نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۲ شماره ۷، سال ۱۳۹۹، صفحات ۱۶۲۱ تا ۱۶۳۶
DOI: 10.22060/ceej.2019.15563.5951

برآورد حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه

رحمان اسکندری [۱]، جوادپارسا [۲*]، راشدخانجانی شیراز [۳]

[۱] گروه ریاضی کاربردی، دانشکده‌ی علوم ریاضی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۲] گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۳] گروه ریاضی کاربردی، دانشکده‌ی علوم ریاضی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

خلاصه: برآورد تراز اکولوژیکی پیکره های آبی برای محافظت از اکوسیستم‌های آبی بسیار مهم بوده و یکی از موضوعات اساسی در برنامه‌ریزی بهره برداری از منابع آب، تلقی می‌شود. در دهه‌های گذشته روش‌های زیادی برای برآورد حداقل جریان زیست محیطی در رودخانه‌ها و حداقل تراز اکولوژیکی در دریاچه‌ها و تالاب‌ها ارائه شده است. در این پژوهش، برای تعیین حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل، مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، به‌کار گرفته شده است. مدل ارائه شده دارای دو تابع هدف با دو شاخص آبی و زیست بومی بوده که تراز سطح آب تالاب به عنوان شاخص آبی و تعداد سه گونه از اردکهای مهم موجود در تالاب به عنوان شاخص زیست بوم انتخاب شده اند. اولین تابع هدف، کمینه‌کردن شاخص ترازآب تالاب را برعهده دارد به طوری‌که آب بیشتری برای رفع نیاز بشری تامین شود، در حالی‌که دومین تابع هدف، بیشینه‌کردن شاخص زیست‌بوم را تضمین می‌نماید، تا زیستگاه‌های بیشتری برای سه گونه اردک مهم تالاب فراهم شود. بنابراین هدف این مدل، فراهم نمودن شرایط، برای بیشترین سطح زیست‌بوم با کمترین مقدار آب است. این مدل برنامه ریزی چندهدفه، با استفاده از داده های مربوط به شاخص آب از جمله تراز آب، حجم ذخیره شده آب و مساحت سطح آب تالاب طی سالهای ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ و همچنین شاخص زیست‌بوم شامل تعداد سالیانه‌ی سه گونه‌ی مهم اردکهای تالاب از سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶، تهیه گردید. برای حل این مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، از بین روش‌های گوناگون، از روش‌های مجموع وزنی استفاده شده و آزمون بنسون برای راستی آزمایی نتایج حاصله از مدل برای حالتی که تعداد اردک سرسفید به عنوان شاخص زیست بومی انتخاب شده است به کار رفته است. نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه نشان داد که حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل حدود ۱۹۱۲/۶ متر می‌باشد که در این صورت، حداقل حجم ذخیره‌ی اکولوژیکی تالاب حدود ۵۰۳۰۰۰ متر مکعب برآورد می‌شود. حداقل تراز اکولوژیکی برآورد شده بیانگر کاهش قابل توجه عملکرد زیست بومی تالاب و مهاجرت پذیری آن در تراز آب کمتر از۱۹۱۲/۶ متر می‌باشد که این مهم با شرایط زیست بومی مشاهده شده در دهه‌های اخیر این تالاب مطابقت دارد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۰-۱۰-۱۳۹۷
بازنگری: ۲۰-۱۱-۱۳۹۷
پذیرش: ۲۱-۱۲-۱۳۹۷
ارائه آنلاین:۲۷-۱۲-۱۳۹۷

کلمات کلیدی:
حداقل تراز اکولوژیکی
برنامه ریزی چندهدفه
نقطه‌ی شکست منحنی
تالاب قوریگل
زیست‌بوم

۱- مقدمه

از کل آب موجود در کره زمین،۹۷.۵ ٪ در دریاها و اقیانوس‌ها قرار دارد و آنچه در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن برای مصرف ضروری انسان موجود است، بیش از ۰.۰۰۷ درصد از کل آب موجود نیست. در واقع آب قابل مصرف در روی کره زمین بسیار محدود و به طور متوسط تقریبا معادل ۴۲،۰۰۰ کیلومتر مکعب در سال است. روند پویایی آب، تقریباً غیر خطی است؛ یعنی در حالی که رشد جمعیت در قرن بیستم، به سه برابر افزایش یافت – از ۱.۸ تا ۶ میلیارد نفر– در طول همان دوره، کاهش میزان آب قابل استحصال، شش برابر شد. این مساله قابل تامل بوده و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق در بهره‌برداری از منابع آب را نشان می‌دهد. آب شیرین، اگر چه یک منبع تجدیدپذیر است، اما محدود و بسیار آسیب پذیر می‌باشد. در سال ۱۹۷۵ حدود ۱۳۰۰۰ متر مکعب آب برای هر نفر در سال وجود داشت ولی در حال

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: jparsa@tabrizu.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

حاضر این مقدار به ۶۰۰۰ متر مکعب کاهش یافته است. در عین حال کیفیت آب نیز به شدت کاهش یافته و احتمالا با تاثیرات تغییرات اقلیمی، این کاهش تشدید نیز خواهد شد [۱].

پیکره‌های آبی مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و تالاب‌ها، زیست‌بوم‌هایی ارزشمند برای اکوسیستم‌های آبزی فراهم نموده و همچنین منابعِ آبی مهمی در اختیار نوع بشر قرار می‌دهند [۲]. در میان تمام اکوسیستم های موجود، تالابها دارای بهره‌وری بالایی بوده [۳] و نقش کلیدی در حفاظت از محیط زیست و بهبود کیفیت محیط زیست بشر به ویژه در مناطق شهری به عهده دارند [۴]. حدود ۵ تا ۸ درصد سطح کره‌ی زمین (۷تا ۸ میلیون کیلومتر مربع) را تالابها پوشانده‌اند و به خاطر کارکرد ویژه‌شان به عنوان زیستگاه طبیعی، بایستی حفاظت شوند [۵-۷]. تحقیقات نشان داده است که ارزش خدمات اکوسیستمی تالاب ۲۴ برابر بیشتر از جنگلها و ۹ برابر بیشتر از مراتع است [۸]. از کارکردهای خدماتی زیست محیطی تالابها، می‌توان به پاکسازی محیط زیست، تعدیل آب و هوا و تنظیم چرخه‌ی آب، کاهش امواج (درتالابهای دریایی)[1]، کاهش بلایای طبیعی (سیلاب) اشاره کرد. علاوه بر این، تالابها دارای زیستگاه های متعدد و تنوع زیستی بالایی بوده و زیستگاهی منحصر به فرد برای انواع جانداران تلقی می‌شوند [۳].

در چندین دهه‌ی گذشته برداشت آب از پیکره‌های آبی به دلیل افزایش مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی با شتاب زیادی گسترش یافته است [۲, ۹]. در بسیاری از مناطق جهان مخصوصاً در نواحی خشک و در طول فصول خشک، برداشت نامتوازن آب از پیکره‌های آبی برای مصارف بشری، به‌طور چشم‌گیری منجر به کاهش آب قابل دسترس اکوسیستم‌ها شده است و عواقب مخربی بر اکوسیستم‌های وابسته به پیکره‌های آبی داشته است [۲]. تخریب تالاب‌ها، به عنوان یک مسئله‌ی مهم در محیط زیست، به چندین جنبه از چرخه های اکوسیستم در جهان، از جمله کاهش تنوع زیستی و خدمات زیست محیطی تالاب‌ها منجر می‌شود، همان طوری که سهمی در تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره‌ی زمین دارد [۸]. بنابراین ضروری است که وضعیت تالابهای آسیب دیده از طریق فن‌آوری‌های مهندسی مؤثر و رویکردهای مدیریتی مناسب به وضعیت مطلوب بازگردانده شود [۴]. در سالهای اخیر، مدیریت تراز آب از منظر اکولوژیکی جهت حفاظت و بازیافت اکوسیستم‌های دریاچه‌ها و تالاب‌ها، به یک موضوع ضروری تبدیل شده است [۱۰].

تاکنون روش‌های زیادی برای برآورد جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها و تراز آبی اکولوژیکی دریاچه‌ها و تالاب‌ها، برای حفاظت از اکوسیستم‌های آسیب دیده و یا در حال آسیب، پیشنهاد شده است [۱۱]. در طول دهه‌های اخیر، بیش از ۲۰۰ روش برآورد حداقل جریان زیست محیطی برای رودخانه‌ها پیشنهاد گردیده است، این روشها در یک رده بندی به رده‌های هیدرولوژیکی [۱۲]، هیدرولیکی [۱۳]، شبیه‌سازی زیست بومی [۱۴, ۱۵]، روش جامع [۱۶]، روش ترکیبی و سایر متدولوژی‌ها [۱۷]، تقسیم‌بندی شده‌اند؛ که این روشها در نیازهای داده‌ای، روشهای تعیین ملزومات جریان اکولوژیکی و مفروضات اکولوژیکی‌شان تفاوت دارند [۱۸]. برخلاف تعدد بسیار روش‌های برآورد جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها، تنها تعداد محدودی روش برای برآورد حداقل تراز اکولوژیکی دریاچه‌ها پیشنهاد شده است که عبارتند از: روش تراز تاریخی دریاچه [۱۹]، تحلیل مورفولوژیکی دریاچه، روش مساحت- سطح دریاچه، تحلیل تعادل آبی، مدل‌سازی کیفیت آبی، تحلیل زیست‌بومی و مدل‌های گونه‌ای زیست محیطی [۱۱, ۲۰, ۲۱]. روش‌های محدود و مشابه دیگری نیز برای تخمین حداقل تراز اکولوژیکی تالاب‌ها پیشنهاد شده و به‌کار برده می‌شوند [۱۱, ۲۲, ۲۳]. روش‌های برآورد جریان رودخانه‌ای یا تراز آبی، منحصراً برای پیکره‌های آبی خاصی مانند رودخانه‌ها یا دریاچه‌ها قابل استفاده هستند. در بسیاری از این روش‌ها، تنها عوامل تأثیرگذار بر روی اکوسیستم‌ها، مانند عوامل هیدرولوژیکی، هیدرولیکی یا زیست‌بومی در نظر گرفته می‌شوند. این روشها مبادلات بین مصارف آبی توسط انسان‌ها و اکوسیستم‌ها را نادیده می‌گیرند؛ در حالی که در پیکره‌های آبی، حداقل جریان اکولوژیکی یا تراز آبی از تقابل بین مصارف بشری و اکوسیستمی نشات می‌گیرند [۲]. این موضوع، از طریق مدل برنامه‌ریزی چند هدفه (MOP)[2] [۲۴-۲۶] قابل تبیین است که در این مدل، مصارف آبی بشری و اکوسیستمی، به‌طور هم زمان در نظر گرفته می‌شوند.

در مطالعاتی، شانگ هائو و شانگ [۲۷] در سال ۲۰۰۸ برای تخمین جریان اکولوژیکی رودخانه‌ای واقع در منطقه‌ی خودمختار آگور سین جیانگ[3] در شمال غربی چین، شانگ و مائو [۲۸] در سال ۲۰۱۰ برای برآورد جریان احیایی جنگلهای سیلابدشتی رودخانه‌ای واقع

1 Marine Wetlands

2 Multi Objective Programming

3 Xinjiang Uygur Autonomous Region

در منطقه‌ای کم آب در سین جیانگ در شمال غربی چین، و شانگ [۲۱] در سال ۲۰۱۳ برای تخمین تراز و حجم اکولوژیکی دریاچه‌ی دانگتینگ[1]، دومین دریاچه‌ی بزرگ آب شیرین چین، واقع در شمال استان هونان[2] و دریاچه‌ی ابینور[3]، بزرگترین دریاچه‌ی آب شور واقع در غرب استان سین جیانگ[4] شمالی، از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده کردند. شانگ هائو و شانگ [۲] در سال ۲۰۱۵ یک مدل عمومی از برنامه ریزی چندهدفه ارائه کردند که این مدل توانست یک روش تحلیلی کلی برای تخمین حداقل جریان و تراز اکولوژیکی پیکره های گوناگون آبی، در مناطق مختلف را با انتخاب مناسب شاخص‌های آب و زیست بوم ارائه کند. همچنین شانگ و همکاران [۲۹] در سال ۲۰۱۸، حداقل تراز اکولوژیکی دریاچه‌های دانگتینگ و ابینور و تالاب هونگ[5]، واقع در شمال شرقی استان هیلونگجیانگ[6] را از طریق روش ساده شده‌ی مساحت- تراز دریاچه، موسوم به تراز- لگاریتم دریاچه[7] [۲۹] با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه تخمین زدند که در این روش در مقایسه با روش قبلی مساحت- تراز، به داده های کمتر و محاسبات کمتری نیاز است.

از آنجا که سرزمین ما ایران نیز از مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شمار می‌رود، موضوع مصرف بهینه‌ی آب به یک موضوع حیاتی تبدیل شده و ضروری است از روش‌های بهینه‌سازی مناسب مصرف آب‌های درون سرزمینی استفاده گردد. همچنین موضوع تخریب محیط زیست، اعم از گیاهی، جانوری و سایر حوزه ها، امروزه به یک چالش مهم در حیات بشر تبدیل گردیده است.

ایران دارای ۲۵۰ تالاب با مساحت ۲/۵ میلیون هکتار است که از این میان، تعداد ۲۴ تالاب با کل مساحت ۱۴۸۶۴۳۸ هکتار در فهرست تالاب های بین‌المللی کنوانسیون رامسر ثبت شده‌اند [۳۰] و نام تالاب قوریگل تحت عنوان دریاچه‌ی قوری[8] در این فهرست ثبت شده است. در ایران در مورد حداقل جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها و حداقل تراز اکولوژیکی دریاچه‌ها و تالابها [۳۱]، مطالعات محدودی صورت گرفته است؛ که از این میان می‌توان به مطالعه عباسپور و نظری دوست [۳۲] در سال ۲۰۰۷ اشاره نمود که به برآورد نیاز آبی دریاچه‌ی ارومیه، بارویکرد اکولوژیکی و با استفاده از سه متغیر آرتمیا، کیفیت آب وکمیت آب دریاچه پرداختند. ایشان در این تحقیق شاخص کیفیت آب دریاچه را شوری ۲۴۰ ppt[9] به عنوان شوری مناسب برای حیات آرتمیای دریاچه در نظر گرفتند. دفتر محیط زیست وزارت نیرو در سال ۲۰۰۸ به تعیین نیاز آبی تالاب آق‌گل، واقع در مرز استانهای همدان و مرکزی با روش هیدرولوژیکی پرداخت. ذوالفقاری و همکاران در سال ۲۰۰۹، جریان زیست محیطی تالاب شادگان [۳۳] را با استفاده ازروش های هیدرولوژیکی اعم از روش منحنی تداوم جریان[۳۴] و روش شیلات فرانسه و اسماکتین[10] به ترتیب برابر با ۶/۸۳، ۱/۵۴ و ۳/۱۸ متر مکعب برثانیه برآورد کردند. تقوی و همکاران در سال ۲۰۱۴ با استفاده از سنجش از دور[11]، حقابه‌ی زیست محیطی تالاب میانکاله [۳۵] را با تلفیق دو روش هیدرولوژیکی منحنی تداوم جریان و روش جامع تعیین نمودند. مهدی صدیق‌کیا و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی الزامات برآورد جریان زیست محیطی در رودخانه‌ها با روشهای هیدرواکولوژیکی پرداختند و دریافتند بین نتایج حاصل از روش تنانت و روش محیط تر شده، به رغم اینکه هر دو روش از روشهای مقبول در محاسبه‌ی جریان زیست محیطی هستند اختلاف زیادی وجود دارد و عملا نتایج این دو روش بسیار مبهم خواهد بود[۳۶]. بهمنش و همکاران در سال ۲۰۱۷ به برآورد میزان جریان زیست محیطی رودخانه‌ی ساروق چای واقع در حوضه‌ی آبریز زرینه رود بر اساس دو روش تغییر منحنی تداوم جریان و روش مدل ذخیره رومیزی پرداختند [۳۷]. فتاح‌پور و همکاران در سال ۲۰۱۸ با تعیین دبی زیست محیطی بومی سفیدرود [۳۸] با کمک روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاهی، دریافتند که روش ترکیبی شبیه‌سازی زیستگاه و بیشترین انحنای محیط خیس شده برای تعیین کمترین دبی زیست‌محیطی و بهبود شرایط اکوسیستم منطقه به عنوان روش بومی سفیدرود باید پیشنهاد گردد. بررسی مطالعات ذکر شده حاکی از محدود بودن مطالعات انجام شده برای برآورد تراز اکولوژیکی تالاب‌ها و دریاچه‌ها است و از آنجایی که تاکنون هیچ مطالعه‌ای برای برآورد تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل واقع در استان آذربایجان شرقی (یکی از تالاب‌های بسیار مهم استان می‌باشد) انجام نشده است لذا برآورد حداقل تراز اکولوژیکی این تالاب مدنظر قرار گرفت.

1 Dongting Lake
2 Hunan province
3 Ebinur Lake
4 Northern Xinjiang province
5 Honghe
6 Heilongjiang
7 Lake level-logarithm
8 Gori Lake
9 Parts Per Thousand
10 Smakhtin
11 Remote sensing

در این تحقیق برای تعیین حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل از برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شده است. در این مدل، دو تابع هدف به ترتیب عبارت‌اند از: شاخص آبی برای انسان‌ها و شاخص زیست‌بوم برای اکوسیستم تالاب. اولین تابع هدف، کمینه‌کردن شاخص آب را ارائه می‌کند به طوری که آب بیشتری برای مصارف بشری تامین شود در حالی‌که دومین تابع هدف، بیشینه‌کردن شاخص زیست‌بوم را بر عهده دارد به طوری که سطح بهره‌برداری زیستگاهی بیشتری برای اکوسیستم آبزی فراهم شود. بنابراین هدف این مدل، فراهم نمودن بیشترین زیست‌بوم با کمترین آب ممکن است. این مدل یک روش تحلیلی عمومی را برای نیازهای اکولوژیکی پیکره‌های آبی گوناگون ارائه می‌کند و با انتخاب مناسب شاخص‌های آبی و زیست‌بومی به تعیین حداقل تراز اکولوژیکی تالاب می‌پردازد.

