

مقاله پژوهشی

## ارزیابی اثرات بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بر حیات تالاب انزلی

هادی مدبری<sup>۱</sup>، علیرضا شکوهی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۵

### چکیده

در این مطالعه اثرات بهره‌برداری از شبکه آبیاری زهکشی سفیدرود بر تالاب بین‌المللی انزلی در چارچوب IWRM بررسی می‌شود. بدین منظور ابتدا مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیکی اعم از تراز سطح آب، مساحت و حجم تالاب انزلی با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی در دو سطح مطلوب و حداقل تعیین گردید. پس از بررسی شرایط کنونی تالاب، ارتباط بین جریان ورودی به تالاب با سیستم بهره‌برداری بالادست با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی شد و مدل برای سناریوی مبنا با شاخص‌های آماری  $R^2$  و RMSE به ترتیب معادل ۰/۹۹ و ۰/۴۷ و اسنجی گردید. نتایج تحلیل سناریوها در شرایط مختلف نشان داد که در حال حاضر حجم و تراز تالاب از نظر کمی بیشتر وابسته به تراز دریا بوده و دبی ورودی به تالاب فقط در شرایط سیلابی می‌تواند تأثیر خود را بر حجم و تراز تالاب نشان دهد. براساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت که حیات اکولوژیکی تالاب انزلی بیش از آنکه تحت تأثیر مدیریت کمی منابع آب در بالادست تالاب و برداشت آب از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود برای مصارف کشاورزی، دامپروری و آبیان باشد از تخلیه تالاب به پایین دست تأثیر می‌پذیرد.

**واژه‌های کلیدی:** تالاب انزلی، خدمات اکولوژیکی، شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، مدل WEAP

### مقدمه

واحد مناسب برای تحلیل مسائل مدیریت جامع منابع آب شناخته شده است (Sandoval-Solis et al., 2015). عدم توجه به مدیریت آب در سطح حوضه آبریز باعث ایجاد مسائلی از قبیل تأثیرات نامناسب مصارف بالادست بر مصرف‌کنندگان پایین‌دست، عدم رعایت عدالت اجتماعی و بروز نابرابری‌ها، تأمین نشدن نیازهای حداقل زیست محیطی و تخریب محیط زیست و بهینه نبودن برآیندهای اقتصادی می‌شود (Vinten et al., 2019). استفاده از آب در یک بخش یا در یک سطح و مکان در حوضه آبریز، اثرات مستقیمی بر کیفیت و کمیت آب برای دیگر بخش‌ها و دیگر سطوح و مناطق حوضه دارد. یکی از ابعاد این اندرکنش‌ها، اثرات فعالیت‌ها در بالادست بر وضعیت پایین دست و دیگری تأثیرپذیری متقابل اقدامات بر وضعیت بین سطوح مختلف حوضه است (Zou et al., 2018). از این رو، لازم است که در مدیریت جامع منابع آب اثرات توسعه منابع آب در بالادست حوضه بر شرایط پایین دست بررسی شود. پژوهش حاضر در صدد ارزیابی اثرات بهره‌برداری از منابع آب سطحی در حوضه بالادست بر وضعیت تالاب انزلی است. با توجه به پیچیدگی و متنوع بودن منابع و مصارف در حوضه بالادست این تالاب و لزوم مطالعه یکپارچه پایین دست و بالادست، اساس پژوهش بر مبنای اصول IWRM گذاشته شد. برای انجام تحلیل جامع روی منابع و مصارف در بالادست و پایین دست نیاز به استفاده از نرم‌افزارهایی است که بتوانند این مهم را با احتساب کلیه پارامترهای بیلان منابع آب (در اینجا سطحی) به انجام برسانند. طی سال‌های گذشته نرم‌افزارها و

به دلیل محدودیت منابع و ارزش اقتصادی روزافزون آب به عنوان یک زیرساخت اصلی برای توسعه کلیه بخش‌ها، مدت‌ها است که نیازهای اکولوژیک طبیعت نادیده گرفته شده و عملاً آبی که در سال‌های متمادی در اختیار طبیعت قرار داشته و موجب تکامل و تکوین اکوسیستم‌ها شده بود، به تدریج به مصارف انسانی تخصیص داده شده است. بر اثر این فرآیند برخی اکوسیستم‌های طبیعی آسیب‌های جدی دیده‌اند (Shokoohi and Amini, 2014). همچنین عدم توجه به مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) در سطح حوضه‌های آبریز سبب تخریب و از بین رفتن تالاب‌ها و خدمات اکوسیستمی مرتبط با آن‌ها شده و اثرات نامطلوب زیادی بر معیشت جوامع محلی برجای گذاشته است. در این راستا و در طی دو دهه اخیر تصمیم‌گیران در سطح مدیریت حوضه جهت رفع این چالش بزرگ به این نتیجه رسیدند که باید تا حد امکان از نگاه بخشی به مصرف‌کنندگان فاصله گرفته و مدیریت یک حوضه آبریز را به صورت یکپارچه در نظر گرفت (Meng et al., 2019). در کنفرانس سازمان ملل متحد در مورد محیط زیست و توسعه، حوضه آبریز به عنوان یک

۱- عضو هیئت علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران

۲- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

(\* نویسنده مسئول: Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.17.8

تقاضای محلی و کشاورزی بسیار ضروری است. در ایران نیز، مرادی (۱۳۹۳) به ارزیابی مدیریت منابع آب با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی حوضه کبودآهنگ) پرداخت. با استفاده از این مدل ابتدا منابع و مصارف آب موجود در منطقه شبیه‌سازی گردید و مشخص شد که در حال حاضر در دشت کبودآهنگ مدیریت منابع آب به خوبی صورت نمی‌گیرد و با ادامه شرایط موجود کسری مخزن آب زیرزمینی ادامه خواهد یافت. سپس برای بررسی وضعیت منابع و مصارف آب موجود در منطقه در سال‌های آینده تأثیر چهار سناریوی افزایش جمعیت، افزایش سطح زیرکشت کشاورزی، افزایش راندمان آبیاری و کاهش آب مورد نیاز نیروگاه شهید مفتاح در بخش صنعت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش جمعیت تأثیر چندان زیادی بر کسری مخزن آب زیرزمینی ندارد ولی افزایش سطح زیرکشت کشاورزی موجب افت بیشتر مخزن زیرزمینی می‌شود. قره سوفلو و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ای به برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب تحت سناریوی مدیریتی WEAP در حوضه گرگانود پرداختند. در این راستا ابتدا حوضه آبریز گرگانود با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی شد و مدل برای شرایط پایه و سه سناریوی مختلف اجرا گردید. نتایج نشان داد که از بین روش‌های هیدرولوژیکی به‌کارگرفته‌شده جهت حفظ نیازهای زیست‌محیطی پائین‌دست حوضه، روش 7Q10 در مقایسه با سایر روش‌ها مقادیر کمتری را در سال نشان داده و روش Q90 مقادیر بیشتری از سایر روش‌ها پیشنهاد می‌نماید. بر اساس سناریوهای شبیه‌سازی‌شده تنها در حالت اعمال نیاز زیست‌محیطی با روش 7Q10 امکان تأمین استاندارد نیازهای پیش‌بینی‌شده برای سدها و همچنین برداشت‌های مستقیم از حوضه میانی وجود دارد. همانند نیاز کشاورزی، نیاز صنعت نیز در تمامی سناریوها به‌جز سناریوی 7Q10 به‌طور کامل تأمین نمی‌شود و دارای کمبود قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. این تحقیقات بیانگر توانایی نرم‌افزار WEAP به عنوان ابزاری کارآمد به منظور تصمیم‌گیری در مدیریت یکپارچه منابع آب می‌باشد.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی منابع و مصارف در چارچوب بیابان حوضه تالاب انزلی و ارزیابی گزینه‌های مختلف سناریوهای تخصیص منابع آب با مد نظر قرار دادن اصول IWRM در حوضه آبریز تالاب می‌باشد. در این مقاله نشان داده خواهد شد که تالاب در مقابل بهره‌برداری از منابع آب تغذیه‌کننده تالاب برای کشاورزی و با درصدی کمتر برای شرب و صنعت چه واکنشی نشان خواهد داد. در این حالت با اعمال تغییرات بر ورودی تالاب در محدوده‌ای متنوع و بخصوص در حالت حدی و خارج از توان تحمل تالاب (به‌وسیله جریان زیست‌محیطی تالاب تعریف خواهد شد)، میزان تأثیر متغیرهای مزبور بر کارکردها، خدمات و حیات تالاب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مدل‌های زیادی جهت مدیریت منابع آب توسعه داده شد. بسیاری از این مدل‌ها با شبیه‌سازی حوضه آبریز مشخص می‌نمایند که اگر از یک گزینه و سیاست خاص استفاده شود در طول زمان و در گستره مکان، احتمالاً چه اتفاقی خواهد افتاد. به همین دلیل در شبیه‌سازی معمولاً مسائل به‌صورت سناریوهای "اگر-آنگاه که" مطرح می‌گردند. در واقع به کمک این مدل‌ها می‌توان مسائل را مورد ارزیابی دقیق‌تری قرار داد. یکی از این نرم‌افزارهای پرکاربرد و قدرتمند در این زمینه مدل WEAP بوده که از سال ۱۹۹۰ به بازار عرضه (Siber et al., 2005) و در حوضه‌های زیادی در سراسر جهان و ایران مورد استفاده قرار گرفته است. Li و همکاران در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی کارایی مدل WEAP در برآورد راهبرد مدیریت منابع آب در کشور چین پرداختند. این پژوهش در منطقه Shenzhen انجام شد که به عنوان یک منطقه ویژه اقتصادی شناخته شده است. در این منطقه به دلیل کمبود شدید آب، توسعه پایدار مناطق ساحلی شدیداً به خطر افتاده است. هدف از این پژوهش برآورد وضعیت تخصیص منابع آب در آینده در این منطقه و همچنین تعیین حبابه زیست‌محیطی مناطق ساحلی این منطقه بود. در این پژوهش از مدل WEAP به همراه سه سناریوی متفاوت در برآورد پایداری منابع محدود آبی منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد که فشار وارده روی منابع آبی منطقه در آینده بسیار زیاد شده و نیاز به برنامه‌ریزی فوری دارد. Adgolign و همکاران در سال ۲۰۱۶ به مدل‌سازی منابع آب‌های سطحی و تخصیص آن در غرب اتیوپی با استفاده از مدل WEAP پرداختند. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی تأثیر توسعه منابع آبی جهت افزایش دسترسی به منابع آب در طول جریانات رودخانه‌ای و تعیین زیر حوضه‌های حساس به کمبود آب بود. در این بررسی از مدل WEAP برای شبیه‌سازی تخصیص منابع آب سطحی در سطح زیر حوضه‌ها و با توجه به میزان تقاضای آب پرداخته شد. جهت ارزیابی میزان نیاز آبی محصولات از نرم افزارهای ویژه استفاده شد. نتایج نشان داد که سه سناریوی مختلف را برای منطقه می‌توان فرض کرد که تا سال ۲۰۵۰ را پیش‌بینی کند. در آخرین سال سناریو، یعنی سال، ۲۰۵۰ میزان جریان سطحی رودخانه Didessa در حدود ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. Boukila-Hassane و همکاران در سال ۲۰۱۶ به ارزیابی چشم انداز سیستم یکپارچه مدیریت آب در منطقه اوران پرداختند. در این بررسی از مدل WEAP استفاده شد. منطقه مورد مطالعه یکی از بزرگترین حوضه‌های جنوب الجزیره بود و بر اساس سناریوهای تعریف شده تا سال ۲۰۳۰ وضعیت منابع آب مشخص شد. هدف اصلی این بررسی ارزیابی استفاده از یک سیستم مدیریت یکپارچه در سراسر منطقه بود که بتواند تقاضای مناطق مختلف را از نظر فرآیندهای هیدرولوژیکی مورد توجه قرار دهد. نتایج نشان داد که حساسیت منطقه مورد مطالعه در مقابل فشارهایی که در آینده به منابع آبی منطقه وارد خواهد شد بسیار زیاد است. در نتیجه نیاز به ایجاد یک سیستم مدیریت یکپارچه

