

# مقایسه روش‌های اکو- هیدرولوژیکی - هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه)

ظاهر احمدی پور<sup>1</sup>، مهدی یاسی<sup>2\*</sup>

1- دانش آموخته کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه

2- دانشیار مهندسی رودخانه، گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه

\* ارومیه، صندوق پستی 57153-165

m.yasi@urmia.ac.ir

**چکیده-** از عوامل اصلی بحران دریاچه ارومیه، کاهش سهم جریان ورودی از رودخانه‌ها به دریاچه در چند دهه گذشته، در اثر مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی بوده است. در روند احیای دریاچه ارومیه، تخصیص "سهم جریان زیست محیطی" برای هر یک از ده رودخانه اصلی، و تضمین "تداوم جریان" تا دریاچه، از راهکارهای اصلی و پایدار است. هدف اصلی در تحقیق حاضر، ارزیابی حداقل جریان زیست محیطی رودخانه‌ها در ماه‌های مختلف سال بوده است. این مقاله، نتایج ارزیابی جریان زیست محیطی در یک رودخانه شاخص در ساحل غربی دریاچه ارومیه (رودخانه نازلو) را از تلفیق روش‌های موجود اکو-هیدرولوژیکی-هیدرولیکی ارائه می‌کند. از روش اکولوژیکی شبیه‌ساز زیستگاه برای اطمینان از تأمین نیاز گونه‌های حیاتی رودخانه (سیاه ماهی، سیاه کولی و زردک ماهی)؛ و از روش کیفیت آب برای کنترل آستانه تحمل گونه‌ها به آلوده کننده‌های آب استفاده شده است. برآورد بده جریان زیست محیطی از روش‌های هیدرولوژیکی، عموماً بیش از پتانسیل آبدهی رودخانه در ماه‌های کم آبی (تیر تا بهمن ماه) است. روش هیدرولیکی (حداکثر انحنای) انعطاف پذیری لازم در اختلاف برآورد بده جریان در ماه‌های مختلف سال را ندارد. غلظت‌های فسفات در جریان آب رودخانه بیشتر از آستانه تحمل ماهیان است. در این بررسی، ترکیب دو روش "شبیه ساز زیستگاه" و "کیفیت آب" با توجه به ظرفیت طبیعی آبدهی رودخانه، و به شرط تأمین حداقل عمق و سرعت برای گونه معرف آبزیان، برای حفاظت از سامانه حیاتی رودخانه نازلو در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که برای حفاظت رودخانه نازلو در حداقل شرایط زیست محیطی قابل قبول، توزیع پیوسته جریان از حداقل 0/8 (در مرداد و شهریور) تا حداکثر 8/0 مترمکعب بر ثانیه (در اردیبهشت)، در طول رودخانه و تا ورود به دریاچه ارومیه باید تأمین شود.

**کلیدواژگان:** جریان زیست محیطی، روش‌های اکو- هیدرولوژیکی - هیدرولیکی، رودخانه نازلو، دریاچه ارومیه.

**1- مقدمه**

طرح‌های توسعه منابع آب و کشاورزی در کنار اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی، منجر به تغییرات در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و کاهش آب‌های سطحی پایین‌دست می‌شود. این امر به نوبه خود موجب اثرات منفی در اکوسیستم رودخانه شده و بقای آن را به خطر می‌اندازد. آثار تغییرات کمی و کیفی آب رودخانه در اکوسیستم پایین‌دست (آب پذیرنده) ظاهر می‌شود (زانگ و همکاران، 2009). شناسائی تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و تأثیراتی که بر محیط زیست دارند، زمینه توسعه علم برآورد جریان زیست محیطی گردید که در آن کیفیت و کمیت آب مورد نیاز برای حفاظت اکوسیستم منابع آبی (حفظ زیستگاه گونه‌های مختلف آبی، جانوری و گیاهان) تخمین زده می‌شود (شاعری و همکاران، 2014). بیش از 200 روش مختلف برای تعیین جریان زیست محیطی در منابع مختلف ذکر شده است (وداس و اورت، 2000). هم‌اکنون طیفی گسترده از روش‌های ساده (مبتنی بر درصدی از میانگین جریان سالانه رودخانه) تا مدل‌های پیچیده (بر اساس آب مورد نیاز گونه‌های گیاهی و جانوری موجود و درجه کیفی رودخانه) در اختیار کارشناسان رودخانه و محیط زیست قرار دارد. روش‌های مورد استفاده برای تعیین نیاز آبی زیست محیطی عموماً به روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه و مدل‌های جامع‌نگر تقسیم می‌شوند (مارچند، 2006). گیپس و استواردسون (1998) از روش هیدرولیکی محیط خیس شده برای تعریف حداقل جریان در دو رودخانه از حوضه آبریز ملبورن استفاده کردند. روش محیط خیس شده بر اساس پارامترهای مرفولوژیکی و خصوصیات هندسه جریان بوده که توانایی حفظ زیستگاه فیزیکی در یک محدوده قابل قبول از عمق، عرض، سرعت و تنش برشی بستر را دارد. در این مطالعه، رابطه بین بده جریان و محیط خیس شده بررسی گردید. در هر دو رودخانه،

بهترین برآزش بین محیط خیس شده و دبی، رابطه لگاریتمی بود.

پوف و همکاران (2010) روش جدید و جامعی برای ارزیابی نیازهای جریان زیست محیطی تعریف کردند. این روش که محدودیت‌های اکولوژیکی ناشی از تغییرات هیدرولوژیکی نام دارد، بر اساس مبانی هیدرولوژیکی ایجاد شده است. این روش قابل انعطاف برای مناطق مختلف بوده؛ و با اهداف اجتماعی، اطلاعات اکولوژیکی و استانداردهای موجود، شرایط را برای مدیریت صحیح از جریان زیست محیطی فراهم می‌سازد. شکوهی وهانگ (2011) به بررسی و مقایسه دو روش هیدرولوژیکی تنانت<sup>1</sup> و تکزاس<sup>2</sup> و روش هیدرولیکی محیط خیس شده (با دو الگوریتم شیب منحنی و حداکثر انحنا)، در رودخانه صفارود، در شمال ایران پرداختند. در این بررسی، الگوریتم حداکثر انحنا بر الگوریتم شیب منحنی ترجیح داده شده و نتایج روش هیدرولیکی محیط خیس شده را مورد قبول‌تر از روش‌های هیدرولوژیکی (بخصوص روش تنانت) دانستند. مشابه این مطالعات توسط شکوهی و امینی (2014) در کاظم رود، شمال ایران، گزارش شده است. به هر حال باید توجه داشت که کارایی روش‌های هیدرولیکی بستگی به هندسه بازه رودخانه داشته، و در بازه‌های مختلف رودخانه (با تغییر مقاطع عرضی از کم عرض و عمیق تا عریض و کم عمق) همسان نمی‌باشد. نظری دوست (1385) برای تدوین روشی برای تعیین نیاز آب زیست محیطی تالاب‌ها از رویکرد اکولوژیک و تلفیق آن با مدیریت اکوسیستم‌ها استفاده کرد و این روش را برای تالاب بین‌المللی دریاچه ارومیه آزمود. وی آرمیای دریاچه ارومیه را به‌عنوان شاخص بیولوژیک، نمک را به عنوان شاخص کیفیت آب، و تراز سطح آب دریاچه را به عنوان شاخص کمیت آب انتخاب کرد. مجموعه این سه شاخص اساس احیای اکولوژیکی دریاچه ارومیه را

1. Tennant  
2. Texas

یا قانون‌گذاری روشنی در زمینه جریان زیست محیطی ندارند و یا روش‌های پذیرفته شده‌ای برای ارزیابی این جریان‌ها ندارند (وداس و اورت، 2000).

اختصاص جریان زیست محیطی در رودخانه‌ها، چالش جدیدی در ایران است (یاسی، 1392). حفاظت چرخه زیست بوم در سامانه‌های آبی، نیازمند تخصیص حقایق معینی تحت نام "جریان زیست محیطی" به رودخانه‌ها و آب‌های پذیرنده (تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها) است. با وجود ثبت دریاچه ارومیه و تالاب‌های پیرامون آن در کنوانسیون جهانی رامسر، تاکنون مطالعات جامعی در زمینه برآورد سهم جریان زیست محیطی در رودخانه‌های ورودی به دریاچه صورت نگرفته است. در شبکه جریانات سطحی ورودی به دریاچه ارومیه (شکل 1)، تعداد ده رودخانه اصلی با پتانسیل جریان دائمی وجود دارد (1- نازلوچای؛ 2- آجی چای؛ 3- زرینه رود؛ 4- سیمینه رود؛ 5- مهابادچای؛ 6- گذارچای؛ 7- باراندوزچای؛ 8- شهرچای؛ 9- روضه چای؛ 10- زولاچای). در روند احیای دریاچه ارومیه، تخصیص "حداقل سهم جریان زیست محیطی" برای هر یک از ده رودخانه؛ و تضمین "تداوم جریان" به دریاچه، از راهکارهای اصلی و پایدار در "خروج از بحران دریاچه ارومیه" است.

هدف اصلی در تحقیق حاضر، ارزیابی حداقل سهم جریان زیست محیطی برای رودخانه‌های اصلی حوضه دریاچه ارومیه، بوده است. در این مقاله، بطور نمونه، نتایج ارزیابی برای یک رودخانه شاخص در حوضه غربی دریاچه ارومیه (رودخانه نازلو) ارائه شده است. حداقل جریان زیست محیطی رودخانه نازلو براساس پتانسیل آبدهی رودخانه، ملاحظات اکولوژیکی- هیدرولیکی (بر پایه نیازهای بیولوژیکی گونه شاخص زیستی رودخانه)، انتخاب کلاس مناسب "مدیریت زیستی رودخانه" و با قضاوت کارشناسی، در ماه‌های مختلف سال برآورد شده است.

تشکیل می‌دهد. بر این اساس، با در نظر گرفتن آستانه تحمل شوری معادل 240 گرم در لیتر به عنوان آستانه تحمل شاخص بیولوژیکی، و با استفاده از آمار بلند مدت جریان ورودی به دریاچه و روابط بین شاخص‌های کمی و کیفی آب، تراز آبی 1274/1 متر را به عنوان تراز اکولوژیکی دریاچه ارومیه معرفی نمود. بر این اساس، نیاز آب زیست محیطی دریاچه ارومیه، سالیانه معادل 3/1 میلیارد متر مکعب محاسبه شد. مطالعات شاعری و همکاران (2012) برای برآورد نیاز زیست محیطی رودخانه شهر چای (در حوضه غربی دریاچه ارومیه) از روش‌های اکو-هیدرولوژیکی، نشان می‌دهد که مقادیر محاسباتی از روش "انتقال منحنی تداوم جریان"، به دلیل در نظر گرفتن خصوصیات اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه، نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد.

برای همسان‌سازی برآورد حداقل جریان زیست محیطی رودخانه‌ها و تالاب‌ها، نشریه راهنمای استاندارد ایران تهیه شده است (استاندارد صنعت آب و آبفا، 1388). شرح کامل روش‌های اکو-هیدرولوژیکی و کاربرد آنها توسط شاعری و همکاران (2014) ارائه شده است. تصمیم برای انتخاب روش مناسب بستگی به: نوع رودخانه (دایمی، فصلی، جریان پایه بالا، سیلابی)؛ اهمیت زیست محیطی سامانه رودخانه؛ پیچیدگی تصمیم‌گیری؛ هزینه‌های زیاد و دشواری جمع‌آوری مقادیر زیاد اطلاعات؛ تأثیرات توسعه طرح‌های منابع آبی در سامانه رودخانه، دارد (تارمه، 2003). روش‌های ارزیابی جریان زیست محیطی عموماً در کشورهای توسعه یافته طراحی و یا بکار برده شده‌اند. شکاف آشکاری از نظر دانش و تجربه جریان‌های زیست محیطی در رویکردهای فعلی مدیریت منابع آبی، تقریباً در تمام کشورهای در حال توسعه به چشم می‌خورد (دایسون و همکاران، 2003). فقط تعدادی از کشورها مانند: استرالیا، آفریقای جنوبی و انگلیس این مفهوم را بطور کامل در مدیریت منابع آب گنجانده‌اند. بسیاری کشورها در آمریکای لاتین، آفریقا و آسیا در حال حاضر

شرقی 044 و 30° تا 045 و 15° قرار دارد. وسعت حوضه در حدود 1832 کیلومتر مربع می‌باشد که حدود 480 کیلومتر مربع آن در کشور ترکیه قرار دارد. رودخانه نازلو از سه شاخه قصریگ، رود صوفیان و چم‌کدران، از ارتفاعات شمالی و شمال غرب حوضه سرچشمه می‌گیرد. نقشه جغرافیایی رودخانه نازلو در محدوده مورد مطالعه، در شکل 2 نمایش داده شده است.

بر روی شاخه اصلی رودخانه نازلو، دو ایستگاه هیدرومتری تپیک و آباچالو قرار دارد. از آمار آبدهی ایستگاه تپیک (در بازه بالادست رودخانه و در محل احداث سد مخزنی نازلو) برای ارزیابی پتانسیل جریان زیست محیطی رودخانه نازلو استفاده شده است. اطلاعات آبدهی رودخانه برای دوره 25 ساله (90-1364)، در جدول 1 ارائه شده است (احمدپور، 1391).

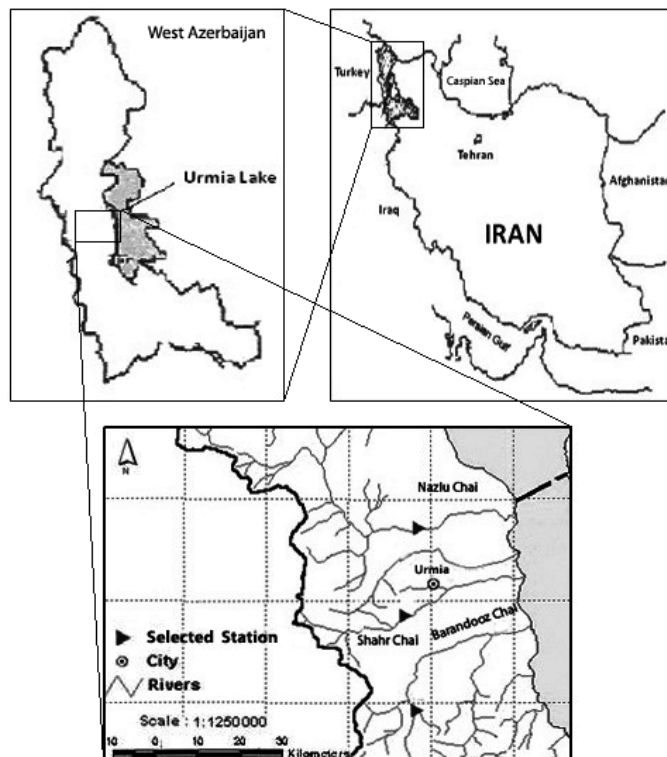


شکل 1 شبکه هیدروگرافی رودخانه‌های ورودی به دریاچه ارومیه، با نمایش رودخانه نازلو در غرب دریاچه

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- اطلاعات رودخانه

حوضه رودخانه نازلو در غرب دریاچه ارومیه، در شمال غرب ایران، بین عرض شمالی 37° و 30° تا 38° و طول



شکل 2 نقشه جغرافیایی رودخانه نازلو در محدوده مورد مطالعه از حوضه دریاچه ارومیه

می‌کند. فون ماهیان رودخانه نازلو عبارت است از : 1- سیاه ماهی 2- ماهی سیاه کولی 3- ماهی شانه یا زردک ماهی 4- ماهی قزل آلا که همگی از خانواده Cyprindis می‌باشند. برای انتخاب گونه شاخص ماهی معمولاً از روش ارزش گذاری استفاده می‌شود. در این روش 6 پارامتر برای ارزش گذاری گونه‌های موجود در رودخانه نازلو استفاده شد، که نتایج در جدول 2 ارائه شده است. بر اساس آن، برای اعداد شاخص مقادیر 4 تا 14 بدست می‌آید. در گام بعدی و برای مجزا ساختن گونه‌های شاخص از گونه‌های غیرشاخص، از 90% میانه اعداد شاخص بدست آمده برای تعیین مقدار کمیته عدد شاخص، برای اینکه بتوان یک گونه را شاخص به شمار آورد، استفاده به عمل می‌آید. بدین معنی که عدد میانه مشاهدات با 0/9 خود جمع شده و به عنوان حد پایین امتیاز برای انتخاب گونه شاخص استفاده می‌شود (احمدپور، 1391؛ نادری و عبدولی، 1387؛ کد، 1995). با توجه به این که میانه اعداد بدست آمده 4 می‌باشد، حد پایین عدد شاخص برابر (12/9) = (0/4 × 9 + 4) خواهد بود.

رودخانه نازلو سال‌های پرآبی 1348، 1367 و 1372؛ و دوره‌های خشکسالی 42-1336 و 81-1378 را تجربه کرده است (مهندسان مشاور آبساران، 1379).

**اطلاعات زیست محیطی:** روش‌های شبیه ساز زیستگاه از ویژگی‌های هیدرولیکی (عمق و سرعت) یک گونه شاخص و هدف برای تعیین جریان زیست محیطی استفاده می‌کنند (جوت، 1997). در اغلب موارد گونه مورد نظر از خانواده ماهیان می‌باشد. دلیل این انتخاب بالا بودن طول دوره زندگی ماهیان و حضور آنها در بالای هرم اکولوژیکی می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که با وجود ماهی‌ها، یک رودخانه دارای سلامت است (وادل، 2001). مطالعات زیست محیطی شامل مطالعات لیمنولوژیک و اکولوژیک برای رودخانه نازلو و حوضه‌های مجاور صورت گرفته است که هر چند محدود می‌باشد، ولی می‌توان در این تحقیق به آن اتکا کرد. حوضه رودخانه نازلو دارای تنوع زیستی است که بعضی عوامل مانند تخریب زیستگاه، صید بی رویه و به هم خوردن توازن اکوسیستم منطقه، سلامت آنها را تهدید

جدول 1 آبدهی درازمدت ماهیانه و سالانه (مترمکعب بر ثانیه) رودخانه نازلو، ایستگاه تپیک (90-1364)

سالانه	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
بده متوسط	2/7	5/5	5/2	5/2	5/3	8/9	25/2	43/9	27/3	10/4	8/2	3/8	12/2
حداکثر بده	19/3	16/5	38/0	12/8	9/5	27/4	60/5	192/0	256/0	114/9	56	19/1	256/0
حداقل بده	0/0	0/4	0/7	2/2	4/4	1/2	1/1	0/6	0/4	0/2	0/0	0/0	0/0

جدول 2 ماتریس ارزش ماهیان برای انتخاب گونه‌های شاخص در رودخانه نازلو

ردیف	گونه	ارزش صید ورزشی	ارزش اقتصادی	ارزش اکولوژیکی	ارزش ژنتیکی	ارزش حفاظت ملی	ارزش بین‌المللی	عدد شاخص
1	سیاه ماهی	1	1	1	0	1	0	13
2	شانه ماهی	0	0	1	0	0	0	4
3	سیاه کولی	1	1	1	0	1	0	13
4	قزل آلا	1	0	1	0	0	0	4
5	سوف ماهی	0	0	1	0	0	0	3

=1 ارزشمند، 0= بدون ارزش

جدول 3 گونه‌های شاخص رودخانه نازلو و برخی از اطلاعات هیدرولیکی، زیستی و حفاظتی این گونه‌ها

ردیف	گونه	نوع گونه	زمان تخم ریزی	عمق در ماه‌های غیر بحرانی (m)	عمق در ماه‌های بحرانی (m)	سرعت جریان (m/s)
1	سیاه ماهی	بومی	اواخر اسفند تا اوایل اردیبهشت	1/2	0/6	0/8 تا 1
2	سیاه کولی	بومی	خرداد تا تیر	1/3	0/8	0/8 تا 1/1
3	زردک ماهی	بومی	اواخر اسفند تا اوایل اردیبهشت	1/1	0/5	0/6 تا 0/8

با توجه به جدول 2 و حد پایین عدد شاخص، سه گونه شاخص برای رودخانه نازلو، مطابق جدول 3، انتخاب شد.

## 2-2- روش‌های مورد استفاده

روش تنانت یا مونتانا<sup>1</sup>: از ساده‌ترین و سریع‌ترین روش‌های هیدرولوژیکی برای تعیین نیاز آب زیست محیطی محسوب می‌شود. در این روش، درصدهای مختلفی از متوسط جریان سالانه رودخانه ( $MAR^2$ ) در قالب سطوح مختلف کیفیت زیست بوم رودخانه در نظر گرفته می‌شود (تارمه، 2003). روش تنانت از متوسط جریان سالانه برای دو 6 ماهه سال که در آن اکوسیستم رودخانه در حد قابل قبولی حفظ شود، استفاده می‌کند (تنانت، 1976). سطح مورد نظر با توجه به نشریه استاندارد وزارت نیرو برای حالت قابل قبول، معادل 30 درصد متوسط جریان سالانه برای نیمه فروردین تا شهریور ماه؛ و 10 درصد متوسط جریان سالانه برای مهرماه تا نیمه فروردین می‌باشد.

روش تغییر منحنی تداوم جریان ( $FDC\text{-Shifting}^3$ ): این روش توسط اسمختین و آنپوتاس توسعه یافته است (اسماختین، 2001). در این روش، با استفاده از داده‌های ماهیانه جریان، منحنی‌های تداوم جریان زیست محیطی برای هر کلاس مدیریت زیست محیطی رودخانه تهیه

می‌شود. سپس از طریق یک میان‌یابی فضایی، می‌توان منحنی‌های تداوم جریان زیست محیطی را به سری‌های زمانی جریان زیست محیطی ماهیانه تبدیل کرد (هاگس و اسماختین، 1996). با استفاده از سری زمانی جریان ماهیانه طبیعی رودخانه، متوسط جریان سالانه ( $MAR$ ) و متوسط جریان زیست محیطی سالانه ( $MAER^4$ ) محاسبه می‌شود. سپس با نسبت ( $MAER/MAR$ ) می‌توان درصدی از  $MAR$  را که باید برای هر کلاس مدیریتی به عنوان جریان زیست محیطی در نظر گرفته شود، محاسبه کرد. نرم‌افزار "محاسب جهانی جریان زیست محیطی" ( $GEFC$ ) توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب ( $IWMI$ )، در سال 2007 توسعه یافت (اسماختین و اریاگاما، 2008) از این نرم‌افزار برای محاسبه جریان زیست محیطی رودخانه نازلو استفاده شد.

روش مدل ذخیره رومیزی ( $DRM^5$ ): این روش توسط هاگس و مانستر (2000) و هاگس و هانارت (2003) برای ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه‌های آفریقای جنوبی توسعه یافته است. در این روش، چهار کلاس مدیریت زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (هاگس و اسماختین، 2003).

روش تحلیل منحنی تداوم جریان ( $FDCA^6$ ): در این روش عموماً بده جریان در سطح اطمینان 70% تا 95% ( $Q_{70}$  تا  $Q_{95}$ ) به عنوان شاخص جریان کم آبی، برای

4. Mean Annual Environmental Requirement  
5. Desktop Reserve Model  
6. Flow Duration Curve Analysis

1. Montana  
2. Mean Annually Runoff  
3. Flow Duration Curve-Shifting

خیس شده و مساوی قرار دادن آن با یک، می‌توان مقدار حداکثر و به ازای آن مقدار بده کمینه را بدست آورد (گیپل و استواتسون، 1998).

$$k = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

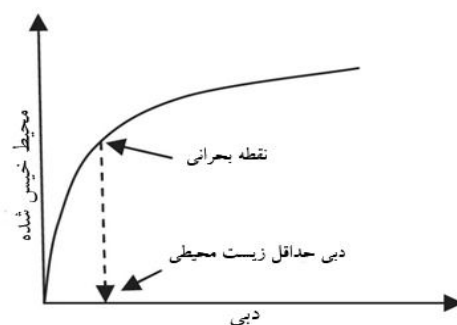
با استفاده از روابط جریان یکنواخت به ازای بده‌های مختلف، در ابتدا محیط خیس شده در بازه رودخانه محاسبه شده، و سپس به کمک رابطه فوق نقطه بحرانی و بده حداقل زیست محیطی بدست می‌آید. پیدا کردن رابطه مناسب بین بده و محیط خیس شده نیازمند تخمین مناسب ضریب زبری (مانینگ) می‌باشد. ضریب مانینگ برای بازه تپیک از رودخانه نازلو، بین 0/075 تا 0/095 و بطور متوسط معادل 0/08 تعیین گردید. با ضریب مانینگ و مقاطع عرضی معرف ایستگاه هیدرومتری، رابطه ارتفاع سطح آب، محیط خیس شده (P) و بده جریان (Q) تعیین می‌شود. با انتخاب برازش توانی به عنوان بهترین برازش بر نمودار بده - محیط خیس شده، رابطه (2) برای متوسط بازه بدست آمده است.

$$P = 7.65 Q^{0.41} \quad (2)$$

روش شبیه‌ساز زیستگاه<sup>1</sup>: زیستگاه ماهیان نیازمند عمق و سرعت مناسب جریان آب است. با احتساب عمق و سرعت مورد نیاز برای گونه‌های شاخص، بده مورد نیاز محاسبه می‌شود. در روش‌های هیدرولیکی، پارامتر سرعت و تأثیر توأم عمق و سرعت در نظر گرفته نشده است. برای حل این مشکل، در روش شبیه‌ساز زیستگاه از شاخص عدد فرود (ترکیب تأثیر دو پارامتر عمق و سرعت) استفاده شده است. برای این منظور، اعداد فرود مورد نیاز ماهیان مختلف بطور تجربی تعیین و برای طرح زیستگاه مناسب آبریان پیشنهاد شده است (جوت، 1997). روش کیفیت آب: در فرایند تعیین نیاز زیست محیطی بر اساس کیفیت آب، ابتدا با توجه به ویژگی‌های

حداقل جریان زیست محیطی در نظر گرفته می‌شود. روش‌های هیدرولیکی محیط خیس شده: روش‌های هیدرولیکی پایه‌گذار روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه برای تخمین حداقل جریان زیست محیطی می‌باشند. مهمترین روش هیدرولیکی، محیط خیس شده می‌باشد که در استرالیا و آمریکا برای پرورش ماهیان از آن استفاده شده است. اساس روش‌های هیدرولیکی بر این اصل استوار است که اعتماد به نقطه بحرانی می‌تواند شرایطی را ایجاد کند که از توده زیستی (مانند ماهی‌ها) و بنابراین از اکوسیستم کل رودخانه حفاظت به عمل آورد (جوت، 1997). برای تعیین نقطه عطف در منحنی دبی - محیط خیس شده دو روش ارائه شده است:

روش شیب منحنی: در این روش با مشتق‌گیری از رابطه محیط خیس شده - بده و برابر قرار دادن آن با یک، مقدار جریان حداقل و یا نقطه بحرانی که در شکل 3 مشخص است، بدست می‌آید.



شکل 3 نمایش رابطه میان بده جریان و محیط خیس شده،

نقطه بحرانی و بده زیست محیطی معادل آن

روش حداکثر انحنا: حداکثر انحنا قسمتی است که در آن منحنی تغییر جهت می‌دهد؛ و تابع زاویه‌ای است که مماس بر منحنی در نقطه مورد نظر از کمان با محور X می‌سازد. رابطه (1) بر اساس این تعریف بدست آمده و K در آن معرف میزان انحنای منحنی مورد نظر می‌باشد. با مشتق‌گیری از معادله بدست آمده از منحنی بده - محیط

برنامه مدیریت رودخانه، از این درصدها برای تخصیص بده جریان زیستی در شرایط موجود جریان (نرمال، ترسالی یا خشکسالی) استفاده می‌شود. با استفاده از روش تنانت (1976) و مطابق ابلاغیه وزارت نیرو (1386)، مقدار جریان زیست محیطی برای فروردین تا شهریور 30% متوسط جریان سالانه (معادل 2/45 متر مکعب بر ثانیه) و برای مهرماه تا اسفند 10% متوسط جریان سالانه (معادل 0/82 متر مکعب بر ثانیه) می‌باشد. اختصاص 10% متوسط جریان سالانه (MAR) برای ماه‌های مهر تا اسفند می‌تواند شرایط بحرانی برای آبیان و اکوسیستم رودخانه به وجود آورده، و غیر قابل پذیرش است.

با کاربرد روش FDC-shifting، منحنی تداوم جریان زیست محیطی رودخانه نازلو برای شش کلاس مدیریت زیست محیطی A تا F در شکل 5 ارائه شده است. مشاهده می‌شود که شدت جریان زیست محیطی رودخانه نازلو برای حفظ شرایط ایده‌آل (کلاس A) حداقل معادل 3/6 متر مکعب بر ثانیه، و برای تأمین شرایط متوسط (کلاس C) معادل 1/5 متر مکعب بر ثانیه ارزیابی می‌شود (جدول 4).

برای شرایط رودخانه نازلو، کلاس مدیریت زیست محیطی C انتخاب شد. سری زمانی تولید شده جریان ماهیانه زیست محیطی در کلاس‌های مختلف رودخانه نازلو محاسبه شده است. با استفاده از این سری زمانی می‌توان جریان زیست محیطی ماهیانه مورد نیاز برای حفظ رودخانه در کلاس مدیریتی C را بدست آورد.

برای محاسبه نیاز آب زیست محیطی از روش DRM و ویرایش دوم نرم‌افزار مربوطه استفاده شد. داده‌های ورودی به این نرم‌افزار داده‌های طبیعی جریان ماهیانه می‌باشد. این روش برای کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، جریان‌های مختلفی را اریه می‌کند. نتایج حاصل از این روش برای هفت کلاس اکولوژیکی A تا D برای رودخانه

هیدرولوژیکی و اکولوژیکی اکوسیستم، نیاز آبی به لحاظ کمی تعیین می‌شود. سپس، کنترل کیفیت آب انجام می‌گیرد. مهمترین پارامترهای کیفیت آب، از نظر اثرات روی اکوسیستم‌های آبی عبارتند از: دما، جامدات محلول (TDS)، اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)، مواد مغذی (P و N) و اسیدیته (PH). اگر منبع آبی مورد استفاده‌های مختلف قرار گیرد، پارامترهای پایش دیگری نیز بسته به نوع مصرف آب (مانند سدیم، COD، سختی و...) مورد نظر قرار می‌گیرد. برای بررسی اثر کیفیت آب در جریان زیست محیطی، از رابطه (3) با عنوان معادله Q استفاده می‌شود (متکالف و ادی، 1978).

$$(Q_1 + Q_c) \times C_0 = (Q_2 \times C_2) + (Q_1 \times C_1) \quad (3)$$

که در آن،  $Q_1$  بده اولیه،  $Q_2$  بده ثانویه،  $Q_c$  بده لازم که باید اضافه شود تا به غلظت مطلوب رسید،  $C_1$  غلظت اولیه،  $C_2$  غلظت ثانویه و  $C_0$  غلظت مطلوب می‌باشد.

روش‌ها و مراحل ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه‌ها در روندنمای شکل 4 نمایش داده شده است (احمدپور، 1391).

### 3- نتایج و بحث

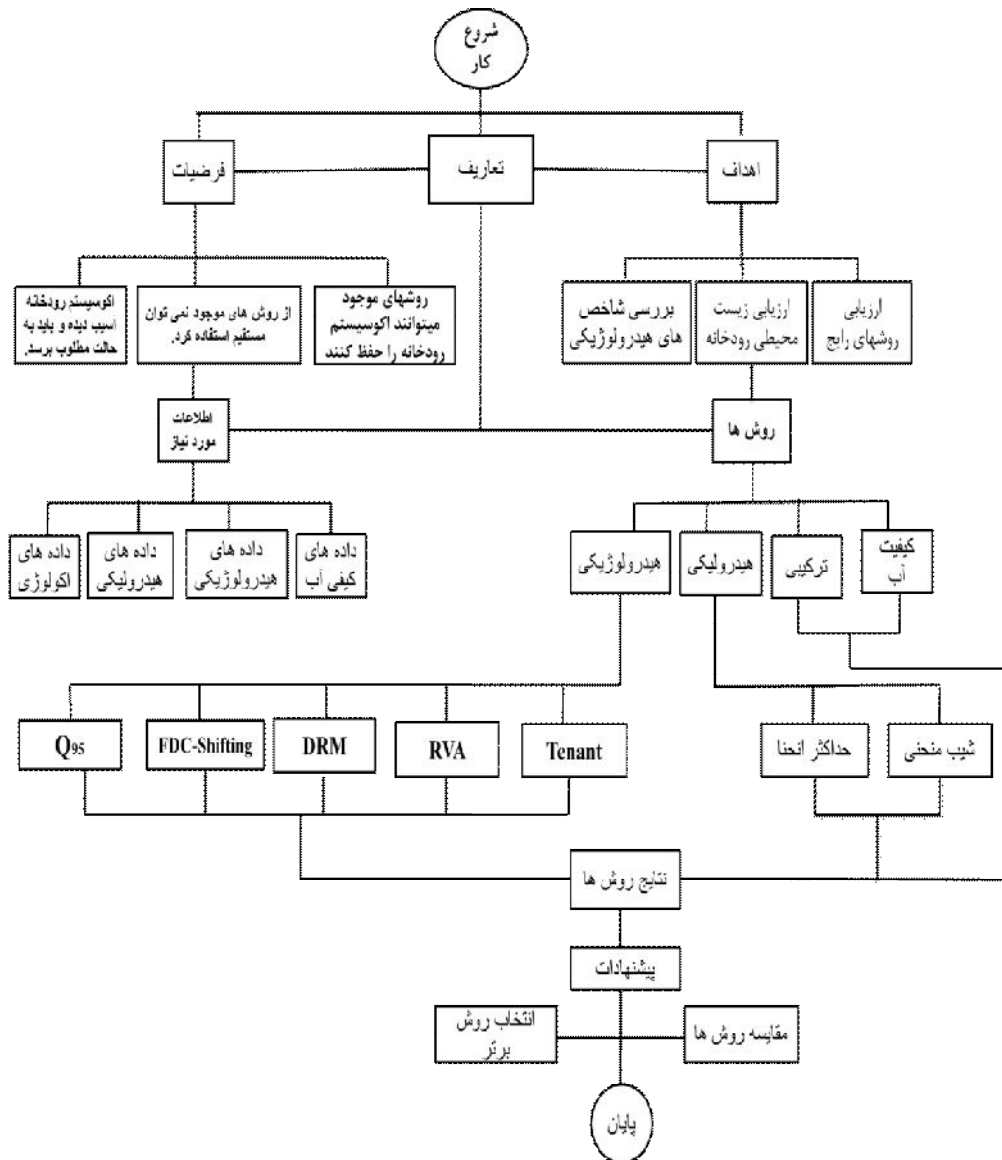
پتانسیل جریان زیست محیطی رودخانه نازلو از روش‌های مختلف اکو-هیدرولوژیکی - هیدرولوژیکی، با توجه به نیاز زیستگاهی گونه‌های شاخص ماهیان، و مطابق روند نمای شکل 4 برآورد شده است. نتایج این بررسی به شرح زیر است.

**روش‌های اکو-هیدرولوژیکی:** در این روش‌ها، بده جریان زیست محیطی عموماً به صورت درصدی از متوسط آبدی رودخانه ارزیابی می‌شود. بدیهی است که مقادیر بده جریان زیستی در سال‌ها و در ماه‌های مختلف هر سال همسان نبوده، و تابعی از رژیم آبدی رودخانه (شرایط نرمال، ترسالی یا خشکسالی) خواهد بود. در



(دی) تا مارس (اسفند) را بعنوان ماه‌های پرآبی و ماه‌های ژوئیه (خرداد) تا آگوست (مرداد) را به عنوان ماه‌های کم-آبی در نظر می‌گیرد (با توجه به شرایط افریقای جنوبی)، که این گزینه در مدل قابل تغییر نمی‌باشد.

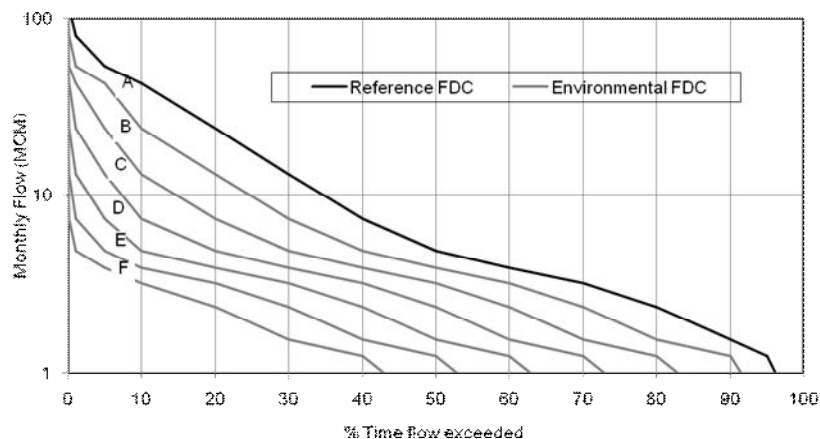
نازلو در جدول 5 ارائه شده است. مشاهده می‌شود که برای حفظ رودخانه نازلو در کلاس C جریانی معادل 23 درصد MAR مورد نیاز است. یکی از محدودیت‌های مدل DRM این است که در محاسبه شاخص تغییرپذیری جریان (CV) ماه‌های ژانویه



شکل 4 روندنمای ارزیابی جریان زیست محیطی در رودخانه نازلو

جدول 4 نیاز زیستی رودخانه نازلو برحسب درصدی از متوسط جریان سالانه (MAR) - از روش FDC-Shifting

نیاز آب زیست محیطی بلند مدت (درصدی از MAR)						متوسط جریان سالانه رودخانه نازلو (m <sup>3</sup> /s)
کلاس F	کلاس E	کلاس D	کلاس C	کلاس B	کلاس A	
10/0	13/4	18/9	28/2	44/1	68/6	12/1



شکل 5 منحنی تداوم جریان زیست محیطی رودخانه نازلو

روش‌های اکو-هیدرولوژیکی: نیاز آبی گونه‌های شاخص حیاتی در بازه رودخانه نازلو ارزیابی شد. هریک از گونه‌های ماهی نیازمند شرایط هیدرولوژیکی خاصی (حداقل عمق و سرعت) برای انجام فرایندهای زیستی خود در رودخانه می‌باشند.

مطابق جدول 3، این شرایط برای گونه‌های مختلف عبارت است از: سیاه ماهی (حداقل عمق 1/2 متر، سرعت 0/8 متر بر ثانیه)، ماهی سیاه کولی (حداقل عمق 1/3 متر، سرعت 0/8 متر بر ثانیه)، و زردک ماهی (حداقل عمق 1/1 متر، حداقل سرعت 0/6 متر بر ثانیه). از نتایج روش هیدرولوژیکی (حداکثر انحنای)، مقادیر متناظر عمق، سرعت و بده جریان در مقاطع مختلف بازه رودخانه و برای گونه‌های شاخص ماهیان محاسبه و در جدول 6 ارائه شده است.

بر اساس این جدول، در اکثر مواقع عمق آب برای گونه‌ها مناسب بوده؛ سرعت کمتر از حد لازم است؛ ولی بده جریان در محدوده قابل قبول برای تخم ریزی ماهیان قرار دارد. مقادیر بده حاصل از روش هیدرولوژیکی "حداکثر انحنای" در جدول 6 آورده شده است. روش هیدرولوژیکی "شیب منحنی" حداقل جریان زیست محیطی را معادل  $Q_{15}$  برآورد می‌کند؛ که خارج از توان رودخانه در فصول تابستان و پاییز می‌باشد.

جدول 5 نیاز آب زیست محیطی رودخانه نازلو از روش

DRM بر حسب درصدی از MAR

نیاز آب زیست محیطی بلند مدت (EWR) (درصدی از MAR)							MAR (m <sup>3</sup> /s)
D	C.D	C	B.C	B	A.B	A	
14/8	18/7	22/7	28/9	34/7	43/1	51/8	12/1

این درحالی است که برای رودخانه نازلو، ماه‌های آوریل (فروردین) تا ژوئیه (خرداد) ماه‌های پرآب و ماه‌های اگوست (مرداد) تا اکتبر (مهر) ماه‌های کم‌آب می‌باشند. بنابراین برای اینکه مدل، شاخص CV را بسیار نزدیک به واقعیت محاسبه کند و از آنجا که ماه‌های پرآب بر ماه‌های کم‌آب غلبه دارند، بنابراین سری زمانی داده‌های جریان ماهیانه ورودی به مدل، دو ماه شیفت داده شدند (یعنی ژانویه به مارس و به همین ترتیب تا انتها). توزیع ماهیانه بده جریان از روش DRM نیز محاسبه شده است. جریان زیست محیطی پیشنهادی FDC-Shifting در تمام کلاس‌های مدیریتی اندکی بیشتر از DRM می‌باشد. در روش FDCA، از نمودار منحنی تداوم جریان، بده حاصل از FDC-Q<sub>95</sub> بدست می‌آید. این مقدار جریان در ماه‌های پرآبی (اردیبهشت و خرداد) که فصل حضور گونه‌های ماهی می‌باشد، نیاز زیستی ماهیان این رودخانه را تأمین نمی‌کند.

**جدول 6** هیدرولیک زیستی (عمق و سرعت و بده) گونه‌های شاخص ماهیان رودخانه نازلو- روش حداکثر انحنا

زردک ماهی			سیاه کولی			سیاه ماهی			گونه ماهیان
بده (m <sup>3</sup> /s)	سرعت (m/s)	عمق (m)	بده (m <sup>3</sup> /s)	سرعت (m/s)	عمق (m)	بده (m <sup>3</sup> /s)	سرعت (m/s)	عمق (m)	مقاطع مختلف بازه
9/0	0/7	0/3	6/3	1/8	1/5	2/8	1/5	1/3	1
1/2	1/1	0/6	3/3	1/8	1/5	3/2	1/67	1/3	2
0/8	0/5	0/3	6/0	1/8	1/7	2/9	1/5	1/4	3

ماه) می‌تواند زیستگاه مورد نظر گونه‌های شاخص را تأمین کند. در بقیه ماه‌ها می‌توان هماهنگ با دیگر مصارف و در نظر گرفتن شرایط زیست محیطی، بده‌های مختلفی از جمله 2/3 متر مکعب بر ثانیه (که تأمین کننده عمق و سرعت مورد نظر گونه‌ها می‌باشد) را پیشنهاد کرد. این روش به علت ارائه بده‌های متنوع، دارای قدرت انعطاف‌پذیری خوبی برای هماهنگی با مصارف دیگر است. با در نظر گرفتن سطوح مختلف حفاظت می‌تواند با در نظر گرفتن نیاز بخش‌های دیگر مصرف کننده رودخانه، بده زیست محیطی را ارائه داد. این روش در مقایسه با روش‌های هیدرولیکی دارای انعطاف پذیری است (شکوهی و امینی، 2014).

**روش کیفیت آب:** از میان آلوده کننده‌های آب رودخانه نازلو در بازه تپیک، فسفات به دلیل بحرانی بودن مقادیر آن، انتخاب شد. با استفاده از رابطه (3) و با توجه به غلظت مجاز فسفات، مقادیر  $Q_1, Q_2, Q_0, C_0, C_1, C_2$  به ترتیب برابر 0, 2/5, 0/1, 0/2 و 0/0 بدست آمد. از نظر کیفیت آب، بده جریان زیست محیطی از این رابطه حداقل برابر 2/5 مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های بحرانی بدست می‌آید. شاید در حال حاضر کیفیت آب در سطح خطرناک نباشد، ولی با روند بالای ساخت و ساز و نبود شبکه فاضلاب و تصفیه پساب‌ها، شدت آلودگی در آینده افزایش خواهد یافت. جدول 8 نتایج برآورد جریان زیست محیطی رودخانه نازلو از روش‌های مختلف را ارائه می‌دهد.

**روش شبیه‌ساز زیستگاه:** در این روش از اعداد فرود زیستگاه‌های ماهیان استفاده شده است. در جدول 7 اعداد فرود متناظر با بده جریانات جدول 6، محاسبه و ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در مقاطعی که بده جریان برای گونه‌های ماهی سیاه کولی و زردک ماهی مناسب می‌باشد، اعداد فرود مناسب برای سیاه ماهی افزایش یافته است.

**جدول 7** اعداد فرود حاصل از زیستگاه گونه‌های شاخص

ماهیان در بازه رودخانه نازلو

گونه ماهی مقطع	سیاه ماهی	سیاه کولی	زردک ماهی
1	0/42	0/44	0/42
2	0/27	0/32	0/24
3	0/22	0/25	0/24

برای انتخاب حد پایین بازه اعداد فرود، از نتایج روش هیدرولیکی (حداکثر انحنا) استفاده شد؛ بطوری که شرایط هیدرولیکی مناسب (برای بیش از 50% محیط خیس شده) مهیا شود. ویژگی که روش‌های هیدرولیکی دارند ارائه بده‌هایی است که در پایین‌تر از آن، قدرت تولید غذای زیستگاه رو به کاهش می‌گذارد (جوت، 1997). با استفاده از نتایج روش هیدرولیکی حداکثر انحنا می‌توان بازه اعداد فرود را 0/25 تا 0/47 در نظر گرفته و بده متناظر آن را محاسبه کرد (جدول 8). به عنوان مثال، بده 5 متر مکعب در ثانیه در ماه‌های حضور مشترک ماهیان (مانند خرداد

جدول 8 برآورد جریان زیست محیطی از روش‌های مختلف رودخانه نازلو (مترمکعب بر ثانیه)

روش پیشنهادی	طرح سد مخزنی نازلو	روش شبیه‌ساز زیستگاه	روش‌های هیدرولیکی		روش‌های هیدرولوژیکی				روش ماه
			Slope Curve	Maximum Curvature	DRM	shifting.FDC	Q <sub>95</sub>	Tenant	
Habitat Simulation	1/0	1/0	7/8	3/6	0/6	0/8	0/6	1/2	مهر
	0/5	1/5	7/8	3/6	0/9	2/1	0/6	1/2	آبان
	1/2	2/0	7/8	3/6	0/9	1/9	0/6	1/2	آذر
	1/2	2/0	7/8	3/6	1/3	1/7	0/6	1/2	دی
	1/2	2/3	10/2	2/8	1/3	1/7	0/6	1/2	بهمن
	1/2	4/0	10/2	2/8	3/4	3/6	0/6	1/2	اسفند
	2/0	5/0	10/2	2/8	3/5	6/9	0/6	3/5	فروردین
	2/0	8/0	10/2	2/8	11/8	10/2	0/6	3/5	اردیبهشت
	2/0	5/0	7/2	2/6	4/6	7/2	0/6	3/5	خرداد
	1/0	3/0	7/2	2/1	3/1	3/3	0/6	3/5	تیر
	0/8	0/8	7/2	1/4	1/4	1/3	0/6	3/5	مرداد
	0/5	0/8	7/2	1	0/8	0/7	0/6	3/5	شهریور

کاربردی مناسب استفاده نشده، و توزیع ماهیانه جریان بر اساس نیاز تولید انرژی برق‌آبی تعیین شده است. از دلایل اصلی برآوردهای نامناسب، استناد به ابلاغیه وزارت نیرو در استفاده از روش تنانت؛ اصرار مهندسان مشاور بر عدم لزوم استفاده از روش‌های دیگر، بی توجهی به کیفیت مجاز آب و هندسه هیدرولیکی جریان و نیاز اکوسیستم حیاتی رودخانه برای حفاظت پایدار از گونه‌های شاخص ماهیان موجود در رودخانه نازلو است.

#### 4- نتیجه‌گیری

حداقل جریان زیست محیطی رودخانه نازلو (به عنوان شاخصی از 10 رودخانه دائمی ورودی به دریاچه ارومیه)، از تلفیق روش‌های مختلف اکو-هیدرولوژیکی-هیدرولیکی و شبیه‌ساز زیستگاه ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش FDCA (نظیر Q<sub>95</sub>)، به علت در نظر نگرفتن ویژگی‌های زیستی رودخانه، گزینه مناسبی نیست. در رودخانه نازلو، این شاخص در ماه‌های

اگر روش شبیه‌ساز زیستگاه به عنوان روش منطقی در برآورد جریان زیست محیطی در نظر گرفته شود، مقایسه نتایج با مقادیر ارائه شده توسط گزارش طرح سد مخزنی نازلو، نشان می‌دهد که نیازهای اساسی اکوسیستم رودخانه نازلو در نظر گرفته نشده است.

در شرایط خشک‌سالی، برای حفاظت از ارزش‌های زیستی رودخانه و آب پذیرنده پایین‌دست، ممکن است که تأمین حداقل بده جریان زیست محیطی از طریق کاهش تخصیص آب کشاورزی یا از طریق خرید آب کشاورزی انجام پذیرد.

نتایج جدول 8 نشان می‌دهد که مقادیر جریان زیست محیطی در نظر گرفته شده در طرح احداث سد مخزنی نازلو (گزارش مهندسان مشاور آبساران، 1379)، هیچ یک از نیازهای کیفی و زیستی رودخانه را برآورده نکرده و نیاز به بازنگری دارد. در گزارش بازنگری مشاور (1389) نیز با وجود افزایش قابل ملاحظه در حجم سالیانه جریان زیست محیطی رودخانه نازلو، از روش‌های علمی-

### 5- فهرست علائم

$C_{1,2,0}$	غلظت اولیه، ثانویه، و غلظت مطلوب
$Fr$	عدد فرود
$K$	شاخص انحنای بده - محیط خیس شده
$P$	محیط خیس شده
$Q$	بده جریان
$Q_{1,2,c}$	بده اولیه، ثانویه، و بده لازم برای غلظت مطلوب
$Q_{95}$	بده جریان با احتمال وقوع 95%

### 6- منابع

احمد پور، ظ. (1391). شاخص‌های رژیم متغیر هیدرولوژیکی در ارزیابی زیست محیطی رودخانه‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، 188 صفحه.

استاندارد صنعت آب و آبفا. (1388). پیش‌نویس راهنمای تعیین حداقل آب مورد نیاز اکوسیستم‌های آبی، وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ص. 113.

مهندسين مشاور آبسازان (1389 و 1379). مطالعات سد مخزنی نازلو، حوضه دریاچه ارومیه، ص. 457.

عبدولی ا، نادری م. (1387). تنوع زیستی ماهیان، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص. 237.

نظری دوست ع. (1385). تدوین متدولوژی، دستورالعمل و برنامه نرم‌افزاری جهت محاسبه حداقل نیاز آبی اکوسیستم‌های تالابی. رساله دکترا، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

یاسی م. (1392). خطاهای رایج زیست محیطی در ساخت مخازن سدها و راهکارهای ارزیابی و اختصاص سهم جریان زیست محیطی در رودخانه‌ها. گزارش مستندسازی، کمیته ملی سدها و انتقال آب‌های فرامرزی ایران.

Anonymous. (2005). The science of instream flows: a review of the Texas instream flow program. Committee on review of methods for establishing instream flows for Texas rivers. National Research Council, Texas, p. 162.

مختلف سال می‌تواند توازن اکوسیستم را بر هم بزند. برآورد حداقل جریان رودخانه نازلو از روش تنانت (روش مصوب وزارت نیرو، 1386) کمتر از نیاز رودخانه برای حفظ اکوسیستم است. برای نیاز حیاتی رودخانه نازلو باید در ماه‌های حساس سال (اسفند تا خرداد)، حداقل 60% و در ماه‌های دیگر سال حدود 40% متوسط آورد سالانه رودخانه (MAR)، در نظر گرفته شود. روش‌های هیدرولوژیکی DRM و FDC-shifting مقادیر تقریباً مشابهی ارائه می‌دهند. برآورد این دو روش در دوره زمانی حضور آبیان شاخص رودخانه تقریباً برابر با کل تقاضای پایین‌دست سد است. استفاده از "عدد فرود" زیستگاه گونه‌ها به جای استفاده از شاخص‌های عمق و سرعت، می‌تواند نواقص روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مورد استفاده در این تحقیق را رفع کند. همچنین عدد فرود زیستگاه با روش هیدرولیکی محیط خیس شده (حداکثر انحنا)، همراه با تحلیل هیدرولوژیکی پتانسیل ماهیانه جریان، و حفظ کیفیت آب در حد مجاز، روشی کارآمد در تعیین حداقل نیاز زیست محیطی رودخانه می‌باشد. در مواقعی که رودخانه از شدت جریان مناسبی برخوردار است، پدیده خودپالایی در خصوص آلاینده‌های شیمیایی صورت می‌گیرد. شناسایی دوره زمانی بحرانی (از نظر آلودگی و کم آبی) امری بسیار مهم می‌باشد، که باید به طور مداوم پایش شده و حداقل جریان زیست محیطی لازم تأمین شود. به نظر می‌رسد استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه در مقایسه با روش‌های دیگر انعطاف‌پذیری منطقی‌تری در برآورد بده جریان در ماه‌های مختلف دارد.

با توجه به بحران دریاچه ارومیه، افزایش تخصیص "سهم جریان زیست محیطی" از رودخانه‌های ورودی (نظیر رودخانه نازلو) در برنامه احیای دریاچه ارومیه اجتناب ناپذیر بوده، و برای مطالعات تکمیلی پیشنهاد می‌شود.

- 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), pp. 747-756.
- 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, pp. 3490-3498.
- Smakhtin, V.U. and Anputhas, M. (2006). An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. IWMI Research Report 107. International Water Management Institute, Colombo.
- Smakhtin, V.U. (2001). "Low flow hydrology: a review", *Journal of Hydrology* 240, pp. 147-186.
- Smakhtin, V.U. and Eriyagama, N. (2008). "Developing a software package for global desktop assessment of environmental flows". *Journal of Environmental Modeling & Software* 23, pp. 1396-1406.
- Tennant, D.L. (1976). "Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources". *Fisheries* 1(4), pp. 6-10.
- 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, pp. 397-441.
- Vadas, R.L. and Orth, D.J. (2000). "Habitat use of fish communities in a Virginia stream". *Environmental Biology of Fishes* 59(3), pp. 253-269.
- Waddle, T. (2001). PHABSIM for Windows: User's Manual and Exercise: Fort Collins, CO, U.S, Geological Survey, p. 288.
- Zhang Z., Dehoff A.D., Pody R.D. and Balay J.W. (2009). "Detection of streamflow change in the Susquehanna River Basin", *Water Resources Management* 24 (10), pp. 1947-1964.
- Code, B. (1995). Freshwater fishes of Iran. Institute of landscape ecology of the academy of sciences of the Czech Republic, Czech Republic, p. 200.
- Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J. (2003). The essentials of environmental flows. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, p. 118.
- Gippel, C.J. and Stewardson, M.J. (1998). Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research and Management* 14, pp. 53-67.
- Hughes, D.A. and Hannart, P. (2003). "A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa". *Journal of Hydrology* 270(3-4), pp. 167-181.
- Hughes, D.A. and Smakhtin, V.U. (1996). "Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves". *Journal of Hydrological Sciences* 41(6), pp. 851-87.
- Jowett, I.G. (1997). Instream flow methods: A comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research & Management* 13, pp. 115-127.
- Marchand, M.D. (2006). Environmental flow requirements for rivers: An integrated approach for river and coastal zone management. Report No. Z2850 WL|Delft Hydraulics.
- Metcalf, Eddy. (1978). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Poff, N., Richter, B., Arthington, A., Bunn, S., Naiman, R., Kendy, E. and Acreman, M. (2010). "The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards". *Freshwater Biology* 55, pp. 147-170.
- Shaeri Karimi, S., Yasi, M. and Eslamian, S. (2012). "Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach". *International Journal of Environmental Science and Technology* 9, pp. 549-558.
- Shaeri Karimi S., Yasi M., Cox J.P. and Eslamian S. (2014). Environmental flow. in Chapter 63, Vol. 3: Environmental Hydrology and Water Management, "Handbook of Engineering Hydrology", Taylor and Francis Group, LLC, USA.