۲-مواد و روشها

۲-۱- مشخصات جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

تالاب قوریگل در ۱۸ کیلومتری شمال‌غرب بستان‌آباد و ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی تبریز قرار گرفته که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۸۹۰ متر بوده و دارای شکل هندسی نامنظم و دارای آبی شیرین است (شکل ۱). منابع طبیعی تامین‌کننده‌ی آب این تالاب از آبهای جاری ناشی از ذوب برف و باران و تعدادی چشمه‌های زیرزمینی تامین می‌شود که در کف تالاب جریان دارند. با توجه به این که تالاب قوریگل جزو تالابهای بین‌المللی ثبت شده در کنوانسیون رامسر می‌باشد و نیز زیستگاهِ شماری از پرندگان مهاجر آبزی و حمایت شده محسوب می‌شود، بنابراین دارای اهمیت ملی و بین‌المللی است و حفاظت از کارکردهای اکولوژیکی آن، به عنوان یک هدف اولیه و اصلی بر سایر بهره‌برداریها مقدم است. شایان ذکر است به دلیل بیلان منفی آب تالاب، برای جلوگیری از خشک شدن آن کانالی برای انتقال آب از ارتفاعات سهند توسط کانال صبری چای احداث شده است که در فصول غیرزراعی آب تالاب را تامین می‌نماید.

تالاب قوریگل قابلیتهای فراوان زیستی، آموزشی، تحقیقاتی، اکوتوریسمی و غیره را داراست. راه ارتباطی تالاب از طریق جاده‌ی اصلی تبریز - تهران بوده و از بلندای گردنه‌ی شیبلی چشم اندازی مسحور کننده را به تصویرکشیده است. این تالاب در سال ۱۳۵۴ به عنوان تالاب بین‌المللی در کنوانسیون رامسر به ثبت رسیده و از سال ۱۳۷۳ جزو مناطق شکار ممنوع مدیریت می‌شود.

۲-۲- داده‌های مورد نیاز

برای اجرای این پژوهش، داده‌های تراز و سطح و حجم آب تالاب از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تهیه شده است. این داده‌ها از ایستگاه هیدرومتری واقع در تالاب در طی ۵۴۱۷ روز از سالهای ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ می‌باشد. با توجه به شروع مهاجرت پرندگان به تالاب در اردیبهشت ماه هر سال و نقش تعیین کننده شرایط آبی تالاب در پذیرش پرندگان مهاجر، تراز آب تالاب در اردیبهشت ماه هر سال به عنوان تراز مبنای محاسبات انتخاب گردید. همچنین آمار مربوط به سرشماری سه گونه از اردکهای مهم تالاب، (اردک سرسفید، اردک بلوطی، اردک سرحنائی)، به عنوان شاخص‌های زیست بوم از اداره‌ی کل محیط زیست استان دریافت شد. به دلیل عدم ثبت این آمار در سالهای ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶، داده های مربوط به تعداد این اردکها طی سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ مورد تحلیل قرار گرفتند (جدول ۱).

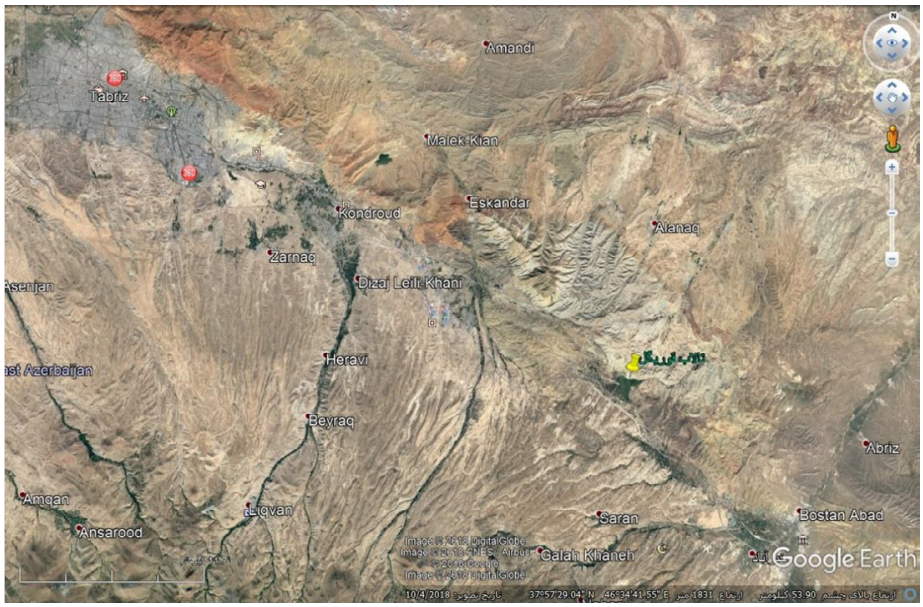
۲-۳- مدل‌های بهینه‌سازی مورد استفاده

هدف این پژوهش بدست آوردن حداقل تراز اکولوژیکی آب برای تامین شرایط پایا جهت استمرار حیات سه گونه از اردکهای تالاب است. به طوری که ذینفعان دیگر تالاب مانند کشاورزان و سایر کاربران نیز حداکثر استفاده‌ی ممکن را از تالاب داشته باشند. برای حصول این شرایط، توابع هدف، تراز آب تالاب و تعداد سه گونه از اردکهای تالاب در طول سالهای مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. بدین منظور از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه‌ی عمومی استفاده گردید و برای حل آن روش مجموع وزنی بکار گرفته شد. همچنین برای اطمینان از کارا[1] بودن جواب‌های بدست آمده، از آزمون بنسون[2] [۲۴] نیز استفاده شد.

۲-۳-۱- مدل برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی عمومی

اگر متغیر X، متغیر وضعیت[3] [۳۹] پیکره‌های آبی (دبی یا تراز آبی) بوده که در محدوده‌ی X_l تا X_u تغییر کند و F و G به ترتیب شاخص آب (تراز آب تالاب) و شاخص زیست‌بوم (تعداد اردکهای گونه‌ی خاص تالاب) در پیکره‌های آبی وابسته به X بوده و $Z_1 = F(X)$ و

1 Efficient Solution
2 Benson's Method
3 State Variable



شکل ۱. موقعیت تالاب قوریگل
Fig. 1. The location of GooriGol wetland

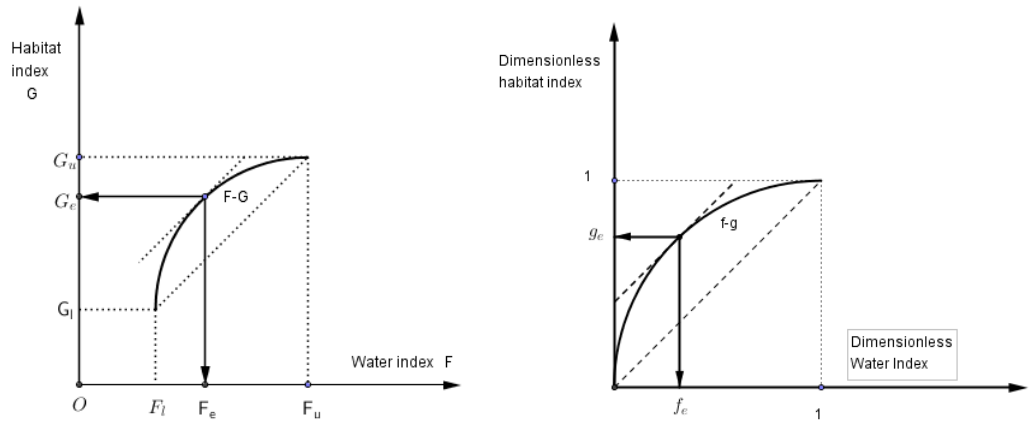
جدول ۱. داده‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی تالاب از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۶
Table 1. The hydrological and ecological data of wetland from 2003 to 2017

سال	تراز m	سطح Km^2	حجم MCM	تعداد اردک سرسفید	تعداداردک سرحنایی	تعداد اردک بلوطی
۱۳۸۲	۱۹۱۲/۵۰	۱/۴۴۸۷	۲/۲۷۵۱	–	–	–
۱۳۸۳	۱۹۱۲/۸۵	۱/۵۲۱۱	۲/۷۹۲۴	–	–	–
۱۳۸۴	۱۹۱۳/۰۶	۱/۵۶۵۸	۳/۱۲۲۳	–	–	–
۱۳۸۵	۱۹۱۲/۹۸	۱/۵۵۰۰	۳/۰۰۶۷	–	–	–
۱۳۸۶	۱۹۱۳/۱۷	۱/۵۸۸۶	۳/۲۹۷۱	–	–	–
۱۳۸۷	۱۹۱۲/۷۹	۱/۵۰۹۷	۲/۷۱۲۲	۴۰	۲۵۰	۲۰
۱۳۸۸	۱۹۱۲/۴۱	۱/۴۲۸۱	۲/۱۴۰۱	۳۵	۲۵۰	۲۰
۱۳۸۹	۱۹۱۲/۳۴	۱/۴۱۲۶	۲/۰۴۹۹	۲۰	۲۵۰	۱۵
۱۳۹۰	۱۹۱۱/۹۷	۱/۳۲۳۶	۱/۵۳۳۷	۲۰	۲۴۸	۱۰
۱۳۹۱	۱۹۱۱/۹۸	۱/۳۲۷۳	۱/۵۴۹۱	۲۰	۲۵۰	۲
۱۳۹۲	۱۹۱۱/۷۰	۱/۲۳۹۱	۱/۱۹۰۰	۲۰	۲۵۰	۲
۱۳۹۳	۱۹۱۱/۵۹	۱/۲۰۰۲	۱/۰۴۹۸	۲۰	۲۰۰	۲
۱۳۹۴	۱۹۱۱/۶۳	۱/۲۱۰۲	۱/۰۹۷۷	۱۶	۲۰۰	۲
۱۳۹۵	۱۹۱۱/۶۵	۱/۲۱۶۰	۱/۱۳۷۴	۱۶	۱۶۰	۱
۱۳۹۶	۱۹۱۱/۶۱	۱/۲۱۸۱	۱/۰۶۸۷	۱۲	۱۵۸	۰

$Z_2 = G(X)$ توابع این شاخص ها باشند. برای تعیین حداقل جریان اکولوژیکی یا تراز آبی، مبادلات بین مصارف آبی توسط انسان‌ها و اکوسیستم را می‌توان از طریق مدل عمومی برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی [۲]

$$\begin{cases} \min \ Z_1 = F(X) \\ \max \ Z_2 = G(X) \\ s.t. \quad X_l \le X \le X_u \end{cases} \quad (۱)$$

تبیین کرد که اولین تابع هدف، کمینه‌کردن شاخص آب را ارائه می‌کند به‌طوری‌که آب بیشتری برای مصارف بشری تامین شود. دومین تابع هدف، بیشینه‌کردن شاخص زیست‌بوم را بر عهده دارد، به طوری که زیستگاه‌های بیشتری برای اکوسیستم آبزی فراهم شود، بنابراین هدف این مدل آماده کردن بیشترین زیست‌بوم با کمترین آب ممکن است [۲].



