

وضعیت سلامت تالاب شادگان از نظر تأمین نیاز آب زیست محیطی با استفاده از

مدل HEC-EFM

چکیده

تالاب شادگان بزرگ‌ترین تالاب ایران و از جمله تالاب‌های با اهمیت بین‌المللی است که در حوضه آبریز رودخانه جراحی و در شمال خلیج فارس قرار دارد. این تالاب با برخورداری از تنوع زیستی بالا، نقش مهمی در عملکردهای هیدرولوژیکی منطقه و خلیج فارس ایفا می‌کند. در سال‌های گذشته، رژیم آبی تالاب به دلیل خشک‌سالی، استحصال آب برای طرح‌های توسعه بالادست، ورود زه‌آب واحدهای نیشکر و آبیاری، در معرض تغییرات کمی و کیفی قرار گرفته است. علاوه بر این حداقل جریان ورودی به تالاب از لحاظ کیفیت آب تالاب و اکسیژن محلول آب تالاب تأثیرگذار می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت سلامت تالاب شادگان از لحاظ تأمین نیاز آب زیست محیطی با استفاده از مدل HEC-EFM دو دوره آماری شامل شرایط طبیعی (پیش از احداث سد مارون) از فروردین سال ۱۳۷۰ تا شهریورماه سال ۱۳۷۸ و شرایط کنترل شده توسط سد مارون (پس از احداث سد) که از مهرماه سال ۱۳۷۸ تا شهریور سال ۱۳۸۷ می‌باشد بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که اگر نیاز آبی زیست محیطی تالاب شادگان بیشتر از $4/7$ مترمکعب بر ثانیه و کمتر از $7/4$ مترمکعب بر ثانیه باشد، در دوره قبل از ساخت سد (رژیم جریان طبیعی) تالاب شادگان در وضعیت مطلوب نبوده ولی بعد از ساخت سد در شرایط مطلوب از لحاظ تأمین نیاز آبی زیست محیطی می‌باشد ولی اگر نیاز آبی زیست محیطی تالاب شادگان بیشتر از $7/4$ مترمکعب بر ثانیه باشد، وضعیت تالاب در شرایط قبل و بعد از ساخت سد مطلوب نمی‌باشد. همچنین رژیم جریان ورودی به تالاب در زمان بحرانی تالاب از لحاظ تأمین نیاز آب زیست محیطی، بعد از ساخت سد مارون نسبت به زمان عدم وجود آن بهبود یافته است. بنابراین سد مارون از لحاظ تأمین نیاز آب زیست محیطی در زمان بحرانی تالاب، تأثیر مثبتی داشته است.

واژگان کلیدی: سلامت تالاب، نیاز آب زیست محیطی، مدل HEC-EFM، تالاب شادگان.

مقدمه

ایجاد و نگهداری از رژیم مناسب آب به عنوان مهم‌ترین موضوع مدیریتی برای اغلب تالاب‌ها مطرح است. فعالیت‌های انسانی می‌توانند منجر به افزایش و یا کاهش غرقاب شدن و ایجاد تغییرات در رژیم فصلی غرقابی تالاب‌ها شود (ANCA, 1996). بنابراین شناسایی و تخصیص نیاز آب زیست محیطی تالاب‌ها نقش مؤثری در حفاظت از عملکردهای اکوسیستم خواهد داشت. کنوانسیون بین‌المللی تالاب‌ها تخصیص آب زیست محیطی تالاب‌ها را به صورت زیر تعریف می‌کند: کمیت و کیفیت آب مورد نیاز برای حفظ یک ویژگی اکولوژیکی منابع آب که عملکردهای تالاب مدنظر را به صورت پایداری حفظ کند (Ramsar Convention Secretariat, 2004). یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیران و دانشمندان حوزه علوم آب محاسبه جریان‌های متغیر طبیعی رودخانه و درک اهمیت حفاظت از منابع آب و تنوع زیستی و زیست‌بوم وابسته به جریان رودخانه است. تغییر در اکوسیستم رودخانه به علت تغییرات کمی و کیفی آب حاصل می‌شود و حتی در نقاط دورتر نظیر مصب رودخانه نیز ظاهر می‌شود (احمدی‌پور و یاسی، ۱۳۹۳). جریان زیست محیطی به تخصیصی از آب با یک توزیع تجویزی گفته می‌شود که بایستی در رودخانه رها شود تا

نسرین عبدالخانیا^{۱*}

حسین فتحیان^۲

آزیتا کوشافر^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳. گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*مسئول مکاتبات:

nasrinabdolkhanian@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۱۰۶۶۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی

ارشد است.



سلامت رودخانه و تمامیت اکوسیستم‌هایی که به‌وسیله جریان رودخانه پایدار نگه‌داشته شده‌اند را مدیریت کند (Smakhtin *et al.*, 2004; Dyson *et al.*, 2003).

روش‌های تعیین حداقل جریان رودخانه‌ای برای تقویت گونه‌های شاخص ماهی، قبل از سال ۱۹۴۰ در آمریکا به وجود آمد. با افزایش نگرانی در مورد تأثیر سدها و طرح‌های توسعه آبی بر سامانه حیاتی رودخانه‌ها، علم جریان زیست‌محیطی موفق به معرفی بیش از ۲۰۰ روش شد که در چهار دسته رویکردهای ۱-هیدرولوژیکی ۲-نرخ هیدرولیکی ۳-شبیه‌سازی زیستگاه ۴-روش‌های جامع‌نگر طبقه‌بندی می‌شوند (Smakhtin *et al.*, 2004; Dyson *et al.*, 2003; Tharme, 2003). یک وجه مشترک در میان روش‌ها آن است که در مواجهه با برداشت از رودخانه‌ها تلاش دارند تا درجه‌ای از تغییر را که می‌توان بر یک رودخانه‌ای اعمال نمود تا به محیط زنده و غیرزنده آسیمی وارد نشود، برآورد نمایند (Shokoochi and Hong, 2011; Bahukandi and Ahuja, 2013).

روش‌های معمول ارزیابی جریان زیست‌محیطی از نظر پیچیدگی متنوع‌اند. برخی فقط به داده‌های دبی جریان احتیاج دارند ولی برخی نیازهای زیستگاهی هرگونه خاص را در نظر می‌گیرند (Gippel *et al.*, 1998). Smakhtin و همکارانش (۲۰۰۶) تأکید کردند، روش‌های هیدرولوژیکی ارزیابی جریان زیست‌محیطی، اولین گام لازم در برنامه‌ریزی برای تخصیص‌های زیست‌محیطی در کشورهای درحال توسعه می‌باشند. روش‌های هیدرولوژیکی که معمولاً به‌عنوان روش جدول‌های در دسترس شناخته می‌شوند، تابعی از یک یا چند شاخص رژیم جریان طبیعی آب رودخانه می‌باشد و درصدی از میانگین شاخص جریان آب رودخانه را که گاهی با نیازهای بیولوژیکی تطبیق داده می‌شود، برای تنظیم جریان آب محیط‌زیستی پس از بهره‌برداری از سدها تعیین می‌نماید (Leonard, 2011) و از داده‌های ماهانه و یا روزانه دبی جریان در مدت‌زمان آماری معقول به‌منظور تعیین جریان زیست‌محیطی استفاده می‌نمایند (Godinho *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2013).

تالاب شادگان بزرگ‌ترین تالاب کشور بالارزش بین‌المللی است که به علت احداث سد مخزنی مارون و اجرای طرح‌های توسعه آبیاری در بالادست، رژیم هیدرولوژیکی آن دچار تغییر خواهد شد. در این تحقیق از مدل HEC-EFM استفاده شده است که با استفاده از مدل (The HEC-EFM (Ecosystem Function Model در ایران تحقیقی صورت گرفته است. در خارج از کشور Hickey و همکاران (۲۰۱۵) ضمن معرفی مدل HEC-EFM، استفاده از آن را برای تجزیه و تحلیل آماری و نقشه‌برداری زیستگاه توصیف می‌کند. در این تحقیق دو مثال ارائه شده است که شامل ارائه زیستگاه ساکرامنتو Splittail (ماهی تخم ریز قنات)، در رودخانه San Joaquin، کالیفرنیا ایالات متحده و محل استقرار نهال COTTONWOOD، در رودخانه بیل ویلیامز، آریزونا ایالات متحده می‌باشد؛ که در هر دو مثال، مدل کارایی بسیار خوبی داشته است.

Wakitolie (۲۰۱۳) در نتایج تحقیق خود با استفاده از HEC-EFM و GIS (Geographic information system) بیان کرد که وجود سد بر روی رودخانه باعث تغییرات زیست‌محیطی و پس‌از آن مهاجرت ماهیان را سبب شده است.

در تحقیقی EWR موردنیاز برای حوضه Diamond Creek در استرالیا را مقدار $1/5$ MLD پیشنهاد دادند (Zampatti and Lieschke, 1999). در تحقیقی برای رودخانه‌های Kiewa، Running Creek و Yachandandsh Creek در استرالیا به ترتیب مقادیر ۱۳۰، ۸ و 9 MLD را به‌عنوان EWR پیشنهادی بیان کردند (Zampatti and Close, 2000).

Lieschke و همکاران (۲۰۰۰) در پژوهشی برای رودخانه Plenty حداکثر EWR موردنیاز را $1/5$ MLD بیان کردند. Smakhtin و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که در یک تحقیق جهانی، EWR موردنیاز برای بقای اکوسیستم‌های آب شیرین را بین ۲۰ تا ۵۰ درصد جریان متوسط سالانه آن‌ها می‌باشد.

در تحقیقی دیگر نیاز آب زیست‌محیطی تالاب شادگان را با استفاده از یک روش جامع که الزامات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی آن را به‌صورت توأم در نظر گیرد برآورد کردند که نتایج نشان داد که سطح احتمال تجمعی ۶۰ درصد، می‌تواند سطح قابل قبولی از نیازمندی‌های رژیم قبل از

توسعه را برآورده سازد (سیما و تجربی، ۱۳۸۵). سیما (۱۳۸۴) با استفاده از پایش تغییرات سطح آب و پوشش گیاهی تالاب، نیاز آب زیست محیطی تالاب را به دست آورده و اصلاحاتی را در مدل بهره‌برداری مخزن پیشنهاد داد.

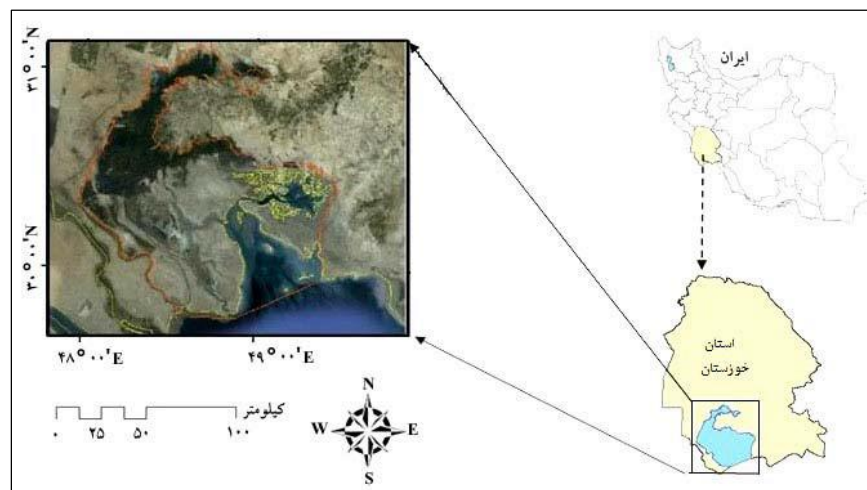
ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از تحلیل‌های هیدرولوژیکی جریان ورودی به تالاب در رودخانه جراحی، شاخص‌های جریان زیست محیطی بر اساس تجزیه و تحلیل مقادیر دبی جریان را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در ایستگاه‌های هیدرومتری پس از احداث سد، شاخص جریان زیست محیطی کاهش یافته است.

در مقاله‌ای، سناریوهای مختلف جریان زیست محیطی رودخانه قمرود مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد که برآورد نیاز آب زیست محیطی رودخانه و لحاظ نمودن آن در بهره‌برداری از طرح‌های توسعه حوضه آبریز، منجر به حفاظت از عملکردهای اکولوژیکی و هیدرولوژیکی رودخانه شده و یکی از مؤثرترین عوامل پیشگیرانه جهت جلوگیری از اثرات تنظیم جریان رودخانه‌ها می‌باشد (هادی پور و آخوندی، ۱۳۹۰).

هدف این مقاله تعیین نیاز آب زیست محیطی تالاب شادگان در ماه‌های بحرانی با استفاده از مدل HEC-EFM و بررسی وضعیت سلامت تالاب از نظر تأمین نیاز آب زیست محیطی در ماه‌های بحرانی می‌باشد.

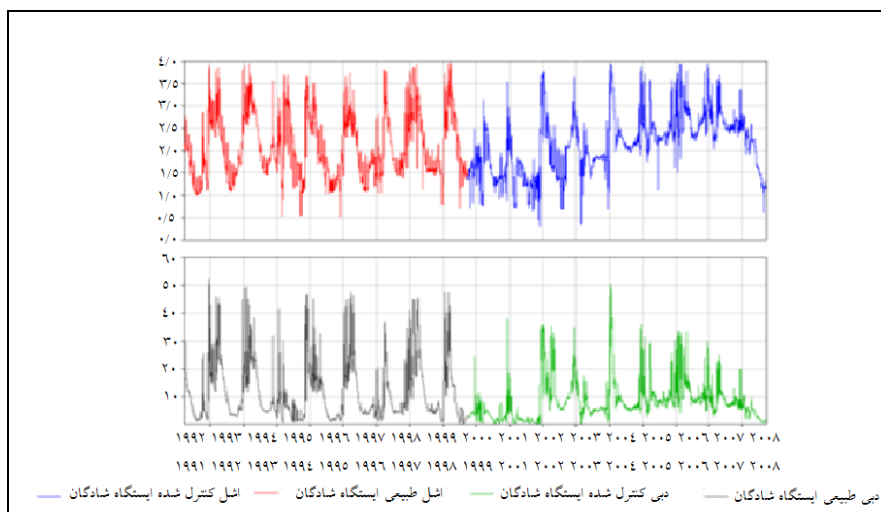
مواد و روش‌ها

تالاب شادگان بزرگ‌ترین تالاب ایران و سی و چهارمین تالاب از ۱۲۰۱ تالاب ثبت شده در فهرست معاهده رامسر و نیز وسیع‌ترین تالاب ساحلی خلیج فارس است (حجازی، ۱۳۸۹). این تالاب به مساحت ۵۳۷۷۰۰ هکتار در منتهی‌الیه مسیر رودخانه جراحی در ابتدای خلیج فارس در جنوب غربی ایران واقع شده است (شکل ۱) و مساحت حوضه آبریز آن ۲۴۳۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد که بیش از ۵۴ درصد آن در چارچوب قوانین کشور به عنوان پناهگاه حیات وحش تحت حفاظت قرار دارد. به سبب گوناگونی و گستردگی زیستگاه‌ها، تالاب از تنوع زیستی بسیار غنی برخوردار است و دارای عملکردهای متنوع هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی از جمله کنترل سیلاب، حفاظت سواحل، کاهش رسوب، جذب مواد مغذی و سموم محلول در آب رودخانه و تعدیل آب و هوا می‌باشد. عمده‌ترین منبع تغذیه کننده تالاب، رودخانه جراحی می‌باشد. میانگین دبی سالانه رودخانه جراحی که به تالاب تخلیه می‌گردد ۲/۳ میلیارد مترمکعب می‌باشد که در سال‌های مختلف بین ۰/۴ تا بیش از ۶/۶ مترمکعب متغیر است. سایر منابع تغذیه کننده این تالاب شامل سیلاب‌های آبراهه کوپال و سرریزهای سیلاب‌های رودخانه کارون می‌باشد، همچنین در سال‌های اخیر آب حاصل از زهکشی واحدهای توسعه نیشکر نیز وارد تالاب می‌گردد که ورود و پخش این آب شور می‌تواند در آینده تأثیر منفی و نامطلوبی بر حیات گیاهی و جانوری تالاب بر جای گذاشته و تالاب را به نابودی کشاند (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹).

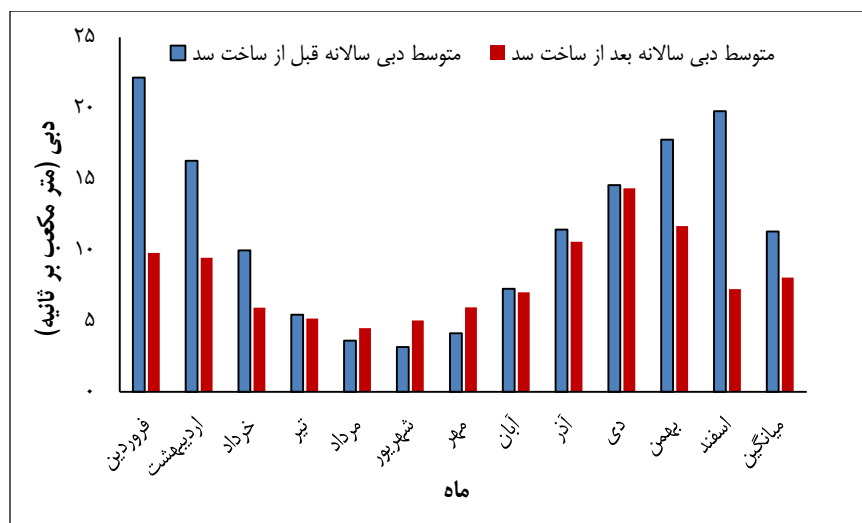


شکل ۱: موقعیت تالاب شادگان نسبت به کل کشور.

رژیم آبی منابع تغذیه‌کننده نقش بسیار پراهمیتی در تعیین ماه‌های بحرانی در یک تالاب دارند و دقیقاً منعکس‌کننده شرایط خاص حاکم بر آن تالاب می‌باشند. ماه‌های بحرانی از لحاظ میزان آب موجود در تالاب عملاً تأثیر بسیار زیادی بر روی زندگی زیست‌مندان آبی داشته و تغییرات میزان آب جنبه‌های زندگی آن‌ها را متأثر می‌سازد (افخمی، ۱۳۸۳). بی‌شک انجام مدیریت زیست‌محیطی مناسب بر یک تالاب بدون داشتن آگاهی کامل از وضعیت رژیم آبی و وضعیت منابع آن و به تبع آن ماه‌های بحرانی در یک تالاب، عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهرماه، ماه‌های بحرانی و حساس در تالاب محسوب می‌گردند (افخمی، ۱۳۸۳). مدیریت مناسب و تأمین حداقل آب موردنیاز مخصوصاً در این ماه‌های بحرانی یکی از مهم‌ترین راهکارهای عملی جهت کاهش مشکلات زیست‌مندان در تالاب شادگان می‌باشد. مقایسه مقادیر دبی و اشل جریان در ایستگاه هیدرومتری شادگان قبل و بعد از احداث سد مارون در شکل ۲ و همچنین مقایسه مقادیر متوسط ماهانه دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری شادگان قبل و بعد از ساخت سد مارون در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲: مقایسه مقادیر دبی و اشل جریان در ایستگاه هیدرومتری شادگان قبل و بعد از احداث سد مارون.



شکل ۳: مقایسه مقادیر متوسط ماهانه دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری شادگان قبل و بعد از ساخت سد مارون.

مقدار نیاز آب زیست‌محیطی به‌منظور مدل‌سازی سلامت تالاب شادگان با استفاده از مدل HEC-EFM، از نتایج حاصل از تحقیقات قبلی در نظر گرفته شده است. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تحلیل جریان زیست‌محیطی شامل روش منحنی تداوم جریان، قانون شیلات فرانسه، مونتانا و اسماکتین نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب شادگان را تعیین نمودند که در جدول ۱ آمده است. در این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت سلامت تالاب شادگان از لحاظ تأمین نیاز آب زیست‌محیطی با استفاده از مدل HEC-EFM دو دوره آماری شامل شرایط طبیعی (پیش از احداث سد مارون) از فروردین سال ۱۳۷۰ تا شهریورماه سال ۱۳۷۸ و شرایط کنترل شده توسط سد مارون (پس از احداث سد) که از مهرماه سال ۱۳۷۸ تا شهریور سال ۱۳۸۷ می‌باشد انتخاب شد.

جدول ۱: مقادیر جریان زیست‌محیطی قبل و بعد از احداث سد مارون در ایستگاه هیدرومتری شادگان.

روش	شاخص (یا فصل)	جریان زیست‌محیطی (مترمکعب بر ثانیه)	
		پیش از اجرای سد	پس از اجرای سد
منحنی تداوم جریان	دبی در حالت پرآبی	۱۴/۹	۹/۱۸
	دبی در حالت نرمال	۶/۸۳	۵/۶
	دبی حالت کم‌آبی	۳/۲	۲/۷۵
	کمینه‌ی جریان (Q90)	۱/۶۴	۱/۰۴
میانگین دبی سالانه	-	۱۰/۳۱	۷/۶۶
قانون شیلات فرانسه	-	۱/۵۴	۱/۴۹
روش مونتانا	نیمه نخست سال آبی	۱/۲-۰۳/۰۶	۰/۱-۷۶/۵۳
	نیمه دوم سال آبی	۳/۴-۰۹/۱۲	۲/۳-۲۹/۰۶
روش اسماکتین	-	۳/۱۸	۲/۵۳

HEC-EFM مدل عملکردهای اکوسیستم برای کمک به مطالعات گروهی تعیین عکس‌العمل اکوسیستم نسبت به تغییرات رژیم جریان رودخانه یا تالاب متصل به آن، طراحی شده است. EFM توانایی‌های زیادی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: ۱. قابلیت تست تغییرات

اکولوژیکی برای هر تعداد از روابط و رژیم‌های جریان ۲. ارتباط دادن اکولوژی با نرم‌افزارهای توسعه داده‌شده برای هیدرولوژی، هیدرولیک و GIS ۳. قابلیت به‌کارگیری آسان و ارزان و امکان دخیل کردن نظرات کارشناسان (Hickey and Fields, 2013).

EFM مخفف The Ecosystem Function Model (مدل عملکردهای اکوسیستم) برای کمک به مطالعات گروهی تعیین عکس‌العمل اکوسیستم نسبت به تغییرات رژیم جریان رودخانه یا اتصال به تالاب، طراحی شده است.

تجزیه و تحلیل HEC-EFM در ۳ مرحله عبارت است:

۱- تجزیه تحلیل آماری از رابطه بین هیدرولوژی و اکولوژی

۲- مدل‌سازی هیدرولیکی

۳- در طی این فرآیند، مطالعات تیمی را قادر به تصویرسازی و تعریف شرایط اکولوژیکی موجود، مشخص‌سازی مناطقی که قابلیت بازگشت به شرایط اولیه را دارند و ارزیابی و رتبه‌بندی مناطق بر اساس پیش‌بینی عکس‌العمل مناطق در برابر تغییرات از وجوه مختلف.

HEC-DSS که سیستم ذخیره داده می‌باشد. درواقع یک سیستم پایگاه داده که برای سهولت ذخیره و بازیابی مجدد داده‌های علمی توسط کاربران، طراحی شده است. این سیستم پایگاه داده‌هایی مانند داده‌های سری زمانی، داده‌های منحنی، داده‌های شبکه‌ای جهت‌دار مکانی و... شامل می‌شود و به‌عنوان یک برنامه ترکیبی در اغلب برنامه‌های سری HEC کاربرد دارد. داده‌ها در پایگاه داده DSS قابلیت گرافیکی شدن، جدول‌بندی (فهرست بندی)، ویرایش و ادغام را توسط HEC-DSSVue که یک برنامه جاوا است را دارند. همچنین تصاویر گرافیکی HEC-DSSVue را می‌توان با فرمت‌های رایج عکس ذخیره نمود (CEWIR-HEC and USBR, 2010).

بعد از ایجاد یک رابطه، HEC-EFM محاسبات آماری را برای آنالیز سری‌های زمانی جریان و اشل با استفاده از معیارهای مشخص اجرا می‌کند و یک مقدار جریان مشخص برای هر رابطه ایجاد می‌شود. این فرایندها می‌توانند برای رژیم‌های جریان تناوبی تکرار شوند برای مقایسه پروژه‌های مختلف و نشان دادن دستورالعملی از تغییرات برای بهبودی اکوسیستم (عبدالخانیان و فتحیان، ۱۳۹۷).

مدل عملکردهای اکوسیستم (HEC-EFM) یک ابزار برنامه‌ریزی است که به تحلیل پاسخ اکوسیستم به تغییرات در رژیم جریان کمک می‌کند. مرکز مهندسی هیدرولوژیک (HEC) گروه مهندسی ارتش امریکا، HEC-EFM را ایجاد کرده است تا به تیم‌های پروژه امکان دهد شرایط اکولوژیک موجود را تجسم کنند، سایت‌های بازیابی مناسب را مشخص سازند و بر اساس تغییر نسبی در جنبه‌های اکوسیستم سناریوهای مختلف را ارزیابی و رتبه‌بندی کنند.

آنچه در تحلیل‌های HEC-EFM اهمیت دارد، «روابط عملکردی» است. این روابط، ویژگی‌های سری زمانی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی (جریان و اشل) را به عناصر اکوسیستم از طریق ترکیبی از چهار ضابطه‌ی پایه شامل (۱) فصل، (۲) مدت‌زمان، (۳) نرخ تغییرات و (۴) درصد تجاوز پیوند می‌دهند. پس از ایجاد روابط، HEC-EFM محاسبات آماری را جهت تحلیل سری زمانی اشل و جریان برای ضوابط مشخص انجام می‌دهد و یک مقدار جریان برای هر رابطه می‌سازد. این فرآیند را می‌توان برای رژیم‌های جریان جایگزین تکرار کرد تا سناریوهای مختلف پروژه مقایسه شود و جهت تغییرات در سلامت اکوسیستم مشخص شود.

علاوه بر محاسبات آماری، HEC-EFM مدل‌سازی‌های هیدرولیک موجود را (که خارج از HEC-EFM ساخته شده‌اند) تحلیل می‌کند؛ این مدل‌ها می‌توانند نتایج آماری را به‌صورت پروفایل‌های آب سطحی و لایه‌های مکانی عمق، سرعت و مناطق آبیاری آب تفسیر کنند. از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان جهت نمایش این لایه‌های ایجادشده و همچنین سایر داده‌های مکانی مربوطه (مانند نقشه خاک، پوشش گیاهی و استفاده از زمین) استفاده کرد.

الزامات داده‌ی HEC-EFM به سطح جزئیات موردنظر مدل‌ساز مرتبط است. اگر تنها نتایج آماری موردنظر باشد، پس داده‌های موردنیاز شامل رژیم‌های جریان (که باید تحلیل شوند) و روابط اکو هیدرو است. اگر کاربر تمایل داشته باشد تا نتایج آماری را به‌صورت مکانی مشاهده کند، الزامات داده (و نرم‌افزار) به میزان قابل‌توجهی افزایش پیدا می‌کند تا سری زمانی اشل و جریان، روابط اکو هیدرو، توپوگرافی دیجیتال، یک مدل

هیدرولیک با مرجع جغرافیایی و هر داده‌ی مکانی دیگر که به بررسی‌های اکوسیستم مرتبط است را در برگیری (عبدالخانیان و فتحیان، ۱۳۹۷).

مبادله آب میان رودخانه و مناطق تالاب جزء کلیدی سلامت تالاب موردتوجه قرار می‌گیرد. با تعویض مکرر آب کیفیت آب در تالاب‌ها خوب می‌ماند، اما با ایزوله ماندن اکسیژن محلول کم می‌شود، محیط تالاب دچار کمبود اکسیژن می‌شود و گونه‌های آبی می‌میرند. این مسئله فقط در ماه‌های گرم تابستان (تیر تا مهرماه) (ژوئن تا اکتبر) اتفاق می‌افتد.

در این پژوهش از جریان زیست‌محیطی به‌دست‌آمده از روش‌های هیدرولوژیکی مختلف در جدول ۱ استفاده شده است همچنین با در نظر گرفتن تعویض آب در ۳۳/۳۳ درصد از زمان (در تابستان) که منجر به شرایط بهبودی تالاب خواهد شد.

رابطه HEC-EFM

فصل: ۶/۲۲ تا ۱۰/۲۲ (ژوئن تا اکتبر)

مدت‌زمان: ۱ روزه

نرخ تغییرات: کاربردی ندارد

درصد تجاوز: 33,33 درصد زمان دوام جریان

فرضیه در نظر گرفته‌شده: افزایش جریان تبادل آب و سلامت تالاب را بهبود می‌بخشد.

سؤالات جغرافیایی: کاربردی ندارد.

توضیحات: این رابطه اولین رابطه نمایشی است که از درصد تجاوز- دوام جریان استفاده می‌کند.

در این مورد شرایط بهبودی ایجاد می‌شوند موقعی که تعویض آب میان رودخانه و تالاب در ۳۳/۳۳ درصد زمانی فعال شود. استفاده از گزینه درصد تجاوز- دوام جریان یک جریان و اشل گزارش خواهد داد که برابر یا متجاوز از درصد زمانی معین به‌وسیله‌ی کاربر می‌باشد.

نرم‌افزار HEC-EFM Plotter به این منظور تهیه‌شده است که به کاربر اجازه دهد تا خروجی‌های تولیدشده از نرم‌افزار HEC-EFM را مشاهده، هدایت و تفسیر کند. خروجی‌های در دسترس را به‌طور اتوماتیک، به‌صورت یک سری از نمودارهای استاندارد برای رژیم جریان و روابط تحلیل‌شده در HEC-EFM را به HEC-EFM Plotter منتقل می‌کند. با نمایش هر گام محاسباتی HEC-EFM تحلیل سری زمانی را انجام داده و HEC-EFM Plotter فرصتی را برای درک فرآیندهای آماری که در HEC-EFM مورد استفاده قرار گرفته است مهیا می‌کند و راهی را برای تیم تحقیق جهت کاوش متقابل و پالایش کردن تنظیمات آماری مورد استفاده در تعریف روابط بین هیدرولوژی و اکولوژی آماده می‌سازد.

نتایج

با توجه به نتایج مدل HEC-EFM که در جدول ۲ آمده است، به ازای شرایط طبیعی جریان، جریان برابر ۵ مترمکعب بر ثانیه فراوانی برابر و بیش از ۳۳/۳۳ درصد در طول دوره بحرانی را داشته است به عبارتی در ۳۳/۳۳ درصد سال دبی برابر یا بیش از ۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. به ازای شرایط کنترل‌شده جریان توسط سد بالادست (سد مارون)، جریان برابر با ۷ مترمکعب بر ثانیه فراوانی برابر ۳۳/۳۳ درصد در طول دوره بحرانی را دارد یا به عبارتی در ۳۳/۳۳ درصد سال دبی برابر یا بیش از ۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۲: نتایج آماری HEC-EFM برای رابطه سلامت تالاب برای هر دو رژیم جریان طبیعی و کنترل‌شده.

رابطه	فرضیه در نظر گرفته‌شده	شرایط طبیعی		شرایط کنترل‌شده	
		اشل (متر)	جریان (مترمکعب بر ثانیه)	اشل (متر)	جریان (مترمکعب بر ثانیه)
سلامت تالاب	*	۱/۵	۵	۲/۳	۷

مقدار شاخص بیانگر چگونگی و میزان تغییر در رژیم جریان برای رابطه موردنظر نسبت به رابطه مبنا یا مرجع می‌باشد. اگر مقدار شاخص مثبت باشد یعنی رژیم جریان یا مقادیر دبی جریان افزایش‌یافته‌اند، اگر منفی شده مقادیر دبی جریان کمتر شده است، در جدول ۳ مقدار شاخص مشخص می‌باشد.

به‌طور کلی مقدار شاخص بیانگر وضعیت رژیم جریان در شرایط موردنظر (شرایط کنترل‌شده) نسبت به شرایط مبنا (شرایط طبیعی) می‌باشد. درصد تغییرات در مقدار اکو برابر است با درصد تغییرات در جریان موقعی که در فرضیه در نظر گرفته‌شده از گزینه منحنی استفاده‌شده است، در رابطه ۱ آمده است.

$$\text{رابطه ۱: } Index = \sum_{i=1,n} (Direction of Change_i) * (Confidence_i) * (\%Change in Eco - value_i)$$

$$Index = 1 \times 1 \times \left(\frac{7.3 - 4.7}{4.7} \times 100 \right) = 55.319$$

که در آن:

$$n \text{ تا } 1=i$$

n = تعداد روابط در شاخص

$Direction of change_i = 1, -1$ ، یا 0 برای هر رابطه

1: نشان‌دهنده تغییرات مثبت رژیم جریان در یک رابطه مشخص نسبت به منبع انتخابی

-1: نشان‌دهنده تغییرات منفی رژیم جریان در یک رابطه مشخص نسبت به منبع انتخابی

0: تغییری صورت نگرفته

$confidence_i$ = عدد صحیحی از 0 تا 5 برای هر رابطه مشخص

$\%change in Eco-value_i$ = مقدار اکو رابطه معین - مقدار اکو رابطه منبع

مقدار اکو رابطه منبع

جدول ۳: مقدار شاخص رژیم جریان برای رابطه موردنظر نسبت به رابطه مبنا.

شاخص	شرایط کنترل‌شده
سلامت تالاب	۵۶
-	مشخص نشده
-	مشخص نشده
-	مشخص نشده

۱- رژیم جریان ورودی به تالاب بعد از ساخت سد مارون نسبت به زمان عدم وجود سد در زمان بحرانی بهبود یافته است. به عبارتی سد مارون در زمان بحرانی تالاب از لحاظ تأمین نیاز آب زیست محیطی، تأثیر مثبتی داشته است (عبدالخانیان و همکاران، ۱۳۹۰).

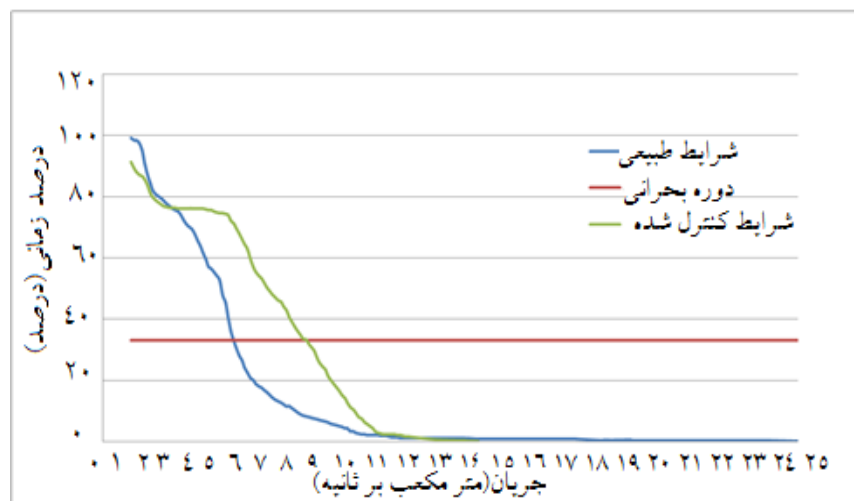
۲- بسته به اینکه نیاز آب زیست محیطی تالاب شادگان را چه مقدار دبی جریان در نظر بگیریم وضعیت سلامت تالاب از لحاظ تأمین آب مورد نیاز در شرایط قبل و بعد از ساخت سد متفاوت می باشد (عبدالخانیان و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به شکل ۴ نتایج به شرح ذیل می باشد:

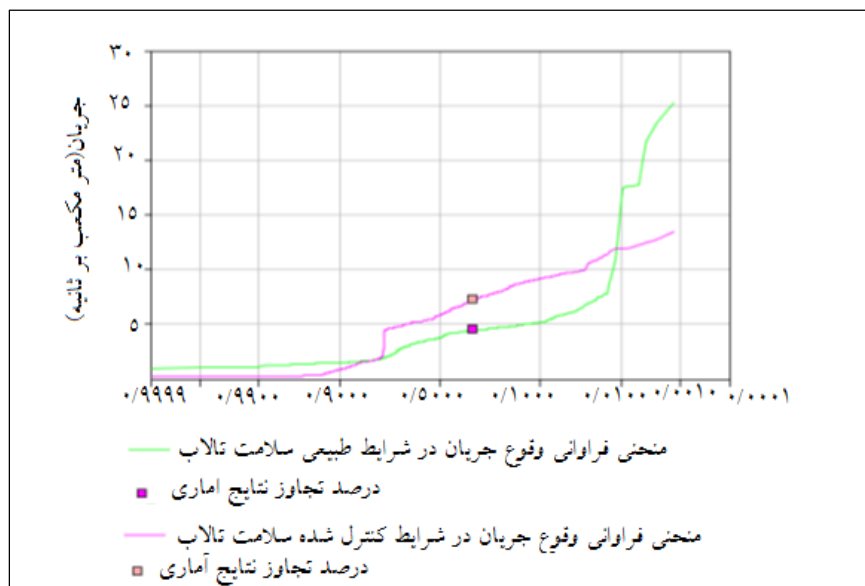
الف- اگر نیاز آبی زیست محیطی تالاب شادگان کمتر از $4/7$ مترمکعب بر ثانیه باشد، وضعیت تالاب در زمان قبل از ساخت سد مارون و بعد از ساخت سد مطلوب می باشد به عبارتی رژیم جریان در دو حالت در بیشتر از مدت زمان بحرانی تالاب (از تیرماه تا مهرماه) قادر به تأمین نیاز آب تالاب می باشد.

ب- اگر نیاز آبی زیست محیطی تالاب شادگان بیشتر از $4/7$ و کمتر از $7/4$ مترمکعب بر ثانیه باشد، در دوره قبل از ساخت سد (رژیم جریان طبیعی) تالاب شادگان در وضعیت مطلوب نبوده ولی بعد از ساخت سد در شرایط مطلوب از لحاظ تأمین نیاز آبی زیست محیطی می باشد.

ج- اگر نیاز آبی زیست محیطی تالاب شادگان بیشتر از $7/4$ مترمکعب بر ثانیه باشد، وضعیت تالاب در شرایط قبل و بعد از ساخت سد مطلوب نمی باشد.



شکل ۴: درصد زمان هایی که دبی جریان در شرایط طبیعی و کنترل شده برابر یا بیش از مقدار مشخص.



شکل ۵: فراوانی وقوع مقادیر مختلف دبی جریان در شرایط طبیعی و کنترل‌شده.

جدول ۴: درصد زمان‌هایی که دبی جریان رودخانه بیش از حداقل دبی زیست‌محیطی به ازای روش‌های مختلف در دو حالت رژیم طبیعی جریان و رژیم کنترل‌شده.

روش	شاخص	جریان زیست‌محیطی پس از اجرای سد (مترمکعب بر ثانیه)	Natural % x, of time	Gaged % x, of time
منحنی تداوم جریان	دبی در حالت پرابی	۹/۱۸	۲/۶	۸/۳
	دبی در حالت نرمال	۵/۶	۱۸	۵۴/۱
	دبی حالت کم‌آبی	۲/۷۵	۷۴/۶	۷۶/۲
	کمینه جریان (Q90)	۱/۰۴	۹۸/۶	۹۱
قانون شیلات فرانسه	-	۱/۴۹	۹۱/۴	۸۵/۷
روش مونتانا	حد پایین نیمه نخست سال آبی	۰/۷۶	out of range	۹۳/۳
	حد بالا نیمه نخست سال آبی	۱/۵۳	۸۹/۵	۸۵/۲
	حد پایین نیمه دوم سال آبی	۲/۲۹	۷۷/۶	۷۶/۶
	حد بالا نیمه دوم سال آبی	۳/۰۶	۷۰/۴	۷۶/۲
روش اسماکتین	-	۲/۵۳	۷۶/۱	۷۶/۴

با توجه به جدول (۴) نتایج به شرح ذیل می‌باشد:

- (۱) با توجه به شاخص دبی در حالت پرابی روش منحنی تداوم جریان پس از اجرای سد که ۹/۱۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
 - به ازای شرایط طبیعی جریان در ۲/۶ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از این مقدار یعنی ۹/۱۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که کمتر از مدت‌زمان بحرانی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
 - به ازای شرایط تنظیم‌شده (کنترل‌شده) جریان توسط سد مارون در ۸/۳ زمان بحرانی، جریان ورودی به تالاب بیش از این مقدار (۹/۱۸ مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد که کمتر از مدت‌زمان بحرانی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.

- * با در نظر گرفتن شرایط به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که تالاب شادگان از لحاظ تأمین نیاز آب زیست‌محیطی در وضعیت بحرانی می‌باشد.
- (۲) با توجه به شاخص دبی در حالت نرمال روش منحنی تداوم جریان پس از اجرای سد که ۵/۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
- به ازای شرایط طبیعی جریان در ۱۸ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از این مقدار یعنی ۵/۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که کمتر از مدت‌زمان بحرانی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده جریان توسط سد مارون در ۵۴/۱ درصد زمان بحرانی، جریان ورودی به تالاب بیش از ۵/۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیش از مدت‌زمان بحرانی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
- * با توجه به این شرایط به‌طور کلی نتیجه می‌گیریم که تالاب در شرایط طبیعی قادر به تأمین نیاز آب زیست‌محیطی نمی‌باشد ولی در شرایط کنترل‌شده قادر به تأمین نیاز آب زیست‌محیطی می‌باشد.
- (۳) با توجه به شاخص دبی حالت کم‌آبی روش منحنی تداوم جریان پس از اجرای سد که ۲/۷۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
- به ازای شرایط طبیعی جریان در ۷۴/۶ زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۲/۷۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیش از مدت‌زمان بحرانی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده در ۷۶/۲ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۲/۷۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی می‌باشد.
- * با در نظر گرفتن این شرایط به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که تالاب در شرایط طبیعی و کنترل‌شده قادر به تأمین نیاز آب زیست‌محیطی می‌باشد.
- (۴) با توجه به شاخص کمینه‌ی جریان (Q_{۹۰}) روش منحنی تداوم جریان که ۱/۰۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
- به ازای شرایط طبیعی جریان، در ۹۸/۶ درصد زمان کم‌آبی، دبی جریان رودخانه بیش از ۱/۰۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده جریان در ۹۱ درصد زمان بحرانی، جریان ورودی به تالاب بیش از ۱/۰۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی می‌باشد.
- (۵) با توجه به شاخص روش قانون سیلات فرانسه پس از اجرای سد که ۱/۴۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
- به ازای شرایط طبیعی جریان در ۹۱/۴ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۱/۴۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده جریان توسط سد مارون در ۸۵/۷ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۱/۴۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان بحرانی می‌باشد.
- (۶) با توجه به شاخص حد پایین نیمه‌ی نخست سال آبی روش مونتانا که ۰/۷۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
- به ازای شرایط طبیعی جریان این مقدار خارج از محدوده تعیین‌شده می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده توسط سد مارون در ۹۳/۳ زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۰/۷۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان بحرانی می‌باشد.
- (۷) با توجه به شاخص حد بالا نیمه نخست سال آبی روش مونتانا که ۱/۵۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
- به ازای شرایط طبیعی جریان در ۸۹/۵ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از این مقدار یعنی ۱/۵۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
- (۸) با توجه به شاخص حد پایین نیمه‌ی دوم سال آبی روش مونتانا که ۲/۲۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:

- به ازای شرایط طبیعی جریان در ۷۷/۶ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۲/۲۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده جریان در ۷۶/۶ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۲/۲۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیش از مدت‌زمان کم‌آبی می‌باشد.
- (۹) با توجه به شاخص حد بالای نیمه‌ی دوم سال آبی روش مونتانا پس از اجرای سد که ۳/۰۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشند:
- به ازای شرایط طبیعی جریان در ۷۰/۴ درصد زمان بحرانی دبی جریان رودخانه بیش از ۳/۰۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیش از مدت‌زمان کم‌آبی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده جریان توسط سد مارون در ۷۶/۲ درصد زمان کم‌آبی، جریان ورودی به تالاب بیش از ۳/۰۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.
- (۱۰) با توجه به شاخص روش اسمکتین پس از اجرای سد که ۲/۵۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد:
- به ازای شرایط طبیعی جریان، در ۷۶/۱ درصد زمان بحرانی، دبی جریان رودخانه بیش از ۲/۵۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیش از مدت‌زمان کم‌آبی می‌باشد.
- به ازای شرایط کنترل‌شده جریان در ۷۶/۴ درصد زمان بحرانی، جریان ورودی به تالاب بیش از ۲/۵۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشتر از مدت‌زمان کم‌آبی (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق وضعیت سلامت تالاب شادگان از لحاظ تأمین نیاز آب زیست‌محیطی در شرایط قبل و بعد از ساخت سد در بالادست (سد مارون) با استفاده از مدل HEC-EFM بررسی شد که نتایج نشان می‌دهد رژیم جریان ورودی به تالاب در زمان بحرانی تالاب از لحاظ تأمین نیاز آب زیست‌محیطی، بعد از ساخت سد مارون نسبت به زمان عدم وجود آن بهبود یافته است؛ بنابراین سد مارون از لحاظ تأمین نیاز آب زیست‌محیطی در زمان بحرانی تالاب، تأثیر مثبتی داشته است. اگر نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب شادگان کمتر از ۴/۷ مترمکعب بر ثانیه باشد، وضعیت تالاب در زمان قبل از ساخت سد مارون و بعد از ساخت سد مطلوب می‌باشد به عبارتی رژیم جریان در دو حالت در بیشتر از مدت‌زمان بحرانی تالاب (از تیرماه تا مهرماه) قادر به تأمین نیاز آب تالاب می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیق اگر نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب شادگان بیشتر از ۴/۷ مترمکعب بر ثانیه و کمتر از ۷/۴ مترمکعب بر ثانیه باشد، در دوره قبل از ساخت سد (رژیم جریان طبیعی) تالاب شادگان در وضعیت مطلوب نبوده ولی بعد از ساخت سد در شرایط مطلوب از لحاظ تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی می‌باشد ولی اگر نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب شادگان بیشتر از ۷/۴ مترمکعب بر ثانیه باشد، وضعیت تالاب در شرایط قبل و بعد از ساخت سد مطلوب نمی‌باشد.

Wakitolie (۲۰۱۳) در نتایج تحقیق خود بیان کرد که وجود سد بر روی رودخانه باعث تغییرات زیست‌محیطی و پس‌از آن مهاجرت ماهیان را سبب شده است اما در تحقیق حاضر با توجه به اینکه هدف تعیین نیاز آب زیست‌محیطی در ماه‌های بحرانی بود سد تأثیر مثبتی بر روی تالاب از نظر تأمین نیاز آب زیست‌محیطی در ماه‌های بحرانی داشته است.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۸) که در ایستگاه‌های هیدرومتری پس از احداث سد، شاخص جریان زیست‌محیطی پس از احداث سد کاهش یافته است تطابق دارد و فقط در ماه‌های بحرانی میزان دبی نسبت به بقیه ماه‌های سال افزایش داشته است. Hickey و همکاران (۲۰۱۵) ضمن معرفی مدل HEC-EFM، استفاده از آن را برای تجزیه و تحلیل آماری و نقشه‌برداری زیستگاه توصیف می‌کند که مدل کارایی بسیار خوبی داشته است. سیما و تجریشی (۱۳۸۵) در تحقیقی نیاز آب زیست‌محیطی تالاب شادگان را با استفاده از یک روش جامع که الزامات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی آن را به صورت توأم در نظر گیرد برآورد کردند که سطح احتمال تجمعی ۶۰ درصد، می‌تواند سطح قابل قبولی از نیازمندی‌های رژیم قبل از توسعه را برآورده سازد.

منابع

- احمدی پور، ظ. و یاسی، م.، ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های اکو- هیدرولوژیکی - هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه). مجله هیدرولیک، دوره ۹، شماره ۲، صفحات ۸۲-۶۹.
- افخمی، م.، ۱۳۸۳. بررسی موقعیت تالاب‌های استان خوزستان از لحاظ کمی و کیفی. گزارش از معاونت مطالعات پایه و طرح‌های جامع منابع آب دفتر بررسی زیست‌محیطی سازمان آب و برق خوزستان.
- حجازی، ج.، ۱۳۸۹. طرح جامع گردشگری استان خوزستان (تالاب شادگان). سازمان میراث فرهنگی و گردشگری استان خوزستان و دانشگاه شهید چمران اهواز، ۵۲۴ ص.
- حسینی، س. م.، نبوی، س. م. ب.، رجب‌زاده، ا. و امیدوار، و.، ۱۳۸۹. مقایسه روند تغییرات ارزش‌های حفاظتی تالاب شادگان به روش (IMO, IUCN و Salm and Price) طی دهه‌های ۶۰ تا ۸۰. مجله تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال اول، شماره چهارم، صفحات ۳۷-۲۱.
- ذوالفقاری، س.، قنبرپور، م. ر.، حبیب نژاد، م. و افخمی، م.، ۱۳۸۸. بررسی و ارزیابی جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی (مطالعه موردی تالاب شادگان). مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم، شماره ۸، صفحات ۷۰-۶۷.
- سیما، س.، ۱۳۸۴. حقایق زیست‌محیطی در بهره‌برداری مخزن (مطالعه موردی: تالاب شادگان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه عمران - محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف.
- سیما، س. و تجریشی، م.، ۱۳۸۵. برآورد نیاز آب زیست‌محیطی تالاب شادگان. هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. ۱۸ تا ۲۰ اردیبهشت، دانشگاه تربیت مدرس.
- عبدالخانیان، ن. و فتحیان، ح.، ۱۳۹۷. مدل عملکردهای اکوسیستم (HEC-EFM). چاپ ۱، انتشارات سخنران، ۱۳۷ ص.
- عبدالخانیان، ن.، کوشافر، آ. و فتحیان، ح.، ۱۳۹۰. بررسی وضعیت سلامت تالاب شادگان به لحاظ کمی با استفاده از مدل HEC-EFM. پایان‌نامه کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه محیط زیست.
- هادی پور، ا. و آخوندی، ل.، ۱۳۹۰. ارزیابی نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه قمرود در سناریوهای مختلف. پنجمین همایش تخصص مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران.
- ANCA., 1996. A Directory of Important Wetlands in Australia. Australian Nature Conservation Agency, Canberra. (www.ea.gov.au/wetlands).
- Bahukandi, K.D. and Ahuja, N.J., 2013. Building block methodology assisted knowledge-based system for environmental-flow assessment of Suswa River of Dehradun Dist., India: A reminiscent framework. International Research Journal of Environment Sciences, 2(12): 74-80.
- CEWIR-HEC. and USBR, D. K., 2010. Data Storage System. HEC-DSS, User's Manual, Version 3.2.1, Davis, California.
- Dyson, M., Berkamp, G. and Scanlon, J., 2003. Flow: The essentials of environmental flows IUCN Gland. Switzerland and Cambridge, UK.
- Godinho, F., Costa, S., Pinheiro, P., Reis, F. and Pinheiro, A., 2014. Integrated procedure for environmental flow assessment in rivers. Environmental Processes, 1(2):137-147.
- Gippel, Ch. and Stewardson, M., 1998. Use of Wetted Perimeter in Defining Minimum Environmental Flows, Regulated Rivers. Research and Management, 14: 53-67.
- Hickey, J. T., 2012. Regime Prescription Tool. HEC-RPT, User's Manual, Version 2.0, Davis, California.
- Hickey, J. and Fields, W., 2013. Ecosystem Function Model, HEC-EFM, Quick Start Guide. Version 3.0, Davis, California.
- Hickey, J. T., Huff, R. and Dunn, C.N., 2015. Using habitat to quantify ecological effects of restoration and water management alternatives. Environmental Modelling and Software, 70: 16-31.
- Leonard, M. P., 2011. Emerging Trends in Environmental Flow Science, Georgia Water. Resources Conference at University of Georgia.
- Lieschke, J. Grgat, L. and Zampatti, B. 2000. An Assessment of Environmental Flow Requirements for the Plenty River Catchment. Department of Natural Resources and Environment-Freshwater Ecology, Australia.

- Ramsar Convention Secretariat, 2004.** Handbook4, Riverbasin management.
- Shokoohi, A. and Hong, Y., 2011.** Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). *Hydrological Processes*, 25(22): 3490-3498.
- Smakhtin, V.U., Revenga, C. and Dooll, P., 2004.** Taking into account environmental water requirements in global scale water resources assessments. Research Report 2 of the CGIAR Comprehensive Assessment Program of Water Use in Agriculture. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 24 pp.
- Smakhtin, V. U. Shilpakar, R. L. and Hugheds D. A., 2006.** Hydrology-based assessment of environmental flows: an example from Nepal. *Hydrological Sciences Journal*, 51(2): 207-222.
- Tharme, R.E., 2003.** A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19: 397-442.
- Wakitolie, W.U., 2013.** Environmental Flow Assessment Using HEC-EFM and GIS: A Case Study of Kibos River (Doctoral dissertation, University of Nairobi).
- Wang, J., Dong, Z., Liao, W., Li, C., Feng, S., Luo, H. and Peng, Q., 2013.** An environmental flow assessment method based on the relationships between flow and ecological response: A case study of the Three Gorges Reservoir and its downstream reach. *Science China Technological Sciences*, 56(6):1471-1484.
- Zampatti, B. and Lieschke, J., 1999.** An assessment of environmental flow requirements for the Diamond Creek Catchment. Freshwater Ecology Research Section, Department of Natural Resources and Environment, Australia.
- Zampatti, B. P. and Close, P. G., 2000.** An assessment of environmental flow requirements for the Kiewa River. Department of Natural Resources and Environment, Freshwater Ecology, Australia.