجه به حجم کم شرب و صنعت، کشاورزی درنظر گرفت. براساس نتایج حاصله، حدود ۶۰ درصد آبهای سطحی حوضه زهره، ۳۵درصد کارون، ۵۳ درصد مارون- جراحی- زهره، ۵۵ درصدکرخه و ۱۰۰ درصد دز برای کشاورزی مناسب بوده و لذا باقیمانده جریان از قابلیت تخصیص به آبزی‌پروری برخوردار می‌باشند. نتایج حاصله برای تعیین مکانهای مناسب برای تخصیص آبهای سطحی به آبزی‌پروری در شکل ۸ آورده شده است.

۳-۳- بررسی وضعیت کیفی آبهای زیرزمینی برای تخصیص به آبزی‌پروری

شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی استان خوزستان در کنار ریزش‌های جوی مناسب، ذخایر قابل‌توجهی از منابع آب زیرزمینی را در مخازن سازندهای‌سخت و آبخوان‌های آبرفتی ایجاد نموده است. گسترده‌ترین دشت استان با مساحت ۱۲۶۰۶ کیلومترمربع در محدوده مطالعاتی شادگان واقع شده که آبخوان آبرفتی آن حدود ۱۱۳۰ کیلومترمربع وسعت دارد. وسیع‌ترین آبخوان آبرفتی در محدوده مطالعاتی دشت آزادگان شکل گرفته که مساحت آن ۲۸۲۵ کیلومترمربع است. شبکه سنجش سطح آب زیرزمینی در استان خوزستان در آبخوان‌های آبرفتی ۲۳ محدوده مطالعاتی احداث شده و بجز در محدوده شادگان، سطح آب این چاه‌های مشاهده‌ای بصورت ماهانه برداشت می‌گردد.

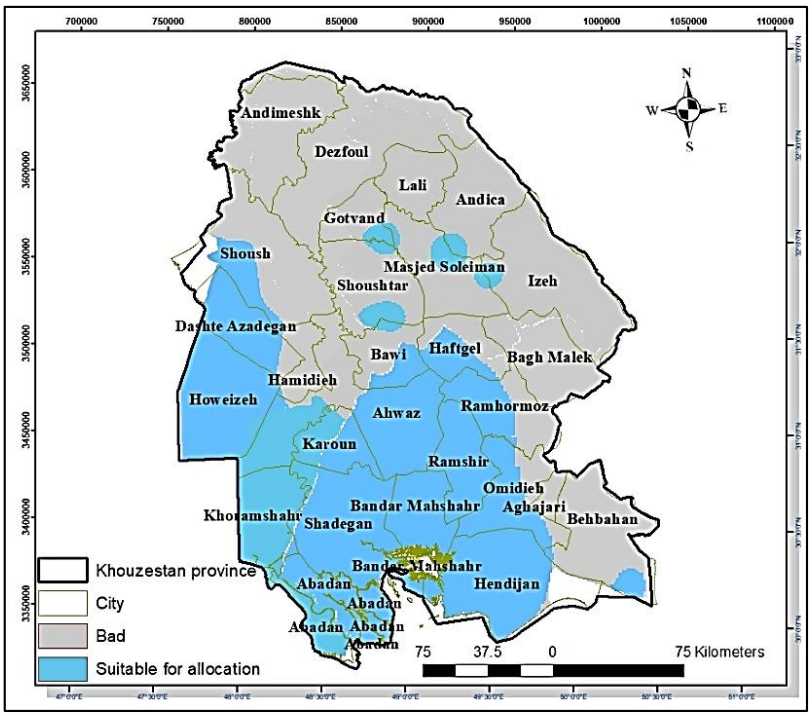

Fig. 8- Allocable surface water for aquaculture across the Khouzestan Province

شکل ۸- تعیین پتانسیل‌های قابل تخصیص به آبزی‌پروری در سطح استان خوزستان

بر اساس اطلاعات موجود تعداد چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتری در آمار منتهی به سال آبی ۹۴-۹۳ حدوداً ۸۷۴ حلقه می‌باشد. شکل ۹-a دشتهای ۲۵ گانه استان و موقعیت چاههای پیزومتریک موجود را نشان می‌دهد. در سطح تعدادی از آبخوانها افت سطح آب مشاهده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه در آبخوان‌های آبرفتی دشت آزادگان، چنانه خسرج، اوان، اهواز شمالی، میان آب شوشتر، مسجد سلیمان، گتوند-عقیلی، لالی، اندیکا، مرغاب، ایذه-پیون، ده شیخ، دزفول-اندیمشک، رامهرمز، دالون-میداوود، باغملک، جایزان، بهبهان و زیدون افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد. شکل ۹-b سفره‌های اصلی خوزستان، وضعیت آنها از نظر افت سطح آب و همچنین موقعیت چاههای موجود برای برداشت پارامترهای کیفی آب را نشان می‌دهد.

۳-۳-۱- آب قابل تخصیص آبخوانها در رقابت با کشاورزی

همچون آبهای سطحی در اینجا نیز روش معمول در ارزیابی کیفیت آب از نظر کشاورزی استفاده از دیاگرام ویلکاکس و بهره گیری از دو پارامتر EC و SAR می‌باشد. برای ارزیابی کیفیت آب از نظر کشاورزی از تقسیم‌بندی جدول ۴ استفاده به عمل آمده است. نتایج حاصله برای آبخوان‌های منطقه تحت مطالعه در جدول ۱۲ و شکل ۱۰ (دیاگرام ویلکاکس) ارائه شده است. همانطوری که در جدول ۱۲ دیده می‌شود متجاوز از ۵۴ درصد آبهای زیرزمینی استان برای کشاورزی مناسب نمی‌باشند. شکل شماره ۱۱ نمایش‌دهنده وضع کلاس آب آبخوان‌های استان از نظر کشاورزی و اولویت تخصیص برای آبزی‌پروری می‌باشد.

۳-۳-۲- آب قابل تخصیص آبخوانها در رقابت با آب شرب

در اینجا نیز روش معمول در ارزیابی کیفیت آب از نظر شرب، استفاده از دیاگرام شولر می‌باشد. نمونه‌ای از نتایج حاصل از تحلیل بوسیله دیاگرام شولر برای آبخوان‌های دارای اندازه‌گیری پارامترهای کیفی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. بطور کلی می‌توان گفت که بیشتر آبخوانهای استان از نظر شرب دچار محدودیت نبوده و تنها در چند مورد از نظر TDS و سدیم دچار مشکل می‌باشند که آنها نیز در صورت وجود اضطرار، قابلیت تخصیص برای آب شرب را دارا هستند.

۳-۳-۳- آب قابل تخصیص آبخوانها در رقابت با مصارف صنعتی

در این مطالعه از شاخص لانژلیه برای محاسبه وضعیت آب آبخوان‌ها از نظر خورندگی و رسوبگذاری استفاده شده است. نتایج محاسبات برای چند آبخوان به طور نمونه در جدول ۱۳ آورده شده است. بر این اساس قسمت اعظم آبهای آبخوانها در صورت استفاده برای صنعت و همچنین انتقال، رسوبگذار می‌باشند.