## مواد و روش‌ها

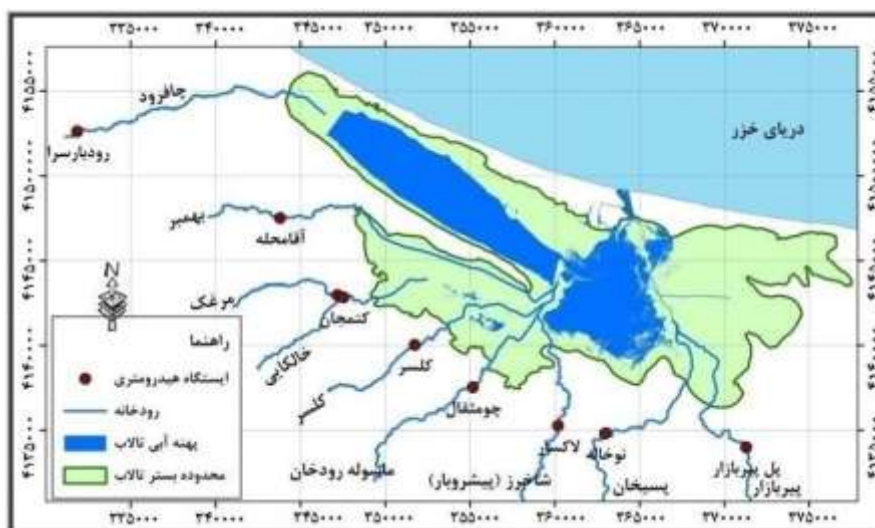
تالاب بین‌المللی انزلی در جنوب شرقی دریای خزر واقع گردیده و خدمات و کارکردهای بسیاری را به حاشیه‌نشینان خود ارائه می‌نماید. این تالاب با وسعتی در حدود ۱۵۰۰۰ هکتار یکی از ۲۴ تالاب بین‌المللی ایران است که در سال ۱۳۵۴ به همراه ۱۸ تالاب دیگر به دفتر کنوانسیون رامسر معرفی شد (Ashouri and Abdous, 2013).

### رودخانه‌های ورودی به تالاب

مهم‌ترین رودخانه‌هایی که به تالاب انزلی می‌پیوندند از غرب به شرق شامل چافرود، بهمبر، مرغک، خالکابی، پلنگ‌ور، ماسوله‌رودخان، پیش رودبار (شاخرز)، پسیخان و پیربازار (مجموع دو شاخه سیاهرود و گوهررود) می‌باشند. این رودخانه‌ها تماماً دارای جریان دائمی بوده و از ارتفاعات جنوب غرب منطقه سرچشمه گرفته و در جهت شمال شرق جریان می‌یابند و پس از عبور از دشت فومنات و بخش مرکزی گیلان و تأمین نیاز آبی منطقه به تالاب انزلی می‌ریزند (JICA, 2005). شکل ۱ رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی را نمایش می‌دهد.

مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه تالاب انزلی، به دلیل تأثیر رودخانه‌های ورودی به تالاب بر روی حبابه زیست‌محیطی آن، مستلزم شناخت کلیه مصارف و منابع مربوط به حوضه تالاب شامل حوضه فومنات و بخشی از دشت مرکزی گیلان می‌باشد. از آنجاکه کشاورزی اصلی‌ترین بخش مصرف در حوضه تالاب انزلی بوده و مهم‌ترین منبع تأمین آب این اراضی که عمدتاً اراضی شالیزاری می‌باشند، رودخانه‌های ورودی به تالاب و شبکه آبیاری سد سفیدرود می‌باشد لذا در این بخش، پس از معرفی موقعیت تالاب سعی گردید که درباره واحدهای عمرانی شبکه آبیاری سد سفیدرود در حوضه تالاب انزلی که به نحوی با حبابه زیست‌محیطی تالاب در تعارض هستند، توضیحاتی ارائه شود تا بتوان با نگاهی جامع، میزان تأثیر برداشت آب در بالادست را بر وضعیت تالاب در سناریوهای مدیریتی متفاوت تخمین زد.

### محدوده مورد مطالعه



شکل ۱- رودخانه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری مستقر بر آنها در ورودی به تالاب انزلی (JICA, 2005)

واحد را نشان می‌دهد.

### روش انجام کار

پژوهش برای رسیدن به اهداف تعیین شده در سه گام انجام شده است:

### واحدهای عمرانی در حوضه تالاب انزلی

شکل ۲ واحدهای عمرانی موجود در شبکه آبیاری سفیدرود که در حوضه تالاب انزلی قرار دارند را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۲ مشخص می‌گردد تمامی واحدهای عمرانی بخش فومنات شامل F1, F2, F3, F4, F5 و تعدادی از واحدهای عمرانی بخش مرکزی شامل G4, G5, G6, G7 در حوضه تالاب انزلی قرار دارند. جدول ۱ مشخصات کلی واحدهای عمرانی ذکر شده و منابع و مصارف هر

جدول ۱- مشخصات کلی واحدهای عمرانی حوضه تالاب انزلی و منابع و مصارف هر واحد (پایگاه داده شرکت آب منطقه‌ای گیلان)

| منابع (حجم آب تحویلی برحسب میلیون متر مکعب) |            | مصارف (مساحت محصولات کشاورزی برحسب هکتار) |          |                               |       |    |
|---|------------|---|----------|-------------------------------|-------|----|
| رودخانه ها                                  | کانال فومن | کانال سنگر                                | کشت برنج | سایر محصولات و سایر کاربری ها | کل    |    |
| ۶۵/۱  | ۸۶/۸       | --  | ۱۶۴۶۸    | ۵۰۹۹                          | ۲۱۵۶۷ | F1 |
| ۶۲/۲  | ۱۱۷/۹      | --  | ۱۹۶۸۴    | ۸۳۳۹                          | ۲۸۰۱۳ | F2 |
| ۵۲/۶  | ۵۷/۹       | --  | ۹۲۰۸     | ۴۴۳۳                          | ۱۳۶۴۱ | F3 |
| ۳۲/۷  | ۹۴/۱       | --  | ۷۹۸۷     | ۷۹۶۵                          | ۱۵۹۵۲ | F4 |
| ۵/۱   | ۲۹/۱       | --  | ۳۴۲۷     | ۱۷۱۳                          | ۵۱۴۰  | F5 |
| --  | --         | ۲۳۷/۸                                     | ۲۴۴۳۱    | ۸۸۴۴                          | ۳۳۲۷۵ | G4 |
| --  | --         | ۵۵/۲                                      | ۵۶۶۶     | ۲۰۳۱                          | ۷۶۹۷  | G5 |
| --  | --         | ۲۲۱/۶                                     | ۱۳۲۲۹    | ۱۴۲۷۵                         | ۲۷۵۰۴ | G6 |
| ۴/۵   | ۳۷/۵       | --  | ۴۵۴۹     | ۷۱۹                           | ۵۲۶۸  | G7 |