شکل۲. شمای مدل عمومی برای تخمین شاخص اکولوژیکی آب و زیست‌بوم متناظر با حداقل جریان اکولوژیکی یا تراز آبی از طریق منحنی شاخص آبی و شاخص زیست‌بومی [۲]

Fig. 2. General schematic model for estimating the water and ecological indices corresponding the minimum ecological flow or minimum water level through water and ecological indices diagram

توابع هدف در مدل (۱) به دلیل دارا بودن واحدهای متفاوت، غیرقابل مقایسه هستند. برای تسهیل در حل مدل (۱)، ابتدا باید متغیرها و توابع هدف نرمال سازی شوند که در این صورت معادلات (۱) به معادلات زیر [۲]

$$x=\frac{\mathrm{X}-X_l}{X_u-X_l}$$
$$f=\frac{\mathrm{F}-F_l}{F_u-F_l} \qquad (۲)$$
$$g=\frac{\mathrm{G}-G_l}{G_u-G_l}$$

تبدیل می‌شوند. در این معادلات، x، f و g به ترتیب، متغیرهای وضعیت بی‌بعد شاخص آب و شاخص زیست‌بوم هستند، F_l و F_u به‌ترتیب حدود F متناظر با X_l و X_u بوده و G_l و G_u به‌ترتیب حدود G متناظر با X_l و X_u می‌باشند. با نرمال سازی متغیرها، همگی در بازه‌ی $[0,1]$ قرار می‌گیرند. بنابراین مدل (۲) را می توان به صورت [۲]

$$\begin{cases}\min\ z_1=f(x)\\ \min z_2=1-g(x)\\ s.t:\quad 0\le x\le 1\end{cases} \qquad (۳)$$

نوشت که در آن z_1 و z_2 به ترتیب توابع هدف نرمال شده هستند.

مدل (۳) را می‌توان از طریق روش مجموع وزنی در برنامه‌ریزی بهینه‌سازی چندهدفه حل کرد [۱, ۴۰]، که بدین ترتیب، مسئله‌ی چندهدفه‌ی (۳) به مسئله‌ی تک‌هدفه‌ی [۲]

$$\min\ d(x)=\lambda_1 f(x)+\lambda_2\left(1-g(x)\right) \qquad (۴)$$
$$s.t. \qquad 0\le x\le 1$$

تبدیل می‌گردد [۲]، که در آن $d(x)$ تابع برآورد و λ_1 و λ_2 وزن‌های نامنفی برای توابع هدف هستند؛ به طوری که $\lambda_1+\lambda_2=1$.

با توجه به اولویت‌بندی‌های مختلف بین مصارف آبی بشری و اکوسیستمی، می‌توان ترکیبات مختلف وزن‌ها، را به کار برد. برای مثال مقدار بیشتر λ_2 بدین معنی است که توجه بیشتر روی شاخص زیست‌بوم می‌باشد. کمینه‌سازی $d(x)$، یک جواب پارتوی[1] [۲۴] مدل (۳) را نتیجه می‌دهد که تعادل بین مصارف بشری و نیازهای اکوسیستمی را نشان می‌دهد. این جواب پارتو به عنوان حداقل جریان اکولوژیکی یا تراز اکولوژیکی بی‌بعد x_e معرفی می‌گردد. با توجه به اینکه برای به حداقل رساندن تابع $d(x)$ باید گرادیان آن برابر با صفر باشد، خواهیم داشت: [۲]

$$\left.\frac{\mathrm{dg}}{\mathrm{df}}\right|_{x=x_e}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad (۵)$$

با بکار بردن روش á یا روش ë [۴۰]، وزن‌های مشخص شده عبارتند از $\lambda_1=\lambda_2=0.5$. البته ترکیبات دیگر وزن‌ها را می‌توان برای انعکاس اولویت کارشناسان به‌کار برد، برای وزن‌های مساوی، معادله‌ی (۵) را می‌توان به صورت [۲]

$$\left.\frac{\mathrm{dg}}{\mathrm{df}}\right|_{f=f_e}=1 \qquad (۶)$$

یا

$$\left.\frac{\mathrm{dG}}{\mathrm{dF}}\right|_{F=F_e}=1=\frac{\mathrm{G}_u-G_l}{F_u-F_l}$$

1 Pareto Solution

نوشت که در آن f_e و F_e به ترتیب شاخص بی‌بعد آب و شاخص آب متناظر با حداقل جریان یا تراز اکولوژیکی (x_e یا X_e) هستند. قسمت سمت چپ و سمت راست معادله‌ی (۶) به‌ترتیب سود نهایی[1] و متوسط[2] خروجی زیست‌بوم نسبت به آب ورودی هستند. بنابراین معادله‌ی (۶) حداقل جریان اکولوژیکی یا تراز آبی را به‌عنوان نقطه‌ای تعریف می‌کند که سود نهایی با سود متوسط برابر باشد. به عبارت دیگر f_e و F_e را به‌ترتیب می‌توان به صورت نقاط شکست منحنی‌های $(f-g)$ و $(F-G)$ تعریف کرد که نقطه‌ی شکست در منحنی $(f-g)$ نقطه‌ای است که شیب منحنی برابر با یک و در منحنی $(F-G)$ نقطه‌ای است که شیب منحنی برابر با نسبت بیشترین رشد شاخص زیست‌بوم به بیشترین رشد شاخص آب است (شکل شماره۲).

این تعریف مشابه با روش شیب برای تعیین حداقل جریان اکولوژیکی از منحنی (دبی-پیرامون مرطوب) است [۱۳]. در عمل اغلب اوقات، رابطه‌ی $(F-G)$ به صورت داده‌های پراکنده، قابل دسترس است. اگر این ارتباط بتواند به‌صورت توابع ساده‌ای بیان شود، حداقل جریان اکولوژیکی یا تراز آبی را می‌توان از معادله‌ی (۶) به‌طور تحلیلی به‌دست آورد. در غیر این صورت حداقل جریان اکولوژیکی یا تراز آبی از طریق بهینه سازی عددی تابع تخمین $d(x)$ قابل محاسبه است. برای هر زوج داده‌ی پراکنده‌ی در دسترس

$$(F_i, G_i) \qquad i = 1,2,3,\ldots n$$

مقدار d_i از معادله‌ی (۴) محاسبه شده و سپس مقدار کمینه‌ی [۲]

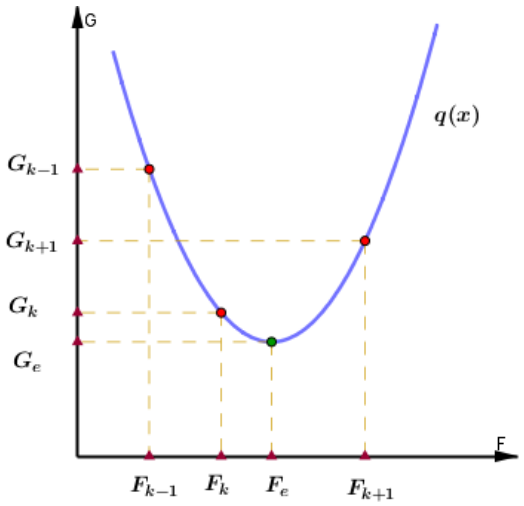
$$d_k = \{d_i,\ i = 1,2,3,\ldots n\}$$

را محاسبه کرده و F_kی متناظر با آن حاصل می‌شود. سپس حداقل شاخص اکولوژیکی آب (F_e) را می‌توان با روش درونیابی سهموی[3] [۴۱] در بهینه‌سازی تک متغیره تخمین زد (شکل ۳).
در نتیجه مقدار F_e برابر خواهد بود با:[۲]

$$F_e = \frac{1}{2}\frac{d_{k-1}\left(F_k^2 - F_{k+1}^2\right) + d_k\left(F_{k+1}^2 - F_{k-1}^2\right) + d_{k+1}\left(F_{k-1}^2 - F_k^2\right)}{d_{k-1}\left(F_k - F_{k+1}\right) + d_k\left(F_{k+1} - F_{k-1}\right) + d_{k+1}\left(F_{k-1} - F_k\right)} \qquad (۷)$$

زیرا با توجه به رابطه‌ی (۳) که در آن $d(x)$ تابعی بر حسب $f(x)$ و $g(x)$ بوده و اگر بر حسب $F(x)$ و $G(x)$ برگردانده شوند و رابطه‌ی

1 Marginal Benefit
2 Average Benefit
3 Parabolic Interpolation



شکل ۳. تابع سهموی درونیاب(q(x
Fig. 3. Interpolation parabolic function q(X)

$$(F_i, G_i) \qquad i = 1,2,3,\ldots,n$$

نیز در نظر گرفته شود می‌توان گفت d تابعی است از F. بنابراین اگر حداقل مقدار تابع d برابر با d_k باشد و F_kی متناظر با آن را پیدا نمود می‌توان گفت چون تابع d در F_k دارای مقدار کمینه است پس این تابع را در همسایگی این نقطه با یک تابع سهموی (درجه۲) می‌توان تقریب زد. برای سه نقطه‌ی $F_{k-1} < F_k < F_{k+1}$ می‌توان نوشت:

$$d_k < d_{k-1} \ , \quad d_k < d_{k+1}$$

حال تابع سهموی تقریب زننده را می‌توان به صورت ذیل نوشت:

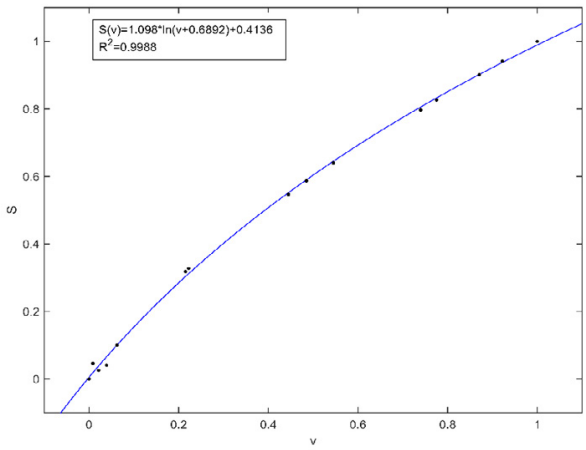
$$\mathrm{q}(\mathrm{x}) = d_{k-1}\frac{(x-F_k)(x-F_{k+1})}{(F_{k-1}-F_k)(F_{k-1}-F_{k+1})} + d_k\frac{(x-F_{k-1})(x-F_{k+1})}{(F_k-F_{k-1})(F_k-F_{k+1})} + d_{k+1}\frac{(x-F_{k-1})(x-F_k)}{(F_{k+1}-F_{k-1})(F_{k+1}-F_{k-1})} \qquad (۸)$$

با قراردادن $\mathrm{q'(x)} = ۰$ و در نهایت با حل معادله‌ی فوق، رابطه‌ی (۷) به دست می‌آید.

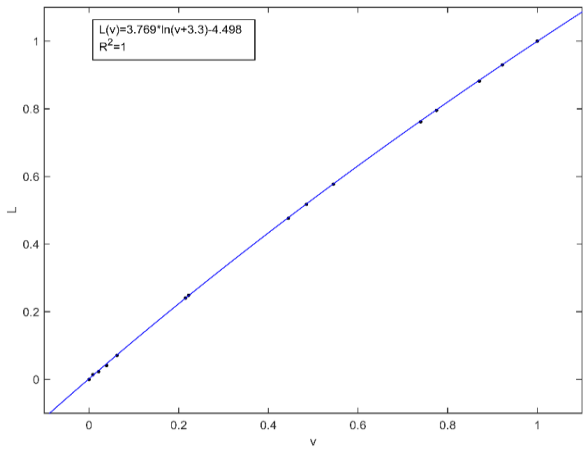
۲-۳-۲- آزمون بنسون:

آزمون بنسون نقطه‌ی کارا بودن یک نقطه‌ی شدنی[4]را برای یک مساله‌ی چند هدفه تضمین می‌کند. به این صورت که باید مقداربهینه‌ی تابع هدف در مساله‌ی (۹) برابر با صفر باشد[۲۴]:

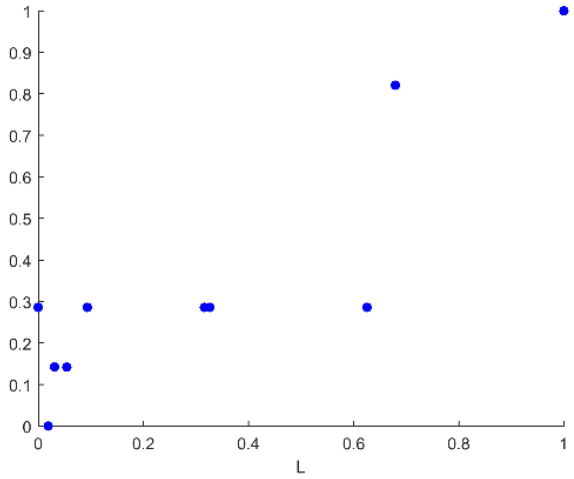
4 Feasible Solution



شکل ۴. نمودار برازش داده‌های مساحت سطح تالاب و حجم
Fig. 4. Fitted graph to the area-volume data of wetland



شکل ۵. نمودار برازش داده‌های تراز و حجم تالاب
Fig. 5. Fitted graph to the elevation-volume data of wetland



شکل ۶. سمت چپ، تصویر اردک سرسفید و سمت راست، نمودار بی‌بعد تعداد اردک‌های سرسفید-تراز نرمال شده‌ی آب ازسال ۸۷ تا ۹۶
Fig. 6. Left: White-head duck, Right: Dimensionless graph of white-head ducks number versus normalized water level from 2008 to 2017

$$\begin{cases} \max & l_1 + l_2 \\ \text{s.t:} & f(x_0) - l_1 - f(x) = 0 \\ & \big(1 - g(x_0)\big) - l_2 - \big(1 - g(x)\big) = 0 \\ & l_1 \geq 0 \\ & l_2 \geq 0 \\ & 0 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (۹)$$

۳- برآورد حداقل تراز اکولوژیکی برای تالاب قوریگل

در این مقاله حداقل تراز اکولوژیکی تالاب با دو روش سطح-حجم و روش استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه (MOP) برآورد شده است که در ذیل به ارائه آنها پرداخته می‌شود.

۳-۱- روش سطح-حجم

برآورد حداقل تراز زیست‌محیطی تالاب قوریگل با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی تراز، مساحت سطح دریاچه و حجم آب ذخیره شده در دریاچه (جدول۱) و روش سطح-حجم به صورت زیر انجام شده است:

۱- داده‌ها با استفاده از معادله‌ی(۲) بی‌بعد شد.

۲- با استفاده از برازش داده، رابطه‌ای میان سطح و حجم (بدون بعد) برقرار شده و مشخص شد که سطح با حجم، با معادله‌ی

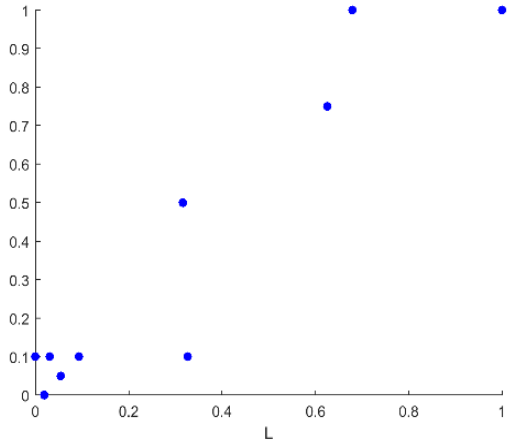
$$S(v) = 1.098\,Ln(v + 0.6892) + 0.4136 \qquad R^2 = 0.9988 \quad (۱۰)$$

ارتباط دارد. این نمودار برازش‌شده به همراه داده‌های سطح و حجم در شکل (۴) رسم شده است.

۳- با مشتق‌گیری از رابطه‌ی (۱۰) نقطه‌ی شکست محاسبه

جدول ۲. حداقل تراز اکولوژیکی با در نظر گرفتن اردک سرسفید به‌عنوان شاخص زیست بوم
Table 2. Minimum ecological water level considering white-head duck as the ecological index

سناریو	۱	۲	۳	۴	۵
λ_1	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷
λ_2	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳
L	۱۹۱۲/۶۰۳	۱۹۱۲/۵۹۷	۱۹۱۲/۶۵۴	۱۹۱۱/۶۵۸	۱۹۱۱/۶۶۵



شکل ۷. نمودار بی‌بعد تعداد اردک‌های بلوطی بر حسب تراز نرمال شده برای ۱۰ سال از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶
Fig. 7. Dimensionless diagram of Ferruginous ducks number with respect to normalized water level from 2008 to 2017

گردید. همان‌طوری‌که پیش از این نیز توضیح داده شد، نقطه‌ی شکست، نقطه‌ای است که در آن شیب منحنی برابر واحد است. بنابراین نقطه‌ی شکست منحنی v=۰/۴۰۸۸ به دست آمد.

۴- در ادامه رابطه‌ی میان تراز آب و حجم آب تالاب برازش شده (شکل ۵) که معادله‌ی آن عبارتست از:

$$L(v) = 3.769\,Ln(v+3.3) - 4.498 \qquad R^2 = 1 \qquad (۱۱)$$

با جایگذاری نقطه‌ی شکست به دست آمده در این معادله حداقل تراز آب بی بعد تالاب L= ۰/۴۴۲۰ به دست آمد.