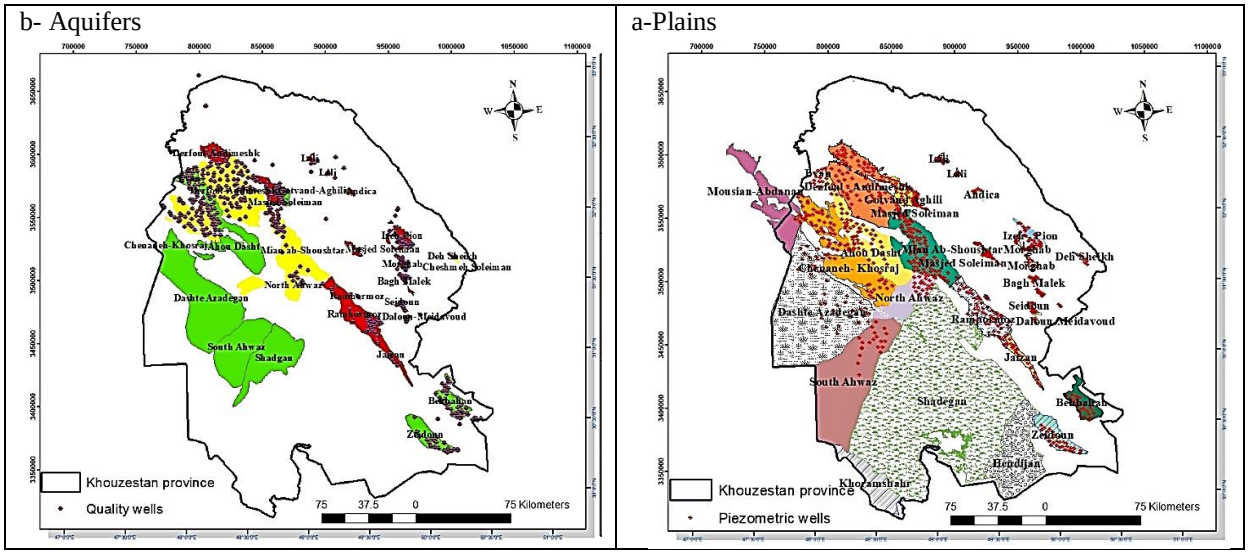

Fig. 9- a) Plains and the piezometric wells b) Aquifers and quality wells in Khouzestan Province

شکل ۹- a- موقعیت دشتهای استان خوزستان و چاههای پیزومتری موجود b- محدوده سفره‌های آب زیرزمینی استان خوزستان و موقعیت چاههای کیفی موجود

Table 12- Percent of each class of agricultural water by Wilcox classification method for aquifers

جدول ۱۲- درصد کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در کل منطقه

C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
12.5	20.83	20.83	0	0	12.5	0	4.17	0	4.17	0	20.83	0	0	0	4.17

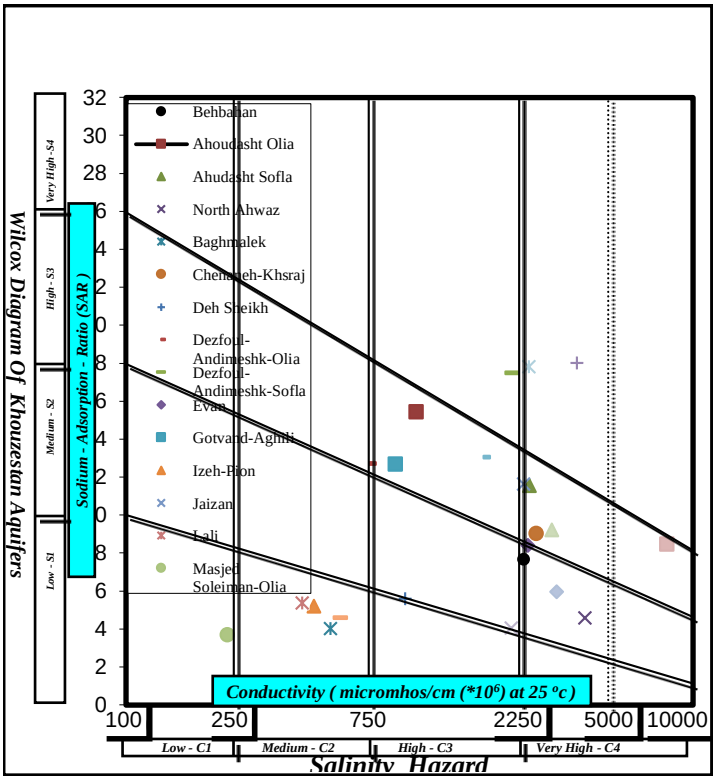

Fig. 10- Wilcox diagram for Khouzestan aquifers

شکل ۱۰- دیاگرام ویلکاکس برای آبخوان‌های دشت خوزستان

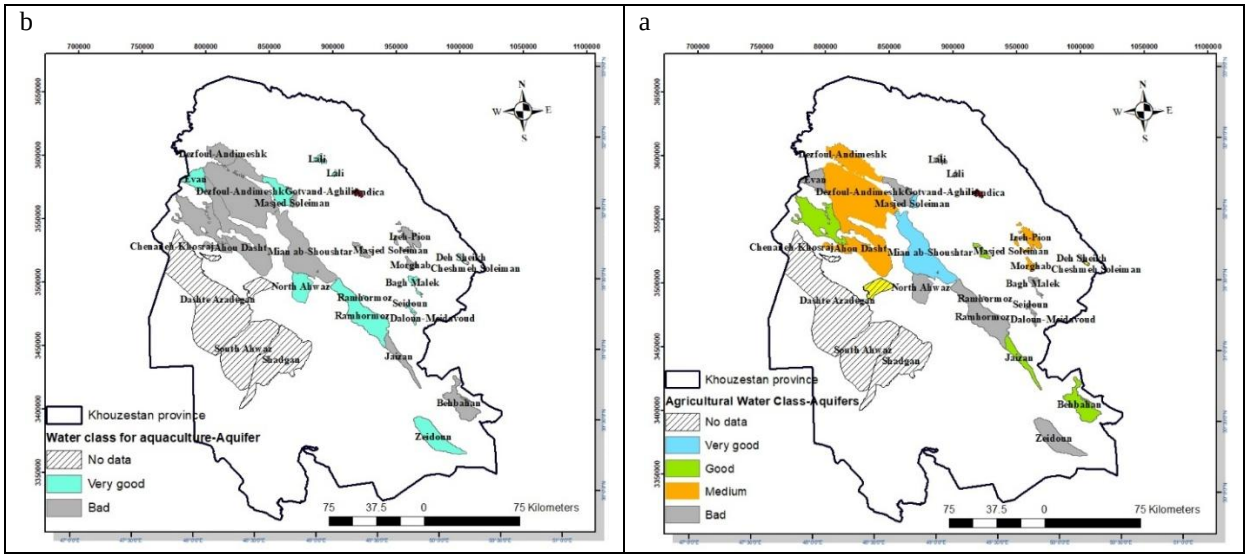

Fig. 11- Aquifers classification for a) Agriculture water b) Aquaculture

شکل ۱۱- نمایش مکانی رتبه آب برای کشاورزی و مناطق بالقوه مناسب برای آبزی‌پروری در قیاس با مصارف کشاورزی