شکل ۲- واحدهای عمرانی شبکه آبیاری سفیدرود در حوضه آبریز تالاب انزلی (مهندسی مشاور پندام، ۱۳۸۱)

### تعریف شرایط هدف‌گذاری شده در تالاب انزلی به صورت

#### سناریوهای مینا در دو سطح حداقل و مطلوب

شرایط مطلوب اکوهیدرولوژیکی برای تالاب به نحوی تعریف می‌شود که با داشتن گونه گیاهی و یا جانوری شاخص نیاز آبی تالاب پاسخگوی گونه انتخابی موردنظر در بهترین شرایط باشد و هیچ‌گونه کاهش جمعیتی برای حضور آن گونه و یا آشیانه‌سازی آن در تالاب اتفاق نیفتد. همچنین شرایط حداقل اکوهیدرولوژیکی برای تالاب

مقدار آب در کمترین میزانی است که اگر حجم یا سطح یا عمق آب از آن کمتر شود، گونه موردنظر دچار انقراض شده و یا به تالاب مراجعت ننماید. در این حالت حجم آب به‌دست‌آمده نسبت به شرایط نرمال کاهش قابل‌توجهی پیدا می‌کند.

(واحد‌های عمرانی شبکه آبیاری زهکشی سفیدرود)، مؤلفه‌های برداشت (برداشت از رودخانه و کانال فومن و سنگر) و آب برگشتی (زهاب واحد‌های عمرانی)، مؤلفه انحراف آب (برداشت آب به‌منظور پرورش ماهی و سایر مصارف) و مؤلفه مخزن (مخزن تالاب انزلی) می‌باشند.

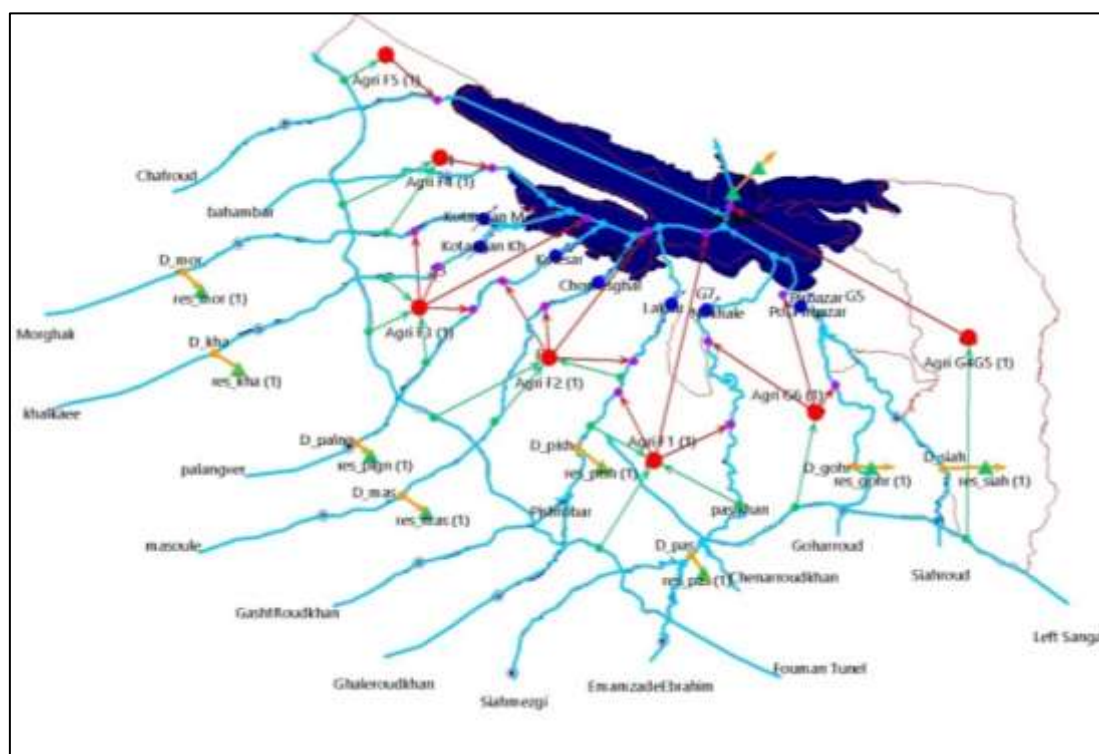
مشخصات هندسی مخزن (تالاب انزلی) به‌صورت منحنی‌های حجم-ارتفاع برگرفته‌شده از نقشه‌ی DEM تالاب در قسمت مشخصات مؤلفه مخزن معرفی شد. با ایجاد مؤلفه‌های تقاضا برای هر یک از واحد‌های عمرانی، مشخصات آن‌ها شامل سطح زیرکشت، نیاز آبی اراضی کشاورزی در طول دوره آبیاری، توزیع ماهانه نیاز آبی و درصد مصرف آب به‌منظور محاسبه آب برگشتی از آبیاری به مدل معرفی شدند. نیاز آبی هر واحد عمرانی عمدتاً از طریق کانال آبرسان اصلی (فومن و سنگر) و رودخانه‌ها تأمین می‌شود که با مؤلفه‌ی مربوطه، انتقال آب به هر واحد عمرانی تعریف گردید. به‌منظور محاسبه مقادیر رواناب سطحی در بازه‌ی بین ایستگاه هیدرومتری بالادست و پایین‌دست هر رودخانه، از ضرایب رواناب ماهانه هر ایستگاه هیدرومتری (مطالعات شرکت مهندسی مشاور آذر پیمایش، ۱۳۹۰) استفاده شد و مقادیر رواناب تولیدشده به‌عنوان دبی جریان در بازه‌ی Below River Head flow به مدل معرفی شدند. لازم به ذکر است که در مطالعات شرکت مشاور مذکور، برای هر یک از ماه‌های سال در طول دوره آماری مشخص، مقادیر حجم جریان رودخانه استخراج شده و با ایجاد چندضلعی‌های تیسن در محیط GIS شعاع تأثیر ایستگاه‌های باران‌سنجی هر یک از زیرحوضه‌ها به‌دست آمده است و با استفاده از روش تیسن مقادیر بارش متوسط هر یک از حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها محاسبه و در مقایسه با مقادیر جریان، ضریب رواناب محاسبه شده است. مقادیر دبی کانال‌های چپ سنگر و فومن و حجم آب تحویل داده‌شده به هر واحد عمرانی بر اساس برنامه اجرایی شبکه آبیاری زهکشی در سال ۱۳۹۵ در نظر گرفته شد. درصد سهم آب برگشتی هر واحد که از طریق زهکش‌های اصلی به رودخانه‌ها و یا تالاب می‌ریزند بر اساس نسبت مساحت تحت پوشش زهکش‌های اصلی به مساحت واحد عمرانی در محیط GIS محاسبه شدند. شکل ۳ نحوه پیکره‌بندی منابع آب را در حوضه آبریز تالاب انزلی در مدل WEAP نشان می‌دهد.

## ارزیابی ارتباط بین جریان ورودی به تالاب با رژیم جریان بالادست

به‌منظور ارزیابی ارتباط بین جریان ورودی به تالاب با رژیم جریان بالادست آن در حوضه، مسائل مربوط به نیاز آبی، هم‌زمان با مسائل مربوط به منابع آب در شرایط مختلف هیدرولوژیکی و سناریوهای مدیریتی در حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP و در چند گام شبیه‌سازی شد. در تعریف هر مطالعه در مدل WEAP لازم است چهارچوب زمانی، مرزهای مکانی، اجزای سیستم و تنظیمات مساله انجام شود. وضع موجود که از آن می‌توان به‌عنوان گام واسنجی مدل در شرایط توسعه استفاده کرد، یک تصویر کلی از نیازهای آبی واقعی، بارهای آلودگی، منابع و تأمین سیستم را نشان می‌دهد. در شرایط موجود، فرضیات کلیدی برای بیان سیاست‌ها، هزینه‌ها و عواملی که بر نیاز، آلودگی، تأمین و هیدرولوژی مؤثرند، تعریف می‌شود. سناریوها در شرایط موجود ساخته می‌شوند و با استفاده از آن‌ها می‌توان اثر فرضیات یا سیاست‌های مختلف را بر میزان دسترسی و مصرف آب در آینده بررسی کرد. نهایتاً سناریوها با توجه به میزان آب، هزینه‌ها و سودها، سازگاری با اهداف زیست‌محیطی و حساسیت به عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی ارزیابی می‌شوند. بنابراین قبل از برپایی مدل باید مسائل مدیریتی به شکل گزینه‌ها یا به‌عبارت‌دیگر سناریوهای مدیریتی تعریف گردد، چون بخشی از سیستم مربوط به همین گزینه‌های مدیریتی است و بستن سیستم بدون توجه به آن‌ها اشتباه می‌باشد. پس از بستن سیستم آنگاه نوبت برپایی مدل است. گام بعدی یعنی واسنجی و اعتبارسنجی مدل، قسمت اصلی کار محسوب می‌شود. واسنجی و اعتبارسنجی مدل با توجه به یک سری معیارها انجام می‌شود که انتخاب مناسب آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Siber et al., 2005). در این بخش مراحل مختلف کار با مدل WEAP شامل برپایی مدل، کالیبراسیون و تدوین سناریوهای مختلف برای تالاب انزلی به‌طور جداگانه شرح داده می‌شود.