بنابراین با استفاده از روابط و داده‌های بدست آمده، حداقل تراز اکولوژیکی تالاب با روش سطح-حجم معادل ۱۹۱۲/۲۹ متر محاسبه گردید.

۳-۲-روش استفاده از مدل چندهدفه

۳-۲-۱-برآورد حداقل تراز با شاخص اردک سرسفید

در این بخش، حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل با در نظر گرفتن اردک سرسفید به عنوان شاخص زیست بومی و تراز آب تالاب به‌عنوان شاخص آبی و با روش بهینه‌سازی چندهدفه محاسبه شده است. در شکل (۶) تصویر اردک سرسفید به همراه نمودار تعداد اردک سرسفید- تراز آب آورده شده است.

همانطور که در شکل قابل مشاهده است به دلیل تعداد کم و پراکندگی زیاد داده‌ها، رابطه‌ی تحلیلی مناسب برای این داده‌ها قابل برازش نبود. بنابراین از رابطه‌ی (۷) برای تخمین حداقل تراز آب تالاب استفاده شد. نتایج به دست آمده با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف در جدول (۲) آورده شده است. در تمامی جداول این فصل حداقل تراز اکولوژیکی شاخص‌ها با L نشان داده شده است.

نتایج حاصله برای حداقل تراز اکولوژیکی با در نظر گرفتن تعداد اردک سرسفید به عنوان شاخص زیست بومی و به ازای وزن‌های مختلف حاکی از آن است که با افزایش اهمیت شاخص زیست بومی، حداقل تراز سطح آب تا حدود ۱۹۱۲/۶ متر افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر حداقل تراز آب بهینه به منظور تامین شرایط زیستی مناسب برای اردک سرسفید ۱۹۱۲/۶ متر می‌باشد و کاهش تراز سطح آب تالاب به مقداری کمتر از این تراز، باعث کاهش مهاجرت پذیری تالاب

برای اردک سرسفید خواهد شد.

۳-۲-۲- برآورد حداقل تراز با شاخص اردک بلوطی

در این بخش حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل با در نظر گرفتن تعداد اردک بلوطی به‌عنوان شاخص زیست بومی محاسبه شده است. در شکل (۷) تصویر اردک بلوطی به همراه نمودار تعداد این اردک- تراز آب آورده شده است.

در این بخش به دلیل پراکندگی کم داده‌های اردک بلوطی برای برآورد حداقل تراز، علاوه بر استفاده از رابطه‌ی (۷)، از رابطه‌ی تحلیلی (۴) نیز استفاده گردید. توابع هدف متناظر با رابطه‌ی(۴) به صورت

$$f(x)=x$$
$$g(x)=-1.098x^2+2.192x+0.0047 \qquad (۱۲)$$

در نظر گرفته شده‌اند. تابع $g(x)$ رابطه‌ی برازش شده‌ی تعداد اردک بلوطی بر حسب تراز و $f(x)$ نشان دهنده‌ی شاخص تراز بوده که نمودار آن در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف، با روش مجموع وزنی در جدول (۳) آورده شده است، که در آن L_1 نتایج حاصل از رابطه‌ی (۷) و L_2 نتایج به دست آمده از رابطه‌ی (۴) است.

همچنین کارا بودن جواب x_0 حاصل از روش مجموع وزنی با استفاده از آزمون بنسون به صورت ذیل مورد تایید قرار گرفت:

$$\begin{cases} \max & l_1+l_2 \\ \text{s.t:} & x_0-l_1-x=0 \\ & (1.098{x_0}^2-2.192\,x_0+0.9953)-l_2-(1.098x^2-2.192\,x+0.9953)=0 \\ & l_1\geq 0 \\ & l_2\geq 0 \\ & 0\leq x\leq 1 \end{cases} \qquad (۱۳)$$

نتایج حاصله از آزمون بنسون با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف، در جدول (۴) آورده شده است، که در آن L_3 حداقل تراز آبی برای اردک بلوطی، حاصل از حل مساله‌ی (۳) با روش بنسون است.

نتایج حاصله برای حداقل تراز اکولوژیکی با در نظر گرفتن تعداد اردک بلوطی به عنوان شاخص زیست بومی و به ازای وزن‌های مختلف حاکی از آن است که در این حالت نیز با افزایش اهمیت شاخص زیست بومی، حداقل تراز سطح آب تا حدود ۱۹۱۲/۶ متر افزایش می‌یابد. به بیان دیگر می‌توان گفت حداقل تراز آب بهینه به منظور تامین شرایط زیستی مناسب برای اردک بلوطی نیز ترازی حدود ۱۹۱۲/۶ متر می‌باشد و با کاهش هر چه بیشتر تراز سطح آب تالاب به مقداری کمتر از این تراز، وضعیت تالاب برای مهاجرت اردک‌های بلوطی نامناسب می‌شود.

۳-۲-۳- برآورد حداقل تراز با سه شاخص زیست بومی

در این بخش حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل با در نظر گرفتن سه شاخص تعداد اردک سرسفید، تعداد اردک بلوطی و تعداد اردک سرخنائی به طور هم زمان به عنوان شاخص‌های زیست بومی محاسبه شده است. لازم به ذکر است که هر چه تعداد شاخص‌های

جدول ۳. حداقل تراز اکولوژیکی با در نظر گرفتن اردک بلوطی به‌عنوان شاخص زیست بوم
Table 3. ecological water level considering Ferruginous duck as the ecological index

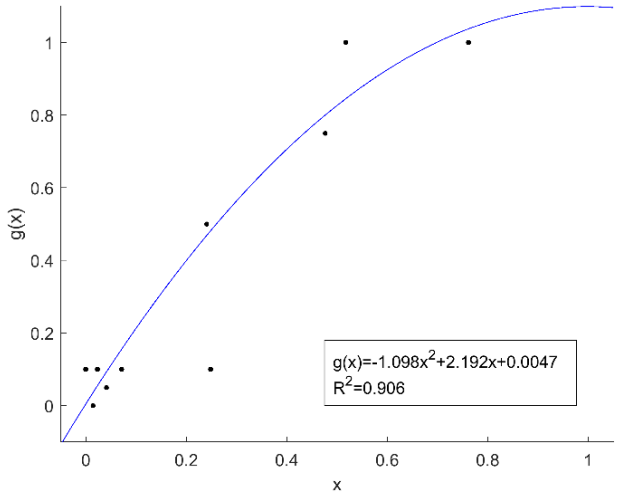
سناریو		۱	۲	۳
وزنها	λ_1	۰/۳	۰/۴	۰/۵
	λ_2	۰/۷	۰/۶	۰/۵
حداقل تراز	L_1	۱۹۱۲/۵۷۹	۱۹۱۲/۵۶۸	۱۹۱۲/۵۵۱
	L_2	۱۹۱۲/۵۵۶	۱۹۱۲/۴۲۵	۱۹۱۲/۲۴۳

جدول۴. نتایج آزمون بنسون برای حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل با در نظر گرفتن تعداد اردک بلوطی به عنوان شاخص زیست بومی
Table 4. Results of Benson's test for minimum ecological water level considering Ferruginous duck as the ecological index

سناریو	۱	۲	۳
λ_1	۰/۳	۰/۴	۰/۵
λ_2	۰/۷	۰/۶	۰/۵
L_3	۱۹۱۲/۸۵۸	۱۹۱۲/۶۸۷	۱۹۱۲/۴۴۷

جدول ۵. حداقل تراز اکولوژیکی با در نظر گرفتن سه شاخص زیست بومی (اردک سرسفید، اردک بلوطی و اردک سرحنائی)
Table 5. Minimum ecological water level considering three ecological indices (white-head, Ferruginous, Pochard ducks)

سناریو	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	L
۱	۰/۳	۰/۷	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۱۹۱۲/۵۹۷
۲	۰/۳	۰/۷	۰/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۱۹۱۲/۵۸۱
۳	۰/۳	۰/۷	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۱۹۱۲/۵۸۹
۴	۰/۳	۰/۷	۰/۴۵	۰/۲	۰/۳۵	۱۹۱۲/۵۹۳
۵	۰/۴	۰/۶	۰/۶۵	۰/۱۵	۰/۲	۱۹۱۲/۵۹۰
۶	۰/۴	۰/۶	۰/۲۵	۰/۶	۰/۱۵	۱۹۱۲/۵۷۵
۷	۰/۴	۰/۶	۰/۱	۰/۲	۰/۷	۱۹۱۲/۵۶۷
۸	۰/۴	۰/۶	۰/۳۵	۰/۳	۰/۳۵	۱۹۱۲/۵۷۸



شکل۸. نمودار برازش شده‌ی تابع
Fig. 8. Function fitting graph

زیست بومی به کار رفته برای تخمین حداقل تراز تالاب‌ها بیشتر باشد، نتایج به دست آمده قابل اطمینان‌تر خواهد بود که در این راستا علاوه بر تعداد اردک‌های سرسفید و بلوطی، تعداد اردک سرحنایی نیز به عنوان یک شاخص زیست‌بومی دیگر در این بخش از تحقیق در نظر گرفته شد. با استفاده از رابطه‌ی (۳) با توجه به وجود چندین شاخص، مدل برنامه‌ریزی چند هدفه برای این مسئله به صورت

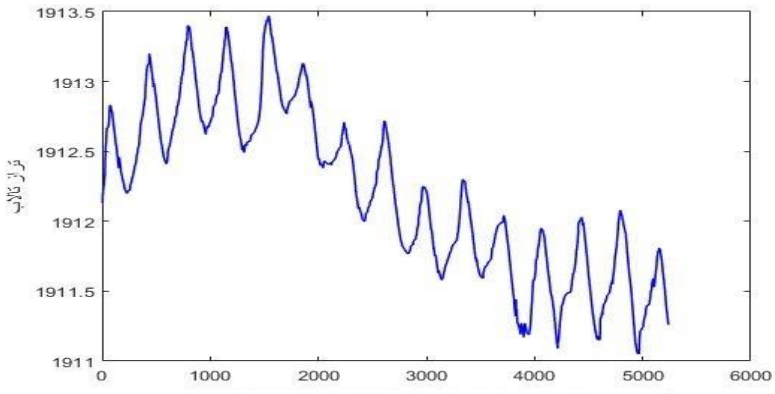
$$\begin{cases} \min \quad z_1 = f(x) \\ \min \quad z_2 = 1 - g_1(x) \\ \min \quad z_3 = 1 - g_2(x) \\ \min \quad z_4 = 1 - g_3(x) \\ s.t. \quad 0 \le x \le 1 \end{cases} \qquad (۱۴)$$

ارائه می‌شود؛ که در آن x، f، g_1، g_2 و g_3 به ترتیب شاخص‌های بی‌بعد تراز آب، تابع هدف شاخص آبی (تراز)، تابع هدف شاخص اول زیست‌بوم (تعداد اردک سرسفید)، تابع هدف شاخص شاخص دوم زیست‌بوم (تعداد اردک سرحنائی) و تابع هدف شاخص سوم زیست‌بوم (تعداد اردک بلوطی) می‌باشند. برای حل مسئله‌ی ارائه شده طی روابط (۱۴) از روش مجموع وزنی استفاده شده است که تابع تک‌هدفه‌ی متناظر با آن به صورت

$$\min \; d(x) = \lambda_1 f(x) + \lambda_2 \left[\lambda_3 \left(1 - g_1(x)\right) + \lambda_4 \left(1 - g_2(x)\right) + \lambda_5 \left(1 - g_3(x)\right) \right] \qquad (۱۵)$$
$$s.t. \qquad 0 \le x \le 1$$

به دست می‌آید که در آن

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1$$
$$\lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = 1$$



شکل ۹. نمودار سری زمانی تراز آب تالاب از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶
Fig. 9. Time-series of the wetland water level from 2002 to 2017

همانطور که قبلا هم اشاره شده است به دلیل پراکنده بودن داده‌های موجود، رابطه‌ی (۷) برای حل مسئله‌ی (۱۵) به کار گرفته شده است. نتایج به دست آمده برای سناریوهای مختلف در جدول (۴) آورده شده است.

نتایج جدول (۵) حاکی از آن است که با در نظر گرفتن تعداد سه گونه اردک مهم در این تالاب به عنوان شاخص‌های زیست بومی، حداقل تراز اکولوژیکی معادل ۱۹۱۲/۶ متر حاصل می‌شود و تغییر وزن بین شاخص‌های زیست بومی چندان بر میزان حداقل تراز اکولوژیکی این تالاب تاثیرگذار نیستند. نکته بسیار مهم دیگری که این جدول و حداقل تراز اکولوژیک ۱۹۱۲/۶ متر می‌توان استنتاج نمود این است که هم حساسیت تالاب به ترازی پایین تر از تراز ۱۹۱۲/۶ متر زیاد بوده و کارایی زیست بومی تالاب به شدت نقصان می‌یابد و هم آستانه حساسیت پذیری گونه‌های مهم پرندگان این تالاب به شرایط متناظر تالاب در تراز ۱۹۱۲/۶ متر می‌باشد. لذا حیات این زیست بوم منوط به تامین این تراز در بلند مدت می‌باشد.

به عنوان راستی آزمایی دیگری در خصوص نتایج بدست آمده، نمودار تراز سطح آب تالاب (شکل ۹) از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ مورد بررسی و ارزیابی کارشناسی قرار گرفت. این نمودار نشان می‌دهد که علاوه بر نوسانات تراز سطح آب تالاب در فصول مختلف هر سال، تراز سطح آب بین ۱۹۱۱ متر تا ۱۹۱۳/۵ متر نوسان داشته است که طبیعتا شرایط زیست بومی تالاب برای مهاجرت پذیری انواع پرندگان نیز دچار نوسانات و تغییرات چشمگیری شده است. به عبارت دیگر با افزایش تراز سطح آب تالاب وضعیت این زیست بوم برای پذیرش پرندگان بهبود یافته و با کاهش تراز سطح آب، پتانسیل پذیرش پرندگان مهاجر در تالاب به شدت کاهش یافته است. طبق مذاکره با کارشناسان محیط زیست و متولیان این تالاب، شرایط اکولوژیکی تالاب در تراز حدود ۱۹۱۲ متر در حد قابل قبولی قرار می‌گیرد و کاهش تراز سطح آب به ترازی کمتر از این میزان، کاهش چشمگیری در عملکرد زیست محیطی تالاب و مهاجرت پذیری گونه‌های مختلف پرندگان را در پی داشته است. بنابراین حداقل تراز اکولوژیکی برآورد شده در این تحقیق، معادل ۱۹۱۲/۶ متر با نتایج مشاهدات میدانی مطابقت داشته و می تواند معیاری برای تصمیم گیری مدیریتی در خصوص این تالاب با ارزش قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت برآورد تراز اکولوژیکی پیکره های آبی برای محافظت از اکوسیستم‌های آبی، در این پژوهش، به برآورد حداقل تراز اکولوژیکی تالاب بین‌المللی قوریگل به کمک روش سطح- حجم آب تالاب و مدل برنامه‌ریزی چندهدفه پرداخته شد. از آنجایی که در نظر گرفتن فقط شرایط هیدرولوژیکی، برای برآورد حداقل تراز تالاب‌ها کافی و مناسب تلقی نمی‌شود لذا ضمن استفاده از روش سطح-حجم، مدل برنامه‌ریزی چند هدفه جهت تاثیر شرایط زیست بومی تالاب در برآورد حداقل تراز اکولوژیکی نیز در نظر گرفته شد. در مدل برنامه‌ریزی چند هدفه ارائه شده، تابع هدف متشکل از دو شاخص آبی و زیست بومی بوده که تراز سطح آب تالاب به عنوان شاخص آبی و تعداد سه گونه از اردکهای مهم موجود در تالاب به عنوان شاخص زیست بوم انتخاب شدند. در این تابع هدف، یافتن حداقل تراز آبی که نیاز آبی بشری را تامین کرده و در عین حال بیشینه

شرایط زیست‌بومی را تضمین نماید تا زیستگاه‌های بیشتری برای سه گونه اردک مهم تالاب فراهم شود مدنظر قرار گرفت. برای حل این مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، از روش‌های مجموع وزنی استفاده شد و از آزمون بنسون برای ارزیابی نتایج حاصله از مدل برای حالتی که تعداد اردک سرسفید به عنوان شاخص زیست بومی انتخاب شده بود بهره گرفته شد. نتایج حاصل از مدل حاکی از آن بود که حداقل تراز اکولوژیکی تالاب قوریگل حدود ۱۹۱۲/۶ متر و حداقل حجم ذخیره‌ی اکولوژیکی تالاب حدود ۵۰۳۰۰۰ متر مکعب می‌باشد. حداقل تراز اکولوژیکی حاصله نشان می‌دهد که کاهش تراز آب تالاب قوریگل به مقداری کمتر از ۱۹۱۲/۶ متر تاثیر منفی بر عملکرد زیست بومی تالاب داشته و مهاجرت پذیری تالاب به صورت چشمگیری کاهش خواهد یافت.

همچنین توجه به این نکته حائز اهمیت بسزایی است که در کشور ما وضعیت اکولوژیکی یا زیست محیطی تالاب‌ها تاکنون چندان مورد توجه تصمیم گیران و متولیان امر قرار نگرفته است و حتی در خصوص رودخانه‌ها که وزارت نیرو به تامین جریان زیست محیطی در آن‌ها اهتمام داشته است از روشهایی همچون روش تنانت[1] [۴۲] که برای سایر کشورها و شرایط ویژه آنها ارائه شده‌اند استفاده شده است [۳۱] و چون این روش‌ها برای شرایط محیطی سرزمین ما ارائه نشده‌اند نه تنها تخمین چندان صحیحی از جریان زیست محیطی ارائه نمی‌کنند؛ بلکه نتایج حاصل از این روشها خود سرمنشأ تصمیم‌های نه چندان درست مدیریتی بوده و چه بسا در نیل به هدف اصلی بهره‌برداری پایدار از پیکره‌های آبی که برقراری تعادل بین مصارف بشری و نیازهای زیست بومی است مشکلات اساسی پیش آورده و محیط زیست موجود کشور را روزبروز با مخاطرات بیشتری مواجه نماید. لذا پیشنهاد می‌شود در برآورد جریان زیست محیطی رودخانه‌ها و همچنین تالاب‌ها و دریاچه‌ها ضمن تهیه و جمع آوری داده‌ها و آمار قابل اطمینان از پیکره‌های آبی، از مدل‌های برنامه‌ریزی چند هدفه استفاده شود.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان لازم می دانند از همکاری شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی و اداره کل محیط زیست استان آذربایجان شرقی به ویژه از همکاری‌ها و راهنمایی‌های بسیار ارزشمند جناب آقای دکتر میر محسن حسینی قمی و جناب آقای مهندس محمدرضا مسعود سپاسگزاری نمایند.

۶- علائم انگلیسی

L	تراز، m	F_u	حداکثر شاخص آب
S	مساحت، Km^2	G	شاخص زیست‌بوم
V	حجم، MCM (میلیون متر مکعب)	G_l	حداقل شاخص زیست‌بوم
X	متغیر وضعیت تراز تالاب،m	G_u	حداکثر شاخص زیست‌بوم
X_l	حداقل تراز تالاب، m	F_e	شاخص آب متناظر با حداقل تراز آب
X_u	حداکثر تراز تالاب، m	Z_1	تابع هدف شاخص آب
F	شاخص آب	Z_2	تابع هدف شاخص زیست‌بوم
F_l	حداقل شاخص آب	q(x)	تابع سهموی تقریب زننده
x_0	تراز بی‌بعد تالاب		

منابع

[1] D. P. Loucks, E. Van Beek, J. R. Stedinger, J. P. Dijkman, and M. T. Villars, *Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications*. Paris: Unesco, 2005.

[2] S. Shang, "A general multi-objective programming model for minimum ecological flow or water level of inland water bodies," *Journal of Arid Land* vol. 7, no. 2, pp. 166-176, 2015.

[3] Y. Xu, Y. Wang, S. Li, G. Huang, and C. Dai, "Stochastic optimization model for water allocation on a watershed scale considering wetland's ecological water requirement," *Ecological Indicators,* vol. 92, pp. 330-341, 2018.

[4] X. Sun, S. Xiong, X. Zhu, X. Zhu, Y. Li, and B. L. J. E. m. Li, "A new indices system for evaluating ecological-economic-social performances of wetland restorations and its application to Taihu Lake Basin, China," *Ecological modelling,* vol. 295, pp. 216-226, 2015.

[5] K. Dorau, H. Gelhausen, D. Esplör, and T. J. E. E. Mansfeldt, "Wetland restoration management under the aspect of climate change at a mesotrophic fen in Northern Germany," *Ecological Engineering,* vol. 84, pp. 84-91, 2015.

[6] J. J. J. o. e. m. Garg, "Wetland assessment, monitoring and management in India using geospatial techniques,"

1 Tennant

2328, 2004.
[21] S. Shang, "Lake surface area method to define minimum ecological lake level from level-area-storage curves," *Journal of Arid Land,* vol. 5, no. 2, pp. 133-142, 2013.
[22] L. Li, J. Li, L. Liang, and Y. Liu, "Method for calculating ecological water storage and ecological water requirement of marsh," *Journal of Geographical Sciences,* vol. 19, no. 4, pp. 427-436, 2009.
[23] Y.-y. Tan, X. Wang, C.-h. Li, Y.-p. Cai, Z.-f. Yang, and Y.-l. Wang, "Estimation of ecological flow requirement in Zoige Alpine Wetland of southwest China," *Environmental Earth Sciences,* vol. 66, no. 5, pp. 1525-1533, 2012.
[24] M. Ehrgott, *Multicriteria optimization*. Springer Science & Business Media, 2005.
[25] A. Abraham and L. Jain, "Evolutionary multiobjective optimization," in *Evolutionary Multiobjective Optimization*: Springer, 2005, pp. 1-6.
[26] G. Eichfelder, *Adaptive scalarization methods in multiobjective optimization*. Springer, 2008.
[27] S. Shang, «A multiple criteria decision-making approach to estimate minimum environmental flows based on wetted perimeter," *River research applications,* vol. 24, no. 1, pp. 54-67, 2008.
[28] S.-h. Shang and X.-m. Mao, "Determination of minimum flood flow for regeneration of floodplain forest from inundated forest width-stage curve," *Water Science Engineering,* vol. 3, no. 3, pp. 257-268, 2010.
[29] S. Shang and S. Shang, "Simplified Lake Surface Area Method for the Minimum Ecological Water Level of Lakes and Wetlands," *Water Science Engineering,* vol. 10, no. 8, p. 1056, 2018.
[30] s. Ramsar, "the Ramsar List of Wetlands of International Importance," http://archive.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-list/main/ramsar/1-31-218_4000_0__, 2014.
[31] A. C. Company, "Manual for determining the water requirement of wetlands," (in persian), pp. 75-85, 1392, Art. no. 22.
[32] M. Abbaspour and A. Nazaridoust, "Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach," *International Journal of Environmental Studies,* vol. 64, no. 2, pp. 161-169, 2007.
[33] G. m. R. Zolfaghari s., Habibnejad m.,Afkhami m., "Investigation and assessment of environmental flow by hydrological method (case study: Shadegan Wetland)," (in persian), vol. 3, no. 8, pp. 67-70, 2009.
[34] A. Castellarin, G. Galeati, L. Brandimarte, A. Montanari, and A. Brath, "Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins," *Advances in Water Resources,* vol. 27, no. 10, pp. 953-965, 2004.
[35] S. T. K. B. R. L. Taghavi, «Determination of environmental water requirement of Miankaleh wetland," (in persian), *Journal of environmental science and technology* vol. 16, *Journal of environmental management,* vol. 148, pp. 112-123, 2015.
[7] K. Song, Wang, Z., Li, L., Tedesco, L., Li, F., Jin, C., & Du, J. , "Wetlands shrinkage, fragmentation and their links to agriculture in the Muleng–Xingkai Plain, China," *Journal of environmental management* vol. 111, pp. 120-132, 2012.
[8] S. Sajedipour, H. Zarei, and S. Oryan, "Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: A case study of Bakhtegan Lake, Iran," *Ecological Engineering,* vol. 100, pp. 246-255, 2017.
[9] J. Lu, "Estuary ecology," ed: Beijing: Ocean Press, 2003.
[10] X. Liu, Z. Yang, S. Yuan, and H. X. Wang, "A novel methodology for the assessment of water level requirements in shallow lakes," *Ecological engineering,* vol. 102, pp. 31-38, 2017.
[11] Beca, "Draft guidelines for the selection of methods to determine ecological flows and water levels," R. p. b. B. I. L. f. M. f. t. Environment, Ed., ed: Ministry for the Environment Wellington, 2008, p. 145.
[12] D. L. J. Tennant, "Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources," *Fisheries,* vol. 1, no. 4, pp. 6-10, 1976.
[13] C. J. Gippel and M. J. Stewardson, "Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows," *International Journal Devoted to River Research Management,* vol. 14, no. 1, pp. 53-67, 1998.
[14] K. D. Bovee, "A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology," *ەn Instream Flow Information Paper* 12. *Washington D C: Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services.,* 1982.
[15] T. Waddle, " PHABSIM for Windows: User's Manual and Exercises: Fort Collins, CO," *US Geological Survey,* vol. 2001, no. 340, 2001.
[16] J. King, D. Louw, and Management, "Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology," *Aquatic Ecosystem Health,* vol. 1, no. 2, pp. 109-124, 1998.
[17] R. E. Tharme, "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers," *River research,* vol. 19, no. 5-6, pp. 397-441, 2003.
[18] I. G. Jowett, "Instream flow methods: a comparison of approaches," *Regulated Rivers: Research & Management* vol. 13, no. 2, pp. 115-127, 1997.
[19] D. Conway, "Extreme rainfall events and lake level changes in East Africa: recent events and historical precedents," in *The East African great lakes: limnology, palaeolimnology and biodiversity*: Springer, 2002, pp. 63-92.
[20] Z. Xu, M. Chen, and Z. Dong, "Researches on the calculation methods of the lowest ecological water level of lake," *Acta Ecologica Sinica,* vol. 24, no. 10, pp. 2324-

River, IRAN," (in persian), *Eco Hydrology,* vol. 5, no. 3, pp. 753-762, 2018.

[39] C. W. Clark and M. Mangel, *Dynamic state variable models in ecology: methods and applications*. Oxford University Press on Demand, 2000.

[40] S. Shang, "System Analysis of Water Resources: Methods and Applications," ed: Beijing: Tsinghua University Press, 2006.

[41] J. Stoer and R. Bulirsch, *Introduction to numerical analysis*. Springer Science & Business Media, 2013.

[42] N. L. Poff, R. E. Tharme, and A. H. Arthington, "Evolution of environmental flows assessment science, principles, and methodologies," in *Water for the environment*: Elsevier, 2017, pp. 203-236.

no. 2, pp. 101-109, 2014.

[36] m. sedighkia, S. A. Ayyoubzadeh, and M. Hajiesmaeli, "Investigation on the necessities of Instream Flow Needs assessment in the rivers using hydro-ecological methods (Case study: Delichai river in Tehran, Iran)," (in persian), *Eco Hydrology,* vol. 2, no. 3, pp. 289-300, 2015.

[37] J. Behmanesh, S. Mostafavi, and S. Z. Ghavidel, "Use of Soft Calculations at Estimation and Prediction of Environmental Flow Discharge (Case Study: Khorkhoreh Chay River)," (in persian), *Civil And environmental Engineering,* vol. 47, no. 88, pp. 9-22, 2017.

[38] F. Fatemeh, E. Kumars, and B. Sogand, "Determination of the Environmental Flow Requirements for the SefidRud

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

R. Eskandari, J. Parsa, R. Khanjani, Estimation of Minimum Ecological Water Level of GooriGol Wetland Using a Multi-Objective Programming Model, Amirkabir J. Civil Eng., 52(7) (2020) 1621-1636.

DOI: 10.22060/ceej.2019.15563.5951

این صفحه عمداً خالی است