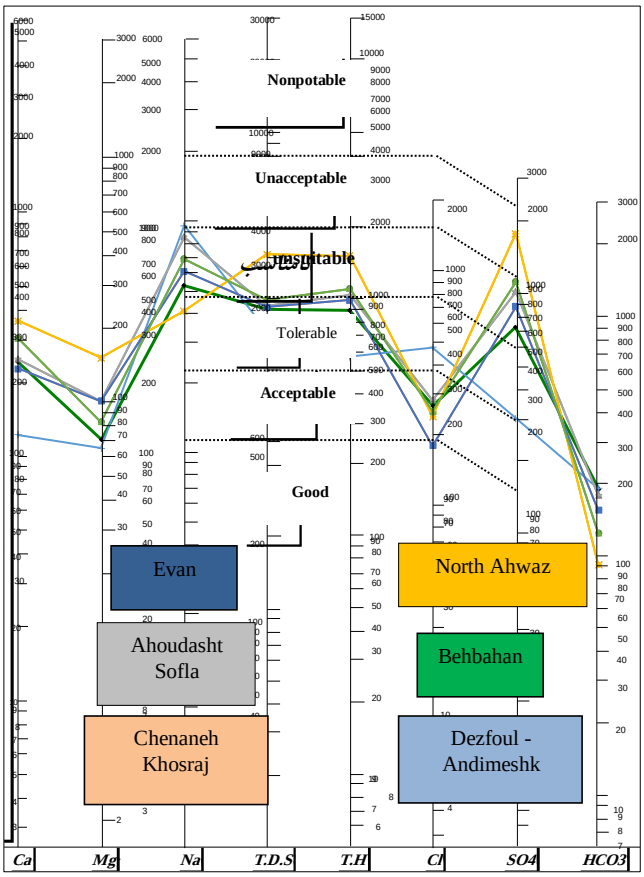

Fig. 12- Schoeller diagram for evaluating water for drinking in some selected aquifers (Concentrations in mg/l)

شکل ۱۲- نمایش دیاگرام شولر برای بررسی مطلوبیت چند آبخوان منتخب از نظر شرب (غلظت‌ها بر حسب mg/l)

۳-۳-۴- جمع‌بندی پتانسیل آبخوان‌ها از نظر تخصیص برای آبزی‌پروری

در غربال‌گری نهایی از دیدگاه منابع آب، نکته مهمی که در خصوص آبهای زیرزمینی باید بدان توجه نمود وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی از نظر داشتن بیلان منفی و افت سطح سفره است. بدیهی است که تحمیل هر نوع فشار بر این منابع برای مصارف جدید، با توجه به بحران کم آبی در سطح استان و احتمال تکیه بیشتر استان بر منابع آب زیرزمینی برای تأمین نیاز آبی خود، توجیه نداشته و لذا در این مرحله تعدادی از نقاط مناسبی که می‌توانند از نظر کیفی به عنوان پتانسیل بهره‌برداری برای آبزی‌پروری کاندید شوند حذف می‌گردند. آبخوانهایی که بطور کلی و بدون در نظر گرفتن محدودیت افت سطح آب، از نظر دارا بودن پتانسیل تخصیص برای آبزی‌پروری قابل ارزیابی هستند عبارتند از : اوان، گتوند- عقیلی، اهواز شمالی، لالی، باغ ملک، دالون- میداود، صیدون، ده شیخ، هفتگل، رامهرمز و زیدون. از میان این آبخوانها تنها آبخوانهای اوان ، هفتگل و زیدون در وضعیت تعادل قرار داشته و افت سطح آب زیرزمینی در آنها مشهود نیست. لذا در جمع‌بندی این بخش می‌توان گفت که تنها این سه آبخوان قابلیت تخصیص برای آبزی‌پروری را در مقابل کشاورزی دارا می‌باشند. شکل a-۱۳ موقعیت این سه آبخوان را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که سه آبخوان بزرگ استان یعنی شادگان، اهواز جنوبی و دشت آزادگان با توجه به بیلان غیر منفی و عدم افت سفره، می‌توانند کاندیدهای مناسبی برای تخصیص جهت مصارف آبزی‌پروری باشند ولی با توجه به عدم وجود داده کیفی، در این مرحله از مطالعه نمی‌توان در این خصوص اظهار نظر نمود.

۳-۴- نتیجه‌گیری برای پتانسیل تخصیص برای آبزی‌پروری از ترکیب آبهای سطحی و آبخوان‌ها

با توجه به مطالب مورد بحث می‌توان گفت که برای تخصیص آب به آبزی‌پروری بهتر است این مقوله در قیاس با آب کشاورزی و بهره‌وری مورد انتظار از این دو بخش مورد بررسی قرار گیرد. در هر نقطه که (با توجه به آمایش سرزمین) به آب شرب و صنعت نیازی وجود داشته باشد اولویت با آنها بوده و مسأله‌ای به نام تخصیص برای آبزی‌پروری مطرح نخواهد بود. اما در جایی‌که مسأله تخصیص برای کشاورزی مطرح باشد، با استفاده از آبهای سطحی و زیرزمینی نامناسب برای کشاورزی می‌توان تخصیص برای آبزی‌پروری را مد نظر قرار داد. با توجه به جمیع جهات یاد شده، نقشه شکل شماره b-۱۳ کلیه مناطق مستعد برای تخصیص چه در مورد آبهای سطحی و چه در مورد آبهای زیرزمینی را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

آبزی‌پروری به عنوان یکی از راههای تنوع‌بخشی به سبد غذایی خانوار، ایجاد اشتغال، صادرات و در نهایت افزایش امنیت غذایی کشور همواره مورد توجه بوده است. یکی از بزرگترین مشکلات کشور برای توسعه این صنعت، کمبود آب و همچنین بهره‌وری پایین آب در مجموعه‌هایی با روشهای سنتی آبزی‌پروری می‌باشد. در این مطالعه الگوریتمی ارائه گردیده است که اساس آن شناسایی آبهای مناسب برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت و تخصیص باقیمانده آبها به آبزی‌پروری می‌باشد.