### برپایی مدل

مدل WEAP برای شروع بکار نیاز به تعریف سناریوی مبنا در یک سال خاص که کلیه اطلاعات مربوط بدان در دسترس باشد دارد. در مقاله حاضر به‌منظور به‌کارگیری مدل WEAP در حوضه آبریز تالاب انزلی، وضعیت شرایط تالاب در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ به‌عنوان سناریوی مبنا در نظر گرفته شد. به‌منظور برپایی مدل، ابتدا مؤلفه‌های سیستم و تنظیمات مربوط به مساله معرفی شدند. مؤلفه‌های سیستم شامل مؤلفه رودخانه (شاخه‌های اصلی و فرعی رودخانه‌های منتهی به تالاب و کانال‌های آبرسان فومن و سنگر)، مؤلفه سنجش جریان (ایستگاه‌های هیدرومتری)، مؤلفه تقاضا



شکل ۳- پیکره‌بندی منابع در حوضه آبریز تالاب انزلی در مدل WEAP

### واسنجی مدل

واسنجی مدل فرآیندی است که در آن تعدادی از پارامترهای ورودی آنقدر تغییر داده می‌شوند تا مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده انطباق پیدا کنند. در این تحقیق، مقادیر منابع و مصارف رودخانه به عنوان پارامترهای واسنجی در نظر گرفته شدند. بدین منظور با در دست داشتن دبی ثبت شده در ایستگاه بالادست، مقدار برداشت آب از رودخانه برای مصارف کشاورزی و سایر ذینفعان بر اساس اطلاعات شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود و تغییر درصد آب برگشتی از کشاورزی و همچنین اعمال رواناب ناشی از بارندگی دبی رودخانه محاسبه شد. با مقایسه دبی شبیه‌سازی شده رودخانه در پایین دست با مقادیر ایستگاه آبسنجی فرآیند واسنجی در دوره آماری یک ساله صورت گرفت. برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل از ضریب تبیین (R2) (معادله ۱) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (معادله ۲) استفاده گردید.

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right]^2}{\left[ \frac{n \sum_{i=1}^n O_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n O_i \right]^2}{n-1} \right] \left[ \frac{n \sum_{i=1}^n P_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n P_i \right]^2}{n-1} \right]} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (2)$$

در این معادلات  $O_i$  و  $P_i$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر مشاهداتی و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

### تدوین سناریوهای مختلف

سناریوهای موردنظر در ۳ بخش الف) به صورت ۵ ماه از سال آبی که مصادف با دوره کشت محصولات کشاورزی شامل ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد، ب) ۷ ماهه دوم که برداشت از رودخانه به منظور مصارف در استخرهای پرورش ماهی یا شکار در اراضی شالیزاری شامل ماه‌های شهریور، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند می‌باشد و پ) حذف کل مصارف در کل سال مطابق جدول ۲ تدوین گردیدند. شایان ذکر است که در سناریوهای متعددی میزان برداشت در گام‌های ۱۰ درصدی کاهش داده شد که با توجه به نتیجه بدست آمده برای سناریوی ۵ یعنی "حذف کلیه مصارف و برداشت‌ها" از ذکر نتایج آنها خودداری شده است.



جدول ۲- سناریوهای تدوین شده در طول سال آبی

| ردیف | سناریو   |
|------|--|
| الف  | سناریوی ۱: کاهش ۱۰ درصد از مساحت زیر کشت هر واحد عمرانی<br>سناریوی ۲: کاهش ۱۰ درصد از نیاز آبی اراضی در طول دوره آبیاری<br>سناریوی ۳: کاهش ۱۰ درصد از مصارف و برداشت از رودخانه برای کشاورزی |
| ب    | سناریوی ۴: کاهش ۱۰ درصد از مصارف و برداشت از رودخانه برای پرورش ماهی و شکار  |
| پ    | سناریوی ۵: حذف کل مصارف و برداشت از رودخانه‌ها در طول سال  |

### ارتباط بین جریان رودخانه‌های ورودی به تالاب و شرایط اکوهیدرولوژیکی هدف‌گذاری شده در تالاب

پس از تدوین سناریوهای مختلف، محاسبات مربوط به حجم تالاب و تراز سطح آب آن به صورت ماهانه بر اساس تراز دریا و دبی ورودی به تالاب (از نتایج مدل) و تخییر خالص از سطح آب تالاب انجام شد. با داشتن روابط سطح-حجم-ارتفاع تالاب انزلی (مدبری و شکوهی، ۱۳۹۸) و دبی ورودی به تالاب می‌توان حجم و مساحت تالاب را با توجه به تراز سطح آب محاسبه نمود. اختلاف حجم مخزن بین دو ماه متوالی نشان‌دهنده مقدار حجم ذخیره شده و یا تخلیه شده در طول یک ماه می‌باشد. به عبارت ساده‌تر از تفاضل بین حجم ورودی به تالاب و حجم ذخیره شده در آن، میانگین حجم (دبی) خروجی از تالاب به صورت ماهانه بدست می‌آید. لازم به ذکر است، حجم آب ورودی به تالاب از مجموع حجم آب حاصل از دبی ماهانه رودخانه‌های ورودی به تالاب و حجم آب حاصل از مجموع میانگین ماهانه بارش و کسر کردن تخییر مستقیم از سطح تالاب به دست آمده است.

### نتایج و بحث

#### تعیین مساحت و حجم تالاب به روش جامع در شرایط مطلوب

جدول ۲- مقادیر تراز، سطح و حجم در شرایط مختلف اکولوژیکی تالاب (مدبری و شکوهی، a, b - ۱۳۹۹)

| فیزیوگرافی تالاب                           | میانگین مقادیر سطح شاخص هیدرولوژیکی مختلف |       | میانگین مقادیر سطح شاخص هیدرولوژیکی مختلف در شرایط مطلوب اقتصادی اجتماعی |              |
|--|---|-------|--|--------------|
|  | حداقل                                     | مطلوب | شاخص گردشگری   | شاخص گردشگری |
| تراز آب برحسب متر (m)                      | -۲۶                                       | -۲۵/۷ | -۲۶/۳  | -۲۶/۳        |
| مساحت برحسب کیلومترمربع (Km <sup>2</sup> ) | ۱۰۲                                       | ۱۲۲   | ۹۰   | ۹۰           |
| حجم برحسب میلیون مترمکعب (MCM)             | ۱۸۲                                       | ۲۳۷   | ۱۳۰  | ۱۳۰          |

#### تحلیل شرایط کنونی تالاب

به منظور تحلیل شرایط کنونی تالاب در وضعیت حاضر، ابتدا شرایط تالاب در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ بررسی گردید و با توجه به دبی

و حداقل با توجه به مطالعات مدبری و شکوهی (۱۳۹۸) مقادیر سطوح مختلف شاخص‌های هیدرولوژیکی اعم از تراز سطح آب، مساحت و حجم تالاب در شرایط مطلوب اقتصادی-اجتماعی و اکولوژیکی در جدول ۲ آمده است. از آنجایی که مقادیر به دست آمده شاخص‌های هیدرولوژیکی در رویکرد اقتصادی-اجتماعی از مقادیر متناظر آن در شرایط حداقل اکولوژیکی کمتر است لذا می‌توان استنباط نمود که با تأمین شرایط اکولوژیکی مناسب به منظور تعیین جریان زیست‌محیطی برای تالاب انزلی، عملاً وضعیت تالاب از نظر عمق جریان و دیگر عوامل هیدرولوژیکی اثرگذار آن چنان تعریف می‌گردد که شرایط مناسب از نظر مطلوبیت موردنظر در توابع اجتماعی-اقتصادی نیز مهیا شود. انتخاب عمق آب مناسب می‌تواند در بخش‌های مختلف اقتصادی مانند گردشگری و ماهیگیری مؤثر باشد به طوری که رعایت این عمق آب سبب افزایش جمعیت، زادآوری و مهاجرت ماهی‌ها شده و افزایش رفاه عمومی را برای ماهیگیران به همراه دارد (مدبری و شکوهی، a - ۱۳۹۹). همچنین عمق آب مناسب انتخاب شده، سبب جلوگیری از اختلال در رفت‌وآمد قایق‌هایی که برای تفریح گردشگران در تالاب مهیا شده‌اند، و همچنین رونق گردشگری و اکوتوریسم می‌شود (مدبری و شکوهی، b - ۱۳۹۹).

ورودی به تالاب و تراز دریا، تراز تالاب در سال آبی موردنظر محاسبه شد و آنگاه با استفاده از منحنی سطح-حجم-ارتفاع، مساحت و حجم تالاب در وضعیت حاضر مشخص گردید. جدول ۳ وضعیت تالاب را

میلیون متر مکعب شده است. یکی از دلایل مهم این کاهش حجم تالاب می‌تواند کاهش تراز سطح آب دریای خزر باشد.

در شرایط حاضر نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد تراز آب در حال حاضر ۲۶/۷۸- می‌باشد که سبب کاهش حجم تالاب به ۸۲

### جدول ۳- وضعیت شاخص‌های هیدرولوژیکی تالاب در وضعیت حاضر

| شرایط حاضر        | تراز سطح آب (متر) | مساحت (کیلومتر مربع) | حجم (میلیون متر مکعب) |
|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ | ۲۶/۷۸-            | ۶۱/۴۴                | ۸۲/۰۱                 |

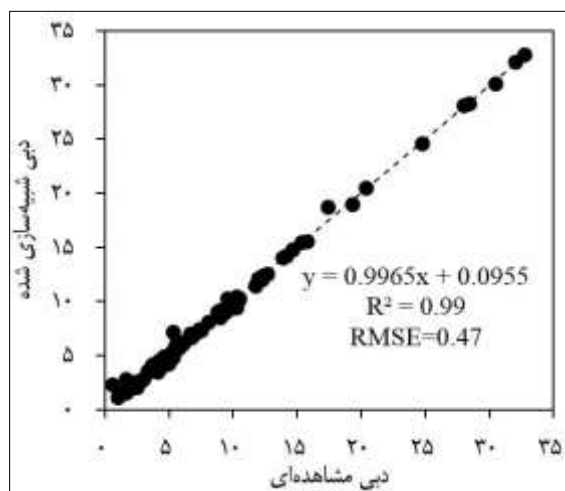
مشاهده شده در نظر گرفته شد. در شش ماهه اول سال آبی با در نظر گرفتن مصارفی همچون پرورش ماهی و یا آبیگری اراضی شالیزاری برای شکار پرندگان و همچنین با تغییر در مقادیر رواناب سطحی، دبی رودخانه واسنجی شد. در شش ماهه دوم نیز بر اساس حداکثر ظرفیت برداشت سردهنه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ موجود بر روی رودخانه‌ها و نیاز آبی ماهانه اراضی و همچنین سهم آب برگشتی به هر رودخانه، فرآیند واسنجی صورت گرفت. مقادیر نمایه‌های مربوط به واسنجی مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری پایین دست رودخانه‌های ورودی به تالاب مطابق شکل ۴ نشان داد که انطباق مطلوبی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده وجود داشته است و استفاده از این مدل جهت شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوها بلا مانع می‌باشد.

### نتایج حاصل از شبیه‌سازی حوضه آبریز

در این مرحله اجزای بیلان یعنی مقدار آب ورودی به رودخانه‌های بالادست تالاب (به عنوان تأمین کننده اصلی آب تالاب) در یک دوره زمانی خاص، میزان استفاده بخش‌های مختلف از آب و در نهایت اندازه‌گیری مقدار آبی که در پایین دست رودخانه و یا در واقع ورودی تالاب باقی خواهد ماند، محاسبه شد. در نهایت با تعریف مؤلفه‌های بیلان و استفاده از مدل WEAP مشخص گردید که سهم هر بخش از ذینفعان از منابع تأمین کننده آب تالاب چقدر است.

### واسنجی مدل WEAP در حوضه تالاب انزلی

به منظور واسنجی مدل، مقادیر دبی‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری پایین دست در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ به عنوان مقادیر



شکل ۴- مقایسه دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهده‌ای (m3/sec) در ایستگاه آبنسجی

همانطور که ذکر شد حجم آب ورودی به تالاب از مجموع حجم آب حاصل از دبی ماهانه رودخانه‌های ورودی به تالاب و حجم آب حاصل از مجموع میانگین ماهانه بارش با کم کردن تبخیر مستقیم در سطح تالاب به دست آمد. همچنین به منظور تخمین اثرات ناشی از اعمال تغییرات در برداشت از رودخانه‌ها برای مصارف غیر کشاورزی، حجم و مساحت تالاب در ۷ ماه باقی‌مانده از مقایسه سناریوی ۴ (جدول ۲) و مبنا استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت

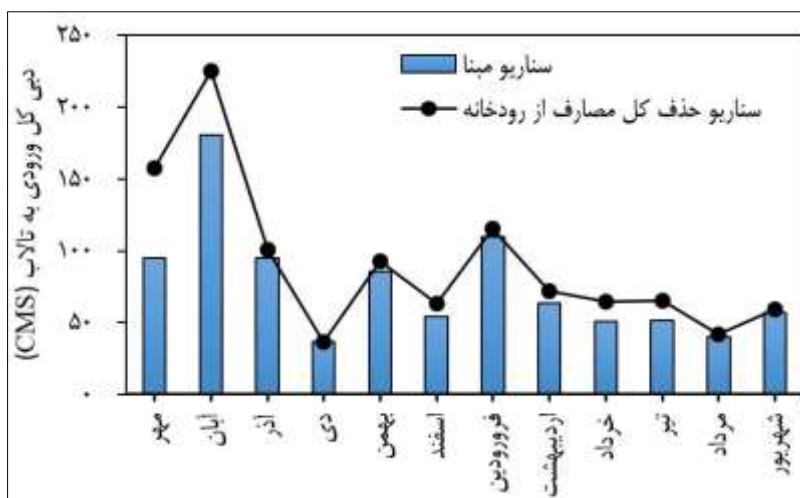
### نتایج شبیه‌سازی مدل برای سناریوهای مختلف

در این مرحله با تعیین سناریوهای مختلف، تأثیر تغییر در مصارف و برداشت از رودخانه بر دبی کل ورودی به تالاب بررسی شد. مقایسه نتایج مدل در سناریوهای مختلف نسبت به سناریوی مبنا نشان داد که سناریوهای ۱ تا ۳ در جدول ۲ (یعنی کاهش ۱۰ درصدی سطح زیرکشت، نیاز آبی و تأمین آب) تغییر محسوسی بر دبی ورودی به تالاب و تراز تالاب در ۵ ماه کشت اراضی شالیزاری ایجاد نمی‌کند.

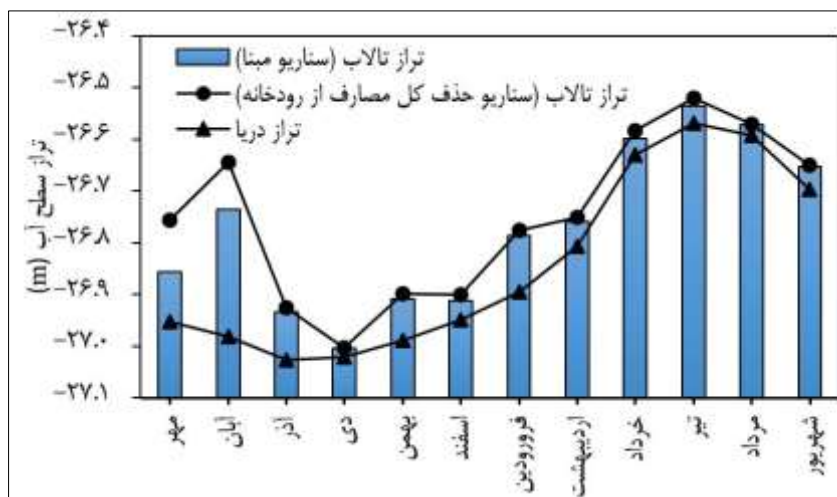


(مصارف کشاورزی) و ۷ ماه دیگر از سال (پرورش ماهی و شکار) حذف گردید. مقایسه نتایج سناریوی ۵ و سناریوی مینا نشان داد که دبی کل ورودی به تالاب حدود ۶۳ مترمکعب بر ثانیه در ماه مهر و آبان و حدود ۱۵ مترمکعب بر ثانیه در ماه خرداد و تیر افزایش می‌یابد. نکته جالب توجه این بود که این افزایش دبی نیز تأثیر چندانی بر حجم و مساحت تالاب نداشت. شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ به ترتیب دبی کل ورودی به تالاب، تراز سطح آب، مساحت و حجم تالاب را در سناریوی حاضر و سناریوی ۵ یعنی حذف کلیه برداشت‌ها از مجموع رودخانه‌های ۹ گانه ورودی به تالاب را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