فرض بر آن است که با حذف آبهای مناسب برای دیگر مصارف، بخش آبزی‌پروری از هیچ نوع محدودیت تخصیص برخوردار نخواهد بود و در صورت بکارگیری روشهای مدرن آبزی‌پروری می‌توان از این آبهای نامرغوب استفاده نمود. مرغوبیت و نامرغوب بودن منبع آب سطحی مستقیماً به کیفیت آب و در مورد آبهای زیرزمینی، علاوه بر کیفیت به بیلان سفره و بحرانی بودن یا نبودن آن از نظر سطح آب در سفره مرتبط می‌باشد.

Table 13- Water quality of some selected aquifers for industrial consumption

جدول ۱۳- وضعیت کیفی چند آبخوان منتخب از نظر مصارف صنعتی

No	Aquifer	Ca (mg/l)	Alkalinity (CaO)	C (Coefficient)	PH	PHs	PHs-PH	Quality for industrial consumption
1	Behbahan	38	46.371	11.28	7.94	8	0.06	Corrosive
2	Ahoudasht Olia	240.83	529.778	11.32	6.377	6.2	-0.1769	Deposit
3	Ahoudasht Sofla	79.576	677.681	11.3	7.089	6.6	-0.4892	Deposit
4	North Ahwaz	247.1	854.978	11.32	7.423	6	-1.4228	Deposit
5	Baghmalek	355.11	413.173	11.34	4.939	6.2	1.2613	Corrosive

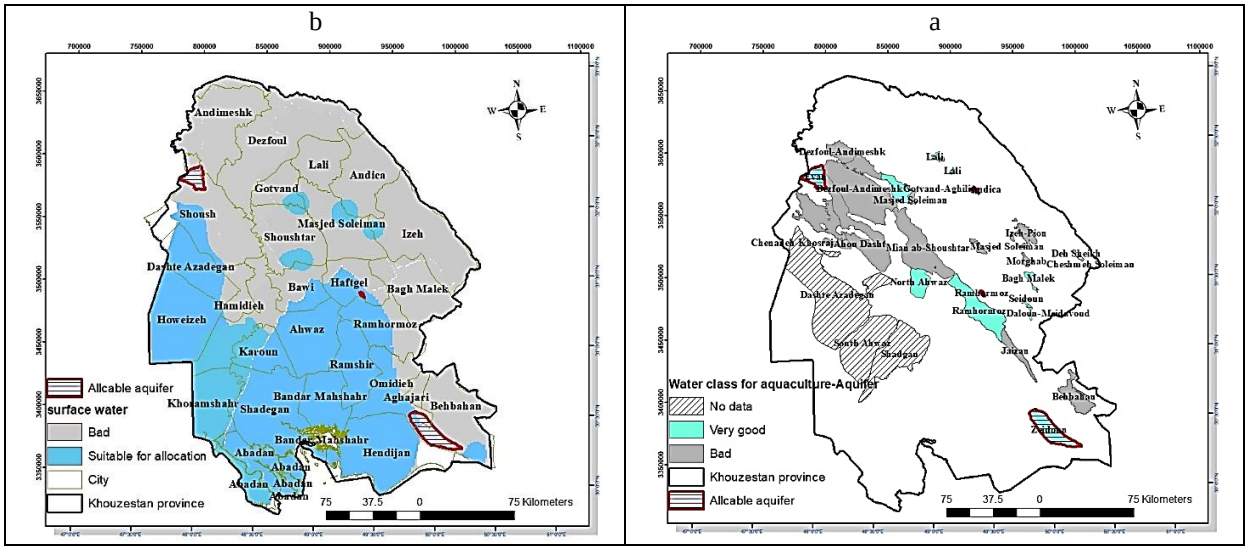

Fig. 13- Allocable water in a) aquifers b) surface and groundwater

شکل ۱۳-a- آبخوانهای دارای پتانسیل تخصیص آبزی‌پروری و b- آبهای سطحی و آبخوان‌های دارای پتانسیل تخصیص آبزی‌پروری

در این الگوریتم که بنا را بر استفاده از آبهای نامرغوب می‌گذارد، بخش‌های شرب و صنعت نیز می‌توانند در صورت تأمین تکنیک و همچنین بودجه لازم رقیبی برای بخش آبزی‌پروری قلمداد گردند. این امر زمانی درست است که حجم جریان مصرفی در دو بخش شرب و صنعت با حجم آب مصرفی در بخش آبزی‌پروری در یک محدوده بوده و از طرف دیگر کیفیت آب مورد استفاده در سه بخش مزبور با یکدیگر قابل مقایسه باشند. بدیهی است که اگر دو بخش شرب و صنعت بتوانند از نظر میزان تصفیه و بودجه به رقابت با بخش آبزی‌پروری بپردازند از نتایج این مطالعه می‌توان برای تخصیص جریان به این دو بخش نیز استفاده نمود. میزان آب دارای کیفیت مناسب و قابل تخصیص به شرب و صنعت در مقایسه با آب بخش کشاورزی عملاً درصد کوچکی را تشکیل می‌دهد. بر این اساس می‌توان با در نظر گرفتن بخش نامناسب برای بخش کشاورزی به تنهایی، به حجم آبهای قابل تخصیص برای آبزی‌پروری دست یافت. نتایج حاصله در منطقه مطالعاتی نشان داد که بجز حوضه دز، در دیگر رودخانه‌های خوزستان می‌توان بطور متوسط تا ۳۵ درصد حجم موجود را به بخش آبزی‌پروری تخصیص داد. این حجم از جریان عموما در بخش سفلای همه حوضه‌های چهارگانه کارون، کرخه، مارون- جراحی و زهره- هندیجان قرار داشته و می‌تواند در صورت تخصیص و البته با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی و اجتماعی جمعیت آبزی‌پروران را که بیشتر در سرآب و میانه این حوضه‌ها تجمع یافته‌اند به این قسمت‌ها کوچانده و از بار عظیمی که بر رودخانه‌های منطقه و بخصوص کارون وجود دارد بکاهد. با توجه به دو عامل کیفیت و افت سفره‌های ۲۳ گانه استان خوزستان تنها سه سفره اوان، هفتگل و زیدون برای استفاده در آبزی‌پروری توصیه می‌شوند. الگوریتم ارائه شده و مفروضات مورد استفاده در توسعه آن برای اولین بار ارائه می‌گردد و قابلیت عمومی‌سازی برای کاربرد در هر حوضه آبریز دیگر را داشته و ابزار لازم برای چانه‌زنی در سطح کلان برای گرفتن تخصیص برای آبزی‌پروری را فراهم می‌نماید.

پی‌نوشت‌ها

1- Geographical Information System
2- National Sanitation Foundation Water Quality Index
3- IRan Water Quality Index for Surface Water Resources
4- Multi Criteria Decision Making
5- Analytical Hierarchical Analysis
6- British Columbia Water Quality Index
7- Electrical Conductivity
8- Sodium Adsorption Ratio
9- Water Stabilization

۵- مراجع

Anonymous (2013) Spatial planning of the Khouzestan Province. Chapter 7, Water Resources Planning and Budget Organization, Khouzestan Province. 301p (In Persian)

Anonymous (2016) Statistical yearbook of fisheries. Khouzestan 395p (In Persian)

Akhorzadeh H (2019) Investigating the Karoun River water corrosion and sedimentation properties for using in Ramin and Zargan thermal power plant. The 11th International Conference on River Engineering, 29-31 Jan. Ahwaz, Iran (In Persian)

Pourmoghadas H (2003) Study of groundwater quality in Lenjan, Isfahan regional. Scientific Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research 1(4):31-40 (In Persian)

Dindarlo K, Alipour V, Farshidfar Q (2006) Chemical quality of Bandar Abbas drinking water. Hormozgan Medical Journal 10(1):57-62 (In Persian)

Sadeghi H, Rohollahi S (2007) Measure physical and chemical parameters of drinking water in Ardabil. Journal of Ardabil University of Medical Sciences 7(23):52-6 (In Persian)

Rajaee Q, Mehdinejad MH, Hesari Motlagh S (2011) A Survey of chemical quality of rural drinking water of Birjand and Qaen Plains, Iran. Scientific Research Journal of Health System Research (HSR) 7(6):737-745 (In Persian)

Ramezani A, Ahmadimoghadam M, Jaafari MR (2014) Water qualitative zoning of Goderkhosh River based on NSFWQI index and applying Geographic Information System (GIS). Journal of Iran-Watershed Management Science & Engineering 8(25):1-8 (In Persian)

Samadi J (2015) Survey of the spatial-temporal impact of quantitative and qualitative of land use wastewaters on Choghakhor Wetland pollution using IRWQI Index and statistical methods. Iranian Water Resources Research 11(3):159-171 (In Persian)

Shahinzadeh N, Hasounizadeh H, Roashanfekr G, Bahramalipour M (2019) Investigating the effective factors of the Dez River quality for agriculture using the PCA method. The 11th International Conference on River Engineering, 29-31 Jan. 2019, Ahwaz, Iran (In Persian)

Sharifdini NG, Amirnezhad R, Saeb K (2014) Qualification zoning of the Dohezar River according to NSFWQI and using GIS. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 24(118):29-39 (In Persian)

Shokoohi A (2006) Application of mathematical models and GIS in flood control project planning. Journal of Water and Wastewater 17(3):84:89

Shokoohi A and Modaberi H (2019) Evaluating and comparing the sensitivity of NSFWQI and IRWQISC models to water quality parameters. Iran-Water Resources Research 14(5):109-124 (In Persian)

Smaeili Dahesht L, Mohebbi F, Ganji S, Ghaninejadi D, Mostafazadeh B (2017) Artemia growing in saline and non-agricultural lands. The First International Conference on Haloculture Nov. 22-23, Yazd, Iran (In Persian)

Alizadeh M, Bamani Kharanagh A (2017) Environmental requirements for aquaculture development in areas affected by salinity. The First International Conference on Haloculture Nov. 22-23, 2017. Yazd, Iran (In Persian)

Alizadeh M, Mirzaei R, Kia SH (2017) Determining the spatial trend of water quality indices across Kan and Karaj River Basins. Journal of Environmental Health Engineering 4(3):243-256 (In Persian)

Ansari H, Kianersi F, Safikhani H, Sargazi S (2017) Evaluation of the agricultural drainage and low salinity waters for aquaculture activities. The First International Conference on Haloculture Nov. 22-23, Yazd, Iran (In Persian)

Asgari G, Ramavandi B, Tarlaniazar M, Fadaie nobandegani A, Berizie Z (2015) Survey of chemical quality and corrosion and scaling potential of drinking water distribution network of Bushehr city. Iranian South Medical Journal 18(2): 353-361

Bhushan N, Rai K (2004) Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process. London: Springer-Verlong, ISBN 1-8523375-6-7

Hashemi S, Farzampour T, Ramzani S, Khoshroo Gh (2012) Guidelines for calculating Iran water quality index. Department of Environment, 42 p (In Persian)

Jamali Z, Joazi SA, Hedayatifard M (2012) Evaluation of hydrochemical and quality of water in the selected detention storages for using in aquaculture. Journal of New Technologies in Aquaculture Development 6(2):1-12 (In Persian)

Kabodi A, Salman Mahini A, Mir Karimi S H, Haghparast S, Raeisi H, Azizi Y (2016) MCE modeling in zoning areas with warm water and cold water aquaculture capability by IDRISI (Case study: Golestan province). Journal of Aquatic Ecology 5(3):60-69

Mahdavi M (2009) Applied hydrology. Tehran University Press 280p (In Persian)

Mashaii N, Rajabipour F (2017) Fish/plant production in the aquaponic system: A solution for agricultural water productivity. The First International Conference on Haloculture Nov. 22-23, Yazd, Iran (In Persian)

NSF (2006) National sanitation foundation. Available from: http://WWW.NSF Consumer. Org/ Environment/WQI. Asp. [Accessed 3, 27, 2020]

Pendashte A, Rahmaninezhad SA, Fathi H (2016) An introduction to water and wastewater treatment. Jahad Daneshgahi Publication, ISBN 978-600-94495-5-2 (In Persian)

Talebi B, Sajjadi N, Sharmad T (2016) The zoning of drinking water resource quality by combining analytic hierarchy process and GIS in the north of Qazvin Plain. Journal of Marine Science and Technology Research 11(3):1:15 (In Persian)

Soleimani Sardoo M, Vali A, Ghazavi R, Saeedi H, (2014) Trend analysis of chemical water quality parameters; Case study Cham Anjir River. Water Engineering & Irrigation 3(4):3-12 (In Persian)

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹
Volume 16, No. 1, Spring 2020 (IR-WRR)
۳۸۰-۳۹۳

مدل‌سازی هیدرواقلیمی نوسانات تراز دریاچه ارومیه

معصومه صوفی[۱]، بهلول علیجانی[۲*]، رضا برنا[۳] و فریده اسدیان[۴]