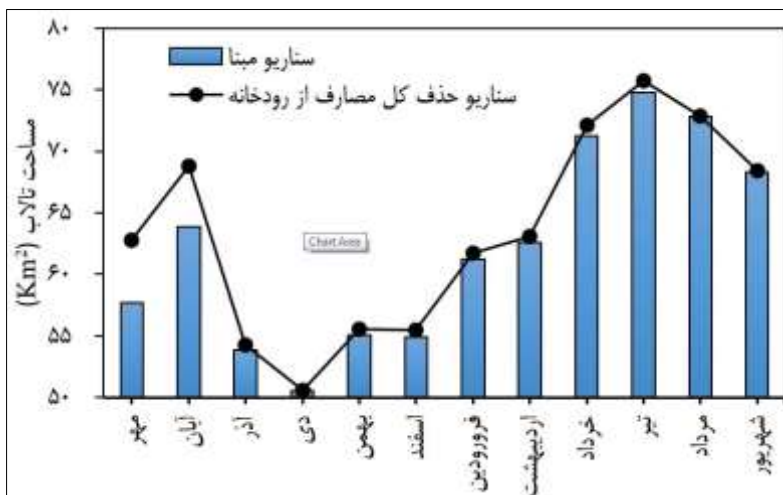
که کاهش برداشت آب از رودخانه در سناریوی ۴ نیز هیچ تغییری بر روی حجم آب تالاب ایجاد نمی‌کند. با توجه به نتایج بدست آمده، در مرحله بعد همان سناریوهای ۱ تا ۴ ولی با ۲۰ و ۴۰ درصد کاهش برداشت از رودخانه‌های ورودی به تالاب نیز انجام پذیرفت که نتایج آن سناریوها هم نشان داد که تغییرات برداشت در رودخانه‌ها تأثیری معنی‌دار بر روی حجم و مساحت تالاب ندارد. با توجه به موارد ذکر شده نتیجه گرفته شد که سناریویی تحت عنوان سناریوی ۵ توسعه داده شود. این سناریو در یک حالت حدی به حذف کلیه مصارف و برداشت کشاورزی از رودخانه‌ها مبادرت می‌ورزد و در واقع به مفهوم قبول بهترین شرایط برای مقدار جریان ورودی به تالاب می‌باشد. بر این اساس در این سناریو کلیه برداشت‌ها از رودخانه در ۵ ماه از سال



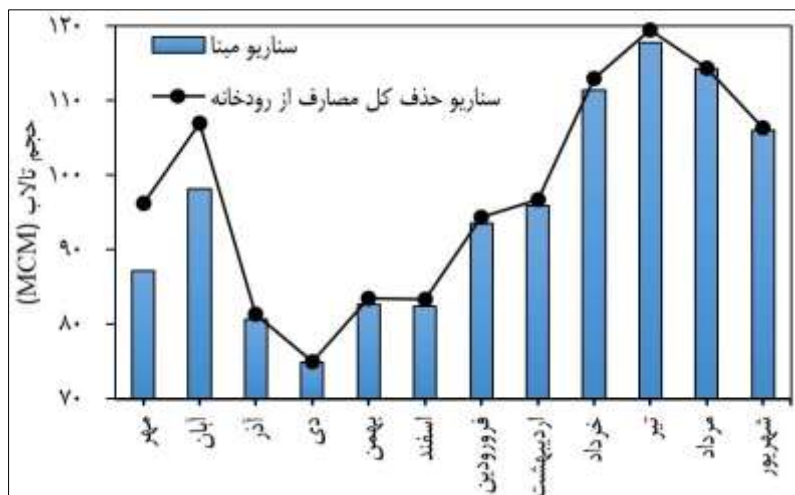
شکل ۵- مقایسه دبی کل ورودی به تالاب در سناریوهای مینا و حذف کل مصارف از رودخانه



شکل ۶- مقایسه تراز سطح آب در دریا و سناریوهای مینا و حذف کل مصارف از رودخانه



شکل ۷- مقایسه مساحت تالاب در سناریوهای مینا و حذف کل مصارف از رودخانه



شکل ۸- مقایسه حجم تالاب در سناریوهای مینا و حذف کل مصارف از رودخانه

برقرار است و شرایط حاضر (۹۵-۱۳۹۴) نشان داد که تراز، مساحت و حجم آب تالاب کاهش یافته است. جدول ۴ مقادیر تراز سطح آب، مساحت و حجم تالاب را در سال‌های مورد مقایسه نشان می‌دهد.

تعیین علل تغییرات احتمالی تالاب در شرایط حاضر با شرایط هدف‌گذاری شده و ارائه راه حلی برای بازگشت تالاب به شرایط مطلوب

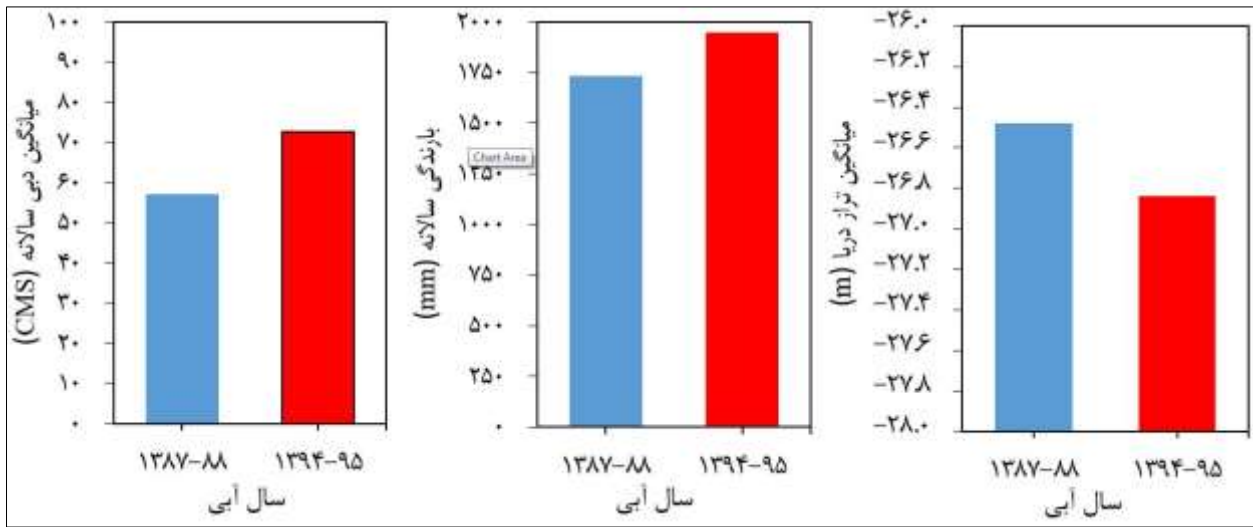
مقایسه سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ که در آن حداقل شرایط اکولوژیکی

جدول ۴- مقادیر تراز سطح آب، مساحت و حجم تالاب در سال‌های آبی ۸۸-۱۳۸۷ و ۹۵-۱۳۹۴

| سال آبی       | تراز سطح آب تالاب (متر) | مساحت تالاب (کیلومتر مربع) | حجم تالاب (میلیون مترمکعب) |
|---------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| حداقل ۸۸-۱۳۸۷ | -۲۶                     | ۱۰۲                        | ۱۸۲                        |
| حاضر ۹۵-۱۳۹۴  | -۲۶/۷۸                  | ۶۱                         | ۸۲/۰۱                      |

به سال ۱۳۸۸ با کاهش روبرو شده است. اولین نتیجه‌ای که از این ارزیابی حاصل می‌گردد آن است که دبی ورودی به تالاب در مقابل تراز دریا، تأثیر زیادی بر روی تراز، مساحت و حجم تالاب ندارد.

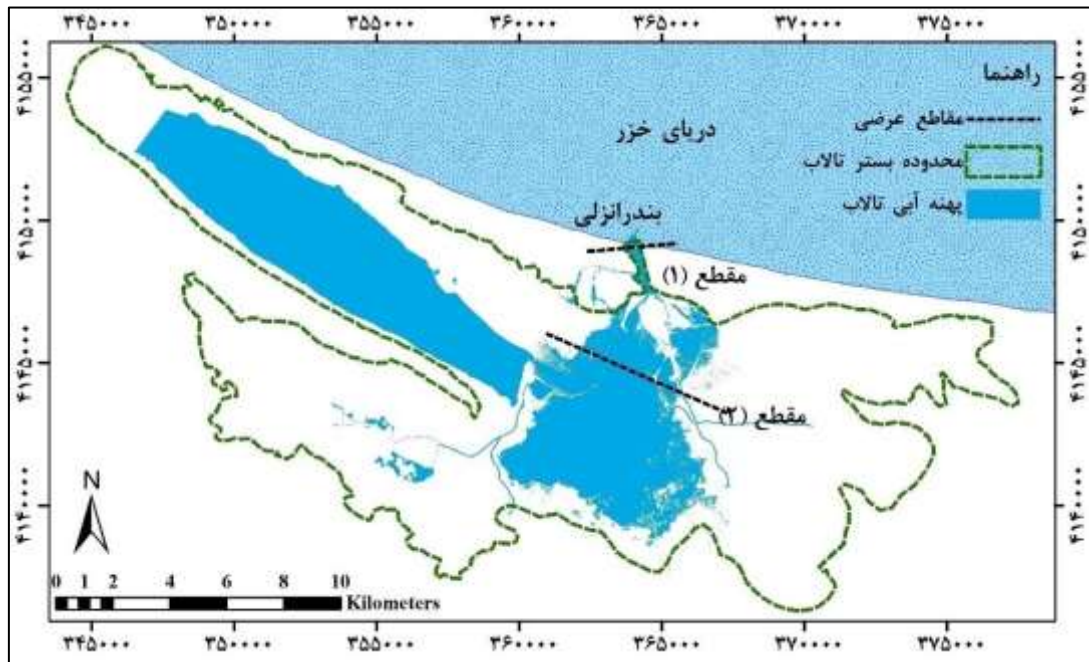
به‌منظور بررسی دلایل این تغییرات سه عامل مهم دبی ورودی به تالاب، بارندگی و تراز دریا در نظر گرفته شدند. همانطور که در شکل ۹ ملاحظه می‌گردد مقادیر بارندگی سالانه و دبی ورودی به تالاب در وضعیت حاضر افزایش یافته است اما تراز دریا حدود ۰/۳۶ متر نسبت



شکل ۹- مقایسه مقادیر بارندگی، دبی ورودی به تالاب و تراز آب دریا در سال‌های آبی ۱۳۸۷-۸۸ و ۱۳۹۴-۹۵

جریان از تالاب تا دهانه خروجی تالاب که متصل به دریا است بدست آورد. شکل ۱۰، مقاطع فرضی انتخاب شده در انتهای کانال خروجی و داخل تالاب را نشان می‌دهد.

همچنین با برقراری معادله برنولی بین دو مقطع در انتهای کانال خروجی تالاب و داخل تالاب می‌توان رابطه میان اختلاف تراز سطح آب دریا و تالاب را بر حسب سرعت جریان خروجی و افت اصطکاکی



شکل ۱۰- مقاطع فرضی انتخاب شده در انتهای کانال خروجی و داخل تالاب

$$WL_2 + \frac{V_2^2}{2g} = WL_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_f \quad (3)$$

در معادله ۳، WL تراز سطح آب، V سرعت جریان، g شتاب

رابطه برنولی بین دو مقطع فرضی در انتهای کانال خروجی تالاب (مقطع ۱) و در داخل تالاب انزلی (مقطع ۲)، مطابق با معادله ۳ برقرار است:

معتبر بوده و برای اظهار نظر قطعی باید به این نکته توجه داشت که اگرچه افزایش دبی رودخانه‌ها از لحاظ کمی تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی تالاب ندارد اما می‌تواند از لحاظ کیفی تأثیری بنیادین بر حیات تالاب داشته باشد (که بررسی آن نیازمند مطالعه‌ای دیگر است). با توجه به موارد ذکر شده می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که به‌منظور اصلاح شرایط تالاب در وضعیت حاضر، باید به نحوی خروجی تالاب را که با آب دریا ارتباط دارد، کنترل نمود و این کنترل چه به صورت سازه‌ای و چه به صورت غیرسازه‌ای نباید با مسائل مربوط به حفظ محیط زیست مغایرتی داشته باشد.

### نتیجه‌گیری

با اینکه تالاب بین‌المللی انزلی به‌عنوان یک اکوسیستم آبی منحصر به فرد در شمال ایران خدمات زیادی را در اختیار همگان قرار داده است اما در سالیان اخیر تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی عدیده‌ای قرار گرفته و با توجه به باقی ماندن نام این تالاب در لیست مونتره به جرأت می‌توان گفت که ادامه حیات آن با خطراتی جدی مواجه می‌باشد. شرایط هیدرولوژیکی تالاب نقش کلیدی در کارکردهای وابسته به اکوسیستم‌های آبی جهت حفظ ارزش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی - اجتماعی ذینفعان مرتبط با تالاب دارد. در این راستا با توجه به آنکه در دیدگاه جامع‌نگر تالابها عموماً یک المان پایین دستی در سیستم منابع آب به حساب می‌آیند، برای تحلیل شرایط هیدرولوژیکی ناظر بر خدمات اکوسیستمی و عملکرد تالاب لازم است شرایط مدیریت مصرف در بالادست مورد ارزیابی قرار گیرد. مهمترین مؤلفه بهره‌برداری از منابع آب بالادستی در حوضه تالاب انزلی که در پاره‌ای از موارد حوضه فومنت نیز نامیده می‌شود شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود می‌باشد که عملاً مهمترین شبکه آبرسانی برای اراضی کشاورزی غرب استان گیلان می‌باشد. در دیدگاه سیستمی که در این مطالعه برای تعریف مرزهای آن از اصول مرسوم در مدیریت جامع منابع آب استفاده شد، لازمه تعیین میزان اثرگذاری نحوه مدیریت مصرف به عنوان المان ورودی سیستم، در درجه اول شناخت شرایط کنونی حاکم بر آن و سپس تعیین دو حالت مبنای بهینه و حداقل قابل قبول برای کارکرد کل سیستم و یا هر جزء آن به تنهایی می‌باشد. براین اساس با توجه به اهداف مطالعه ابتدا مقدار حجم آب مورد نیاز برای حفظ کارکردها و خدمات اکوسیستم در دو شرایط حداقل و مطلوب برای اکوسیستم تالاب و جوامع محلی که با آن در ارتباط هستند، به دست آمد. سپس برای بررسی شرایط کنونی تالاب و ارزیابی اثر عملکرد مدیریت در حوضه بالادست با تأکید بر مهمترین مؤلفه آن یعنی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بر اکوسیستم تالاب به مدل‌سازی حوضه آبریز بالادست تالاب به کمک مدل WEAP اقدام گردید و کلیه مؤلفه‌های سیستم شامل مؤلفه

گراش و hf افت اصطکاکی است. چون سرعت جریان در تالاب خیلی کم است می‌توان از  $\frac{V_2^2}{2g}$  صرف‌نظر کرد در نتیجه با استفاده از معادله ۴، تراز سطح آب و معادله ۵، اختلاف تراز به دست می‌آید.

$$WL_2 = WL_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_f \quad (4)$$

$$\Delta h = WL_2 - WL_1 = \frac{V_1^2}{2g} + h_f \quad (5)$$

از آنجایی که اختلاف تراز سطح آب دریا و تالاب به‌سرعت جریان خروجی و افت اصطکاکی جریان از تالاب تا دریا بستگی دارد لذا کم بودن سرعت جریان در تالاب و کانال خروجی آن سبب ایجاد جریان زیر بحرانی در مقطع خروجی شده که در نتیجه آن، تغییرات پایین دست (تراز سطح دریا) بر روی بالادست (تراز سطح تالاب) تأثیرگذار می‌باشد. نتایج بررسی تغییرات پایین دست (تراز سطح آب دریا) نشان داد که دامنه نوسان تراز دریای خزر در طول یک سال حدود ۰/۵ تا ۰/۶ متر است. در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ حداکثر افزایش ماهانه تراز دریا حدود ۰/۱۸ متر بین ماه‌های اردیبهشت و خرداد ثبت شده که طبق محاسبات باعث افزایش حجم تالاب به مقدار حدود ۱۴ میلیون مترمکعب در طی یک ماه شده است. با توجه به اینکه نوسان روزانه تراز دریا ناگهانی نبوده و در طول یک ماه به تدریج افزایش و کاهش می‌یابد، تالاب فرصت دارد تا با افزایش تراز دریا مقابله کرده و حتی با دبی میانگین ۳۶ مترمکعب بر ثانیه (حداقل دبی میانگین ماهانه در سال آبی ۹۵-۹۴) می‌تواند حجم خود را نسبت به تراز دریا افزایش دهد. براین اساس از نظر هیدرولیک جریان در مجاری روباز می‌توان گفت که با توجه به وجود جریان زیر بحرانی در تالاب، تراز دریا به‌عنوان عامل کنترل جریان در پایین دست، شرایط هیدرولیکی تالاب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و لذا به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در حال حاضر حجم و تراز تالاب عملاً وابسته به تراز دریاست و دبی ورودی به تالاب فقط در شرایط سیلابی می‌تواند تأثیر خود را بر حجم و تراز تالاب نشان دهد. با توجه به اینکه کنترل تراز دریای خزر به‌عنوان یک عامل طبیعی غیرممکن است در نگاه اول اینطور به نظر می‌رسد که به‌منظور افزایش تراز و حجم تالاب باید دبی ورودی به آن افزایش پیدا کند، اما براساس نتایج سناریوی ۵ مشاهده شد که حتی حذف کل مصارف شامل کشاورزی، دامپروری و آبیاری از رودخانه‌های منتهی به تالاب نمی‌تواند باعث افزایش چشمگیر تراز و حجم تالاب شود. این امر نشان می‌دهد که بهره‌برداری از شبکه سفیدرود و مدیریت مصارف در بالادست از تأثیر معنی‌داری بر سطح آب تالاب و لذا ارائه خدمات اکولوژیکی آن و به عبارت بهتر حیات تالاب ندارد. این نتیجه‌گیری فقط از نظر کمی

است که این مقدار حجم آب ورودی بر روی تالاب باقی نماند و پس از مدت کوتاهی (باتوجه به شدت سیلاب) در مدت چند روز یا هفته از تالاب خارج شده و به سمت دریای خزر روانه شود. این عملیات خروج آب از در یک تالاب ساحلی مانند تالاب انزلی تا زمانی که در مقطع خروجی تالاب و دریا تعادل هیدرولیکی برقرار شود ادامه می‌یابد. براین اساس حفظ اکوسیستم تالابی از نظر شرایط کمی، مدیریت سازه‌ای و جستجوی راه حلی برای مدیریت خروجی تالاب به دریا با حفظ و رعایت الزامات زیست محیطی می‌باشد.