چکیده

هدف اصلی این تحقیق بررسی عوامل مؤثر بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه می‌باشد. بدین منظور برای بررسی ارتباط نوسان‌های تراز آب دریاچه ارومیه با پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی، از داده‌های تراز آب دریاچه، بارش، درجه حرارت، دبی رودخانه‌ها و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استفاده شد. از داده‌های تراز آب دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۴۸ ساله (۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲)، داده‌های ۲۷ ایستگاه هواشناسی برای متغیر بارش و درجه حرارت استفاده گردید. همچنین برای تنظیم داده‌های سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، از میان ۱۰۵۴ حلقه چاه، ۱۲۳ حلقه که در دوره آماری داده‌های کاملی داشتند، انتخاب شدند. برای اطلاع از همگنی و تصادفی بودن داده‌ها و احتمال هرگونه روند در سری‌های زمانی، از آزمون ناپارامتریکی ران تست استفاده شده است. تصادفی بودن متغیرها با احتمال خطای ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفت و از همگن بودن آن‌ها اطمینان حاصل شد. برای بررسی روند، جهش و تغییر در متغیرهای مستقل بارش، درجه حرارت، دبی رودخانه و سطح ایستابی چاه‌ها، از آزمون آماری من- کندال استفاده شده است. بررسی نمودارهای من- کندال نشان داد که تغییرات میانگین درجه حرارت سالانه طی دوره مطالعاتی روند معناداری را دنبال نمی‌کند. نمودار مربوط به بارش سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه روند کاهشی و معناداری را در دوره آماری ۴۸ ساله نشان داد. نتایج بررسی روند تغییرات دبی نشان داد که تغییرات دبی طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ دارای روند معنی‌داری بوده و با جهشی از همان ابتدای دوره آماری، روندی کاهشی را دنبال نموده است. تغییرات سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای نیز دارای روند معنی‌داری بوده و با جهشی در سال ۱۳۸۵، روندی کاهشی را دنبال نموده‌اند. نتایج آزمون ضرایب همبستگی پیرسون مشخص کرد که بین متغیرهای مستقل (درجه حرارت، بارش، دبی رودخانه و سطح ایستابی) و نوسان‌های سطح آب دریاچه، همبستگی نسبتاً قوی وجود دارد که اکثراً در سطح ۰/۰۵ معنادار هستند و نشان‌دهنده اعتبار و قدرت بالای رابطه خطی بین تراز آب و میزان تأثیرپذیری این متغیر از متغیرهای مستقل است.

کلمات کلیدی: نوسانات تراز دریاچه، بیلان آبی، سطح ایستابی، مدل‌سازی، دریاچه ارومیه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۹/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۳/۲

۱- دانشجوی مقطع دکتری تخصصی آب و هواشناسی، واحد علوم تحیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- استاد گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳- دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۴- استادیار گروه جغرافیا، واحد علوم تحقیات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Hydroclimatology Modeling of Water Level of Urmia Lake

M. Soufi[1], B. Alijani[2], R. Borna[3], and F. Asadian[4]*

Abstract

The main purpose of this study is to explore the factors affecting Urmia Lake water level variations. Urmia Lake water level, rainfall, temperature, river discharge, and groundwater level data were used to study the relationship between the Urmia Lake water level variations and climatic and hydrologic parameters. Urmia Lake water level data for 48 years (1965 to 2013) from 27 synoptic meteorology stations of Tabriz, Urmia, and Saqez were used for the rainfall and temperature variables. Also, for adjusting the groundwater level data, of the 1054 wells, 123 wells with complete data in the studied period were selected. The non-parametric run test was used to determine the homogeneity and randomness of the data and the probability of any trend in time series. The randomness of the variables was examined at an error probability of 0.05 and their homogeneity was assured. The Mann-Kendall test was used to study trends, leaps, and changes in the independent variables including precipitation, temperature, river discharge, and water table of wells. A review of the Mann-Kendall curves showed that the average annual temperature changes during the study period do not follow a meaningful trend. The Urmia Lake Basin Annual Precipitation Curve showed a decreasing trend in the 48 years. The review of the discharge rate variations showed that the discharge variations from 1965 to 2013 had a significant and downward trend with a leap from the beginning of the statistical period. The water table variations of observation wells followed a significant downward trend in 2006. The results of Pearson correlation test showed that there is a relatively strong correlation between the independent variables (temperature, precipitation, river discharge, and water table) and lake water level variations ($p<0.05$), indicating the validity and the robustness of the linear relationship between the water level and the extent to which this variable is affected by the independent variables.

Keywords: Water Levels Variations, Water Flow, Modeling, Water Level, Urmia Lake.

Received: December 13, 2019
Accepted: May 22, 2020

1- Ph.D. Student in Climatology, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: makkeh88@gmail.com
2- Professor, Department of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email: bralijani@gmail.com
3- Associate Professor of Geography, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: bornareza@yahoo.com
4- Assistant Professor of Geography, Department of Science and Research, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: faridehasadian@yahoo.com
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

به لحاظ اهمیتی که دریاچه‌ها از جهات مختلف برای جوامع بشری دارد، پژوهشگران در مناطق مختلف دنیا به منظور حفظ و حراست از این مجموعه‌های آبی، با روش‌های مختلفی به بررسی عوامل مؤثر در نوسانات سطح این پهنه‌های آبی پرداخته‌اند. آنها ضمن بیان نقش عواملی چون ژئوفیزیک و زمین‌شناسی در بالا و پایین رفتن سطح آب دریاچه‌ها، انتقال مواد تخریبی توسط رودخانه‌ها به ویژه در دریاچه‌های کوچک و بسته، به نقش قاطع تأثیرات عناصر آب و هوایی و رژیم‌های بارندگی، در بالا و پایین رفتن سطح آب دریاچه‌ها تأکید کرده‌اند (Babaei et al., 2017).

در سال‌های اخیر کاهش قابل ملاحظه سطح آب مشکلاتی را برای محیط زیست دریاچه ارومیه و ساکنان آن به همراه داشته است. بروز این مشکلات، توجه و ارزیابی نوسان‌های سطح آب این دریاچه را با استفاده از روش‌های علمی و مناسب اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (Hassanzadeh and Zarghami, 2011). طی دو دهه اخیر و تحت تأثیر تحولات اقلیمی کلان در شمال غرب ایران، کاهش مقدار نزولات آسمانی، تبخیر-تعرق فراوان ناشی از افزایش میانگین درجه حرارت در شمال غرب کشور به همراه دخالت عوامل انسان ساختی از قبیل سدسازی‌ها و جلوگیری مؤثر از برقراری توازن و تعادل طبیعی در بیلان آب دریاچه ارومیه سبب بروز زمینه‌ی یک مخاطره زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر در شمال غرب ایران شده است. مخاطرات زیست‌محیطی متعدد در کنار نگرانی‌ها و توجهات اخیر نظام مدیریت کلان کشور به امر ممانعت از نابودی دریاچه ارومیه و نیز توجه جامعه جهانی به آن به عنوان یک میراث زیست محیطی، از جمله ضرورت‌های اساسی در پرداختن به چنین پژوهش‌هایی است (Basati, 2006).

ادامه روند خشک شدن دریاچه ارومیه بیش از ۱۰ میلیارد تن نمک بر جای خواهد گذاشت که به صورت گرد و غبار و طوفان بر سر مردم این ناحیه خواهد ریخت. این بحران تنها گریبان استان‌های آذربایجان را نمی‌گیرد بلکه تمامی مناطق کشور را تحت تأثیر خود قرار خواهد داد. طوفان‌های نمک علاوه بر مزارع حاشیه دریاچه، زندگی بیش از ۶ میلیون نفر در اطراف این منطقه را تهدید کرده و به گسترش بیماری‌ها و آسیب‌های جسمانی و از بین رفتن هزاران هکتار از جنگل‌های منطقه منجر خواهد شد (Hosseini and Ghaffarzadeh, 2014).

حوضه‌های آبریز یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین منابع آبی هستند که همواره مورد توجه متخصصان رشته‌های مختلف قرار گرفته است و به علت اهمیت آن در زمینه‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه و مخصوصاً در کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب، مطالعات مربوط به آن اهمیت خاصی دارد. مهم‌ترین مطالعات مرتبط با موضوع تحقیق عبارتند از:

Mirzaeizadeh et al. (2010) مطالعه‌ای را با هدف بررسی رابطه میان تغییرات پوشش اراضی با احداث سد طالقان انجام دادند. Hadian et al. (2011) تخریب پوشش گیاهی در اثر احداث سد را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه سد ملاصدرا انجام دادند. نتایج نشان داد که با ساخت سد ملاصدرا سطح بسیاری از اراضی مرتعی و کشاورزی (۷۹۱ هکتار) نابود شده و نیز میزان خاک بدون پوشش نیز در منطقه افزایش داشته است. Rahimzadeh (2011) ارزیابی اثر سدهای بزرگ در تغییر کاربری اراضی را با استفاده از سنجش از دور و GIS انجام دادند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سد ستارخان در کل دارای دو اثر مستقیم و غیر مستقیم در محیط اطراف خود می‌باشد. Balochi et al. (2011) تغییر کاربری اراضی و اثرات احداث سد کرخه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت بررسی کردند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در سال‌های پس از احداث سد نسبت به قبل از احداث آن مقدار کل آب منطقه شهری، کل پوشش گیاهی و کل خاک منطقه به ترتیب تا ۲/۵ درصد افزایش، ۲/۳۶ درصد افزایش، ۱/۴ درصد افزایش و ۰/۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. Gholam Ali Fard et al. (2012) مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS انجام دادند. Hadian et al. (1392) از قابلیت تصاویر ماهواره لندست در طبقه‌بندی کاربریها و پوشش سرزمین به منظور بررسی تأثیر احداث سد حنا در اصفهان بر تغییرات کاربری و پوشش اراضی استفاده نمودند. Saedi et al. (2014) ارزیابی اثرات توسعه بر تغییرات کاربری اراضی و قیمت زمین در سد طالقان را انجام دادند. Abrishami (2016) پایش تغییرات کاربری اراضی و اثرات زیست محیطی احداث سد گتوند علیا با استفاده از سنجش از دور و GIS انجام دادند. Hayatzadeh et al. (2016) نظارت و ارزیابی روند تغییر کاربری اراضی حوزه آبخیز فخرآباد مهریز یزد را با استفاده از سنجش از دور انجام دادند. Hadian et al. (2016) آثار تأسیس سد باغکل بر تغییرات پوشش، کاربری اراضی را بررسی کردند. Heydarian et al. (2016) تأثیر هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه در کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه با تکیه بر بیلان آب را بررسی کردند. Yari et al. (2017) روند تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز قره‌سو را بررسی کردند. Nouri et al. (2018) تغییرات در کاربری اراضی و خدمات اکولوژیک محدوده سد سهند را با استفاده از تکنیک سنجش از دور انجام دادند. Dehdari et al. (2018) آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی سدهای کارون ۳ و ۴ را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند.

Ackerman (1999) تأثیرات زیر ساخت سد Bakolori را در نیجریه مورد بررسی قرار دادند. سد، حجم سیلاب‌های فصل مرطوب را کاهش داد. این کاهش سیل باعث تغییر محصول از ارزن و دانه سورگوم به برنج در فصل مرطوب و کاهش قابل توجهی در مقدار کشت فصل خشک شد. Evans (1998) تغییر کاربری بر اثر احداث سدها در رودخانه مکونگ را جهت پی بردن به اثرات زیست محیطی آن با استفاده از GIS مدل‌سازی کرد. وی به این نتیجه رسید که استفاده از سدهای بزرگ برای کشورهایی که چندان توسعه یافته نیستند، مناسب نیست. Liou et al. (1999) در مورد تغییر کاربری اراضی بر این نکته اشاره دارد که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و علم سنجش از دور نقش بسیار مهمی در ایجاد ارتباط و تحلیل بین داده‌های حاصل از تغییر کاربری‌ها و مدیریت پایدار زمین و ارزیابی زیانباری تغییرات دارد. Teillet et al. (2002) به مطالعه تغییرکاربری‌ها و ارزیابی اثرات آن در روند کاهش آبهای زیرزمینی می‌پردازد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که احداث سدهای بزرگ اثرات زیانباری را در میزان آبهای زیر زمینی دشت‌ها داشته است. Lu et al. (2007) به ارزیابی اثرات سدهای بزرگ در تغییر کاربری‌ها پرداخت و در نهایت با استفاده از مدلهای زیست‌محیطی اقدام به شناسایی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی این تغییرات در محیط اطراف نموده است. Kogan (2010) تأثیر ساخت و سازسد را بر روی تغییرات فضایی، زمانی کاربری اراضی بررسی کردند. Wang et al. (2012) بیان کردند که پس از تکمیل پروژه‌های سد و مخزن، اثرات واقعی زیست محیطی آنها می‌تواند توسط شاخص ارزیابی زیست محیطی EIPA مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد و در نهایت با نتایج پیش‌بینی شده ارزیابی تأثیرات محیطی EIA مقایسه شود. Suriya et al. (2015) ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ساخت سد را انجام دادند. Yadav (2017) تأثیر تغییر کاربری زمین و ساخت سد را بر میزان فرسایش و رسوب خاک در منطقه خاک سیاه، شمال شرقی چین بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی و همچنین افزایش تعداد سدها به تدریج باعث کاهش رسوبات حوضه گردیده است. Heim (2016) اثرات فضایی و زمانی سد داچا هاشاه را در الگوی کاربری زمین بررسی کردند. Peng et al. (2016) تغییرات کاربری اراضی حوضه پایین دست یک سد را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست بررسی کردند. Vardon (2017) تأثیرات محیطی و اقتصادی سد در جامعه غنا را بررسی کردند.

هدف نهایی این پژوهش نیز مطالعه عوامل تأثیرگذار بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه است. از آنجا که تغییرات تراز آب دریاچه در گام اول تابع تغییرات ورودی رودخانه‌های منتهی به آن است، در این پژوهش وضعیت بارش و رواناب رودخانه‌های منتهی به دریاچه بررسی خواهد شد.

۲- داده‌ها و روش‌شناسی

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال‌غرب ایران با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع بین مختصات ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این حوزه در شمال غربی ایران قرار گرفته و به وسیله بخش شمالی کوههای زاگرس، دامنه جنوبی کوه سبلان و دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. این حوزه از سمت شمال به حوضه آبریز رودخانه ارس، از سمت شرق به حوضه آبریز رودخانه سفیدرود، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه‌های سفیدرود و سیروان و از غرب به حوضه آبریز رودخانه زاب محدود گشته است (Basic Studies of Water Resources, 2008).

این حوضه بین استان‌های آذربایجان غربی (۴۶ درصد)، آذربایجان شرقی (۴۳ درصد) و کردستان (۱۱ درصد) قرار دارد. دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به‌شمار می‌آید. اکوسیستم این دریاچه نمونه‌ای شاخص از یک حوضه آبریز بسته است که کلیه رواناب‌های جاری در رودخانه‌های حوضه به آن تخلیه می‌گردد. همچنین اکوسیستم فعال آن شامل دریاچه و حوضه آبریز آن است. در نتیجه مرز حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مرز دقیقی را برای مدیریت عوامل مؤثر بر دریاچه و زیستگاه‌های مهم در حوضه بوجود آورده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوبی کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. حدود ۳۳۴۶۹ کیلومتر مربع از سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مناطق کوهستان (۶۵ درصد)، ۱۲۵۶۴ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها (۲۴ درصد) و ۵۳۲۰ کیلومتر مربع آن را نیز دریاچه ارومیه (۱۰ درصد) در بر گرفته است.

۲-۲- روش تحقیق

با توجه به هدف اصلی پژوهش، برای بررسی ارتباط نوسان‌های تراز آب دریاچه ارومیه با پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی، از داده‌های تراز آب دریاچه، بارش، درجه حرارت، دبی رودخانه‌ها و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استفاده شد. داده‌های تراز آب دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۴۸ ساله (۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲) از مدیریت منابع آب وزارت نیرو جمع‌آوری شد.

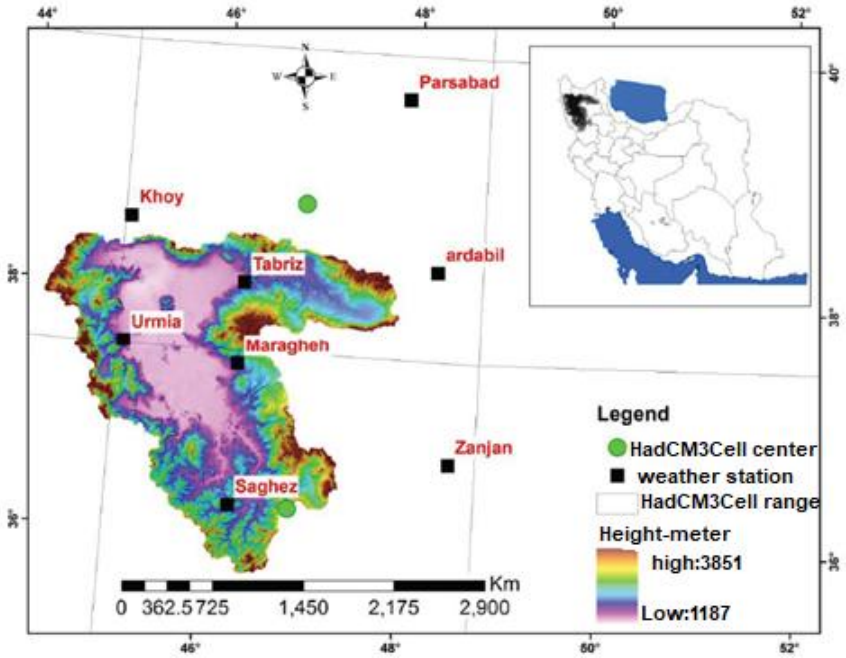

Fig. 1- Geographical location of Lake Urmia

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دریاچه ارومیه

از آمار ۲۷ ایستگاه باران‌سنجی ثبات وزرات نیرو و سه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز، ارومیه و سقز برای متغیر بارش در طی همان دوره آماری ۴۸ ساله استفاده گردید. داده‌های مربوط به درجه حرارت نیز از آمار ۴۸ ساله (۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲) ۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ذکر شده در بالا جمع‌آوری شده است.

آمار دبی رودخانه‌های موجود در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای ۷۱ ایستگاه هیدرومتری وزرات نیرو در تحلیل تغییرات دبی ورودی به دریاچه ارومیه به‌کار گرفته شد. برای تنظیم داده‌های سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، از میان ۱۰۵۴ حلقه چاه، ۱۲۳ حلقه که در دوره آماری داده‌های کاملی داشتند، انتخاب شدند.

در این پژوهش، پارامترهای درجه حرارت، بارش، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و دبی رودخانه‌ها به‌منزله متغیرهای مستقل و تراز آب دریاچه نیز به‌عنوان متغیر وابسته تلقی شده است. برای اطلاع از همگنی و تصادفی بودن داده‌ها و احتمال هرگونه روند در سری‌های زمانی، از آزمون ناپارامتریکی Run Test استفاده شده است. تصادفی بودن متغیرها با احتمال خطای ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفت و از همگن بودن آن‌ها اطمینان حاصل شد. این آزمون نشان می‌دهد که داده‌ها در سطح ۰/۰۵ همگن هستند. در ادامه برای محاسبه میزان رابطه میان متغیرهای مستقل و وابسته، روش همبستگی Person به‌کار گرفته شد که روند محاسبات آن در رابطه ۱ مشاهده می‌شود.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{r=1}^{n}(x_i-\bar{x})-(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{t-1}^{n}(x_i-\bar{x})^{2}(y_i-\bar{y})^{2}}} \qquad (۱)$$

در این رابطه x و y متغیرهای مستقل و وابسته هستند و r به‌دست آمده عددی بین ۱- و ۱+ خواهد بود که هر چه به ۱± نزدیک‌تر باشد، رابطه قوی‌تر است (Asakeh and Ashrafi, 2011).

برای انتخاب و استفاده از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک، نمودارهای توزیع فراوانی سری‌های زمانی و همچنین نمودار منحنی نرمال داده‌های مورد استفاده با روش آزمون Shapiro-Wilk و روش Kolmogorov- Smirnov ترسیم شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای استفاده از آزمون معادلات رگرسیون، پژوهشگر باید شرایط و پیش‌شرط‌هایی چون نرمال بودن داده‌ها و سنجش Durbin–Watson را در نظر داشته باشد. بدین‌منظور مقادیر استاندارد خطاها را محاسبه کرده و پس از آن نمودار نرمال آن‌ها ترسیم می‌شود و سپس بین دو نمودار مقایسه انجام می‌گیرد. همچنین به‌منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر، آزمون دوربین- واتسون به‌کار گرفته شده و با توجه به نتایج به‌دست آمده و پس از بررسی آزمون‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری روی داده‌های این پژوهش، مناسب بودن استفاده از آزمون‌های پارامتریکی رگرسیون Multivariate Regression و آزمون‌های ناپارامتریکی Man- kendal تشخیص داده می‌شود (Bayazidi et al., 2011).