## منابع

- شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان، ۱۳۹۶. پایگاه داده و اطلاعات شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود.
- قره سوفلو، ج. ۱۳۹۵. برنامه‌ریزی منابع آب حوضه آبریز گرگانرود با رویکرد زیست محیطی با استفاده از مدل WEAP. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب. دانشگاه زابل.
- شکوهی، ع.، و مدبری، ه. ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه حساسیت مدل‌های IRWQISC و NSFWQI نسبت به پارامترهای کیفیت آب. مجله تحقیقات منابع آب ایران. (۵) ۱۴: ۱۲۴-۱۰۹.
- مدبری، ه.، و شکوهی، ع. ۱۳۹۸. تعیین نیاز آبی زیست محیطی تالاب انزلی با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. (۳) ۱۵: ۱۰۴-۹۱.
- مدبری، ه.، و شکوهی، ع. ۱۳۹۹-a. ارزیابی اقتصادی تأثیرات کاهش حقایق تالاب انزلی بر خدمات اکولوژیکی مؤثر بر معیشت و درآمد جوامع محلی. مجله اکوهیدرولوژی. (۲) ۷: ۴۹۶-۴۸۱.
- مدبری، ه.، و شکوهی، ع. ۱۳۹۹-b. تعیین نیاز آبی تالاب انزلی بر اساس شاخص‌های اکوتوریسم در چارچوب IWRM. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. doi: 10.22059/ijswr.2020.303554.668633
- مرادی، ب. ۱۳۹۳. مدیریت منابع آب با استفاده از مدل WEAP. (مطالعه موردی حوضه کبودرآهنگ). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه ملایر.
- مهندسین مشاور پندام، ۱۳۸۱. مطالعات بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان، گزارش نهایی.
- مهندسین مشاور آذریمایش، ۱۳۹۰. طرح مطالعات تعیین حد بستر و حریم تالاب انزلی. سازمان آب منطقه‌ای استان گیلان.
- Adgolign, T.B., Rao, G.V.R.S., and Abbulu, Y. 2016. WEAP modeling of surface water resources allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia.

رودخانه، مؤلفه سنجش جریان، مؤلفه تقاضا، مؤلفه‌های برداشت و آب برگشتی، مؤلفه انحراف آب و مؤلفه مخزن شبیه‌سازی شد. در مرحله بعد با تعیین سناریوهای مختلف در دوره کاشت و غیر کاشت اراضی شالیزاری، تأثیر تغییر در مصارف و برداشت از رودخانه بر دبی کل ورودی به تالاب و در راستای آن، حجم و مساحت و تراز تالاب بدست آمد. در این مرحله، سناریوهای ارائه شده شامل برداشت ۱۰ درصد، ۲۰ درصد و ۴۰ درصد در پارامترهای سطح زیرکشت، نیاز آبی محصولات کشاورزی و تامین آب در رودخانه‌های ورودی به تالاب به صورت عادلانه به‌طوری که میزان برداشت از همه بطور یکسان باشد، صورت گرفت. نتایج این سناریوها نشان داد که تغییرات در برداشت رودخانه‌های تأثیری بر روی حجم و مساحت تالاب ندارد. در مرحله بعد، سناریوهایی تحت عنوان حذف برداشت از رودخانه‌ها برای مصارف غیرکشاورزی و حذف کلیه مصارف و برداشت از رودخانه‌ها اعم از کشاورزی و غیرکشاورزی بررسی گردید. نتایج این سناریوها هم نشان داد که این افزایش دبی ورودی به تالاب نیز تأثیری بر حجم و مساحت تالاب ندارد. با توجه به نتایج اجرای سناریوهای متعدد برای سیستم هیدرولوژیکی موجود در مرزهای بالادست تالاب، مشتمل بر ۹ رودخانه دائمی و شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود می‌توان استنباط نمود که تأثیر حجم آب ورودی به تالاب (اعم از دبی رودخانه‌های ورودی به تالاب و بارش مستقیم بر روی تالاب) بر شرایط اکوهیدرولوژیکی تالاب نسبت به تراز سطح دریای خزر از اهمیت کمتری برخوردار است. در واقع می‌توان بیان نمود که دریای خزر به عنوان یک مخزن بزرگ و دینامیکی نقش مهمتری در تعیین و تثبیت تراز سطح آب تالاب به عنوان مهمترین مشخصه کمی ناظر بر شرایط اکوهیدرولوژیکی تالاب دارد. این نتیجه‌گیری می‌تواند بدان مفهوم باشد که اگر تنها از دیدگاه کمی به ارزیابی اثرات بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بر تالاب نگریسته شود شواهدی دال بر اثر منفی بهره‌برداری از این شبکه بر حیات تالاب وجود ندارد. این نتیجه‌گیری را نمی‌توان به ارزیابی اثرات شبکه از نظر کیفی تعمیم داد و این امر در تحقیقاتی دیگر باید مورد پرسش قرار گیرد. در این راستا باید به این سوال پاسخ داده شود که کاهش جریان ورودی به تالاب در اثر بهره‌برداری از شبکه در کنار برگشت پساب آلوده به سموم و کودهای شیمیایی و البته لحاظ داشتن پارامترهایی همچون خودپالایی طبیعی رودخانه‌های ورودی، به عنوان محمل پساب کشاورزی، و همینطور توان خودپالایی تالاب در فصول مختلف تا چه حد به زندگی تالابی صدمه وارد می‌نماید و میزان کاهش خدمات اکوسیستمی تالاب در حالتها و سناریوهای مختلف بهره‌برداری چه خواهد بود. نکته مهم دیگر قابل استنباط از نتایج این مطالعه آن است که اگرچه حجم آب ورودی به تالاب در مواقع سیلابی سبب می‌شود که تراز و حجم آب تالاب افزایش می‌یابد اما کاهش تراز سطح آب دریای خزر نسبت به تراز سطح تالاب در سال‌های اخیر سبب شده

- Thomas, G.A., and Patiño-Gomez, C. 2013. Collaborative Modeling to Evaluate Water Management Scenarios in the Rio Grande Basin. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 49(3): 639-653.
- Shokoohi, A., and Amini, M. 2014. Introducing a new method to determine rivers' ecological water requirement in comparison with hydrological and hydraulic methods. *International Journal of Environmental Science and Technology* 11(3):747-756.
- Sieber, J., Chris, S.D., and Huber-Lee, A. 2005. WEAP (Water Evaluation and Planning System), User guide for WEAP21. Stockholm Environment Institute. U.S. Center. USA.
- Vinten, A., Kuhfussa, L., Shortalla, O., Stockana, J., Ibiyemi, A., Pohlea, I., Gabriel, M., Gunn, I., and May, L. 2019. Water for all: Towards an integrated approach to wetland conservation and flood risk reduction in a lowland catchment in Scotland. *Journal of Environmental Management* 246: 881-896.
- Zou, Y., Duan, X., Xue, Z., Mingju, E., Sun, M., Lu, X. and Jiang, X. 2018. Water use conflict between wetland and agriculture. *Journal of environmental management.* 224: 140-146.
- Sustainable Water Resources Management 2: 55-70.
- Ashoori, A., and Abdoos, A. 2013. Important wetland habitats for the waterbirds of Guilan, Iran: Katibeh Guilan, 260 p.
- Boukolia-Hassane, R., Yebdri, D., and Tidjani, A. E.-B. 2016. Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: a case study of Oran province. *Desalination and Water Treatment* 57: 5971-5980.
- JICA, DOE, MOJA. 2005. The study on integrated management for ecosystem conservation of the Anzali Wetland in the Islamic Republic of Iran. Draft final report Vol. II: Maim report. Nippon Koei Co. 150p
- Li, X., Zhao, Y., Shi, C., Sha, J., Wang, Z.-L. and Wang, Y. 2015. Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Ocean & Coastal Management* 106: 97-109.
- Meng, B., Liu, J., Bao, K., and Sun, B. 2019. Water fluxes of Nenjiang River Basin with ecological network analysis: Conflict and coordination between agricultural development and wetland restoration. *Journal of Cleaner Production.* 213: 933-943.
- Sandoval-Solis, S., Teasley, R.L., McKinney, D.C.,

## Evaluation of the Effects of Exploitation of Sefidrood Irrigation and Drainage Network on the Life of Anzali Wetland

H. Modaberi<sup>1</sup>, A. Shokoohi<sup>2\*</sup>

Received: Sep.29, 2020

Accepted: Nov.15, 2020

### Abstract

In this study, the effects of the exploitation of the Sefidrood drainage irrigation network on Anzali International Wetland in the framework of IWRM are investigated. For this purpose, first, the values of hydrological indicators including water level, area, and volume of Anzali wetland were determined by considering economic, social and ecological conditions at the desired and minimum levels. After examining the current condition of the wetland, the relationship between the inflow to the wetland and the upstream exploitation system was simulated using the WEAP model and the model was calibrated for the baseline scenario with R2 and RMSE of 0.99 and 0.47, respectively. The results of scenario analysis in different conditions showed that currently the volume and level of the wetland are more dependent on the sea level and the inflow to the wetland only in flood conditions can show its effect on the volume and level of the wetland. Based on the results, it can be said that the ecological life of Anzali wetland is more affected by the discharge of the wetland to the Caspian Sea than by the quantitative management of water resources upstream of the wetland and water abstraction from Sefidrood irrigation and drainage network for agriculture, animal husbandry and aquaculture.

**Keywords:** Anzali wetland, Ecological services, Sefidrood irrigation and drainage network, WEAP model

---

1- Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht, Iran

2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

(\*- Corresponding Author Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir)