دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی

تعیین حقابه زیست‌محیطی در رودخانه بابلرود

نگارنده: مریم محمدی

اساتید راهنما

دکتر زهرا گنجی نوروزی

دکتر خلیل اژدری

استاد مشاور:

دکتر روزبه مؤذن‌زاده

تیر ۱۳۹۷

شماره: ۴۴۱۶
تاریخ: ۱۳۹۷/۴/۱۱

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم مریم محمدی با شماره دانشجویی۹۴۳۸۹۷۴ رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی تحت عنوان تعیین حقابه زیست‌محیطی در رودخانه بابلرود که در تاریخ ۱۳۹۷/۴/۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: خیلی خوب) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: نظری ■ **عملی** ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر زهرا گنجی نوروزی	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	دکتر خلیل اژدری	دانشیار	
۳- استاد مشاور	دکتر روزبه موذن زاده	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر سیدحسین حسینی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر صمد امامقلی زاده	دانشیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر مهدی دلقندی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمدرضا عامریان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و همسر گرانقدرم

که صبورانه در این راه یاریم کردند.

و تقدیم به آنان که

اهل «یافتن» اند نه اهل «بافتن»

و آنان که متواضعانه معترفند

«حقیقتی» را یافته اند نه کل «حقیقت» را.

سپاسگزاری

شکر و سپاس خدای عزوجل که عنایتش موجب آن گردید تا بتوانم قطعه کوچکی از دریای بیکران دانش را بنوشم. اکنون که در سایه الطاف ایزد منان، نگارش این رساله به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم که از بزرگوارانی که در این راه مرا یاری نمودند نهایت تشکر و قدردانی را به جا آورده و از یزدان پاک سلامتی و موفقیت روزافزون آن ها را مسئلت نمایم. سپاس از راهنمایی های خردمندانه اساتید مهربانم سرکار خانم دکتر گنجی نوروزی و جناب دکتر اژدری و استاد مشاور گرانقدرم جناب دکتر مؤذن زاده که در به ثمر رسیدن این تحقیق مرا یاری رساندند. از اساتید داور جناب آقایان دکتر امامقلی زاده و دکتر دلقندی که قبول زحمت نموده و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته و قطعاً نظرات این بزرگواران در هر چه بهتر شدن این پایان نامه مثمر ثمر خواهد بود، تشکر می نمایم. بر خود لازم می دانم حضور نماینده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر حسینی را ارج نهاده و سپاس گویم. در نهایت کمال تشکر را از جناب مهندس نیک قلب به دلیل همکاری های بی-دریغشان دارم. سپاس از آقایان جناب دکتر نادری در مرکز تحقیقات شیلات مازندران و همچنین جناب مهندس اصغر زاده در سازمان آب منطقه ساری که در جمع آوری داده ها مرا یاری دادند. و در پایان فرصت را غنیمت می شمارم که از کلیه ی اساتید و مسئولانی که مرا در راه تحصیل یاری نموده اند، سپاسگزاری به عمل آورم.

تعهد نامه

اینجانب **مریم محمدی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **رشته مهندسی سازه های آبی** دانشکده **کشاورزی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تعیین حقابه زیست‌محیطی در رودخانه بابلرود** تحت راهنمائی های **دکتر زهرا گنجی نوروزی و دکتر خلیل اژدری** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.**

چکیده:

رودخانه‌ها به عنوان بخشی از ثروت‌های طبیعی و ملی کشورمان از اهمیت خاصی برخوردارند. حفظ و حراست از بقاء رودخانه‌ها و ماهیان آن جهت استفاده آیندگان یک وظیفه همگانی است ولی متأسفانه در ایران با توجه به نبود مدیریت صحیح آب‌های سطحی و عدم تأمین حقابه‌های زیست‌محیطی، با بحران-های زیست‌محیطی روبرو شده‌اند. این پژوهش به بررسی یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیست رودخانه‌ها یعنی تعیین حقابه زیست‌محیطی پرداخته است. مطالعه موردی بر روی رودخانه بابلرود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های شمال ایران صورت گرفت. نیاز زیست‌محیطی این رودخانه برای گونه شاخص (سس ماهی دریای خزر در مرحله مهاجرت) از سه روش تنانت، Q95% و روش شبیه‌سازی زیستگاه توسط نرم-افزار River2D برآورد گردید. نتایج نشان داد که روش تنانت (مونتانا) قادر به پاسخگویی نیازهای زیست-محیطی نیست و با توجه به اینکه در این روش تغییرات روزانه، فصلی یا سالانه و همچنین شرایط زیستگاهی گونه شاخص در نظر گرفته نمی‌شود، چنین برآوردی بدون توجه به شرایط اکولوژیکی می‌تواند خسارت‌های عمده‌ای را در دوران کم آبی به محیط زیست وارد کند. همچنین روش Q95% به عنوان یک روش هیدرولوژیکی که تنها از داده‌های تاریخی استفاده می‌کند، علی‌رغم توانایی در برخی ماه‌های سال، در ماه‌های بحرانی، کارایی مقبولی ندارد. روش شبیه‌سازی زیستگاه با نرم‌افزار River2D، برآورد معقولی از حقابه زیست‌محیطی ماهانه و بسته به نیاز گونه موردنظر ارائه می‌دهد که خود معتبر بودن این روش را در سطح جهان تأیید می‌نماید. موجودات زنده رودخانه مطلوبیت‌های مختلفی در مراحل مختلف زندگی خود دارند، بنابراین بهتر است یک رژیم اکولوژی به ازای ماه‌های مختلف تعریف شود.

کلید واژگان: حقابه زیست‌محیطی، شبیه‌سازی زیستگاه، روش تنانت، روش Q95% ، سطح قابل‌استفاده وزنی، شاخص مطلوبیت زیستگاه، رژیم اکولوژیک، River2D

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه و هدف

۱.۱. مقدمه ۲

۲.۱. ضرورت و اهمیت موضوع ۳

۳.۱. اهداف تحقیق ۴

۴.۱. فرضیات تحقیق ۵

۵.۱. روش انجام تحقیق ۵

۶.۱. ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم : کلیات

۱.۲. مقدمه ۸

۲.۲. جریان زیست محیطی ۸

۳.۲. روشهای تعیین جریان زیست محیطی ۹

۱.۳.۲. روشهای هیدرولوژیک ۹

۲.۳.۲. روشهای هیدرولیکی ۱۰

۳.۳.۲. روشهای شبیه سازی زیستگاه ۱۱

۴.۳.۲. روشهای جامع نگر ۱۲

۴.۲. مروری بر مطالعات گذشته ۱۲

فصل سوم : مواد و روش‌ها

۱.۳. مقدمه ۲۸

۲.۳. موقعیت رودخانه ۲۸

۳.۳. اطلاعات هیدرولوژیکی ۳۰

۴.۳. اطلاعات گونه های آبزی ۳۲

۵.۳. روشهای برآورد حداقل نیاز زیست محیطی رودخانه ۳۶
۱.۵.۳. روش تنانت (مونتانا) ۳۶
۲.۵.۳. روش Q95٪ ۳۷
۳.۵.۳. متدولوژی افزایش جریان درون رودخانه(IFIM) ۳۸
۱.۳.۵.۳. تاریخچه ۳۸
۲.۳.۵.۳. مراحل روش IFIM: ۴۰
الف. طرح مساله و هدف‌گذاری: ۴۰
ب. طرح ریزی مطالعات: ۴۰
ج. اجرای مطالعه: ۴۱
د. دفاع از اهداف: ۴۱
۳.۳.۵.۳. منحنی مطلوبیت زیستگاه (HSC) ۴۲
الف. معیارهای دسته اول ۴۳
ب. معیارهای دسته دوم و سوم ۴۵
ج. پردازش داده‌ها ۴۷
۴.۳.۵.۳. انتخاب گونه شاخص ۵۰
۵.۳.۵.۳. معرفی نرم‌افزار River2D ۵۱

فصل چهارم: بحث و نتایج

۱.۴. مقدمه ۵۸
۲.۴.گونه شاخص ۵۸
۱.۲.۴. انتخاب گونه ۵۸
۲.۲.۴. مشخصات سس ماهی دریای خزر ۶۴
۳.۲.۴. انتخاب مرحله زندگی شاخص ۶۵
۳.۴. منحنی های مطلوبیت زیستگاه ۶۷
۴.۴. شبیه‌سازی مدل زیستگاهی ۶۸
۱.۴.۴. دبی‌های شبیه‌سازی ۶۸

۲.۴.۴. اطلاعات جنس مصالح کف رودخانه ۶۹
۳.۴.۴. شبیه‌سازی هیدرولیکی با استفاده ازRiver2D..... ۷۱
۴.۴.۴. کالیبراسیون نرم افزار ۷۴
۵.۴.۴. شبیه‌سازی زیستگاه با استفاده از River2D..... ۷۵
۵.۴. نتایج شبیه سازی هیدرولیکی River2D ۷۶
۶.۴. نتایج شبیه سازی زیستگاه River2D ۷۹
۷.۴. محاسبه نیاز جریان زیست‌محیطی..... ۸۲
۱.۷.۴. روش تنانت (مونتانا) ۸۲
۲.۷.۴. روش ٪Q95..... ۸۲
۳.۷.۴. روش شبیه‌سازی زیستگاه (River2D) ۸۳
۴.۷.۴. مقایسه نتایج جریان زیست‌محیطی..... ۸۵
۱.۵. خلاصه و نتیجه گیری..... ۸۸
۲.۵. پیشنهادها..... ۸۹
منابع ۹۱
پیوست ۱..... ۹۹
پرسشنامه تکنیک دلفی..... ۹۹
پیوست ۲ ..... ۱۰۵

فهرست جداول

جدول(۳-۱) مشخصات ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه ۳۰

جدول (۳-۲) مشخصات آماری دبی سالانه و ماهانه ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه بابلرود ۳۱

جدول (۳-۳) مهمترین گونه های ماهی شناسایی شده در رودخانه بابلرود (نادری، ۱۳۹۶، و عبدلی و نادری،۱۳۸۷) ... ۳۳

جدول (۳-۴) درصد سهم از متوسط آورد سالیانه رودخانه به عنوان نیاز زیست‌محیطی در روش تنانت (۱۹۷۶).....۳۷

جدول (۴-۱) ارزش‌گذاری گونه‌های شاخص ماهی منطقه.....۶۱

جدول (۴-۲) کدهای شاخص کانال برای ورود به River2D (بووی ، ۱۹۹۷) ۷۰

جدول (۴-۳)کدهای جنس کف برای رودخانه بابلرود ۷۰

جدول (۴-۴) نتایج کالیبراسیون نرمافزار River2D ۷۵

جدول (۴-۵) WUA برای سس ماهی خزر ۸۰

جدول (۴-۶) نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه بابلرود به روش تنانت ۸۲

جدول (۴-۷) دبی موردنیاز زیست‌محیطی بابلرود برای سس ماهی خزر ۸۴

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل (۳-۱) موقعیت حوضه بابلرود و منطقه مطالعاتی ۲۹

شکل (۳-۲) دیاگرام شماتیک ارتباط اجزای IFIM (بووی و همکاران، ۱۹۹۸) ۴۲

شکل (۳-۳) انواع منحنیهای مطلوبیت زیستگاه: (a) باینری، (b) تک متغیره، و (c) چند متغیره ، (بووی،۱۹۸۶) ۴۷

شکل (۳-۴) منحنیهای مطلوبیت عمق، سرعت، دما و جنس کف برای ماهی زردک(Nikghalb et al., 2016) ۵۰

شکل (۳-۵) ستون مستطیلی مورداستفاده در River2D برای قانون بقای جرم ۵۲

شکل (۳-۶) نمونه‌ای از رابطه دبی- زیستگاه برای یک مرحله زندگی (وادل، ۲۰۰۱) ۵۶

شکل (۴-۱) سس ماهی دریای خزر (اورنج) ۶۷

شکل (۴-۲) منحنیهای مطلوبیت زیستگاه سس ماهی خزر در مرحله مهاجرت ۶۸

شکل (۴-۳) نقاط مختصاتی ناحیه در نرم افزار R2D_Bed ۷۱

شکل (۴-۴) نقشه TIN ناحیه در نرم افزار R2D_Bed ۷۲

شکل (۴-۵) مثلث بندی در برنامه R2D_Mesh ۷۳

شکل (۴-۶) پروفیل سطح آب در دبی های شبیه سازی شده با River2D ۷۶

شکل (۴-۷) پروفیل سطح آب در سه مقطع از رودخانه بابلرود در دبی ۱۳۶ متر مکعب بر ثانیه ۷۷

شکل (۴-۸) پروفیل سرعت در سه مقطع رودخانه بابلرود در دبی ۱۳۶ متر مکعب بر ثانیه ۷۸

شکل (۴-۹) مقایسه سرعت در سه مقطه رودخانه بابلرود در دبی ۱۳۶ متر مکعب بر ثانیه ۷۸

شکل (۴-۱۰) نمایش بردار سرعت در دبی ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه ۷۹

شکل (۴-۱۱) رابطه WUA در مقابل دبی برای سس ماهی دریای خزر در مرحله مهاجرت به رودخانه ۸۱

شکل(۴- ۱۲) منحنی تداوم جریان رودخانه بابلرود در ایستگاه کشتارگاه ۸۳

شکل (۴-۱۳) مقایسه جریان زیست‌محیطی از روش‌های هیدرولوژیک (تنانت و Q95) ۸۵

فصل اول

مقدمه و هدف

۱.۱. مقدمه

رودخانه‌ها سیستم‌های اکولوژیکی هیدرودینامیکی هستند که به هر اختلالی در حوضه‌ی آبریز خود واکنش نشان می‌دهند. بروز اختلال در هر یک از اجزاء اکوسیستم رودخانه باعث ایجاد واکنش‌های کم و یا شدید روی تمام سیستم خواهد شد. برای مثال، احداث یک سد بزرگ می‌تواند مهاجرت ماهی‌ها به محل‌های تخم‌ریزی در ابتدای آبراهه را متوقف کند، ماهیگیری دریا را در دیگر انتهای سیستم تحت تأثیر قرار دهد و سیلاب‌های موردنیاز برای حفظ پوشش گیاهی سیلاب‌دشت‌ها در بازه میانی را که برای امرار معاش ساکنین به کار می‌رود، از بین ببرد. جریان، عامل اصلی حیات اکوسیستم بوده و به‌طور مستقیم روی شش عامل بقای اکوسیستم یعنی : غذا، موجودیت زیستگاه، دما، کیفیت آب، رژیم جریان و فعل‌وانفعالات موجودات زنده تأثیر می‌گذارد. بنابراین تعیین حقابه زیست‌محیطی برای حفظ فرایندهای فوق، ضامن احیاء رودخانه می‌باشد.

جریان زیست‌محیطی یعنی اینکه چه مقدار آب از رژیم جریان رودخانه باید به پایین‌دست و سیلاب‌دشت آن جریان یابد تا ویژگی‌های ارزشمند و مشخص اکوسیستم رودخانه حفظ شود (تارمه[1]، ۲۰۰۳).

در دهه‌های اخیر جوامع ماهیان رودخانه‌ای به‌شدت به وسیله‌ی فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند و این تغییرات منجر به تغییر در الگوی توزیع و ساختار جوامع ماهیان شده است. ازاین‌رو حفاظت کاربردی آبزیان نیازمند شناخت نیازهای طبیعی گونه‌هاست تا فعالیت‌های حفاظتی و بازسازی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای به نحوی صورت گیرد که در گذر زمان سبب محدودیت برای گونه‌ها نشود. جریان زیست‌محیطی نباید فقط شامل مقادیر موردنیاز آب باشد، بلکه باید بتواند به این سؤال که این آب کی و چطور باید در رودخانه جاری شود نیز پاسخ دهد. تغییر در اکوسیستم رودخانه به علت تغییرات کمی و کیفی آب حاصل می‌شود و حتی در نقاط دورتر نظیر مصب رودخانه نیز ظاهر می‌گردد. کاهش

[1] Tharme

مواد رسوبی در مصب رودخانه باعث فرسایش سواحل دریا و تغییر اکوسیستم سواحل و مصب رودخانه و کاهش سرعت آب رودخانه‌ها باعث تقلیل قدرت خود پالایی رودخانه می‌گردد.

وجود بحران محیط‌زیستی در رودخانه‌های کشور به علت رقابت نابرابر با بخش‌های کشاورزی و شرب و عدم وجود روشی استاندارد برای مطالبه حداقل آب موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها، ضرورت مطالعه‌ای جدی را برای سراسر کشور و اقلیم‌های گوناگون می‌طلبد. ارائه روشی نوین و درعین‌حال کارآمد برای برآورد حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌ها که بتوان آن را در تمام مناطق ایران به کاربرد، هدف این تحقیق است.

۲.۱. ضرورت و اهمیت موضوع

برآورد نیازهای زیست‌محیطی که یکی از بخش‌های ضروری مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب سدها می‌باشد ولیکن به دلیل عدم شناخت کافی از روش‌های تعیین این حقابه در جهان و تطبیق آن با شرایط مدیریتی و محیط زیست ایران، تاکنون به انجام نرسیده است و امروز از روش‌های ساده هیدرولوژیکی برای جریان آب محیط زیست استفاده می‌شود. لزوم گسترش طرح‌های توسعه منابع آب با توجه به روند صعودی افزایش جمعیت و کاهش منابع آبی امری اجتناب‌ناپذیر است ولی ذخیره، تنظیم و برداشت بالای منابع آب رودخانه‌ها سبب به هم خوردن رژیم طبیعی جریان رودخانه‌ها شده است که مشکلات بسیاری برای اکوسیستم رودخانه‌ها ایجاد کرده است. با توجه به آمار سال ۱۳۹۲ شرکت مدیریت منابع آب ایران از ۶۵۳۳۱ میلیون متر مکعب آب تنظیم شده سدها فقط حدود ۳۱۰۷ میلیون متر مکعب یعنی حدود ۴/۶ درصد برای نیازهای محیط زیست رهاسازی گردیده است که رقمی بسیار ناچیز می‌باشد و همین مقدار کم هم بیشتر از محل یا خروجی‌های غیرقابل کنترل تأمین می‌گردد و در طول مسیر رودخانه‌ها به دلیل خشکسالی‌ها و کمبود آب توسط کشاورزان به صورت غیرمجاز برداشت می‌شود. اختلاف در دو دستگاه آب

منطقه‌ای و محیط زیست در بعضی استان‌ها وجود دارد که نحوه رهاسازی همین مقدار را بتوان به نحوی شایسته کنترل کرد ولیکن جمع‌بندی و روشی عملی که بتوان این مهم را انجام داد، تاکنون عملیاتی نگردیده است (بدیسار و احمدی، ۱۳۹۵).

روش‌های مختلفی برای به دست آوردن نیاز زیست‌محیطی مرسوم است که هر یک از روش‌ها مزایا و معایب خود را دارند. در پژوهش‌هایی که توسط شکوهی و هانگ (۱۳۹۰) در رودخانه صفارود در شمال کشور و امینی و شکوهی(۱۳۹۳) در بخش جنوبی دریای خزر انجام شده است ثابت شد که روش تنانت (مورداستفاده رودخانه‌های ایران) در برخی از رودخانه‌ها مقداری پایین‌تر از حداقل نیاز زنده‌مانی ارائه می-دهد و استفاده از این روش با تحمیل تنش بر سیستم هیدرولوژیکی می‌تواند انتخابی نامناسب برای تعیین جریان حداقل برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه‌ها باشد. روش‌های هیدرولیکی نیز برای جریان زیست‌محیطی مقادیری بسیار بزرگ‌تر از دبی رودخانه را پیشنهاد می‌کند که می‌تواند در مناطقی با بحران آب مانند ایران سؤال برانگیز باشد. بنابراین، باید از روشی استفاده شود که بتوان با آن مقادیر مختلف جریان رودخانه را بررسی و تغییرات زیستگاهی ماهی‌ها را با آن‌ها بررسی و مقایسه کرد.

۳.۱. اهداف تحقیق

این تحقیق با اهداف زیر شکل گرفت:

۱- تعیین حداقل نیاز زیست‌محیطی ماهانه رودخانه بابلرود برای پیشگیری از هرگونه خسارات زیست‌محیطی احتمالی ناشی از کمبود آب

۲- بررسی روش زیستگاهی جهت تعیین حقابه زیست‌محیطی و مقایسه نتایج آن با روش‌های هیدرولوژیکی مورداستفاده رودخانه‌های ایران

۳- معرفی نرم‌افزار River2D و بررسی قابلیت‌های آن در شبیه‌سازی دوبعدی جریان رودخانه

۴.۱. فرضیات تحقیق

۱- روش‌های هیدرولوژیکی به دلیل عدم توجه به تمام ابعاد و زوایای نیازهای زیست‌محیطی رودخانه برای تعیین حقابه مناسب نیستند.

۲- روش‌های زیستگاهی با در نظر گرفتن عوامل کیفیت زیستگاه و جریان رودخانه، بهتر از روش‌های هیدرولوژیکی برای تعیین حقابه زیست‌محیطی پاسخ خواهد داد.

۳- نرم‌افزار River2D قابلیت شبیه‌سازی جریان رودخانه و زیستگاه را به صورت دوبعدی دارد.

۵.۱. روش انجام تحقیق

در این پژوهش تعیین حقابه زیست‌محیطی با سه روش تنانت، Q95% و روش شبیه‌سازی زیستگاه توسط نرم‌افزار River2D بر روی رودخانه بابلرود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های شمال ایران صورت گرفت. با استفاده از داده‌های هیدرولیکی و زیستگاهی نیاز زیست‌محیطی این رودخانه برای گونه شاخص (سس ماهی دریای خزر در مرحله مهاجرت) در هر ماه برآورد گردید.

۶.۱. ساختار پایان‌نامه

در فصل اول پایان‌نامه، مقدمه، ضرورت و اهمیت موضوع، اهداف و فرضیات ذکر شده است. در فصل دوم ابتدا کلیاتی درباره حقابه زیست‌محیطی و روش‌های تعیین آن و در انتها به مرور تحقیقات پیشین در زمینه مورد تحقیق اشاره شده است. در فصل سوم، مواد و روش انجام تحقیق، کلیاتی درباره منطقه مطالعاتی، معرفی روش‌ها و نرم‌افزار مورداستفاده آورده شده، و در فصل چهارم نتایج و بحث مربوط به داده‌های خروجی نرم‌افزار در تعیین نیاز زیست‌محیطی ماهانه رودخانه و مقایسه آن با سایر روش‌ها ارائه

گردیده است. در آخر، در فصل پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی در رابطه با موضوع تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم

کلیات

۱.۲. مقدمه

رودخانه‌ها در اغلب نقاط جهان در اثر ساخت سدها و سرریزها و افزایش استحصال آب برای مصارف کشاورزی و شهری و... دست‌خوش تغییر شده‌اند بر اساس برآورد کمیته جهانی سدها(WSD[1])، احداث سدها، انتقال آب بین حوضه‌ای و استحصال آب برای کشاورزی، ۶۰ درصد رودخانه‌های جهان را در معرض تهدید قرار داده است. این مداخلات منجر به بروز اثرات چشمگیری از جمله کاهش کل جریان رودخانه و تحت تأثیر قرار دادن تغییرات فصلی جریان و نیز اندازه و تناوب سیلاب‌ها می‌شود. در بسیاری از موارد این تغییرات می‌تواند اثرات منفی روی خدمات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی فراهم شده به وسیله اکوسیستم‌ها داشته باشد که به نوبه خود میزان آسیب‌پذیری مردم وابسته به این خدمات را افزایش می‌دهد. واضح است که تغییرات انجام شده در جریان رودخانه، لازم است با حفاظت از خدمات اکولوژیکی ضروری وابسته به آب متوازن شود.

۲.۲. جریان زیست‌محیطی

جریان‌های موردنیاز برای حفاظت از خدمات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه " جریان‌های زیست‌محیطی "نامیده شده و فرآیند تعیین این جریانات" ارزیابی جریان زیست‌محیطی[2]" نامیده می‌شود (نشریه وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

مطالعات بررسی نیاز آب زیست‌محیطی در ابتدا توسط سرویس حیات وحش امریکا از ۱۹۴۰ تا۱۹۷۰ در این کشور به کار رفت و قانون رسمی جریان زیست‌محیطی در ۱۹۷۰ به عنوان نتیجه در دستورالعمل سیاست‌گذاری ملی زیست‌محیطی (۱۹۶۹) و سند برنامه‌ریزی منابع آب (۱۹۶۵) به ثبت رسید. عمده کارهای انجام شده در این زمینه بیشتر بر روی رودخانه‌ها متمرکز شده است. در ابتدا ایجاد نگرش به

[1] World Commission on Dams
[2] Environmental Flow Assessment (EFA)

بهبود زیستگاه‌های ماهیان و تأمین نیازهای مسیر عبور آن‌ها منحصربه‌فرد بوده و بعدها موضوعات دیگر نظیر حفاظت از چرخه‌های اکوسیستم نیز موردتوجه قرار گرفت (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۶).

به صورت ساده‌تر ارزیابی جریان زیست‌محیطی یعنی اینکه چه مقدار آب از رژیم جریان رودخانه باید به پایین‌دست و سیلاب‌دشت آن جریان یابد تا ویژگی‌های ارزشمند و مشخص اکوسیستم رودخانه حفظ شود (تارمه، ۲۰۰۳).

۳.۲. روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی

روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی در ۴ دسته اصلی قرار داده می‌شوند:

۱- روش‌های هیدرولوژیک

۲- روش‌های هیدرولیکی

۳- شبیه‌سازی زیستگاه

۴- روش‌های جامع‌نگر

۱.۳.۲. روش‌های هیدرولوژیک

ساده‌ترین روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی که عمدتاً از داده هیدرولوژیکی که معمولاً در شکل طبیعی، جریان ماهانه یا روزانه ثبت می‌شوند، برای تعیین جریان زیست‌محیطی استفاده می‌شوند. این روش‌ها اغلب درصدی از جریان را که حداقل جریان نامیده می‌شود، به عنوان جریان زیست‌محیطی در نظر می‌گیرند. به دلیل پاسخ سریع اما غیردقیق، روش‌های هیدرولوژیکی تنها در سطح برنامه‌ریزی توسعه منابع آب یا در شرایط غیر مهم که ممکن است به عنوان اهداف مقدماتی جریان استفاده شوند،کاربرد

دارند. با این وجود، این روش‌ها به دلیل سهولت بسیار پرطرفدار بوده و با داشتن بیش از ۶۱ روش، حدود ۳۰ درصد از کل روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی در سطح جهان هستند (تارمه،۲۰۰۳).

در تعیین حقابه محیط‌زیستی سدهای ایران، بیشتر از روش‌های گروه هیدرولوژیکی به ویژه روش مونتانا با درصدهای تعیین‌شده در طبقات۷،۶ و۸ آن یعنی کمتر از ۱۰ % تا ۳۰ % از میانگین جریان سالانه استفاده شده است. هم‌چنین در برخی موارد، در اصلاح روش مونتانا، اعمال درصدها بر روی میانگین جریان ماهانه به جای میانگین جریان سالانه اعمال می‌شود. به تازگی، کاربرد روش منحنی تداوم جریان و شاخص‌های حداقل جریان به ویژه Q95 و 7Q10 نیز جهت تعیین حقابه محیط‌زیستی مورداستفاده قرار می‌گیرد (عریان و همکاران،۱۳۹۲).

۲.۳.۲. روش‌های هیدرولیکی

این روش‌ها که به عنوان روش‌های حفظ زیستگاه نیز شناخته می‌شوند از تغییرات در متغیرهای هیدرولیکی ساده، مانند محیط خیس شده یا حداکثر عمق معمولاً در یک مقطع عرضی یا مقاطع عرضی محدود رودخانه، به عنوان جایگزینی برای فاکتورهای شناخته شده یا فرض شده محدودکننده زیستگاه و آبزیان استفاده می‌کنند. در این روش فرض می‌شود که پارامترهای هیدرولیکی قادر به حفظ اکوسیستم یا محیط‌زیست خواهد بود. جریان‌های زیست‌محیطی از طریق رسم نمودارهای تغییرات هیدرولیکی در برابر دبی محاسبه شده و معمولاً، در نقطه انفصال یا شکست در منحنی به عنوان حدی که کیفیت زیستگاه به‌طور قابل توجهی با حداقل جریان تخریب می‌شود، تعیین می‌شوند. این روش‌ها ۱۱ درصد از کل روش‌های موجود را شامل می‌شوند.(تارمه،۲۰۰۳)

استفاده از این روش در حال حاضر بیش از پیش موردتوجه قرار گرفته و در تعداد محدودی از سدهای ایران با توجه به سطح محیط مرطوب و تطابق با سطح رویش گیاهان آبزی و یا مراحل حیاتی گونه‌های

ماهی شاخص رودخانه و یا بنتوزها در فصول مختلف، به تعیین حقابه محیط‌زیستی پرداخته شده است (عریان و همکاران،۱۳۹۲).

۳.۳.۲. روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه

روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه نیز از داده‌های هیدرولیکی دبی- زیستگاه استفاده می‌کنند ولی جزئیات شبیه‌سازی شده بیشتری برای آنالیزهای کمیت و مطلوبیت زیستگاه رودخانه برای گونه هدف ارائه می‌دهند. بنابراین، جریان زیست‌محیطی به‌دست‌آمده بر اساس ترکیب داده‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و بیولوژیکی است. جریان مرتبط با تغییرات زیستگاه در برنامه‌های هیدرولیکی مختلف با استفاده از داده‌های عمق، سرعت، پوشش و جنس کف در چند مقطع رودخانه شبیه‌سازی می‌شوند. اطلاعات شبیه‌سازی شده زیستگاه با اطلاعات فصلی محدوده زیستگاه مورداستفاده گونه ماهی شاخص معمولاً از طریق منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه[1] مرتبط می‌شوند. نتایج خروجی به شکل منحنی‌های دبی- زیستگاه برای گونه خاص یا به صورت سری زمانی تداوم زیستگاه، برای به دست آوردن جریان‌های زیست‌محیطی بهینه استفاده می‌شوند. بسته متدولوژی افزایشی جریان درون رودخانه‌ای (IFIM[2]) یکی از روش‌های زیستگاهی جهت تعیین نیاز زیست‌محیطی رودخانه می‌باشد (آرتینگتون[3] و همکاران، ۲۰۰۴) . خروجی اصلی از این روش پارامتر سطح قابل استفاده وزنی (WUA[4]) است که این پارامتر بیان‌کننده کمیت و کیفیت میکرو زیستگاه موجود می‌باشد (گزارش USGS، ۲۰۰۱).

[1] Habitat Suitability Index Curves
[2] Instream Flow Incremental Methodology
[3] Arthington
[4] Weighted Usable Area

با توجه به تعریف روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه که شرایط بیوفیزیکی و اکولوژیکی رودخانه را از جوانب مختلف موردتوجه قرار می‌دهد، می‌توان بیان نمود که تاکنون در ایران مطالعات اندکی از این روش برای تعیین حقابه محیط‌زیستی رودخانه‌ها صورت گرفته است.

۴.۳.۲. روش‌های جامع‌نگر

این روش‌ها و رویکردها، مهم‌ترین ویژگی‌های رژیم جریان آب که شرایط مطلوب اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و ... سیستم رودخانه را به میزان بالایی تحت تأثیر قرار می‌دهد، شناسایی کرده و برای هر یک از این ویژگی‌ها، سطح آب موردنیاز را تعیین می‌نماید و درنهایت همه این مقادیر را برای ایجاد یک رژیم جریان آب مناسب با هم ترکیب می‌کند (آرتینگتون و همکاران، ۲۰۰۶).

اجزای اکوسیستم که معمولاً در روش‌های جامع استفاده می‌شوند، شامل داده‌های زمین‌شناسی، داده‌های هیدرولیکی زیستگاه، کیفیت آب، گیاهان آبزی و ساحلی، بی‌مهرگان، ماهی و مهره‌داران آبزی و ساحلی وابسته به اکوسیستم رودخانه (دوزیستان، پرندگان، خزندگان و پستانداران) هستند (آرتینگتون و همکاران، ۲۰۰۴).

اگرچه در حال حاضر این روش‌ها فقط۷/۷ درصد از کل روش‌های تعیین نیاز زیست‌محیطی هستند اما ۱۶ روش از آن‌ها در سال‌های اخیر در استرالیا، آفریقای جنوبی و انگلستان به‌طور گسترده‌ای در این زمینه نقش داشته‌اند (تارمه،۲۰۰۳).

۴.۲. مروری بر مطالعات گذشته

برآورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها از گذشته موردتوجه محققان زیادی در داخل و خارج از ایران بوده و مطالعات متعددی در این زمینه صورت پذیرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

مصطفوی و یاسی(۱۳۹۴) در تحقیقی از پنج روش هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، تحلیل منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی جهت برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه باراندوز چای، ارومیه، استفاده کردند. آنان نتیجه گرفتند که از میان این پنج روش هیدرولوژیکی، دو روش تغییر منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی به دلیل درنظرگرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان، و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان‌های زیست‌محیطی پیشنهادی خود، نسبت به روش-های دیگر ارجحیت دارند.

در مطالعه‌ای که بر روی رودخانه مرزی زاب صورت گرفت از دو روش هیدرولوژیکی تنانت و مدل ذخیره رومیزی استفاده شد. نتایج نشان دادند که چون روش تنانت تنها بر اساس داده‌های هیدرولوژیکی بوده و بر اساس دبی متوسط سالانه تعیین می‌گردد، درجه اطمینان کمتری دارد و روش ذخیره رومیزی به عنوان روش اکولوژیکی- هیدرولوژیکی جهت برآورد نیاز زیست‌محیطی مناسب‌تر است (عبدی و همکاران،۱۳۹۳).

مک کارتنی[1] و همکاران(۲۰۰۹) نیز از روش ذخیره رومیزی جهت برآورد نیاز زیست‌محیطی استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که در صورت نبود اطلاعات زیست‌محیطی، شاخص‌های هیدرولوژیکی می-تواند برای ارزیابی اولیه محیط زیست استفاده شود.

ذوالفقاری و همکاران(۱۳۸۸) جهت بررسی اثر پروژه سدسازی در تغییر رژیم جریان رودخانه جراحی و عوارض منفی درازمدت آن از روش‌های هیدرولوژیکی منحنی تداوم جریان، قانون شیلات فرانسه، اسماکتین و تنانت استفاده کردند. در این روش شاخص‌های جریان زیست‌محیطی موردبررسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد در پایین‌دست سد شاخص جریان زیست‌محیطی کاهش یافته است.

[1] McCartney

در پژوهشی که کایسی[1] و همکاران(۲۰۱۵) بر روی رودخانه‌های کانادا انجام دادند از مقایسه شش روش هیدرولوژیکی(Q50، Q50 70%، Q90، 7Q10و 7Q2) با داده‌های ۵۲ ایستگاه هیدرومتری در سراسر منطقه موردنظر استفاده کردند. نتایج نشان داد بعضی روش‌ها مانند Q50 مقدار مناسبی برای جریان زیست‌محیطی برآورد کردند. رژیم هیدرولوژیکی جریان اهمیت زیادی در تعیین جریان زیست‌محیطی دارد و در این روش‌ها اگر از بهترین اطلاعات موجود بهره گرفت و آن‌ها را به درستی اعمال کرد از درجه اعتبار خوبی مانند سایر روش‌ها برخوردارند. آنان همچنین بیان کردند صرف نظر از روش مورداستفاده برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی عوامل زیست‌محیطی مربوط به جریان (مانند دمای آب و رسوب) تأثیر مهمی بر جمعیت شیلات و ماهی‌های رودخانه دارد و باید در نظر گرفته شوند.

زرعکانی و شکوهی(۱۳۹۳) با استفاده از دو دسته از روش‌های هیدرولوژیکی(تنانت و Q95) و هیدرولیکی (محیط خیس شده با دو الگوریتم متفاوت شیب منحنی و حداکثر انحنا) حداقل دبی زیست‌محیطی را تعیین کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، روش تنانت بدون در نظر گرفتن مورفولوژی و شکل رودخانه جریانی را پیشنهاد می‌کند که کمتر از نیاز محیط زیست رودخانه است و روش Q95% نیز همانند روش تنانت جریانی کمتر از نیاز رودخانه برای زنده ماندن را در مطالعه موردی انجام شده برآورد نمود. از طرفی روش هیدرولیکی با الگوریتم شیب منحنی جریانی را محاسبه نمود که بیشتر از میانگین جریان طبیعی رودخانه بود و لذا نمی‌تواند به عنوان برآوردی مناسب از دبی زیست‌محیطی رودخانه تلقی گردد. نتیجه حاصل از مقایسه این روش‌ها آن است که روش هیدرولیکی با الگوریتم حداکثر انحنا، بهترین برآورد را برای حداقل دبی زیست‌محیطی ارائه می‌نماید.

کیانی و همکاران(۱۳۹۵) دبی زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود را به روش هیدرولیکی و با توجه به گونه-های شاخص منطقه و با استفاده از نرم‌افزار HEC -RAS برآورد کردند. با توجه به مشخصات فیزیوگرافی،

[1] CAISSIE

رودخانه زاینده‌رود به سه بازه تقسیم شده و کالیبراسیون مدل هیدرولیکی برای هر بازه انجام شده است. درنتیجه پس از کالیبراسیون مدل، دبی زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود به منظور تأمین عمق موردنیاز گونه شاخص در هر بازه تعیین شده است. دبی زیست‌محیطی حاصل‌شده در بازه اول، دوم و سوم رودخانه به ترتیب ۹،۱۰ و ۱۰/۵ متر مکعب در ثانیه برآورد شد.

هاریش کومارا [۱] و سریکانتاسوامی[۲] (۲۰۱۱) از روش هیدرولوژیکی تنانت، شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی[۳] و محاسبه جریان زیست‌محیطی جامع[۴] برای تعیین نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ی تانگابهادرا[۵] در هند استفاده کردند. مقایسه تجزیه و تحلیل‌ها، تغییر در الگوهای جریان طبیعی را به صورت آماری نشان داد و اینکه تأثیرات ناگهانی مانند ساخت سد همراه با تغییرات آب و زمین باعث ایجاد تغییراتی در پایین‌دست بستر رودخانه شده است. این مطالعه همچنین نشان داد که حمایت معیشت به تدریج کاهش یافته و موجب تغییر شغل و مهاجرت جامعه گردیده است.

مزویماوی[۶] و همکاران(۲۰۰۷) در برآورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه زیمبابوه از روش هیدرولوژیکی رومیزی استفاده نمودند. نیاز زیست‌محیطی با افزایش متغیر جریان، کاهش و با افزایش سهم جریان پایه نسبت به کل جریان افزایش یافت. این مطالعه نشان داد که برای حفظ زیستگاه رودخانه، نیاز زیست-محیطی باید ۳۰ تا ۶۰درصد میانگین جریان سالانه در مناطقی با رودخانه‌های چندساله باشد درحالی‌که این مقدار ۲۰ تا ۳۰ درصد در قسمت‌های خشک کشور که رودخانه‌ها فقط در فصل مرطوب جریان می-یابند، است.

[1] Harish Kumara
[2] Srikantaswamy
[3] Indicators for Hydrological Alteration (IHA)
[4] Global Environmental Flow Calculator (GEFC)
[5] Tungabhadra
[6] Mazvimavi

در پژوهشی که بر روی رودخانه گنگ صورت گرفت از روش هیدرولوژیکی شاخص تغییر هیدرولیکی(IHA) و روش جامع BBM برای برآورد نیاز زیست‌محیطی آن استفاده شد و نتایج به صورت میزان آب بر حسب متر مکعب در هر ماه برای گونه ماهی شاخص این رودخانه به دست آمد (آکتر[1]، ۲۰۱۰).

پورستار(۱۳۹۵) جهت محاسبه‌ی جریان زیست‌محیطی رودخانه کارون، از چهار روش تنانت(TENANT)، منحنی تداوم جریان (FDC)، روش ذخیره رومیزی (DRM) و روش محدوده‌ی تغییرپذیری (RVA) استفاده کرد. با بررسی ۴ روش مختلف در این مطالعه، دو روش DRM و RVA به دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف هیدرولوژیکی و توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت داشتند.

احمد پور(۱۳۹۱) جریان زیست‌محیطی رودخانه نازلو را با پنج روش هیدرولوژیکی(درصدی از منحنی تداوم جریان، TENANT، RVA، FDC-SHIFTIN و DRM) ، روش هیدرولیکی محیط خیس شده و روش‌های ترکیبی(شبیه‌ساز زیستگاه) با پیش شرط حداقل عمق و سرعت موردنیاز برای گونه معرف آبزیان، برآورد نمود. نتایج این بررسی نشان داد که برای حفاظت رودخانه نازلو در حداقل شرایط زیست-محیطی قابل قبول، جریان پیوسته از حداقل ۰/۸ متر مکعب بر ثانیه(در دو ماه مرداد و شهریور) تا حداکثر ۸ متر مکعب بر ثانیه(در ماه اردیبهشت)، در طول رودخانه و تا ورود به دریاچه ارومیه باید تأمین گردد.

شکوهی و هانگ (۱۳۹۰) از مشخصه‌های مرفولوژیکی در رودخانه‌های دائمی برای تعیین حداقل نیاز آبی محیط اکولوژیکی استفاده کردند. در این پژوهش با به چالش کشیدن روش مورداستفاده در ایران (مونتانا)، به تشریح الگوریتمی پرداخته شده است که می‌تواند در مناطق فاقد اطلاعات مناسب میدانی از محیط اکولوژیکی با دقتی مناسب حداقل نیاز آبی زیست‌محیطی را محاسبه کند. روش‌های موردبررسی

[1] Akter

در این تحقیق در دو دسته‌ی روش‌های هیدرولوژیکی (تنانت) و روش‌های هیدرولیکی (محیط خیس شده با دو الگوریتم شیب منحنی و حداکثر انحنا) بودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده روش تنانت انتخابی نامناسب برای تعیین جریان حداقل برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه‌ها بوده و روش هیدرولیکی حداکثر انحنای منحنی از تطابق بیشتری با محیط برخوردار است.

امینی (۱۳۹۰) به مقایسه و گزینش روش بهینه تعیین حداقل جریان موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه کاظم رود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌ساز زیستگاه پرداخت. در این تحقیق از مجموعه روش‌های هیدرولوژیکی دو روش منحنی تداوم جریان و تنانت، از مجموعه روش‌های هیدرولیکی، روش محیط خیس شده با دو راهکار متفاوت شیب منحنی و حداکثر انحنا و روش شبیه‌ساز زیستگاه با پیش شرط اولیه حداقل عمق و سرعت موردنیاز گونه هدف، استفاده شدند.

خان‌محمدی فلاح (۱۳۹۳) امکان توسعه روش محدوده تغییرات در تعیین جریان زیست‌محیطی را بررسی نمود. روش محدوده تغییرات، یک روش هیدرولوژیکی ساده و سریع بوده ولی درعین‌حال به تمام پارامترهای هیدرولوژیکی رژیم جریان توجه می‌نماید. در این روش با استفاده از اطلاعات هیدرولوژیکی مرتبط با اکولوژی هر رودخانه، رژیم جریان منطبق با سیستم اکولوژیکی همان رودخانه تعریف می‌گردد. از مزایای این روش توجه به جریان‌های کم و زیاد به‌طور هم‌زمان می‌باشد. از معایب روش محدوده تغییرات تعداد بالای پارامترهای به کار رفته (۳۲ پارامتر) می‌باشد و تعدادی از این پارامترها هم‌پوشانی دارند. در این پژوهش مزیت روش هیدرولوژیکی محدوده تغییرات در مقابل روش‌های هیدرولوژیکی پرکاربرد تنانت و Q95 نشان داده شده است. همچنین نشان داده شده است که، نتایج حاصل از این روش در مقابل مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه IFIM و مدلRiver2D ، از سطح اعتماد بالایی برخوردار است.

در مطالعه‌ای که توسط شکوهی(۱۳۹۳) صورت گرفت به اهمیت استفاده از روش‌های هیدرولیکی در تعیین جریان محیط زیستی پرداخته شد. در این مطالعه با بررسی روش هیدرولیکی محیط خیس شده

ضوابطی برای استخراج اطلاعات از مقاطع عرضی رودخانه ارائه گردید. همچنین (امینی و شکوهی،۱۳۹۳) از توسعه روشی تحلیلی برای حل معادلات پایه روش هیدرولیکی محیط تر شده به منظور تعیین دبی زیست‌محیطی استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با روش هیدرولوژیکی تنانت مقایسه شد و نشان داد استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده از روش هیدرولوژیکی در برنامه‌ریزی منابع آب رودخانه کاظم رود تهدیدات زیست‌محیطی به دنبال خواهد داشت. اگر سهولت استفاده و زمان ناکافی برای مطالعات دلیل استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی نظیر تنانت باشد، روش پیشنهادی در این مطالعه، با دارا بودن مزیت-های روش هیدرولوژیکی از دقت بالاتری برخوردار است.

صدیق‌کیا و همکاران(۱۳۹۴) به بررسی الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با روش‌های هیدرواکولوژیکی پرداختند. در تحقیق آن‌ها که بر روی رودخانه دلیچای تهران انجام شد با استفاده از روش تنانت و محیط تر شده با تأکید بر غالب بودن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در این رودخانه، شرایط اکولوژیکی رودخانه برای این ماهی بررسی شده و ارزیابی زیستگاهی صورت گرفت. نتایج نشان داد در صورت استفاده از روش محیط تر شده عملاً ذی‌نفعان در رودخانه حق بهره‌برداری از آن را نخواهند داشت، و در صورت استفاده از روش‌هایی مانند حداقل تنانت برای تخمین حداقل جریان زیست‌محیطی طبق سری زمانی زیستگاهی عملاً تنش‌های جبران‌ناپذیری برای اکوسیستم رودخانه به خصوص در ماه‌های بحرانی مانند تخم‌ریزی گونهٔ مدنظر(اسفند و فروردین) ایجاد می‌شود بنابراین تخمین جریان زیست‌محیطی با روش‌های هیدرواکولوژیکی الزام‌آور است و از میزان خسارات وارده بر زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای می‌کاهد.

تقوی کلجاهی و همکاران (۱۳۹۳) به تعیین حقابه زیست‌محیطی تالاب میانکاله پرداختند. در ابتدا با استفاده از روش هیدرولیکی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های بالادست تعیین گردید سپس با استفاده از روش جامع به بررسی فراوانی جمعیت گونه‌های پرندگان آبزی و کنار آبزی و میزان وابستگی آن‌ها به آب

پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد حداقل دبی ورودی از رودخانه‌های بالادست با استفاده از روش منحنی تداوم جریان ۰/۵۷۸ و ۰/۰۵۴ مترمکعب بر ثانیه باید باشد. همچنین با در نظر گرفتن پرندگان آبزی و کنار آبزی در روش جامع، حداقل دبی جریان ورودی به تالاب، از رودخانه‌های بالادست۲/۱۶۳ و ۰/۰۹۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

بوکر[1] و دانبار[2] (۲۰۰۴) در مدل‌سازی کانال رودخانه‌های شهری از مدل شبیه‌سازی PHABSIM استفاده کردند. PHABSIM یک مدل خوب هیدرواکولوژی است که مجموعه ابزارهای مناسبی برای مدل‌سازی عددی مطلوبیت زیستگاه ماهی شاخص فراهم می‌کند. این مطالعه بر استفاده از PHABSIM در رودخانه-های شهری تمرکز کرد که چگونه حساسیت آنالیزها می‌تواند منجر به عدم قطعیت در برنامه‌های آن شود. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی زیستگاه به تغییرات شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه،کالیبراسیون مدل هیدرولیکی و دقت زمانی جریان حساس است و در رودخانه‌های کمتر مهندسی شده نسبت به شکل بیشتر مهندسی شده آن ، زیستگاه فیزیکی مطلوب‌تری در جریان‌های بزرگ‌تر وجود دارد. همچنین این مطالعه تأکید کرد که نیاز به اطلاعات بیشتری در رابطه با ماهی شاخص و سایر موجودات زنده در سرعت-های بالا است.

در مطالعه انجام شده توسط حاجی اسماعیلی(۱۳۹۳) به منظور بررسی تأثیر پارامترهای هیدرولیکی جریان بر وضعیت مطلوبیت زیستگاهی مراحل زندگی بچه ماهی، جوان و بالغ قزل‌آلای رنگین‌کمان در رودخانه دلیچای از مدل PHABSIM استفاده شد. این شبیه‌سازی بر مبنای منحنی‌های معیارهای مطلوبیت زیستگاه که در مطالعات گذشته استخراج شده است، صورت پذیرفت. شبیه‌سازی هیدرولیکی PHABSIM و HEC-RAS مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد همخوانی مناسبی بین تراز سطح آب

[1] BOOKER
[2] DUNBAR

شبیه‌سازی شده توسط هر دو مدل وجود دارد. در تمامی فصول،وضعیت رودخانه برای قزل‌آلای بالغ، نسبت به دو گروه سنی دیگر مطلوب‌تر است. نتایج نشان داد شرایط زیستی رودخانه در فصل مربوط به هر گروه سنی مناسب می‌باشد، اما میزان مطلوبیت رودخانه در محدوده باکیفیت کم و متوسط قرار دارد و با مدیریت جریان،پوشش کف و از بین بردن و یا حداقل کردن اثر عوامل محدودکننده مطلوبیت زیستگاه در شرایط مختلف جریان می‌توان وضعیت زیستگاهی را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید. تغییر زبری بستر رودخانه اثر قابل ملاحظه‌ای بر میزان مساحت قابل استفاده وزنی بچه ماهی نداشته ولی برای دو گروه سنی جوان و بالغ با افزایش زبری بستر میزان مساحت قابل استفاده وزنی به مقدار ۲ تا ۹ ٪ افزایش داشته است. همچنین با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه و در شرایط سیلابی با توجه به تأثیر سیلاب بر شرایط زیستگاهی رودخانه میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای هر سه گروه سنی بچه ماهی، جوان و بالغ نسبت به مقدار آن در حداکثر میانگین دبی جریان ماهانه رودخانه به ترتیب ۷۷/۵۳، ۲۵/۸۲ و ۱۱/۷۶ ٪ کاهش خواهد یافت.

موير[1] و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی با نرم‌افزار PHABSIM زیستگاه ماهی سالمون را در مرحله تخم-ریزی را شبیه‌سازی کردند و تأثیر شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه بر خروجی مدل مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیقی که بر روی یکی از انشعابات رودخانه دی[2] شمال شرق اسکاتلند صورت گرفت از داده‌های ۱۸ ساله مرحله تخم‌ریزی ماهی سالمون برای ارزیابی۱- توانایی PHABSIM برای پیش‌بینی تفاوت بین سال‌های در دسترس زیستگاه در منطقه مطالعاتی ۲- توانایی PHABSIM در پیش‌بینی الگوهای مطلوبیت نسبی در سراسر منطقه و۳- تأثیر شاخص‌های متفاوت مطلوبیت زیستگاه بر پیش‌بینی‌های مدل با تمرکز بر موارد ۱ و۲ ، استفاده شد. اگرچه پیش‌بینی‌های مبنی بر منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه در رودخانه به صورت قابل‌توجهی با الگوهای مصرف منطقه متناظر نبودند، نتایج نشان داد که PHABSIM

[1] MOIR
[2] Dee

قادر به پیش‌بینی زیستگاه ماهی سالمون در مرحله تخم‌ریزی است اما استفاده درست منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه بسیار مهم و بحرانی است.

در تحقیقی ویسمارا[1] و همکاران(۲۰۰۱) با روش IFIM و نرم‌افزار شبیه‌سازی PHABSIM منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه ماهی قزل‌آلا را با دو رویکرد تک متغیره و دو متغیره مورد بررسی قرار داد. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه با پارامترهای عمق آب، سرعت جریان، اندازه ذرات و پوشش بستر (روش تک متغیره) و داده‌های عمق و سرعت(روش دو متغیره) توسعه یافتند. برای مقایسه روش‌ها، روابط دبی- سطح قابل استفاده وزنی با استفاده از هر دو روش تولید منحنی مطلوبیت محاسبه شد که نتایج متفاوت بود و در مدل زیستگاه PHABSIM منحنی‌های تک متغیره(یکنواخت) برای تولید روابط دبی- سطح قابل استفاده وزنی نیاز است.

کاندر[2] و انییر[3](۱۹۸۷) در پژوهشی ارتباط سطح قابل استفاده وزنی به‌دست‌آمده از PHABSIM و جمعیت دو گونه ماهی قزل‌آلا را در رودخانه‌های وایومینگ[4] بررسی کردند. ارتباط سطح قابل استفاده وزنی و جمعیت ماهی‌های پیش‌بینی شده با شاخص کیفیت زیستگاه به نوع گونه آن‌ها، اندازه رودخانه و شیب آن بستگی داشت. مکان‌هایی با شیب تندتر و سرعت بالا تأثیر بیشتری بر شاخص کیفیت زیستگاه داشتند. وقتی یک ویژگی به جز سرعت بیش‌ترین تأثیر را بر جمعیت قزل‌آلا و تغییر دبی دارد، تخمین-های WUA ممکن است نامعتبر باشد. این مشاهدات نشان داد بین WUA و جمعیت ماهی‌های موجود ارتباط وجود دارد اما ماهیت این ارتباط در هر رودخانه‌ای متفاوت است.

[1] Vismara
[2] CONDER
[3] ANNEAR
[4] Wyoming

نادری و همکاران(۱۳۹۶) به تعیین جریان موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها با به‌کارگیری مدل شبیه-سازی زیستگاه PHABSIM پرداختند و بیان کردند که روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه امکان اجرا با دقت قابل‌قبول را در کشورهای در حال توسعه با دسترسی محدود به بانک‌های اطلاعاتی دارند. روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بسیار پایینی از حقابه زیست‌محیطی رودخانه ارائه می‌دهند و لذا برای استفاده در رودخانه‌های ایران نیازمند مطالعه بیشتر می‌باشند. به جای حداقل جریان زیست‌محیطی بهتر است از رژیم اکولوژیکی جریان حاصل از روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه استفاده نمود. در کشور نیاز به تحقیقات متعدد به منظور استفاده از روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه و مدل‌های موجود در این زمینه از جمله مدل PHABSIM و تعیین میزان اعتبار به کارگیری آن برای رودخانه‌های داخل کشور به منظور بهبود زیستگاه آبزیان به ویژه گونه‌های با ارزش اقتصادی بالا می‌باشد.

آیلون[1] و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر متغیر منحنی مطلوبیت زیستگاه را بر نتایج شاخص زیستگاه PHABSIM بررسی کردند. نتایج نشان داد که عدم اطمینان در مقادیر WUA می‌تواند با استفاده از عملکرد کلی شاخص‌های کانال به سطح قابل قبولی کاهش یابد.

شیم و همکاران(۲۰۱۶) بیان کردند که مدل‌های مطلوبیت زیستگاه به دو دسته مدل‌های هیدرولیکی زیستگاه(RHYHABSIM, RHABSIM, CASIMIR, CCHE2D, PHABSIM و RIVER2D) و مدل-های فیزیولوژیکی زیستگاه (CLIMEX) تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل‌های هیدرولیکی زیستگاه از متغیرهای هیدرولیکی (سرعت، عمق و جنس بستر) استفاده می‌کنند. جهت تعیین اثرات تغییرات آب و هوایی بر توزیع ماهی‌ها از ترکیب مدل PHABSIM با دو مدل مطلوبیت زیستگاه اکولوژیکی و فیزیولوژیکی استفاده شد.

[1] AYLLON

گیبینز[1] و همکاران(۲۰۰۲) به مقایسه شاخص‌های انتخاب دبی و مدل‌سازی PHABSIM جهت ارزیابی دبی مرحله تخم‌ریزی ماهی سالمون آتلانتیک پرداختند. شاخص‌های به‌دست‌آمده با خروجی PHABSIM مقایسه شد. شاخص انتخابی و منحنی سطح قابل استفاده وزنی- دبی نتایج مشابهی داشته و هر دو میزان دبی بهینه را به ترتیب ۱/۱ و ۱/۴ متر مکعب بر ثانیه برآورد کردند.

در تعیین حقابه زیست‌محیطی، فرض ثابت بودن جریان در مدل‌ها مناسب نبوده و متغیر گرفتن جریان طبیعی رودخانه‌ها بایستی لحاظ گردد. با این حال که روش هیدرولوژیکی به علت سادگی و اندازه‌گیری پارامتر دبی، در اکثر کشورهای درحال‌توسعه مورداستفاده قرار می‌گیرد، ولی به‌کارگیری مدل زیست‌بوم آبزیان تحت روشIFIM با توجه به پاسخ مناسب آن، بهترین روش ارزیابی سلامت رودخانه‌ها برای ایران معرفی گردیده است (طالب‌بیدختی و بنی‌هاشمی، ۱۳۸۷).

بیچر[2] و همکاران (۲۰۱۰) کاربرد مدل PHABSIM و منحنی سطح قابل استفاده وزنی (WUA- دبی) را در دوره درازمدت جهت تعیین معیارهای مطلوبیت زیستگاه ماهی سالمون ارزیابی کردند. در این تحقیق ارتباط بین سطح قابل استفاده وزنی-دبی با رابطه تجربی که قبلاً مشخص شده است مقایسه شد و نتایج نشان داد که با افزایش جریان تابستانه جمعیت ماهی سالمون افزایش یافت. ارتباط بین سطح قابل استفاده وزنی ماهی سالمون نابالغ و دبی نشان داد که بیش‌ترین مقدار زیستگاه در جریانی اتفاق می‌افتد که کمتر از جریان حداقل اندازه‌گیری شده بود و مقدار زیستگاه با افزایش جریان کاهش یافت. نتایج PHABSIM برخلاف اندازه‌گیری‌های تجربی بوده و مغایرت آن به دلیل تأثیر مطلوبیت زیستگاه است.

در مقایسه مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی که توسط (وادل و همکاران، ۲۰۰۰) صورت گرفت، بیان شد که مدل‌های دوبعدی نظیر River2D جهت بررسی هیدرودینامیک جریان از مدل‌های یک‌بعدی مانند

[1] GIBBINS
[2] BEECHER

PHABSIM دقیق‌تر عمل می‌کنند. هم‌چنین در شبیه‌سازی یک‌بعدی تنها از معادله پیوستگی استفاده می‌شود، در حالی که در شبیه‌سازی دوبعدی از معادلات سنت ونان و ارتباط هیدرودینامیک بین گره‌های محاسباتی استفاده می‌شود. بنابراین قابل انتظار است که نتایج تفاوت‌هایی داشته باشند. ولی روند کلی بالا و پایین رفتن اعداد یکسان است. البته حساسیت WUA محاسبه شده از هر دو مدل به خطاهای شبیه‌سازی عمق و سرعت ارتباط مستقیم با شاخص‌های مطلوبیت عمق و سرعت گونه شاخص دارد.

گارد[1](۲۰۰۹) به مقایسه شبیه‌سازی مدل‌های PHABSIM وRiver2D برای ماهی قزل‌آلا در مرحله تخم‌ریزی پرداخت. نتایج نشان داد، در هر دو مدل مطلوبیت (حاصل از عمق،سرعت و بستر) مکان‌های تخم‌ریزی به‌طور معناداری از مطلوبیت سایر قسمت‌ها بیشتر است. تفاوت‌های ناچیزی در روابط زیستگاه-جریان هر منطقه و منحنی مطلوبیت زیستگاهی که با هر دو مدل پیش‌بینی شده بود وجود داشت. استفاده از River2D به جای PHABSIM با توجه به توانایی آن برای مدل‌سازی شرایط پیچیده جریان، که نمی‌توان با PHABSIM شبیه‌سازی کرد، هنوز موجه است. همچنین در شبیه‌سازی هیدرولیکی دوبعدی انجام شده در رودخانه‌های شمال آمریکا، نتیجه گرفته شد که مدل دوبعدی به‌طور قابل‌توجهی از مدل یک‌بعدی PHABSIM بهتر عمل کرد (قانم [2] و همکاران، ۱۹۹۶).

در مدل‌سازی هیدرولیکی زیستگاه ماهی قزل‌آلای آتلانتیک از مدل دوبعدی River2D استفاده شد. شش ناحیه با ساختار بستر متفاوت انتخاب شدند. نتایج نشان داد برخی مناطق نسبت سایر آن‌ها مکان‌های مناسب‌تری برای زیستگاه ماهی شاخص هستند (فابریس[3] و همکاران،۲۰۱۷).

لاسی[1]و میلار[2](۲۰۰۱) از مدل دوبعدی River2D برای شبیه‌سازی زیستگاه دو نوع ماهی قزل‌آلا استفاده کردند نتایج آن‌ها نشان داد با در نظر گرفتن سازه‌های رودخانه در دوره قبل و بعد از سیلاب، مقدار سطح

[1] Gard
[2] Ghanem
[3] Fabris

قابل استفاده وزنی(WUA) در هر دوره به اندازه ۱۵۰ درصد با یکدیگر اختلاف دارند. این نرم‌افزار که از مشخصات هیدرولیکی جریان برای شبیه‌سازی زیستگاه استفاده می‌کند، ابزاری قدرتمند برای ارزیابی طراحی سازه‌های رودخانه‌ای قبل از ساخت آن‌هاست. همچنین از این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی هیدرولیکی و برآورد رابطه دبی- زیستگاه چند رودخانه در کانادا با در نظر گرفتن مراحل خاصی از دوران زندگی ماهی‌های متفاوت استفاده شده است (کاتوپودیس[3]،۲۰۰۳).

وادل(۲۰۰۹) نرم‌افزار River2D را برای شبیه‌سازی عمق،سرعت و زیستگاه در دوره بلوغ ماهی قزل‌آلای قهوه‌ای مورد ارزیابی قرار داد. شبیه‌سازی برای سه دبی متفاوت صورت گرفت و نتایج عمق و سرعت با داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. نتایج مقایسات نشان داد که مدل River2D برای شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌های پیچیده مناسب است و نقشه‌های عمق و سرعت به‌دست‌آمده از آن برای تحلیل زیستگاه مفید بوده اگرچه باید خطاهای سرعت و عمق را در نظر گرفت.

کیم[4] و همکاران(۲۰۱۶) از سطح قابل استفاده وزنی (WUA) بر مبنای روش IFIM و مدل‌سازی River2D جهت برآورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه استفاده کردند. برای کالیبراسیون مدل از داده‌های شبیه‌سازی شده HEC-RAS استفاده شد و نتایج نشان داد که مدل قادر به شبیه‌سازی جریان است و منحنی دبی- سطح قابل استفاده وزنی به‌دست‌آمده از شاخص‌های مطلوبیت با توجه به نرخ جریان تغییر کرد.

---

[1] Lacey
[2] Millar
[3] Katopodis
[4] Kim

تینگ چو[1](۲۰۱۷) نیز با تلفیق نتایج مدل River2D و ۶ مدل از مدل‌های توزیع گونه‌ها(SDMs[2]) در رودخانه تایوان به بررسی ارتباط بین تغییرات محیط زیست و توزیع گونه‌های اکوسیستم آن پرداخت. نتایج نشان داد که دقت River2D به شدت تحت تأثیر داده‌های اندازه‌گیری شده است.

برای ارزیابی عملکرد جریان زیستگاهی، از شاخص مطلوبیت یک ماهی در کره، استفاده شد و مناطق زیستگاهی توسط River2D مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات جریان وابسته به زیستگاه ماهی موردنظر که توسط River2D شبیه‌سازی شد نشان داد این مدل برای شبیه‌سازی زیستگاه و طراحی‌های هیدرولیکی کاربردی است (کنگ[3] و همکاران، ۲۰۱۶).

با توجه به مطالب ذکرشده و مطالعات صورت گرفته، می‌توان به این نتیجه رسید که در ایران بیشتر از روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی استفاده شده و با توجه به اینکه روش‌های زیستگاهی از ترکیب داده‌های هیدورولوژیکی، هیدرولیکی و بیولوژیکی جهت تعیین حقابه زیست‌محیطی استفاده می‌کنند، کمتر به آن‌ها پرداخته شده است. در این پژوهش با شبیه‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی توسط نرم‌افزار River2D تعیین نیاز زیست‌محیطی ماهانه رودخانه بابلرود صورت گرفته است.

[1] Ting Chu
[2] Species distribution models
[3] Kang

فصل سوم

مواد و روش‌ها

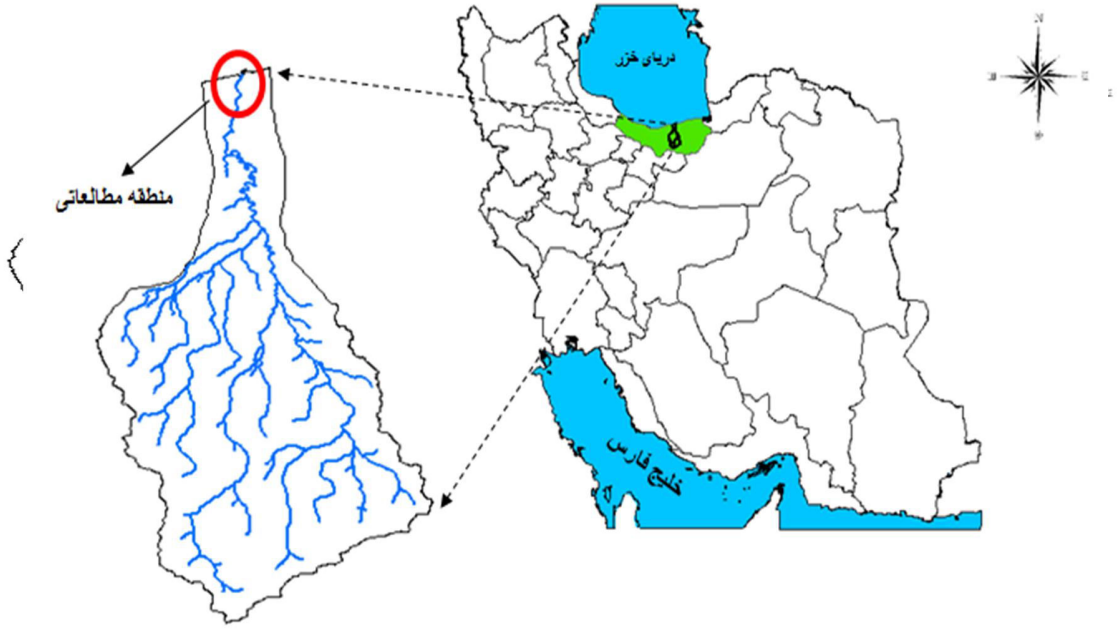
۱.۳. مقدمه

هدف اصلی این تحقیق، تعیین حقابه زیست‌محیطی با روش شبیه‌سازی زیستگاه و مقایسه نتایج آن با روش‌های هیدرولوژیکی مورداستفاده رودخانه‌های ایران می‌باشد. در فصول قبل نیاز زیست‌محیطی و روش‌های تعیین آن شرح داده شد. در این فصل ابتدا منطقه مطالعاتی و سپس روش‌های هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی زیستگاه و نیز جمع‌آوری و تولید داده‌های موردنیاز نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق، شرح داده شده است.

۲.۳. موقعیت رودخانه

رودخانه بابلرود از جبهه شمالی سلسله جبال البرز، کوه‌های نارگلی، امامزاده حسن و ورگلی سرچشمه می‌گیرد و بلندترین نقطه حوضه آبریز با ارتفاع ۳۲۸۲ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. از سمت شرق به حوضه آبریز رودخانه تالار و سیاهرود و از سمت مغرب به حوضه آبریز رودخانه هراز محدود می‌شود.

شاخه‌های اولیه رودخانه بابل به نام آذر، اسکلیم، کرسنگ، بابلک و آزرود در محلی به نام دهکلان بهم پیوسته و به نام رودخانه بابل نامیده می‌شود. رودخانه بابل سپس در مسیری بسیار پرپیچ و خم در جهت شمال جریان یافته و از روستاهای قران تالار و درون‌کلا شرقی گذشته و در محل گنج‌افروز با شاخه مهم خود یعنی سجاد رود تلاقی می‌نماید. در همین منطقه از بستر کوهستانی خارج شده وارد جلگه بابل می-گردد و در جنوب این شهر شاخه‌های مهم دیگر خود یعنی کلارود و کاری را دریافت می‌نماید، سپس از شهر بابل گذشته و در یک مسیر ماندری وارد بابلسر شده و دلتا را تشکیل داده و به دریای خزر منتهی می‌شود. پهنای رودخانه بابلرود بین ۸۰ تا ۱۵۰ متر و عمق آن ۲ تا ۵ متر متغیر بوده و به‌طور متوسط عمق آن ۳ متر می‌باشد. طول رودخانه بابلرود تا ساحل ۱۰۱/۵ کیلومتر است (یوسفی روشن، ۱۳۹۵). شکل (۳-۱) موقعیت حوضه بابلرود و منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱) موقعیت حوضه بابلرود و منطقه مطالعاتی

ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه بابلرود شامل قران‌تالار، کشتارگاه، تمر، پاشاکلا، دیوا و گلوگاه بندپی می-باشد که در تحقیق حاضر جهت تحلیل‌های آبدهی رودخانه بابلرود از آمار دبی سنجی ایستگاه کشتارگاه بابل(نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مطالعاتی) در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ که از آرشیو بخش مطالعات شرکت آب منطقه‌ای ساری به‌دست‌آمده، استفاده شده است. در جدول (۳-۱) مشخصات ایستگاه آورده شده است.

جدول(۳-۱) مشخصات ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	متوسط دبی سالیانه (m^3/s)	سال آماری
۱	کشتارگاه	۵۲° ۳۹´	۳۶° ۳۲´	۹	۱۴/۹۵	۱۳۷۶-۱۳۹۵

۳.۳. اطلاعات هیدرولوژیکی

در جدول (۳-۲) نتیجه محاسبات آماری دبی‌های ماهانه ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه در طول دوره سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ آورده شده است. متوسط آبدهی سالانه رودخانه بابلرود در محل ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه برابر ۱۴/۹۵ متر مکعب در ثانیه برآورد گردیده است. حداقل متوسط آبدهی ماهانه رودخانه بابلرود در طول دوره آماری فوق به میزان۴/۶۶ متر مکعب در ثانیه که در خردادماه و حداکثر متوسط ماهانه آبدهی این رودخانه در این دوره آماری نیز حدود ۲۳/۶ متر مکعب بر ثانیه بوده است که در آذر به وقوع پیوسته است.

جدول (۳-۲) مشخصات آماری دبی سالانه و ماهانه ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه بابلرود

	سالانه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دبی میانگین (m^3/s)	۱۴/۹۵	۱۵/۶	۲۲/۹۷	۲۳/۶	۱۹/۰۸	۱۸/۰۷	۲۲/۹۹	۲۰/۸۶	۱۰/۲۸	۴/۶۶	۶/۵	۴/۸۸	۱۰/۳۱
حداقل دبی (m^3/s)	۰/۹۵	۰/۴۴	۲/۴۴	۰/۸۵۶	۱/۸۵	۳/۰۱	۲/۴	۰/۱۶	۰/۱۵۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۱۸	۰/۰۳۷
حداکثر دبی (m^3/s)	۱۹۶/۴	۲۵۲/۹	۳۳۲	۲۱۹/۷	۱۹۴/۳	۱۵۱	۲۳۱	۲۲۸	۳۳۰/۸	۱۰۱	۱۵۱	۶۸/۹	۹۶/۹

۴.۳. اطلاعات گونه‌های آبزی

در دهه‌های اخیر جوامع ماهیان رودخانه‌ای به‌شدت به وسیله فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند و این تغییرات منجر به تغییر در الگوی توزیع و ساختار جوامع ماهیان شده است. ازاین‌رو حفاظت کاربردی آبزیان نیازمند شناخت نیازهای طبیعی گونه‌هاست تا فعالیت‌های حفاظتی و بازسازی اکوسیستم‌های رودخانه‌ای به نحوی صورت گیرد که در گذر زمان سبب محدودیت برای گونه‌ها نشود(گارلند[1]، ۲۰۰۲)

جهت شناسایی انواع گونه‌های ماهی بابلرود از اطلاعات به‌دست‌آمده از مرکز تحقیقات شیلات استان مازندران، مصاحبه با کارشناس خبره شیلات منطقه و همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده از افراد بومی استفاده گردیده است (نادری،۱۳۹۶).

در جدول (۳-۳) فهرست مهم‌ترین گونه‌های ماهیان شناسایی شده در رودخانه بابلرود ارائه شده است.

[1] Garland

جدول (۳-۳) مهم‌ترین گونه‌های ماهی شناسایی شده در رودخانه بابلرود (نادری، ۱۳۹۶، و عبدلی و نادری،۱۳۸۷)

ردیف	نام فارسی	نام علمی	خانواده	زیستگاه
۱	کیلکای معمولی	clupeonellacaltrivantris	clupeidae	بیش‌ترین تراکم شرق و غرب جنوب دریای خزر و در عمق ۳۰ تا ۴۰ متری و رودخانه‌های مرتبط به آن نظیر سفیدرود از مصب تا سد سنگر و رودخانه‌های خروجی تالاب انزلی
۲	شیشه ماهی	Atherinaboyeri	Atherinidae	آب‌های ساحلی و مصبی و تمام سواحل جنوبی دریای خزر
۳	ماهی لپک(خیاطه)	Alburnoideseichwaldi	cyprinidae	اغلب رودخانه‌های جنوب دریای خزر و قسمت فوقانی رودخانه با بستر قلوه‌سنگی تا سنگلاخی و سرعت حدود۱متر در ثانیه
۴	ماهی مروارید	Alburnusalburnus	cyprinidae	تمام زیستگاه‌های مناسب حوضه جنوبی دریای خزر و قسمت پایین رودخانه و دریاچه‌های آب شیرین بیش‌ترین فراوانی را در مصب رودخانه دارد.
۵	شاه کولی	Alburnuschalcoides	cyprinidae	جهت تولیدمثل به رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر مانند بابلرود(پیشروی تا ۲۵ کیلومتر) و سرداب رود مهاجرت می‌کند . در قسمت‌های میانی رودخانه با بستر قلوه‌سنگی تخم‌ریزی می‌نماید.
۶	سس ماهی(زردک)	Barbuslacerta	cyprinidae	قسمت فوقانی رودخانه‌ها و قسمت میانی رودخانه با بستر سنگلاخی
۷	سس ماهی	Barbusmursa	cyprinidae	تمام رودخانه‌های حوضه جنوب دریای خزر و در قسمت میانی رودخانه‌ها با بستر قلوه‌سنگی همراه با سنگلاخ و جریان آب تند
۸	سیم پرک	Bliccabjoerkna	cyprinidae	اختصاص به آب شیرین دارد و قسمت پایین رودخانه‌ها و تالاب‌ها با جریان آب آرام و پوشیده از گیاهان آبزی،در تمامی مصب رودخانه‌ها و آبگیرهای حوضه جنوبی دریای خزر مشاهده می‌شود.

۹	سیاه ماهی	Capoetagracilis	cyprinidae	تمام رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر در قسمت پایینی و میانی رودخانه‌ها(آب شیرین)و دریاچه‌های با بستر قلوه‌سنگی همراه با ماسه و گل و لای
۱۰	مارماهی دهان گرد	Caspiomyzonwagneri	petromyzontidae	اغلب رودخانه‌های مازندران،نزدیک بستر و یا کنار رودخانه در جایی با سرعت ۴/. تا۶/. متر در ثانیه و با بستر قلوه‌سنگی با گذشت زمان به قسمت های پایین رودخانه می‌رود.
۱۱	سگ ماهی جویباری خاردار	Cobitistaenia	cobitidae	قسمت پایینی رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر
۱۲	کپور معمولی	Cyprinuscarpio	cyprinidae	قسمت پایین رودخانه‌ها و تالاب‌ها،بیش‌ترین فراوانی در جنوب شرقی دریای خزر،گونه مهاجر،ساکن آب شیرین و پرورشی دارد و برای تولیدمثل وارد مصب رودخانه‌ها می‌شود.
۱۳	اردک ماهی	Esoxlucius	Esocidae	مصب رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر و در قسمت پایین رودخانه‌ها،تالاب‌ها با جریان آب آرام
۱۴	ماهی سفید رودخانه‌ای	Leuciscuscephalus	cyprinidae	اغلب رودخانه‌های حوضه جنوبی،قسمت میانی و بالایی رودخانه‌ها با بستر قلوه‌سنگی
۱۵	سس ماهی	Luciobarbuscapito	cyprinidae	قسمت میانی رودخانه‌ها با بستر قلوه‌سنگی و سرعت آب کمتر از ۱ متر در ثانیه
۱۶	گاو ماهی شنی	Neogobiusfluviatilis	gobiidae	تمام سواحل جنوب دریای خزر و مصب رودخانه با جریان آب آرام
۱۷	گاو ماهی دم گرد	Neogobiusmelanostomus	gobiidae	مصب رودخانه‌های جنوب شرقی دریای خزر و در بخش‌های میانی رودخانه‌ها با بستر قلوه‌سنگی و جریان ملایم آب
۱۸	سگ ماهی جویباری تاج دار	Paracobitismalapterura	cobitidae	در مناطق بالایی و میانی رودخانه‌ها با بستر سنگلاخی توام با قلوه سنگ، در رودخانه‌های هراز ،گرگان رود و ...

۱۹	ماهی مخرج لوله‌ای	Rhodeusamarus	cyprinidae	قسمت پایینی و میانی اغلب رودخانه‌های مازندران
۲۰	ماهی سفید	Rutiluskutum	cyprinidae	در تمام سواحل جنوبی دریای خزر و در زمستان به مصب رودخانه نزدیک می‌شود.تولیدمثل در بستر قلوه‌سنگی رودخانه‌های بابلرود،تجن،گرگان رود و ...مهاجرت می‌کند.
۲۱	قزل‌آلای خال قرمز	Salmofario	Salmonidae	در قسمت های فوقانی اکثر رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر از ارس تا رودخانه تجن (ساری)، بیش‌ترین فراوانی در رودخانه هراز و رودخانه پلور و شیرین رود دارد و در مهر و آبان به رودخانه مهاجرت می‌نماید.
۲۲	تیزه کولی	Hemiculterleucisculus	cyprinidae	جنوب دریای خزر،در قسمت پایینی رودخانه‌های تالاب انزلی و حاشیه رودخانه و اغلب در سطح آب
۲۳	ماهی سیاه کولی	Vimbapersa	cyprinidae	برای تولیدمثل در فصل بهار به اغلب رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر مانند بابلرود ،تجن و ... مهاجرت می‌کند
۲۴	کفال سالینس	Liza saliens	Mugiliidae	ماهی مهاجر، تمام سواحل جنوبی دریای خزر ،گونه غیر بومی
۲۵	سس ماهی دریای خزر(اورنج)	luciobarbus brachycephalus	cyprinidae	ماهی مهاجر،اختصاص به دریای خزر دارد،برای تولیدمثل به رودخانه‌های منتهی به دریای خزر مهاجرت می‌نماید

۵.۳. روش‌های برآورد حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه

۱.۵.۳. روش تنانت (مونتانا)

روش تنانت جهت برآورد حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها، بر پایه مطالعات صحرایی در ایالات مرکزی- غربی آمریکا با برقراری رابطه بین جریان رودخانه و حفظ طبیعت اطراف رودخانه توسعه داده شده است (تنانت، ۱۹۷۶). این روش به منظور یافتن دبی مناسب و موردنیاز برای تأمین گذرگاه‌های ماهی‌هایی که در گودال‌های کوچک کف رودخانه تجمع می‌کنند، ابداع و بر اساس مشاهدات منطقه‌ای، دبی معادل ۳۰ درصد دبی متوسط سالانه برای حفظ عرض، عمق و سرعت جریان مناسب تشخیص داده شد(شکوهی و یانگ، ۱۳۹۰). روش مونتانا روشی بسیار ساده سریع و ارزان می‌باشد؛ نیاز به داده‌های کم دارد؛ و بدون نیاز به مراجعه به ایستگاه مطالعاتی و در دفتر نیز قابل انجام است، ولی بهتر است کالیبراسیون صحرایی نیز انجام شود. تنانت معتقد بود که این معیارها در ایالات‌متحده و بسیاری از مناطق دیگر کاربرد دارد (آرتینگتون و زالوکی، ۱۹۹۸). در جدول (۳-۴) ضوابط مصوب وزارت نیرو برای استفاده از روش مونتانا به صورت درصد از جریان متوسط سالانه ارائه شده است.

جدول (۳-۴) درصد سهم از متوسط آورد سالیانه رودخانه به عنوان نیاز زیست‌محیطی در روش تنانت (۱۹۷۶)
(وزارت نیرو، ۱۳۹۰)

ردیف	کیفیت حیات ماهی در رودخانه	مهر تا اسفند (٪)	فروردین تا شهریور (٪)
۱	وضعیت بهینه	۶۰ تا ۱۰۰	۶۰ تا ۱۰۰
۲	بسیار عالی	۴۰	۶۰
۳	عالی	۳۰	۵۰
۴	خوب	۲۰	۴۰
۵	قابل‌قبول	۱۰	۳۰
۶	ضعیف	۱۰	۱۰
۷	کمبود شدید	۱۰>	۱۰>

۲.۵.۳. روش Q95٪

روش Q95% روشی مبتنی بر منحنی تداوم جریان (FDC[1]) ، که یکی از روش‌های مناسب برای خلاصه کردن خصوصیات فراوانی جریان رودخانه است، می‌باشد. این منحنی از طریق تقسیم‌بندی هیدروگراف جریان (معمولاً متوسط جریان روزانه) و مرتب کردن داده‌ها به صورت نزولی حاصل می‌شود. با استفاده از این منحنی اطلاعاتی در مورد احتمال اینکه چند درصد جریان بزرگ‌تر یا مساوی مقدار مشخص خواهد بود به دست می‌آید (Shokoohi and Amini., 2014) . در روش Q95 با استفاده از منحنی تداوم جریان، جریانی قرائت می‌شود که ۹۵٪ از ایام سال در رودخانه برقرار است (زرعکانی و همکاران، ۱۳۹۶).

[1] Flow Duration Curve

۳.۵.۳. متدولوژی افزایش جریان درون رودخانه(IFIM[1])

۱.۳.۵.۳. تاریخچه

تا قبل از دهه ۷۰، رویکردی که در دنیا در موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه رواج داشت به این صورت بود که در کنار برداشت‌هایی که به جهت کشاورزی، شرب، و صنعت از رودخانه انجام می‌شود، بایستی یک مقدار حداقل جریان نیز در رودخانه برقرار باشد تا زیستگاه رودخانه حفظ شود؛ در صورتی که این جریان در رودخانه برقرار نباشد زیستگاه موجودات درون رودخانه به خطر افتاده و ماهی‌ها می‌میرند. با این دیدگاه و بدون توجه به تهدید زیستگاه موجودات زنده، پروژه‌های تخصیص منابع آب با مشکلات زیست‌محیطی زیادی مواجه شدند. در اواسط قرن بیستم، افزایش مخازن ذخیره و طرح‌های توسعه منابع آب در آمریکای شمالی، باعث ایجاد نگرانی‌هایی در مورد به خطر افتادن زیستگاه رودخانه‌ها و حیات وحش در نواحی خشک غرب آمریکا شد. در این سال‌ها روش‌های زیادی بر پایه رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به وجود آمد که در کنار دیدگاه‌های تجربی، در مورد گونه‌های خاص، مورداستفاده قرار گرفت. این روش‌ها درنهایت مقدار حداقل نیاز رودخانه را تعیین می‌کردند که پایین‌تر از این مقدار آستانه رودخانه با بحران مواجه می‌شد. درحالی‌که در بسیاری از کشورها از این روش‌ها استفاده می‌شود، تقریباً همیشه مقدار جریان به‌دست‌آمده کم‌تر از مقدار جریان بهینه و یا حالت دست‌نخورده رودخانه می‌باشد(استالناکر[2] و همکاران، ۱۹۹۵).

در مقاله‌ای ، دورکسن[3] ناتوانی مفهوم حداقل جریان را با مفهومی نزدیک به احساسات انسانی این‌گونه تشریح کرد:

[1] Instream Flow Incremental Methodology
[2] Stalnaker
[3] Doerksen

" تصویر خانواده‌ای ۶ نفره که در یک حمام زندگی می‌کنند را به خاطر می‌آورم... نکته تصویر این است که ماهی‌ها در حداقل جریان می‌توانند به زندگی خود ادامه دهند. بعد از گذشت دوره‌ها، با افزایش جمعیت، دیگر این حداقل جریان برای ماهی‌ها قابل تحمل نمی‌باشد."

در اواخر دهه ۱۹۷۰ سرویس شیلات و حیات وحش ایالات متحده (FWS) از طرف آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) مأمور ایجاد گروه خدمات جریان درون رودخانه گردید. هدف اصلی این گروه توسعه روش‌هایی برای کمی سازی تأثیرات بیولوژیک تغییرات جریان رودخانه بود(گزارش USGS، ۲۰۰۱). روش‌هایی که رویکرد آن‌ها امکان تحلیل تغییرات زیستگاه بر اساس رژیم‌های مختلف جریان می‌باشد. این رویکردها باعث تولید توابع زیستگاه (مسیر شنای ماهی، محل‌های تخم‌ریزی، محل زندگی) در مقابل دبی برای گونه‌های ماهی آزاد مدیترانه[1] و قزل‌آلا[2] گردید. سپس تحقیقات به منظور ارتباط جمعیت ماهی‌ها و پارامترهای زیستگاهی انجام شد و در نهایت مشخص شد که تولید و جمعیت ماهی وابستگی زیادی به چند پارامتر دارد. این پارامترها عبارت‌اند از سرعت جریان، عمق آب، جنس مصالح کف و پوشش کف، دمای آب، اکسیژن محلول، قلیائیت کل، کدورت، و نفوذ نور در آب. توسط روش‌های مختلف، تأثیر برداشت‌های مختلف از رودخانه روی این متغیرها بررسی گردید و به بسیاری از پروژه‌های آبی فدرال تحت نظارت جامعه مهندسان ارتش آمریکا ابلاغ شد.

در اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ ، با کمک سرویس شیلات و حیات وحش آمریکا متدولوژی افزایشی جریان درون رودخانه (IFIM) به وجود آمد. این متدولوژی کمیت و کیفیت زیستگاه به وجود آمده توسط رژیم‌های مختلف جریان را شبیه‌سازی می‌کرد. متدولوژی افزایشی به عنوان ابزاری برای بررسی مدیریت‌های مختلف جریان، مذاکره گروه‌های مختلف ذینفعان و آگاهی بهتر مدیران در تصمیم‌گیری انتخاب گردید (استالناکر و همکاران، ۱۹۹۵).

[1] Pacific Salmon
[2] Trout

۲.۳.۵.۳. مراحل روش IFIM:

روش IFIM مجموعه‌ای از مراحل(فاز) مرتبط می‌باشد که مشخصات زمانی و مکانی زیستگاه ناشی از تغییرات رودخانه را توصیف می‌کند و با آن می‌توان کمیت و کیفیت زیستگاه به وجود آمده را تحت رژیم‌های مختلف جریان، برای گونه موردنظر شبیه‌سازی کرد. این مراحل شامل: طرح مسئله و هدف‌گذاری، طرح‌ریزی مطالعات، اجرای مطالعه و دفاع از اهداف می‌شود. شرح مختصری از این مراحل در ذیل بیان شده است. برای مطالعه بیشتر به (بووی، ۱۹۹۸) مراجعه شود.

الف. طرح مساله و هدف‌گذاری:

از مهم‌ترین هدف‌های یک محقق IFIM، ایجاد ارتباط قوی بین ذینفعان پروژه می‌باشد. بدون ایجاد اعتماد در ذینفعان، طرح‌های نو با عدم استقبال مواجه می‌شوند. در هر مطالعه IFIM، در مرحله هدف‌گذاری بایستی ارتباط بین سازمان‌ها و تحلیل مسائل مطرح شده توسط ذینفعان انجام شود. این کار به مشخص کردن مرزهای اهداف کمک می‌کند. دقت در این مرحله باعث پیشروی هر چه سریع‌تر سایر مراحل می‌شود.

ب. طرح‌ریزی مطالعات:

ممکن است مراحل اولیه IFIM فاقد سازمان‌دهی خاصی به نظر بیاید؛ ولی محقق آزاد است که در طرح مطالعه خود کدام‌یک از مسائل را بیش‌تر ارزش‌گذاری کند. به دلیل انعطاف‌پذیری بالای IFIM روش دقیقی برای طرح‌ریزی یک مطالعه خاص وجود ندارد، ولی استانداردهایی وجود دارد که باید در هر مطالعه رعایت شود. برای سازمان‌دهی داده‌های پروژه، نیاز به تعیین داده‌های موردنیاز، بررسی داده‌های موجود، و طرح‌ریزی برای برداشت داده می‌باشد. داده‌های موردنیاز ماکرو زیستگاه شامل داده‌های هیدرولوژیکی،

دمای آب، و کیفیت آب است؛ و داده‌های موردنیاز میکرو زیستگاه شامل داده‌های ساختار رودخانه، داده‌های هیدرولیکی (عمق و سرعت)، و ضوابط مطلوبیت زیستگاه می‌شود.

ج. اجرای مطالعه:

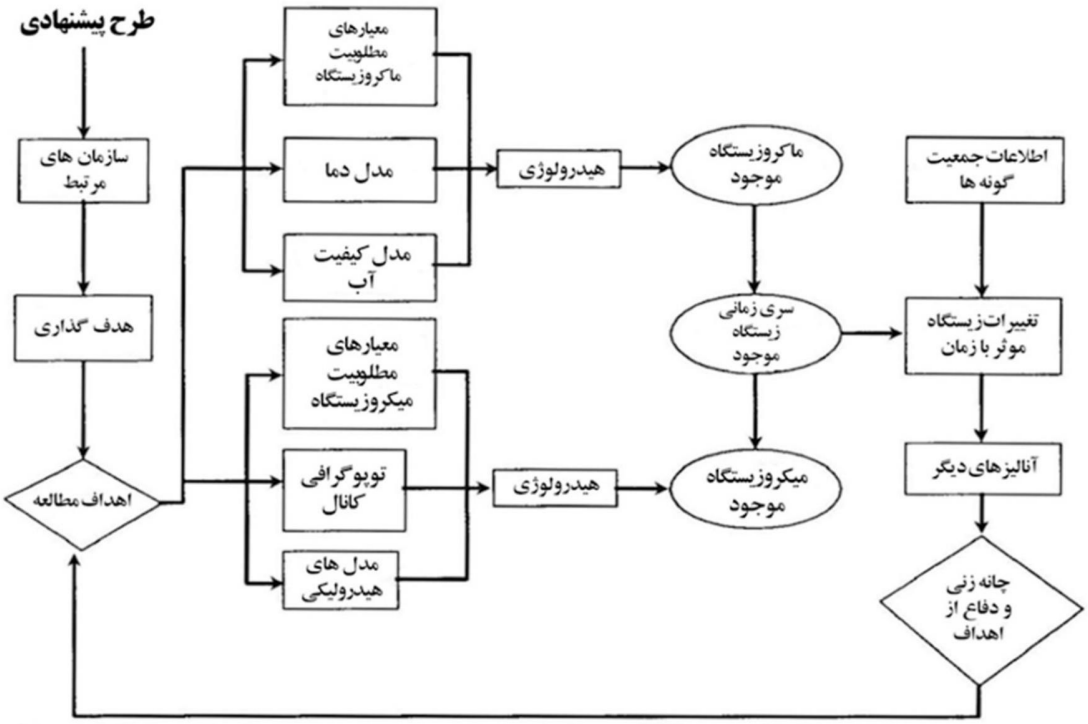
در این مرحله، داده برداری و کالیبراسیون مدل‌ها و آنالیز داده‌های موردنیاز انجام می‌شود. تضمین کیفیت در هر مرحله از مطالعه برای اطمینان از اینکه خروجی به‌دست‌آمده از مدل‌های IFIM دقیق و واقع‌بینانه هستند، ضروری است. بدون داده‌های قابل‌اعتماد، مقایسه مراحلی که خود ممکن است هدف مرحله بعد باشد دشوار است. داده‌های موردنیاز شبیه‌سازی زیستگاه در این مرحله شامل داده‌های هیدرولیکی (عمق و سرعت جریان)، و داده‌های زیستگاهی (منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه (HSC[1])) می‌باشد.

د. دفاع از اهداف:

در این گام با استفاده از روش‌های تحلیل مخصوص IFIM، رویکردهای مختلف جریان بررسی شده و در نهایت تأثیر آن‌ها روی گونه موردنظر آشکار می‌شود و سپس با استفاده از تکنیک های مذاکره، راه برای رسیدن به هدف موردنظر هموار می‌شود.

در نهایت، نتیجه مراحل فوق به یک برنامه‌ریزی مناسب، با یک دید همه‌جانبه به حفظ زیستگاه گونه-های موردنظر می‌انجامد. در شکل (۳-۲) دیاگرام کلی اجزای IFIM نشان داده شده است.

[1] Habitat Suitability Criteria Curves-HSC Curves



شکل (۳-۲) دیاگرام شماتیک ارتباط اجزای IFIM (بووی و همکاران، ۱۹۹۸)

با توجه به اینکه هدف این تحقیق برآورد حقابه زیست‌محیطی رودخانه بابلرود در دوره پس از انجام پروژه احداث سد است فرض بر این است که دو فاز اولیه روش IFIM از پیش انجام شده و در این پژوهش فقط به بررسی فاز اجرای مطالعه که شامل داده برداری و شبیه‌سازی مدل و آنالیز داده‌های موردنیاز جریان و زیستگاه می‌باشد، پرداخته می‌شود. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه (HSC) ، از مهم‌ترین داده‌های زیستگاهی جهت شبیه‌سازی مدل مورداستفاده هستند.

۳.۳.۵.۳. منحنی مطلوبیت زیستگاه (HSC)

روش IFIM یک ابزار مبتنی بر زیستگاه است که برای ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی استفاده از آب و منابع مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، معیاری که محیط زیست مطلوب را برای یک‌گونه فراهم

می‌کند، برای پیاده‌سازی موفق این روش ضروری است. در زمینه IFIM، این معیار به عنوان معیار مطلوبیت زیستگاه تعریف می‌شود و یعنی: **ویژگی‌های رفتاری طبیعی یک گونه که به عنوان استانداردهایی برای مقایسه در فرآیند تصمیم‌گیری مورداستفاده قرار می‌گیرند.**

معیارهای مطلوبیت زیستگاه ممکن است در انواع و قالب‌های مختلفی ارائه شود. نوع یا دسته معیارها به فرآیند تولید معیارها بستگی دارد. معیارهای دسته اول، بر اساس اطلاعات موجود و نظر کارشناسی در شرایط کمبود و یا نبود داده تجربی و معیارهای دسته دوم با داده برداری میکرو زیستگاه در محل‌هایی که گونه هدف دیده یا جمع‌آوری شده تولید می‌شوند. معیارهای دسته دوم به نام توابع "مصرف"[1] شناخته می‌شوند؛ چون بر اساس مشاهده محل‌هایی است که گونه هدف حضور داشته است و بر اساس زمان و مکان دیده شدن گونه موردنظر بسط داده شده‌اند. تصحیح توابع مصرف دسته سوم معیارها یا توابع "ترجیحی"[2] را به وجود می‌آورد که این معیارها محدودیت زمانی و مکانی ندارند و قابلیت استفاده در شرایط مختلف را دارند. در ادامه هر یک از این معیارها شرح داده می‌شوند.

الف. معیارهای دسته اول

معیارهای مطلوبیت زیستگاه همیشه از مطالعات میدانی به دست نمی‌آیند. شرایط متعددی وجود دارد که می‌تواند معیارهای دسته اول که عمدتاً بر مبنای اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی هستند را تعیین کند.یکی از منابع اطلاعات وجود، گزارشات قبلی مطالعات توسعه معیارها است. متأسفانه، بیشتر مطالعات دقیق معیارها در مجله‌ها و گزارشات خصوصی چاپ می‌شود و یا در دسترس عموم نیست.

[1] Utilization
[2] preference

تولید معیارهای دسته اول از طریق نظر کارشناسی، زمانی که اطلاعاتی در دسترس نیست، رایج است. سه تکنیک برای این دسته معیارها موجود است: مباحثات میزگرد[1]، تکنیک دلفی[2]، و تشخیص زیستگاه[3]. میزگرد عبارت از بحث رو در رو بین گروه شرکت‌کنندگان می‌باشد. موفقیت یا شکست در بحث گروه به ترکیب افراد و قابلیت مدیر گروه بستگی دارد. مزیت این روش این است که تمامی شرکت‌کنندگان به‌طور مساوی به اطلاعات مبادله شده دسترسی دارند و خروجی آن سریع است. معایب این روش شامل مسائل برنامه‌ریزی، جلسات مکرر، عدم توجه کافی به نظرات اقلیت، و احتمال تحت تأثیر قرار گرفتن گروه توسط اشخاص قوی می‌باشد.

تکنیک دلفی برای غلبه بر بسیاری از معایب مباحث رو در رو به وجود آمد. معمول‌ترین تکنیک دلفی، استفاده از یک پرسشنامه که توسط یک گروه کوچک ناظر طراحی شده و ارسال آن به گروه بزرگ پاسخ‌دهندگان می‌باشد. استفاده از پرسشنامه دو عیب اصلی روش میزگرد را پوشش می‌دهد. پاسخ‌دهندگان در زمان خود به پرسش‌ها پاسخ می‌دهند، بنابراین لزومی برای ایجاد هماهنگی جلسات نمی‌باشد. همچنین ناشناخته بودن پاسخ‌دهندگان مانع تأثیر نفوذ اشخاص قوی‌تر می‌شود. خروجی روش میزگرد بسیار سریع می‌باشد، ولی خروجی روش دلفی با کمی تأخیر تولید می‌شود.

روش تشخیص زیستگاه بر این فرض استوار است، چنانچه بیشتر کارشناسان قادر به تعیین زیستگاه قابل استفاده و غیرقابل استفاده نباشند، با رفتن به رودخانه و بازدید از آن بتوانند زیستگاه‌ها را تشخیص دهند. در این تکنیک از داده برداری استفاده می‌شود، ولی کاملاً وابسته به نظر کارشناس است تا نمونه‌برداری. به هر یک از کارشناسان یک فرم رای‌گیری مخفی داده می‌شود و از آن‌ها خواسته می‌شود که انتخاب کنند برای یک گونه مشخص در یک مکان مشخص از رودخانه، گونه هدف آن مکان را اشغال

[1] Roundtable discussion
[2] Delphi technique
[3] Habitat recognition

می‌کند یا خیر. اندازه‌گیری‌های میکرو زیستگاه در آن محل انجام می‌شود. سپس یک توزیع فراوانی به تمامی پاسخ‌ها برازش داده می‌شود. به هر پاسخ "بله" فراوانی یک و به هر پاسخ "خیر" فراوانی صفر داده می‌شود. سپس با استفاده از همان تکنیک‌هایی که برای روش‌های مبتنی بر داده برداری انجام می‌شود، روابط تابعی به توزیع فراوانی برازش داده می‌شود.

بسیاری از زیست‌شناسان معیارهای دسته اول را به دلیل عدم وجود پایه داده تجربی مورد نقد قرار می‌دهند. ولی در صورت محدودیت زمانی و منابع داده برداری، معیارهای دسته اول بسیار بهتر از نداشتن هیچ‌گونه معیاری است. علاوه بر این، مطالعات مقایسه معیارهای دسته اول با معیارهای دسته دوم نشان دهنده تطبیق خوبی بین این دو معیار است.

ب. معیارهای دسته دوم و سوم

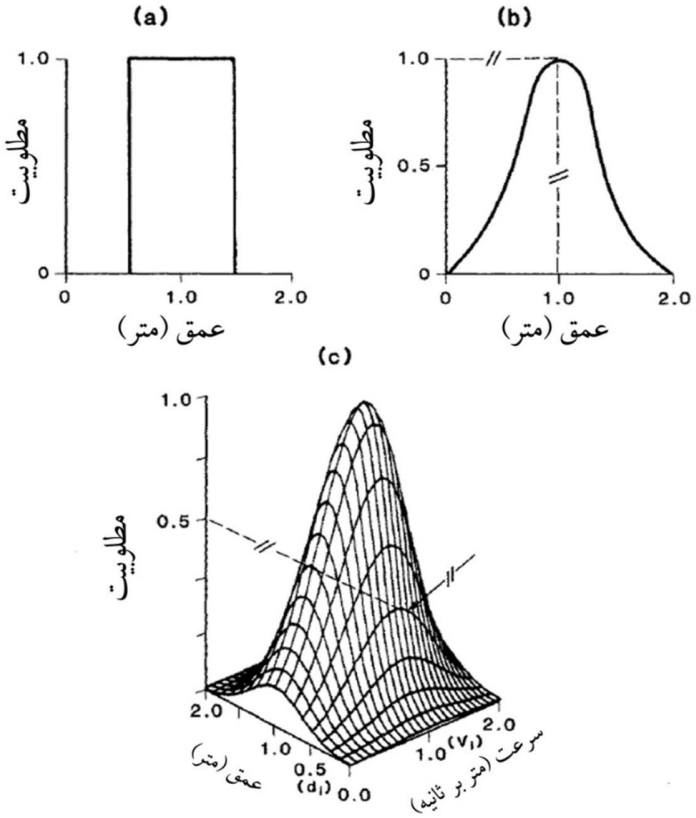
یکی از مهم‌ترین عناصر طراحی معیارهای دسته دوم و سوم، انتخاب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. دسترسی به محیط زیست می‌تواند یک منبع عمده خطا در توسعه این معیارها به ویژه در معیارهای دسته دوم باشد. منطقه مطالعاتی ایده آل بایستی شامل تمامی ترکیب‌های محتمل شرایط میکرو زیستگاه با فراوانی مساوی باشد. ماهی‌هایی که در این شرایط دیده می‌شوند منعکس‌کننده رفتار واقعی حضور یا عدم حضور گونه موردنظر می‌باشند، زیرا ماهی‌ها دسترسی آزاد و مساوی به تمام موقعیت‌های میکرو زیستگاه‌ها خواهد داشت. اگرچه این وضعیت ایده‌آل به‌طور طبیعی غیرممکن است، ولی هرچه شرایط ایستگاه مطالعاتی به این حالت نزدیک‌تر باشد، خطای کمتری در نتایج معیارها خواهد بود. نکات دیگری که در انتخاب رودخانه تأثیر می‌گذارند فاکتورهایی هستند که می‌توانند روی انتخاب میکرو زیستگاه گونه موردنظر تأثیر بگذارند؛ مانند کیفیت آب، دمای آب، و حضور یا عدم حضور گونه‌های رقیب یا شکارچی.

به‌طور متوسط، حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ نمونه‌برداری برای ساخت یک هیستوگرام منطقی صاف لازم است. مشاهدات یعنی برداشت داده‌های میکرو زیستگاه، بدون توجه به تعداد ماهی‌های حاضر در آن محل. فضای نمونه کوچک‌تر از ۱۵۰ ممکن است به دلیل احتمال محدودیت مشاهده میکرو زیستگاه در رودخانه بوده و توصیه می‌شود که در این شرایط منطقه نمونه‌برداری عوض شود (بووی،۱۹۸۶).

شرح کامل‌تر معیارهای مطلوبیت زیستگاه در بووی ۱۹۸۶ موجود است.

برای نشان دادن گرافیکی معیارهای مطلوبیت زیستگاه روش‌های مختلفی نیز وجود دارد. توابع باینری[۱] یک بازه مشخص را به متغیر موردنظر به صورتی مرتبط می‌کند که چنانچه متغیر موردنظر داخل معیار تعیین‌شده قرار بگیرد مقدار آن برابر مقدار مناسب یک، و اگر خارج آن قرار بگیرد مقدار آن صفر می‌باشد. قالب دیگر، منحنی‌های تک متغیره هستند و این امکان را می‌دهند که متغیر موردنظر بتواند هر مقداری را بین صفر و یک اختیار کند و داری یک مقدار بهینه باشد. منحنی‌های چند متغیره نیز برای نشان دادن مطلوبیت چند متغیر به‌طور هم‌زمان روی محورهای x، y و z است که به کمک آن می‌توان تأثیر متقابل متغیرها روی‌هم را بررسی کرد. شکل (۳-۳) روش‌های مختلف ارائه گرافیکی معیارهای مطلوبیت زیستگاه را نشان می‌دهد.

[۳] Binary



شکل (۳-۳) انواع منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه: (a) باینری، (b) تک متغیره، و (c) چند متغیره ، (بووی، ۱۹۸۶)

ج. پردازش داده‌ها

زمانی که داده‌ها برداشت شدند، باید بتوان آن‌ها را به صورت گرافیکی نمایش داد. برای این کار باید منحنی‌های تک متغیره یا چند متغیره را به داده‌ها برازش داد. سه روش برای تولید داده‌ها استفاده می‌شود: آنالیز هیستوگرام، حدود تلورانس نا پارامتری، و برازش تابع.

روش آنالیز هیستوگرام ساده می‌باشد و اساس این روش برازش دادن یک منحنی به فراوانی‌ها به صورت چشمی می‌باشد. دقت این روش پایین است؛ چون افراد مختلف می‌توانند منحنی‌های مختلفی را برازش دهند. می‌توان با دسته‌بندی هیستوگرام‌ها، منحنی برازش داده شده را صاف کرد، ولی این کار نیز

دقت را پایین می‌آورد. روش دیگر این است که منحنی‌ای را به هیستوگرام برازش دهیم که مجموع مربعات هر قسمت را به حداقل می‌رساند. این روش خسته‌کننده بوده و به‌ندرت از آن استفاده می‌شود.

از طریق روش حدود تلورانس نا پارامتری بازه‌ای از هر یک از متغیرهای عمق، سرعت، و ایندکس کانال به دست می‌آید که در آن درصد مشخصی از جمعیت یافته می‌شود. ایندکس مطلوبیت این روش از رابطه زیر به دست می‌آید:

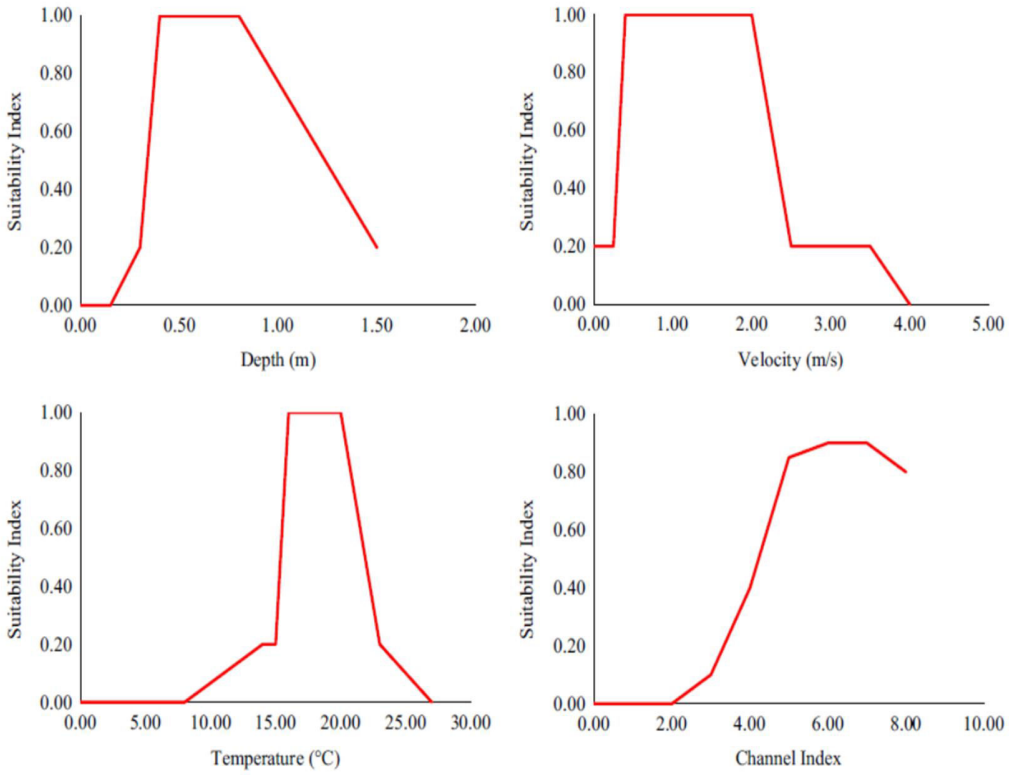
$$SI=2(1-P) \qquad (۱-۳)$$

در این رابطه P برابر کسر جمعیت زیر منحنی می‌باشد. بنابراین به ۵۰٪ جمعیت که در مرکز قرار می‌گیرد ایندکس یک، و به ۹۰٪ مرکزی ایندکس ۰/۲ داده می‌شود. این متد مزیت‌های زیادی دارد. به راحتی می‌توان از آن استفاده کرد، با فضای نمونه‌ای کوچک نیز سازگاری دارد، نسبت به بی‌نظمی‌های توزیع فراوانی حساسیت ندارد و لزومی ندارد که منحنی‌ای به آن برازش داده شود. به دلیل اینکه منحنی مطلوبیت حاصل نشان‌دهنده فراوانی تجمعی می‌باشد، برای تولید منحنی ترجیحی باید توزیع فراوانی نسبی را محاسبه کرد.

مفهوم روش‌های رگرسیون گیری غیرخطی شبیه روش آنالیز هیستوگرام می‌باشد، ولی در این روش از یک معادله ریاضی برای رسم منحنی استفاده می‌شود. زمانی که معادله مناسب انتخاب شد، از سعی و خطا برای حداقل کردن مجموع مربعات استفاده می‌شود. بسیاری از برنامه‌های کامپیوتری دارای الگوریتم محاسبه ریشه معادلات می‌باشند. تکنیک های رگرسیون غیرخطی را هم می‌توان برای برازش منحنی‌های تک متغیره و هم منحنی‌های چند متغیره استفاده کرد. توابع نمایی کثیرالجمله معمولاً برای آنالیز چند متغیره استفاده می‌شود، و روش رگرسیون لجستیک نیز به عنوان گزینه‌ای دیگر پیشنهاد شده است.

بالاترین مزیت استفاده از منحنی‌های چند متغیره، توانایی آن‌ها در نشان دادن تأثیر متقابل متغیرها روی یکدیگر می‌باشد. در منحنی‌های تک متغیره فرض بر این است که متغیرهای بیولوژیک روی یکدیگر اثر نمی‌گذارند. اهمیت این موضوع باعث ایجاد شبهه‌های زیادی شده است؛ چون تأثیر برخی متغیرها دارای اهمیت و تأثیر برخی دیگر اهمیتی ندارد. خطای تأثیرپذیری دو متغیر از هم در شرایطی که از هم تأثیر نمی‌پذیرند، درست مثل زمانی است که دو متغیر روی‌هم تأثیر می‌گذارند و ما تأثیر آن را نادیده می‌گیریم. بیش‌ترین تأثیرپذیری بیولوژیک، ارتباط بین پوشش کانال و هیدرولیک می‌باشد. به‌عنوان‌مثال، در صورت وجود پوشش بالای کانال، ماهی در اعماق کم شنا می‌کند ولی در صورت عدم وجود پوشش، ماهی به سمت مناطق عمیق می‌رود. با استفاده از معیارهای شرطی می‌توان این تعامل را به بهترین وجه نشان داد. تعاملات بین عمق و پوشش از لحاظ بیولوژیک اهمیت بالایی دارد. این تعامل حاصل محیط نمونه‌برداری می‌باشد و می‌توان اثر آن را با اصلاح تابع مصرف، اصلاح کرد. ولی از نظر کاربرد در نرم‌افزار، تولید و استفاده از منحنی‌های تک متغیره بسیار ساده‌تر از منحنی‌های چند متغیره می‌باشد. در بسیاری از حالت‌ها، دقت آن‌ها بالاتر از منحنی‌های چند متغیره است. ولی در صورتی که تشخیص داده شود تعامل متغیرها تأثیر زیادی دارد، ناچار باید از منحنی‌های چند متغیره استفاده کرد.(بووی،۱۹۸۶)

شکل ۳-۴ نمونه‌ای از یک منحنی مطلوبیت زیستگاه را نشان می‌دهد:



شکل (۳-۴) منحنی‌های مطلوبیت عمق، سرعت، دما و جنس کف برای ماهی زردک(Nikghalb et al., 2016)

۴.۳.۵.۳. انتخاب گونه شاخص

انتخاب گونه یا گونه‌های هدف بایستی بر اساس معیارهای مشخصی انجام شود. به عنوان مثال، با معیارهایی که در آمریکا ارائه شده است، امتیازدهی به ترتیب اهمیت خطر انقراض، اهداف تفریحی، غذای گونه‌های دیگر، تطبیق گونه با رودخانه، و اطلاعات موجود (اولویت با گونه‌هایی که اطلاعات آن‌ها کم‌تر است)، انجام می‌شود (بووی، ۱۹۸۶). این معیارها در مناطق مختلف دنیا فرق می‌کنند. با امتیازدهی به گونه‌های انتخاب‌شده، گونه‌هایی که بالاترین امتیاز را دارند در اولویت مطالعه قرار می‌گیرند.

انتخاب گونه هدف بستگی به دیدگاه افراد درگیر با آن دارد. در بعضی مطالعات، هدف تعیین نیاز درون رودخانه یک یا دو گونه شاخص می‌باشد. در بعضی موارد نیز هدف تعیین نیاز درون رودخانه چندین گونه یا دسته گونه‌ها می‌باشد. بهتر است که مطالعه روی گونه‌های مختلف انجام شود، ولی در صورت عدم وجود برخی محدودیت‌ها می‌توان مطالعه را روی چند گونه انجام داد (نیک قلب، ۱۳۹۳). در این مطالعه، با توجه به عدم وجود داده‌های بیولوژیک، یک گونه به عنوان شاخص انتخاب شد.

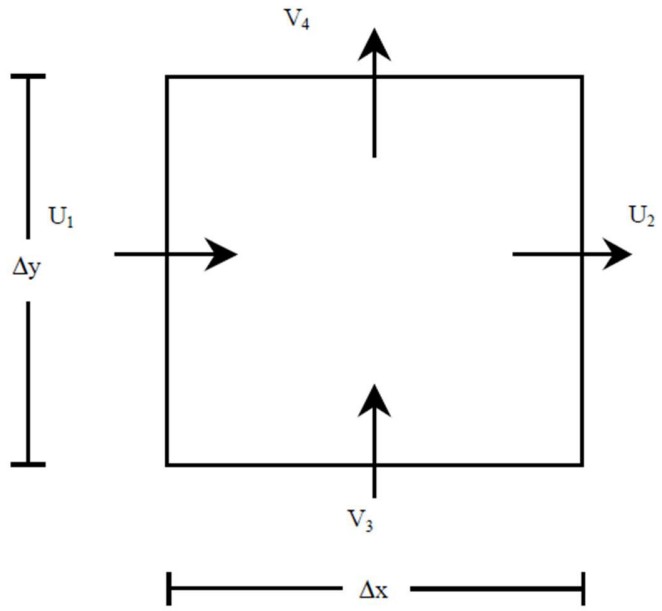
پس از جمع‌آوری داده‌های هیدرولیکی و زیستگاهی رودخانه، نیاز به نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی جریان رودخانه و در نهایت استفاده از خروجی‌های آن برای تعیین حقابه زیست‌محیطی است. در سال‌های اخیر روی روش‌های مدل‌سازی دوبعدی جریان کار شده است. در مدل‌سازی دوبعدی، رودخانه تحت مقاطع بررسی نمی‌شود، بلکه بعد طولی و عرضی رودخانه با هم در نظر گرفته می‌شوند. یکی از برنامه‌های شناخته‌شده‌ای که برای شبیه‌سازی دوبعدی استفاده می‌شود، مدل River2D توسعه‌یافته توسط دانشگاه آلبرتا در کانادا می‌باشد.

۵.۳.۵.۳. معرفی نرم‌افزار River2D

مدل River2D یک مدل دوبعدی بر اساس عمق متوسط و روش اجزای محدود می‌باشد که برای استفاده در آبراهه‌های طبیعی طراحی شده است. از قابلیت‌های این مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی عمق و سرعت، شبیه‌سازی سطوح یخی رودخانه و شبیه‌سازی زیستگاه می‌باشد.

جزء هیدرودینامیک این مدل بر اساس حل دوبعدی معادلات سنت ونان است. یک معادله مربوط به بقای جرم آب، و دو معادله دیگر مربوط به اجزای بردار مومنتوم هستند.

ستون مستطیلی را فرض کنید که دارای ابعاد Δx و Δy در سطح آب بوده و به عمق H در آب توسعه پیدا کرده است شکل (۳-۵).



شکل (۳-۵) ستون مستطیلی مورداستفاده در River2D برای قانون بقای جرم

(U و V سرعت در جهت x و y می‌باشند)(استفلر، ۲۰۰۲)

قانون بقای جرم برای این ستون به صورت زیر نوشته می‌شود:

معادله بقای جرم:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \qquad (۲-۳)$$

با توجه به قانون مومنتوم، عمق متوسط در جهت‌های بردار x (رابطه ۳-۳) و y (رابطه ۳-۴) به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial q_x}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(Uq_x)+\frac{\partial}{\partial y}(Vq_x)+\frac{g}{2}\frac{\partial}{\partial x}H^2 = gH(S_{0x}-S_{fx})+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xx})\right)+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy})\right) \quad (۳-۳)$$

و:

$$\frac{\partial q_y}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(Uq_y)+\frac{\partial}{\partial y}(Vq_y)+\frac{g}{2}\frac{\partial}{\partial y}H^2 = gH(S_{0y}-S_{fy})+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{yx})\right)+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{yy})\right) \quad (۴-۳)$$

که در این معادلات H عمق جریان، U و V اجزای سرعت در جهت x و y می‌باشند. q_x و q_y شدت‌های جریان می‌باشند که با معادلات زیر به سرعت مرتبط می‌شوند:

$$q_x = HU$$

$$q_y = HV$$

g شتاب جاذبه و ρ چگالی آب می‌باشد. S_{0x} و S_{0y} شیب کف در جهت x و y می‌باشد. S_{fx} و S_{fy} شیب اصطکاک مربوط می‌باشند. τ_{xx}، τ_{xy}، τ_{yx} ، و τ_{yy} اجزای بردار تنش افقی آشفتگی جریان می‌باشند (استفلر و بلکبرن، ۲۰۰۲).

مدل River2D از فرمول گالرکین (حداقل باقیمانده وزنی) برای حل معادلات فوق استفاده می‌کند. حل عددی معادلات جریان عمق متوسط با استفاده از مدل اجزای محدود (FEM[1]) صورت می‌گیرد. با استفاده از معادله پیوستگی زیر می‌توان عمق و سرعت آب را محاسبه کرد:

$$\int N_i C(H,U,V)\, dA = 0 \qquad (۵-۳)$$

H عمق آب، U سرعت جریان در جهت x، و V سرعت جریان در جهت y می‌باشد؛ و N_i برابر است با i اُمین وزن یا تابع آزمایشی.

فرضیات زیر در مدل‌سازی River2D در نظر گرفته می‌شوند:

- توزیع فشار در جهت عمودی هیدرواستاتیک می‌باشد. درنتیجه شیب‌های بالاتر از ۱۰ درصد را نمی‌توان به خوبی مدل‌سازی کرد.
- توزیع مؤلفه افقی سرعت در عمق‌های مختلف ثابت می‌باشد.
- نیروهای کوریولیس و باد قابل چشم‌پوشی هستند.

کاربر بایستی مرزهای جریان و مرزهای ورودی و خروجی، دبی جریان بالادست، و رقوم سطح آب در پایین‌دست را به مدل وارد کند.

بسته River2D شامل سه نرم‌افزار اصلی می‌باشد: R2D_Bed، R2D_Mesh و River2D.

برنامه R2D_Bed برای ویرایش فایل مختصات نقاط و ایجاد مرزهای محاسباتی می‌باشد. این برنامه از روش TIN برای درون‌یابی نقاط استفاده می‌کند. با استفاده از R2D_Mesh فایل شبکه‌بندی نقاط آماده

[1] Finite Element Method

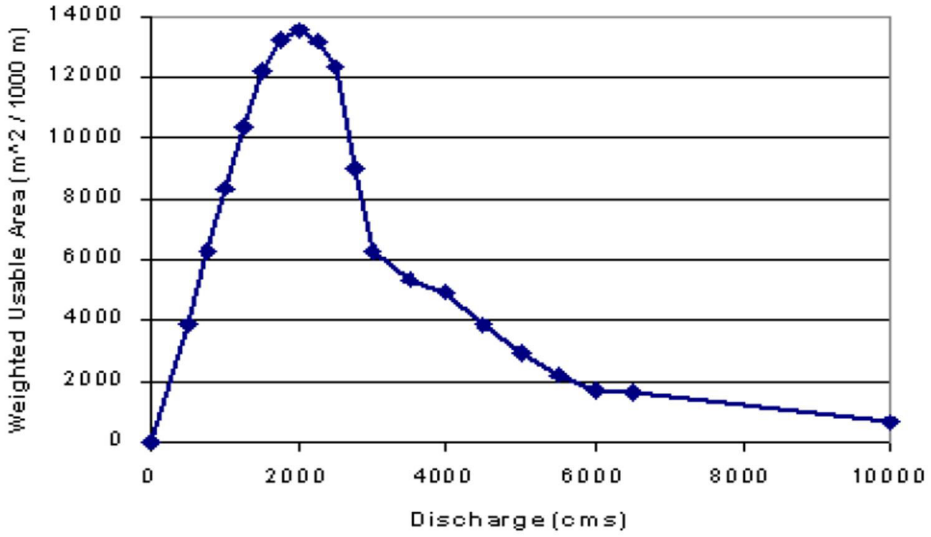
می‌شود تا بتوان از آن در مدل‌سازی هیدرودینامیک عمق متوسط استفاده کرد. از خروجی این برنامه به عنوان نقطه شروع مدل‌سازی در River2D استفاده می‌شود.

در River2D نقاط مورد بررسی همان گره‌های محاسباتی می‌باشند و سطح پلیگون تیسن مربوط به آن‌ها ناحیه مربوط به سطح می‌باشد. ایندکس ترکیبی مطلوبیت از روی ایندکس‌های مربوط به عمق، سرعت، و ایندکس کانال محاسبه می‌شود. شاخص مطلوبیت هر ناحیه از طریق درون‌یابی از روی منحنی شاخص مطلوبیت استخراج می‌شود. سرعت و عمق از اجزای هیدرودینامیک مدل استخراج شده و ایندکس کانال از روی یک فایل مجزای مربوط به مشخصات جنس کف استخراج می‌شود.

تئوری مورداستفاده در شبیه‌سازی زیستگاه با River2D استفاده از معیارهای مطلوبیت زیستگاه به عنوان رابط بین هیدرولیک رودخانه و زیستگاه موجودات آبزی می‌باشد. پارامتر زیستگاهی خروجی آن نیز سطح قابل‌استفاده وزنی (WUA[1]) است (استفلر[2] و بلکبرن[3]، ۲۰۰۲).

سطح قابل استفاده وزنی بیان کننده کمیت و کیفیت میکرو زیستگاه موجود می‌باشد و به صورت نسبت مساحت زیستگاه به طول رودخانه (فوت مربع بر ۱۰۰۰فوت یا مترمربع بر ۱۰۰۰ متر) بیان می‌شود (گزارش USGS، ۲۰۰۱). محصول نهایی River2D تولید رابطه زیستگاه - دبی برای هر گونه و مرحله زندگی می‌باشد. شکل (۳-۶) نمونه‌ای از رابطه دبی- زیستگاه برای یک مرحله زندگی گونه شاخص را نشان می‌دهد.

[1] Weighted Usable Area
[2] Steffler
[3] Blackburn



شکل (۳-۶) نمونه‌ای از رابطه دبی- زیستگاه برای یک مرحله زندگی (وادل، ۲۰۰۱)

منحنی دبی- سطح قابل استفاده وزنی اطلاعات زیادی در مورد تغییرات زیستگاه ناشی از تغییرات دبی در اختیار ما قرار می‌دهد و با استفاده از این منحنی می‌توان رژیم اکولوژیک برای یک گونه مشخص را استخراج نمود.

فصل چهارم

بحث و نتایج

۱.۴. مقدمه

در این فصل نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق به همراه تحلیل مربوط به آن‌ها ارائه می‌گردد. نتایج را می‌توان در چند بخش زیر خلاصه نمود:

- تعیین گونه شاخص رودخانه و تولید منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه آن
- تعیین نیاز زیست‌محیطی رودخانه بابلرود با روش‌های هیدرولوژیکی تنانت و Q95
- شبیه‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی نرم‌افزار River2D و خروجی‌های مربوط به آن
- تعیین نیاز زیست‌محیطی ماهانه رودخانه بابلرود با نرم‌افزار River2D
- مقایسه نتایج تعیین نیاز زیست‌محیطی به‌دست‌آمده از روش‌های هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی زیستگاه

۲.۴.گونه شاخص

۱.۲.۴. انتخاب گونه

یکی از روش‌های انتخاب گونه شاخص رودخانه، روش امتیاز بندی می‌باشد. در این روش ایندکس‌ها و ضریب های مختلفی بر اساس درجه اهمیت گونه به آن تخصیص داده می‌شود و در نهایت گونه شاخص گونه‌ای است که بالاترین امتیاز را آورده است، برای این کار، با توجه به منابع و تجربیات موجود، برای ارزش‌گذاری از ارقام ۱ تا ۹ استفاده شد. در انتخاب گونه شاخص از ۶ محدوده ارزشی استفاده گردید که در زیر توضیح داده شده است:

۱. ارزش حفاظتی بین المللی: گونه‌هایی که نام آن‌ها در فهرست سرخ اتحادیه جهانی حمایت از گونه‌های در معرض خطر انقراض IUCN درج شده است (به این ویژگی ارزش ۹ داده شده است).

۲. ارزش حفاظتی ملی: گونه‌هایی که طبق مصوبه ۱۶۸ شورای عالی محیط‌زیست مورخ ۸۷/۶/۳ راجع به تعیین گونه‌های مشمول قانون شکار و صید و طبقه بندی آن‌ها، در زمره گونه‌های حمایت و حفاظت شده و یا گونه‌های در خطر انقراض هستند (به این ویژگی ارزش ۷ داده شده است).

۳. ارزش ژنتیکی: گونه‌هایی که جزو ذخایر ژنتیکی کشور محسوب می‌شوند که شامل گونه‌های مونولوکال و گونه‌های اندمیک می‌باشد (به این ویژگی ارزش ۵ داده شده است).

۴. ارزش اکولوژیک: گونه‌هایی که نقش ویژه ای در اکوسیستم های آبی منطقه دارند، به عنوان مثال گونه‌های جلبک خوار یا گونه‌های بنتوزخوار که ارتباط دهنده بخش های فوقانی و تحتانی هرم غذایی اکوسیستم ها می‌باشند این ارزش با وزن ۳ در امتیازدهی لحاظ شده است.

۵. ارزش اقتصادی: گونه‌هایی که به صورت بالفعل یا بالقوه جهت هر نوع بهره برداری اقتصادی مناسب هستند(به این ویژگی وزن ۲ داده شده است).

۶. ارزش صید ورزشی: از نظر توریستی دارای اهمیت می‌باشد و می‌تواند در توسعه منطقه و در جهت توسعه پایدار دارای اهمیت باشد که این ویژگی در مجزا بودن این دسته از ارزش اقتصادی بسنده می کند (به این ویژگی وزن ۱ داده شده است) (نیک قلب، ۱۳۹۳).

عدد شاخص گونه= (ارزش حفاظت بین المللی ×۹)+(ارزش حفاظت ملی×۷)+(ارزش ژنتیکی×۵)+ (ارزش اکولوژیک×۳)+(ارزش اقتصادی×۲)+(ارزش صید ورزشی×۱)

چون منطقه مطالعاتی ۴ کیلومتر پایین دست تا مصب رودخانه بوده فقط ماهیان مهاجر و گونه‌هایی که بیشتر در مصب مشاهده می‌شوند ارزش‌گذاری شدند. نتیجه این ارزش‌گذاری در جدول (۴- ۱) دیده می-شود.

جدول (۴-۱) ارزش‌گذاری گونه‌های شاخص ماهی منطقه

ردیف	نام گونه	نام علمی	خانواده	ارزش حفاظت ملی	ارزش حفاظت بین المللی	ارزش ژنتیکی	ارزش اکولوژیک	ارزش صید اقتصادی	ارزش صید ورزشی	عدد شاخص
۱	کیلکای معمولی	Clupeonellacaltrivantris	Clupeidae	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۵
۲	شیشه ماهی	Atherinaboyeri	Atherinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۳
۳	ماهی لپک(خیاطه)	Alburnoideseichwaldi	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۴
۴	ماهی مروارید	Alburnusalburnus	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۳
۵	شاه کولی	Alburnuschalcoides	Cyprinidae	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱۳
۶	سس ماهی کورا	Barbuslacerta	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۴
۷	سس ماهی	Barbusmursa	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۴
۸	سیم پرک	Bliccabjoerkna	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۴
۹	سیاه ماهی	Capoetagracilis	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۴

ردیف	نام گونه	نام علمی	خانواده	ارزش حفاظت ملی	ارزش حفاظت بین المللی	ارزش ژنتیکی	ارزش اکولوژیک	ارزش صید اقتصادی	ارزش صید ورزشی	عدد شاخص
۱۰	مارماهی دهان گرد	Caspiomyzonwagneri	Petromyzontidae	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۲۴
۱۱	سگ ماهی جویباری خاردار	Cobitistaenia	Cobitidae	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۳
۱۲	کپور معمولی دریای خزر	Cyprinuscarpio	Cyprinidae	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱۳
۱۳	اردک ماهی	Esoxlucius	Esocidae	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۳
۱۴	ماهی سفید رودخانه‌ای	Leuciscuscephalus	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۴
۱۵	سس ماهی	Luciobarbuscapito	Cyprinidae	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱۳
۱۶	گاو ماهی شنی	Neogobiusfluviatilis	Gobiidae	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۳
۱۷	گاو ماهی دم گرد	Neogobiusmelanostomus	Gobiidae	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۳

ردیف	نام گونه	نام علمی	خانواده	ارزش حفاظت ملی	ارزش حفاظت بین المللی	ارزش ژنتیکی	ارزش اکولوژیک	ارزش صید اقتصادی	ارزش صید ورزشی	عدد شاخص
۱۸	سگ ماهی جویباری تاج دار	Paracobitismalapterura	Cobitidae	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۳
۱۹	ماهی مخرج لوله ای	Rhodeusamarus	Cyprinidae	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۳
۲۰	ماهی سفید	Rutiluskutum	Cyprinidae	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۲۲
۲۱	قزل‌آلای خال قرمز	Salmofario	Salmonidae	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱۶
۲۲	تیزه کولی	Hemiculterleucisculus	Cyprinidae	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
۲۳	ماهی سیاه کولی	Vimbapersa	Cyprinidae	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱۲
۲۴	کفال سالینس	Liza saliens	Mugiliidae	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲
۲۵	سس ماهی دریای خزر (اورنج)	Luciobarbus brachycephalus	Cyprinidae	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲۷

بر اساس این ارزش‌گذاری دیده می‌شود که از بین گونه‌های در نظر گرفته شده، سس ماهی دریای خزر دارای ارزش بالاتری می‌باشد. بنابراین سس ماهی دریای خزر به عنوان گونه هدف برای انجام محاسبات WUA در نظرگرفته شد.

۲.۲.۴. مشخصات سس ماهی دریای خزر

سس ماهی دریای خزر با نام علمی Luciobarbus brachycephalus و در منطقه آن را با نام محلی اورنج می‌شناسند. این ماهی در دریا زندگی نموده و برای تولیدمثل به رودخانه‌های منتهی به دریای خزر مهاجرت می‌نماید. این گونه در سواحل غربی دریای خزر از عمق ۱۳ تا ۲۵ متری زندگی می‌کند. اغلب ماهیان در سن ۵ تا ۷ سالگی و اندازه ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متری بالغ می‌شوند و برای تولیدمثل در سه فصل بهار، تابستان و پائیز به رودخانه‌ها مهاجرت می‌نمایند. نمونه‌هایی که در بهار مهاجرت می‌کنند آماده تولیدمثل بوده و در همان سال تخم‌ریزی می‌نمایند، اما نمونه‌هایی که در اواخر تابستان مهاجرت می‌نمایند زمستان را در رودخانه سپری نموده و در سال بعد تولیدمثل می‌کنند. هم‌آوری مطلق آن ۱۲۵ تا ۱۲۵۰ هزار تخم (اغلب ۲۰۵ تا ۹۷۰ هزار) می‌باشد. دمای مناسب برای تولیدمثل ۲۰ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد و بستر تولیدمثل قلوه‌سنگی می‌باشد. اوج مهاجرت این گونه در تابستان زمانی که دمای آب ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی گراد است.

این ماهی با توجه به رشد خوبی که دارد، می‌تواند یک گونه با ارزش اقتصادی بالا باشد. از سال ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۹ سالانه ۱۷ تا ۳۶۰ تن از آن صید می‌شده اما متاسفانه در سال‌های اخیر بر اثر تغییرات ایجاد شده در رودخانه‌ها و صید بیش از حد، ذخایر آن رو به کاهش نهاده و این گونه را برای ایران باید جزو گونه‌های در حال انقراض قرار داد. در قسمت‌های جنوبی دریای خزر این گونه بیشتردر قسمت‌های غربی مشاهده

می‌شود و تعداد محدودی در پره‌های صیادی استان مازندران صید می‌شود. این گونه اختصاص به دریای خزر دارد.

این گونه در دنیا و در ایران تنها در منطقه دریای خزر وجود دارد و در این منطقه نیز بیشتر در بخش-های غربی این دریا زندگی می‌کند، کاهش شدید جمعیت آن در سال‌های اخیر، وابستگی این گونه برای تولیدمثل به رودخانه و تخریب شدید این مناطق به همراه صید بیش از حد و عدم موفقیت در تکثیر مصنوعی آن، باعث شده که این گونه در طبقه به شدت در معرض خطر انقراض قرار گیرد (عبدلی و نادری،۱۳۸۷).

۳.۲.۴. انتخاب مرحله زندگی شاخص

گونه‌های آبزی در هر یک از مراحل زندگی خود ترجیح‌های[1] خاص خود را دارند. به عنوان مثال برای گونه موردنظر، شرایط عمق و سرعت و پوشش کانال و دما در مرحله تخم‌ریزی، نهفتگی تخم ها، و مهاجرت فرق می‌کند. بنابراین نیاز است که حساس ترین مرحله زندگی گونه شاخص به عنوان مرحله شاخص در نظر گرفته شود.

دسته‌بندی های مراحل زندگی بر اساس معیارهای مختلفی (سایز، فعالیت، و...) انجام می‌شود. در اینجا دسته‌بندی انجام شده برای سس ماهی دریای خزر بر اساس معیار مراحل مختلف فعالیت ماهی انجام شد(بووی، ۱۹۸۶).

بر این اساس پنج مرحله فعالیت برای هر گونه ای می‌توان در نظر گرفت:

- مهاجرت به رودخانه[2]: مهاجرت ماهی‌های بالغ از دریا به رودخانه

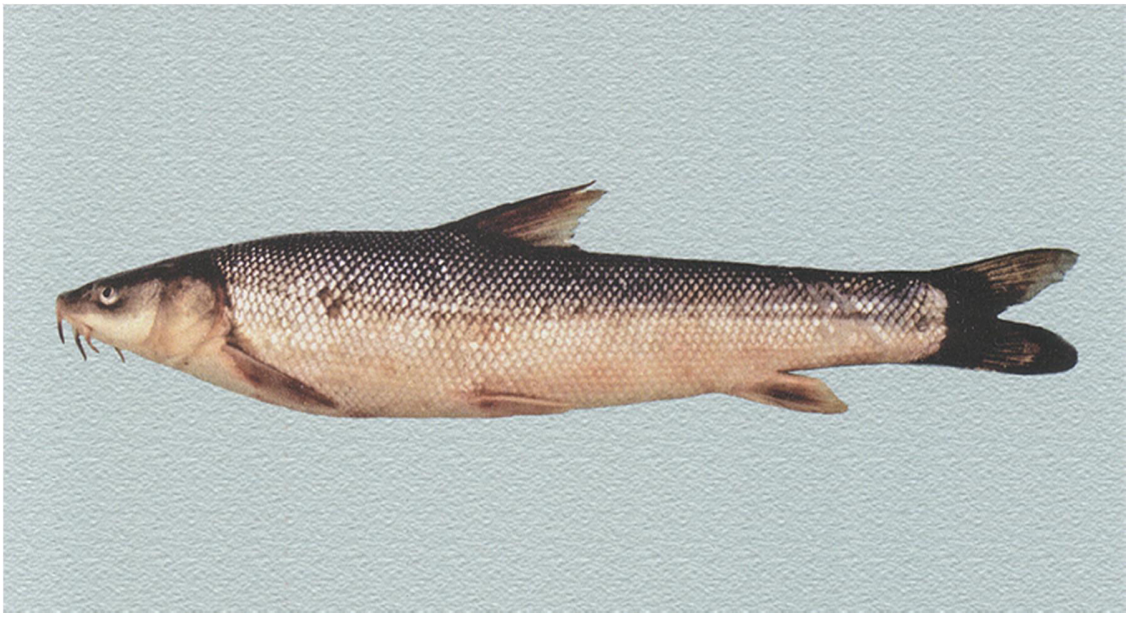
[1] Preference
[2] Inmigrant

- تخم‌ریزی[1]: مهیا کردن مکان تخم‌ریزی، آزاد سازی تخم و اسپرم، و بارور سازی
- انکوباسیون[2]: مرحله نهفتگی تخم ها، از بارورسازی تا ترک خوردن تخم
- لارو[3]: مرحله لارو، از زمان شکستن تخم تا ورود به نوجوانی
- خروج از رودخانه[4]: خروج ماهی‌های نوجوان از رودخانه به دریا

برای مهاجرت سس ماهی دریای خزر از دریا به رودخانه، لازم است شرایط اکوسیستمی مصب رودخانه درشرایط مطلوب باشد تا ماهی بتواند عملیات تخم‌ریزی را انجام دهد. بنابراین مرحله زندگی مهاجرت به داخل رودخانه به عنوان مراحل شاخص زندگی سس ماهی دریای خزر انتخاب شد.

در شکل (۴-۱) سس ماهی دریای خزر (اورنج) نشان داده شده است. این ماهی از خانواده کپورماهیان می‌باشد.

[1] Spawning
[2] Incubation
[3] Preemergent larval
[4] Outmigrant

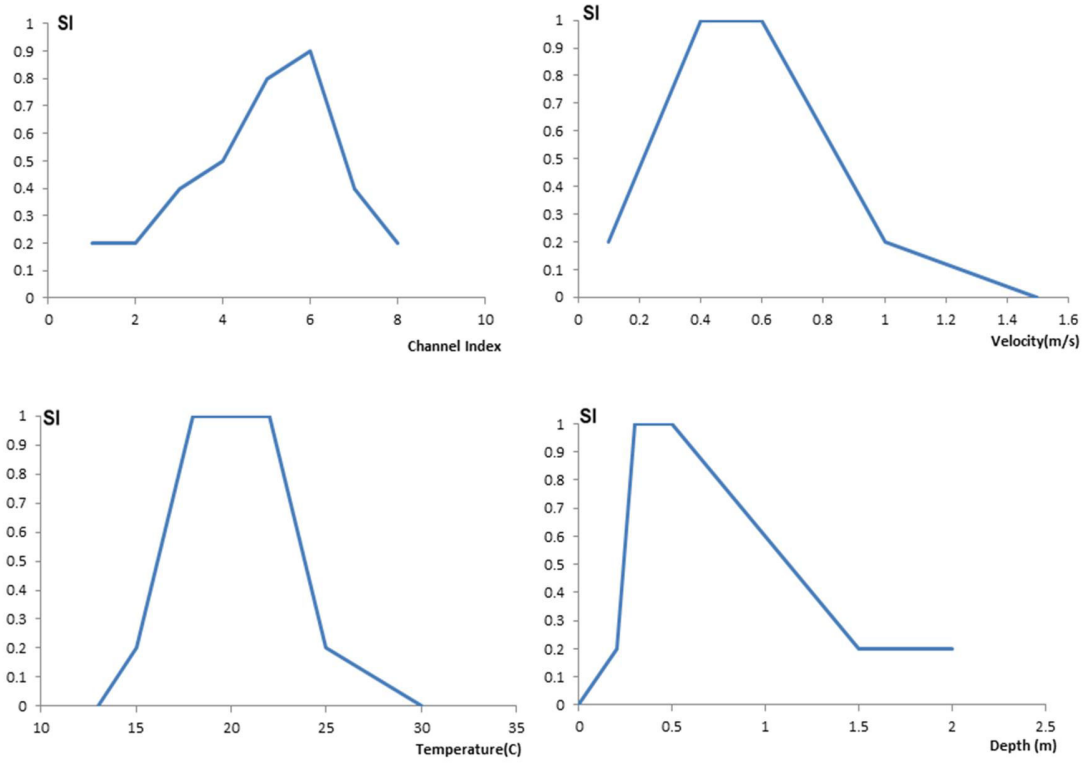


شکل (۴-۱) سس ماهی دریای خزر (اورنج)

۳.۴. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه

با توجه به عدم موجودیت داده‌های مطلوبیت زیستگاه برای سس ماهی دریای خزر، اقدام به تهیه این منحنی ها از طریق نظر کارشناسی(تکنیک دلفی) شد. فرم‌هایی تهیه شد که در آن‌ها اطلاعات مربوط به نحوه پر کردن و موارد خواسته شده به‌طور کامل مشخص شده بود. این فرم ها در پیوست ۱ موجود هستند. سپس از کارشناسان مجرب که اطلاعات کافی در مورد اکولوژی موجودات آبزی رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر داشتند، درخواست شد تا برای پر کردن فرم ها همکاری کند. در این فرم ها سعی شد که تمامی اطلاعات موردنیاز برای تولید نمودارهای مطلوبیت زیستگاه از کارشناس خواسته شود. در شکل (۴-۲) نمودارهای مطلوبیت زیستگاه برای مرحله زندگی مهاجرت سس ماهی خزر دیده می‌شود. این نمودارها بیان کننده مطلوبیت زیستگاه برای پارامترهای سرعت، عمق، و ایندکس کانال می‌باشد. علاوه بر این مطلوبیت زیستگاه برای دما نیز تعیین شد. ولی در حال حاضر این پارامتر در River2D

کاربردی ندارد. ولی احتمال این وجود دارد که در نسخه های آتی آن از دما نیز به عنوان یکی از عوامل موثر در زیستگاه مناسب ماهیان استفاده شود.



شکل (۴-۲) منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه سس ماهی خزر در مرحله مهاجرت

۴.۴. شبیه‌سازی مدل زیستگاهی

۱.۴.۴. دبی‌های شبیه‌سازی

به جهت استخراج رژیم اکولوژیک رودخانه برای گونه هدف، نیاز است که دبی‌های متفاوتی برای شبیه-سازی در نظر گرفته شوند. با توجه به جدول ۳-۲، متوسط دبی سالانه بابل‌رود برابر ۱۴/۹۵ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. حداقل متوسط آبدهی ماهانه این رودخانه در طول دوره آماری ۹۵-۷۶، به میزان۴/۶۶ متر

مکعب در ثانیه که در خرداد ماه و حداکثر متوسط آبدهی ماهانه برابر ۲۳/۶ مترمکعب در ثانیه است که درآذر ماه به وقوع پیوسته است. از دبی ۴ تا ۱۵۰ متر مکعب در ثانیه دبی‌هایی جهت شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. دبی‌های شبیه‌سازی عبارتند از: ۴، ۱۰، ۱۴/۹۵، ۳۴ و ۵۰، ۶۸، ۸۵، ۱۰۲، ۱۱۹، ۱۳۶، ۱۵۰

۲.۴.۴. اطلاعات جنس مصالح کف رودخانه

یکی از محدودیت های River2D این است که بایستی با یک روش مصالح کف رودخانه را برای معرفی به نرم‌افزار تبدیل کرد. برای کد کردن مصالح کف روش‌های قراردادی مختلفی وجود دارد. یک روش کد کردن توسط بووی (۱۹۹۷) پیشنهاد شده است که دسته‌بندی های آن در جدول ۴-۲ ارائه شده است. می‌توان با افزودن اجزای فراوان به این دسته‌بندی آن را با جزئیات بسیار کامل تری استفاده کرد. همچنین می‌توان این جدول را ساده تر نیز در نظر گرفت. جدول (۴-۳) . باتوجه به اینکه جنس مصالح کف در مصب رودخانه بابلرود عموما شنی و ماسه‌ای (غرقی، ۱۳۷۵) است کد ۳/۵ در نظر گرفته شد.

جدول (۴-۲) کدهای شاخص کانال برای ورود به River2D (بووی ، ۱۹۹۷)

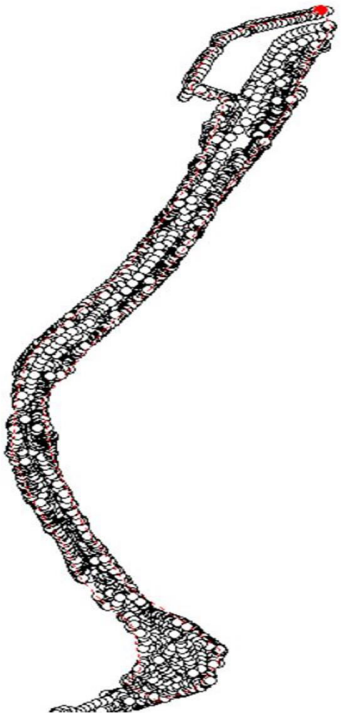
شماره کد	نام دسته	اندازه (میلیمتر)
۱	مواد آلی (تنه درخت، شاخ و برگ ها)	-
۲	گیاهان آوندی	-
۳	پوشش جلبکی	-
۴	رس	۰/۰۰۰۲۴-۰/۰۰۴
۵	سیلت	۰/۰۰۴-۰/۰۶۲
۶	ماسه	۰/۰۶۲-۲/۰
۷	شن با دانه بندی بسیار خوب	۲-۴
۸	شن با دانه بندی خوب	۴-۸
۹	شن متوسط	۸-۱۶
۱۰	شن زبر	۱۶-۳۲
۱۱	شن بسیار زبر	۳۲-۶۴
۱۲	سنگریزه	۶۴-۱۲۸
۱۳	قلوه سنگ	۱۲۸-۲۵۶
۱۴	تخته سنگ کوچک	۲۵۶-۵۱۲
۱۵	تخته سنگ متوسط	۵۱۲-۱۰۲۴
۱۶	تخته سنگ بزرگ	۱۰۲۴<
۱۷	صخره های کف- مسطح، صاف	-
۱۸	صخره های کف- مسطح، دارای درز و ترک	-
۱۹	صخره های کف- شیبدار، صاف	-
۲۰	صخره های کف- شیبدار، دارای درز و ترک	-

جدول (۴-۳)کدهای جنس کف برای رودخانه بابلرود

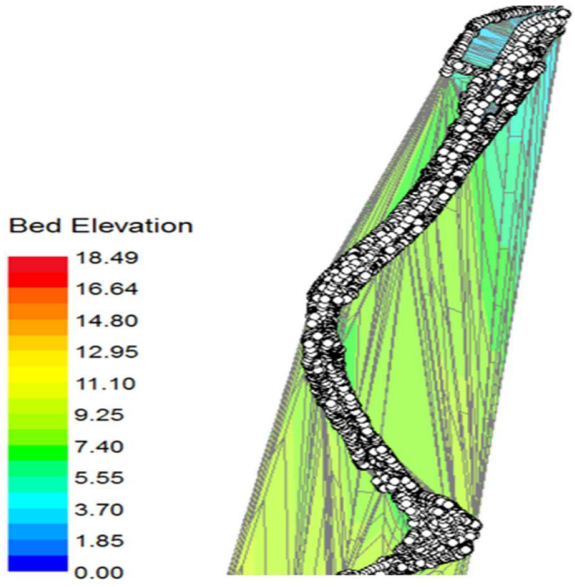
شماره کد	**نام دسته**	**اندازه (میلیمتر)**
۱	مواد آلی (OL)	-
۲	گل(رس نرم،CL)	-
۳	سیلت و لای (ML)	۰/۰۶۲>
۴	شن (Sand)	۰/۰۶۲-۲
۵	گراول (Gravel)	۲-۶۴
۶	قلوه سنگ (Cobble)	۶۴-۲۵۰
۷	تخته سنگ (Boulder)	۲۵۰-۴۰۰۰
۸	صخره های کف (Bedrock)	-

۳.۴.۴. شبیه‌سازی هیدرولیکی با استفاده از River2D

مرحله اول در شبیه‌سازی زیستگاه توسط River2D آماده کردن فایل مختصات نقاط می‌باشد. برای تهیه فایل مختصات خام نقاط از نقشه ۱:۱۰۰۰ اتوکد استفاده و با قالب مخصوص و پسوند bed . به برنامه R2D_Bed از بسته River2D برده شد. این برنامه برای مشخص کردن مرز محدوده مورد بررسی می‌باشد. برنامه در حین انجام کار با نقاطی که ارتفاع آن‌ها منفی بود دچار مشکل می‌شد بنابراین به ارتفاع تمامی نقاط حدود ۳۰ متر افزوده و محدوده موردنظر توسط ابزارهای R2D_Bed مشخص گردید.شکل (۴-۳) نقاط مختصاتی و شکل (۴-۴) نقشه TIN نقاط ناحیه را در نرم‌افزار R2D_Bed نشان می‌دهد.

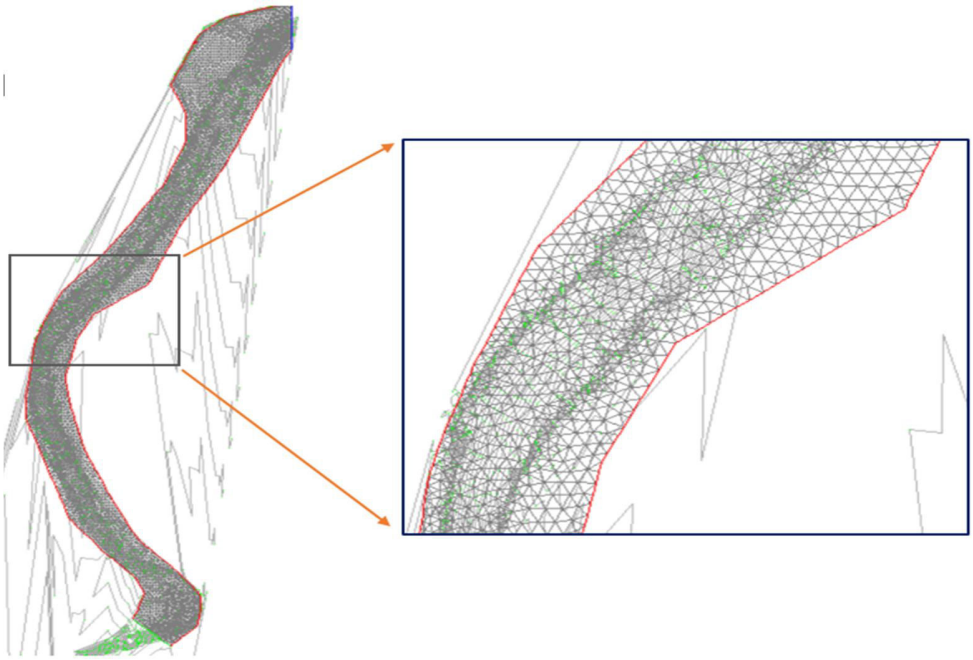


شکل (۴-۳) نقاط مختصاتی ناحیه در نرم‌افزار R2D_Bed



شکل (۴-۴) نقشه TIN ناحیه در نرم‌افزار R2D_Bed

فایل مرزبندی نقاط وارد محیط R2D_Mesh شد تا گره‌های محاسباتی و مثلث بندی توپوگرافی ناحیه برای محاسبات دوبعدی هیدرولیکی آماده شود. هرچه تعداد نقاط شبکه بیشتر باشد دقت کار افزایش می-یابد اما طولانی شدن مدت زمان اجرای برنامه برای رسیدن به مرحله همگرایی و هم‌چنین عدم توانایی سیستم در اجرای مدل به دلیل حجم زیاد اطلاعات، محدودیت‌هایی به همراه دارد که در نتیجه انتخاب بهینه فاصله گره‌های محاسباتی از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین از بین فواصل ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۵ و ۴۰ متر ، فاصله نقاط شبکه‌بندی برابر ۲۰ متر در نظر گرفته شد. همچنین بایستی در مرزهای ورودی و خروجی جریان تراکم شبکه مثلث بندی بالاتر باشد (وادل و استفلر، ۲۰۰۲). از طرف دیگر، در مثلث هایی که اختلاف رقوم شبیه‌سازی شده از زمین با رقوم واقعی توپوگرافی بالا بود، شبکه نقاط متراکم‌تر در نظر گرفته شدند. برای کم کردن اثر پخش آب در مسیرهای مارپیچی رودخانه، تراکم شبکه بالا برده شد. در نهایت مثلث بندی و ویرایش مثلث بندی انجام شد. در شکل(۴- ۵) مثلث بندی در برنامه R2D_Mesh نشان داده شده است.



شکل (۴-۵) مثلث بندی در برنامه R2D_Mesh

برای تعیین کیفیت مثلث بندی انجام شده، پارامتری تحت عنوان شاخص کیفیت (QI[1]) تعریف می‌شود که عبارت است از نسبت مساحت مثلث به مساحت دایره محاطی ای که از سه راس مثلث عبور می‌کند، و نسبت به مثلث متساوی الاضلاع مربوط به آن نرمال شده است. بنابراین، شاخص کیفیت یک مثلث متساوی الاضلاع برابر یک می‌باشد. مقدار شاخص کیفیت بین ۰/۱۵ تا ۰/۵ قابل قبول می‌باشد.(وادل و استفلر، ۲۰۰۲) ایندکس مثلث بندی برای ناحیه مورد بررسی برابر ۰/۴ می‌باشد. بنابراین مثلث بندی نسبتا خوبی از ناحیه ایجاد شده است. این فایل شبکه بندی در قالب فایل ورودی برای River2D با پسوند .cdg ذخیره می‌شود.

برای شبیه‌سازی رودخانه در River2D علاوه بر آماده سازی توپوگرافی زمین در مراحل قبل، نیاز به دبی جریان در مرز ورودی، و رقوم سطح آب (یا دبی- اشل) در مرز خروجی می‌باشد. با داشتن رابطه دبی-

[1] Quality Index

اشل، مقدار رقوم سطح آب به ازای دبی‌های شبیه‌سازی وارد شد. همچنین برنامه نیاز به تخمین اولیه‌ای از رقوم سطح آب در ورودی دارد. هر چقدر این تخمین دقیق تر باشد، زمان همگرایی مدل و تعداد تکرارها کاهش می یابد. پس از وارد کردن پارامترهای ورودی و خروجی جریان، گزینه شبیه‌سازی حالت ماندگار[1] توسط River2D انجام شد. دو معیار برای درک زمان همگرایی شبیه‌سازی وجود دارد. یکی اینکه در زمان همگرایی، جریان ورودی و خروجی تقریباً با هم برابر می‌شود. و دیگر اینکه میزان تغییر جواب به حدود ۰/۰۰۰۰۱ برسد (استفلر و بلکبرن، ۲۰۰۲). البته همواره این شرایط حکم‌فرما نیست. به عنوان مثال چنانچه رودخانه دارای پیچ و خم های زیادی باشد، به دلیل اثر پخش آب، جریان ورودی و خروجی برابر نمی‌شود و خطایی را در بر دارد. البته می‌توان با متراکم‌تر کردن شبکه بندی در پیچ و خم ها این اثر را کاهش داد؛ ولی بالا بردن تراکم شبکه بندی باعث بالا رفتن حجم ماتریس جواب و در نتیجه اشغال بیش‌تر حافظه کامپیوتر، و افزایش زمان همگرایی می‌شود. علاوه بر این، مدل حساسیت بالایی نسبت به پارامترهای ورودی جریان دارد. چنانچه دبی در ورودی و رقوم در خروجی اعداد مناسبی نباشند، مدل نتایج پرت می‌دهد.

۴.۴.۴. کالیبراسیون نرم‌افزار

جهت صحت و درستی نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار قبل از مرحله شبیه‌سازی زیستگاه، باید آن را کالیبره نمود. پس از اطمینان از درستی شبکه بندی انجام شده، نرم‌افزار به ازای دبی مشخصی که اشل آن موجود باشد اجرا می‌شود. نرم‌افزار River2D قابلیت نمایش ارتفاع سطح آب را به صورت نقشه مختصاتی داراست لذا می‌توان ارتفاع سطح آب یا اشل آن را در هر نقطه مشاهده نمود. ارتفاع سطح آب شبیه‌سازی شده با اشل مشاهداتی مقایسه می‌شود که در صورت مغایرت با یکدیگر می‌توان با تغییر میزان زبری نقاط مختصاتی تفاوت اشل‌ها را به حد قابل قبول رساند. آنچه مسلم است افزایش میزان زبری باعث افزایش

[1] Steady

ارتفاع سطح آب و کاهش آن موجب کاهش ارتفاع سطح آب می‌شود. به ازای سه دبی مشخص ارتفاع سطح آب در مقطع خروجی خوانده شده و نتایج آن با اشل موجود مقایسه گردید. با مشاهده مغایرت در میزان اشل‌ها، زبری نقاط بستر تا رسیدن به حد کم‌ترین خطا تغییر داده و در نهایت مدل با زبری قابل قبول ۰/۰۴۰ اجرا شد.

نتایج این مقایسه در جدول (۴- ۴) قابل رویت است.

جدول (۴-۴) نتایج کالیبراسیون نرم‌افزار River2D

دبی(متر مکعب بر ثانیه)	اشل شبیه‌سازی	اشل مشاهداتی	اختلاف اشل‌ها	درصد خطا
۳۴	۱/۹۷	۲/۰۰۴	۰/۰۳۴	۱/۶۹
۲۰۰	۳/۲۱	۳/۲۲۴	۰/۰۱۴	۰/۴۳
۲۵۰	۳/۴۴	۳/۴۳۴	۰/۰۰۶	۰/۱۷
میانگین درصد خطا				۰/۷۶

همانطور که مشاهده می‌شود میانگین درصد خطاها به میزان ۰/۷۶ بوده که نرم‌افزار در حد قابل قبول کالیبره شده است.

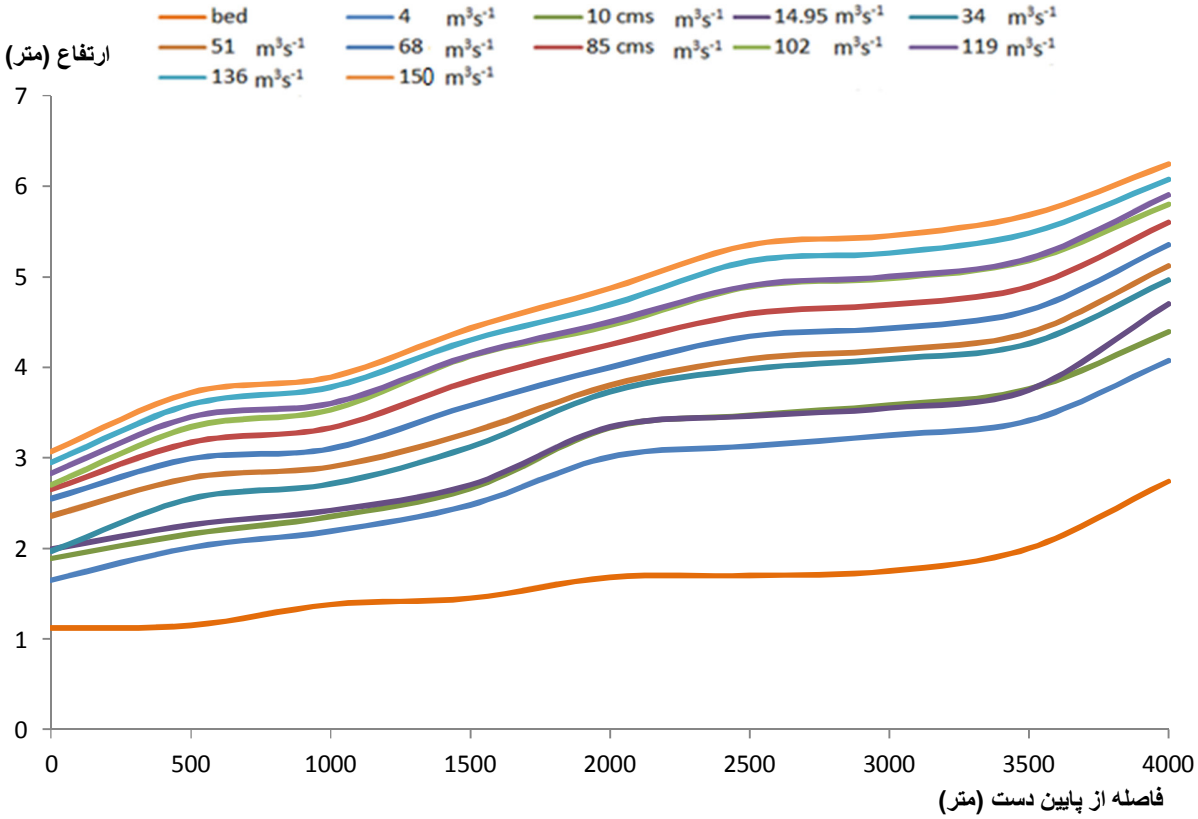
۵.۴.۴. شبیه‌سازی زیستگاه با استفاده از River2D

همانطور که قبلاً گفته شد، ارتباط هیدرولیک جریان و مورفولوژی رودخانه از طریق منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای سه پارامتر عمق، سرعت، و جنس مصالح کف، برقرار می‌شود. بدین منظور شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه برای سس ماهی دریای خزر با قالب مخصوص و پسوند prf. ، برای دوره مهاجرت به

درون رودخانه وارد River2D شد. هم‌چنین کد موردنظر برای ناحیه نیز جهت محاسبه WUA ، با قالب و پسوند مخصوص آن که chi. می‌باشد، باید در این مرحله به نرم‌افزار معرفی کرد.

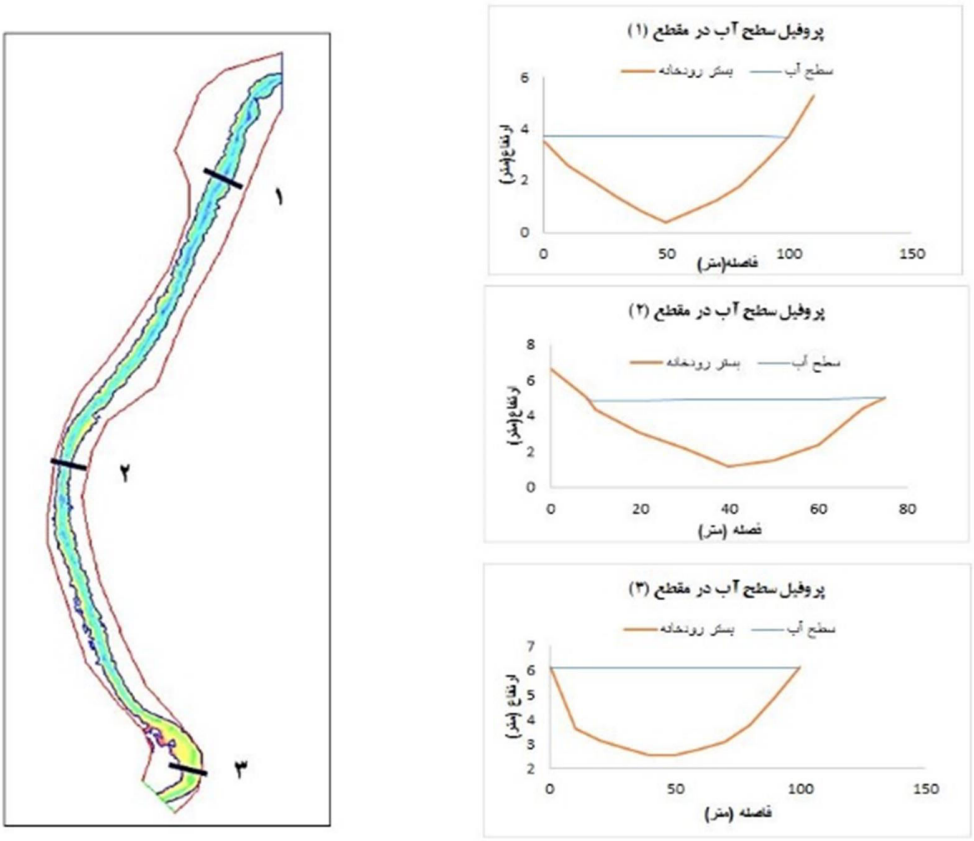
۵.۴. نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی River2D

شکل (۴-۶) پروفیل سطح آب در دبی‌های شبیه‌سازی شده با River2D را نشان می‌دهد.



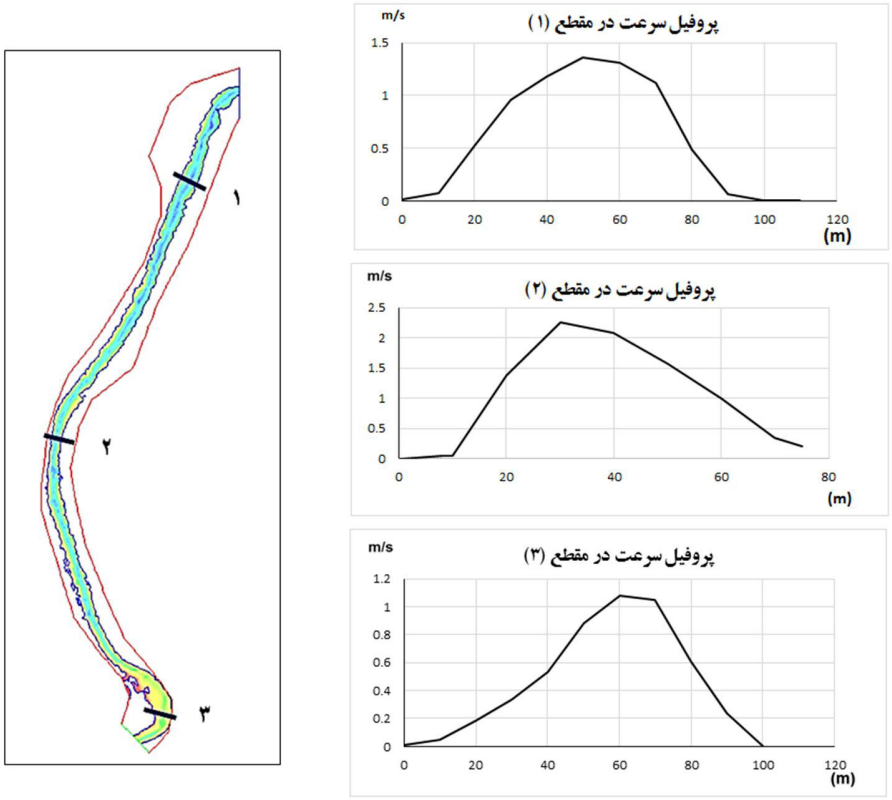
شکل (۴-۶) پروفیل سطح آب در دبی‌های شبیه‌سازی شده با River2D

از خروجی های مدل River2D پروفیل سطح آب در هر مقطع از رودخانه می‌باشد. در شکل (۴-۷) به‌طور نمونه پروفیل سطح آب در سه مقطع از رودخانه و در دبی ۱۳۶ متر مکعب بر ثانیه نشان داده شده است.

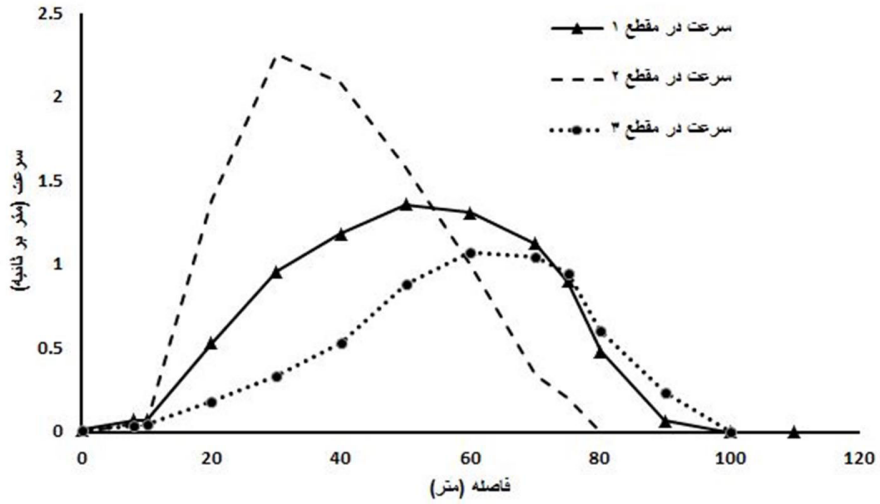


شکل (۴-۷) پروفیل سطح آب در سه مقطع از رودخانه بابلرود در دبی ۱۳۶ متر مکعب بر ثانیه

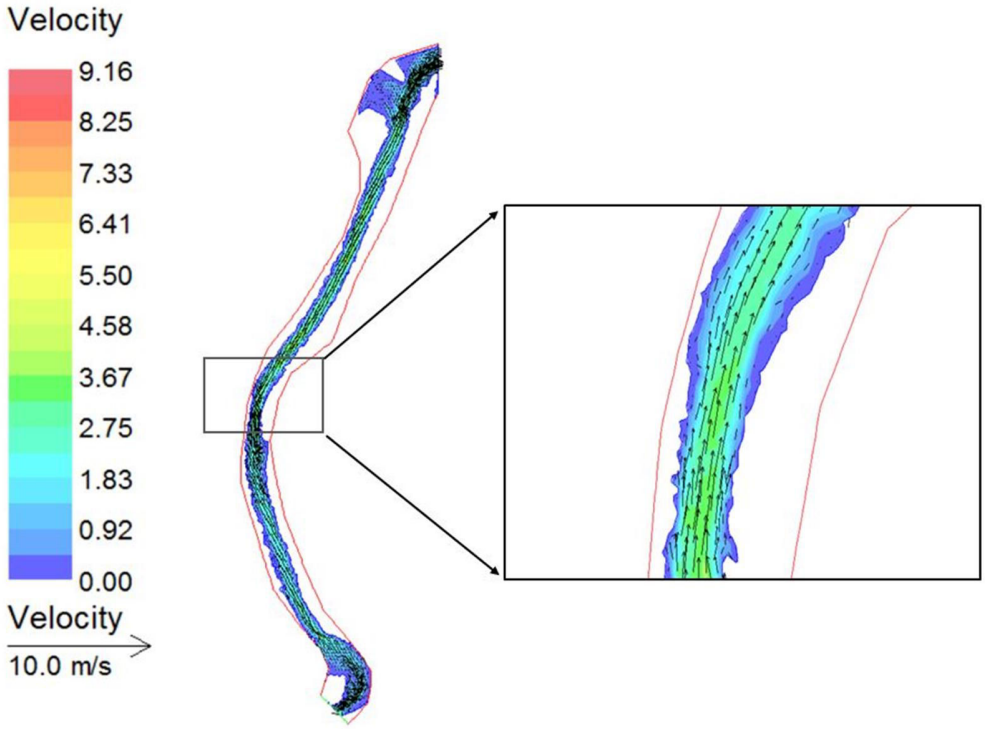
با توجه به اینکه عرض مقطع ۲ نسبت به دو مقطع دیگر کمتر می‌باشد، انتظار می‌رود که در این مقطع ماکزیمم سرعت آب نسبت به سایر نقاط افزایش یابد. همانطور که در شکل (۴-۸) و (۴-۹) نیز مشاهده می‌شود سرعت در این مقطع نسبت به مقطع ۱ و ۳ بیشتر است و نرم‌افزار سرعت را به خوبی شبیه‌سازی کرده است و بردارهای سرعت در این مقطع به هم نزدیکتر شده و تراکم بیشتری دارند. شکل (۴-۱۰) نیز این مساله را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۸) پروفیل سرعت در سه مقطع رودخانه بابلرود در دبی ۱۳۶ متر مکعب بر ثانیه



شکل (۴-۹) مقایسه سرعت در سه مقطه رودخانه بابلرود در دبی ۱۳۶ متر مکعب بر ثانیه



شکل (۴-۱۰) نمایش بردار سرعت در دبی ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه

شبیه‌سازی سرعت در سایر دبی‌های شبیه‌سازی در پیوست۲ قابل مشاهده است.

۶.۴. نتایج شبیه‌سازی زیستگاه River2D

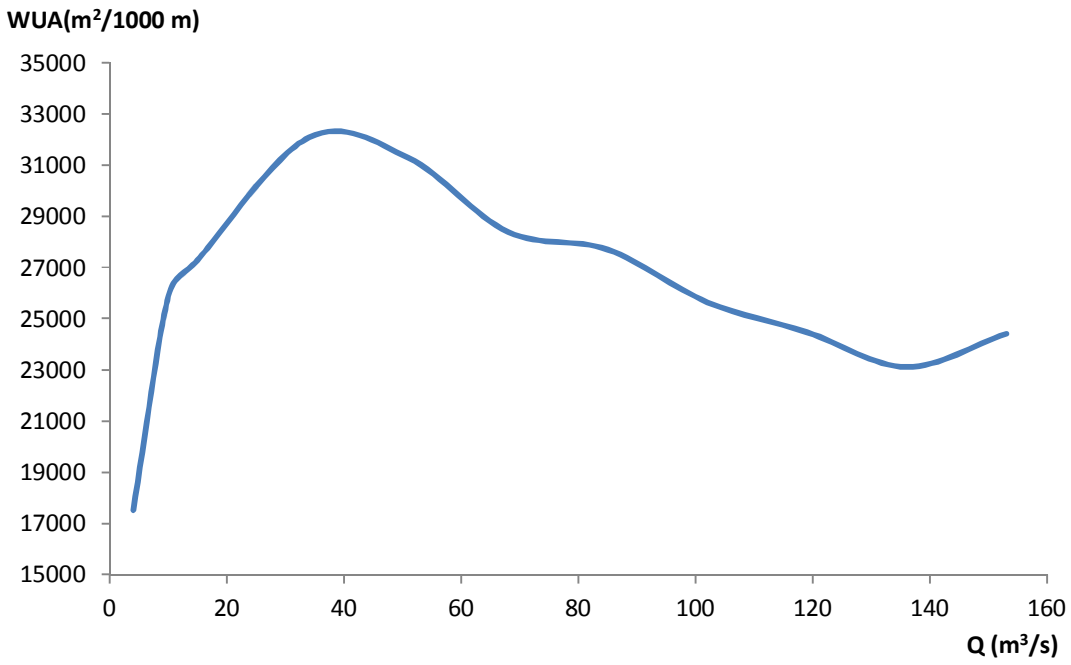
پس از انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی و وارد کردن داده‌های زیستگاهی با قالب مشخص، شبیه‌سازی زیستگاهی انجام می‌شود. خروجی آن برآورد مقدار WUA به ازای هریک از دبی‌های شبیه‌سازی می‌باشد که نتایج محاسبه WUA در دبی‌های مشخص شده در جدول ۴-۵ آورده شده است.

جدول (۴-۵) WUA برای سس ماهی خزر

در مرحله مهاجرت به رودخانه (River2D)

دبی (m^3/s)	کل WUA (m^2/m)
۴	۱۷۵۲۳/۷۵
۱۰	۲۵۸۷۵/۸۲
۱۴/۹۵	۲۷۲۷۵/۶۶
۳۴	۳۲۰۸۱/۱۳
۵۱	۳۲۷۸/۵۱
۶۸	۲۸۳۸۷/۷۶
۸۵	۲۷۶۹۶/۲۴
۱۰۲	۲۵۶۴۲/۸۸
۱۱۹	۲۴۴۷۲/۷۸
۱۳۶	۲۳۱۱۲/۹۱
۱۵۰	۲۴۴۰۸/۴۵

رابطه WUA در مقابل دبی (۴ تا ۱۵۰ متر مکعب در ثانیه) از مدل River2D در شکل (۴-۱۱) دیده می‌شود. WUA معیاری برای موجودیت زیستگاه در دسترس است و منحنی دبی- سطح قابل استفاده وزنی اطلاعات زیادی در مورد تغییرات زیستگاه ناشی از تغییرات دبی در اختیار ما قرار می‌دهد. همانطور که در شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود به علت فراهم شدن عمق و سرعت مناسب برای گونه شاخص در داخل رودخانه مقدار WUA در نقطه از منحنی به میزان حداکثر خود رسیده است. شیب زیاد منحنی نیز نشان دهنده این امر است که به ازای کاهش دبی تغییرات زیادی در WUA و متناظر با آن میزان زیستگاه مناسب سس ماهی دریای خزر اتفاق می افتد.



شکل (۴-۱۱) رابطه WUA در مقابل دبی برای سس ماهی دریای خزر در مرحله مهاجرت به رودخانه

۷.۴. محاسبه نیاز جریان زیست‌محیطی

۱.۷.۴. روش تنانت (مونتانا)

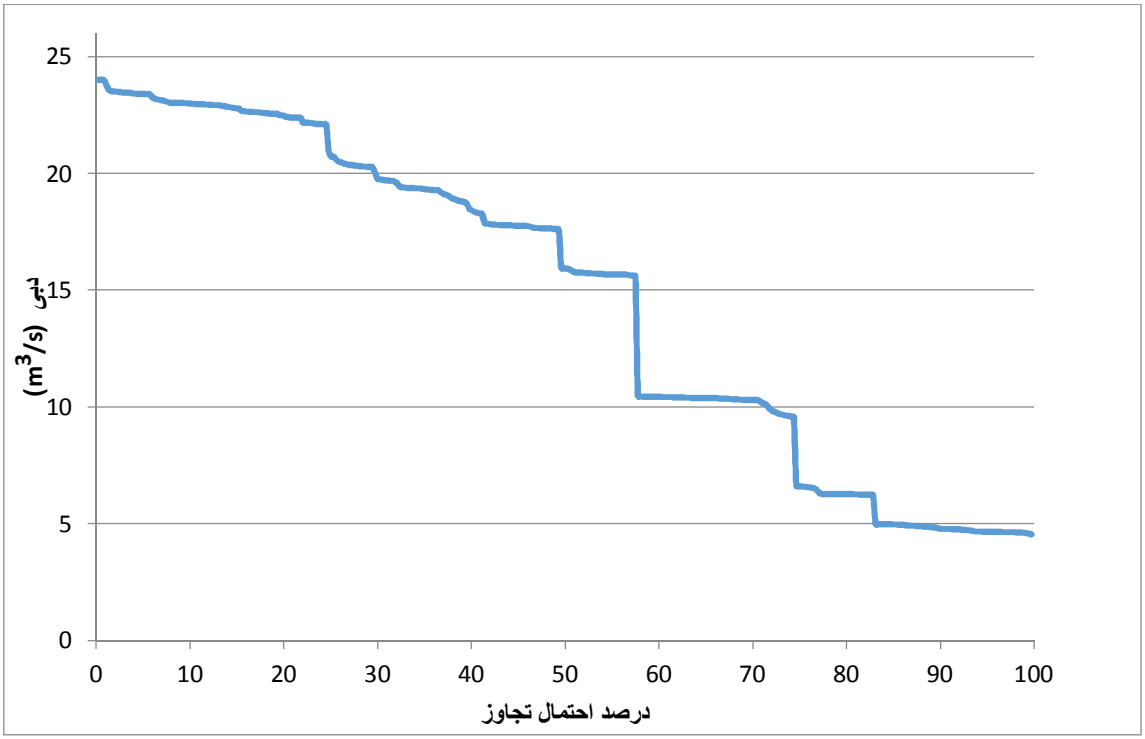
طبق روش تنانت، دبی معادل ۱۰٪ متوسط دبی سالانه به عنوان حداقل نیاز جریان زیست‌محیطی، و ۳۰٪ جریان متوسط سالیانه به عنوان نیاز عالی رودخانه توصیه شده است. در جدول (۴-۶) حدود ارائه شده توسط وزارت نیرو (جدول ۳-۴) برای دبی متوسط سالیانه بابلرود محاسبه شده است.

جدول (۴-۶) نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه بابلرود به روش تنانت

درصد های روش تنانت	دبی جریان زیست‌محیطی (m3/s)	مهر تا اسفند (٪)	فروردین تا شهریور (٪)
۱۰	۱/۴۹	قابل قبول	ضعیف
۲۰	۲/۹۹	خوب	ضعیف
۳۰	۴/۴۸	عالی	قابل قبول
۴۰	۵/۹۸	بسیار عالی	خوب
۶۰	۸/۹۷	وضعیت بهینه	بسیار عالی

۲.۷.۴. روش Q95٪

همانطور که اشاره شد این روش از جمله روش‌های هیدرولوژیک می‌باشد. طبق این روش، دبی موجود در ۹۵٪ از طول سال (۳۴۲ روز) برابر جریان موردنیاز زیست‌محیطی معرفی شده است. شکل(۴-۱۲) منحنی تداوم جریان بابل رود در ایستگاه کشتارگاه را نشان می‌دهد.



شکل(۴- ۱۲) منحنی تداوم جریان رودخانه بابلرود در ایستگاه کشتارگاه

با توجه به منحنی تداوم جریان مقدار دبی معادل ۹۵ درصد احتمال تجاوز، برابر۴/۶۴ متر مکعب در ثانیه می‌باشد.

۳.۷.۴. روش شبیه‌سازی زیستگاه (River2D)

برای محاسبه حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه به‌طوری که سلامت زیستگاه آن نیز حفظ شود قانونمندی کاملا مشخصی وجود ندارد و درصد قابل قبول کاهش WUA برای هر گونه بایستی تحت نظر کارشناسان مربوطه و بسته به اهداف مدیریتی انتخاب شود. یک رویکرد، انتخاب محل شکست نمودار دبی- زیستگاه به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی و شروع تغییرات بزرگ در زیستگاه می‌باشد. کاهش زیستگاه به اندازه ۱۰٪ باعث تغییر خاصی در جمعیت ماهی‌ها نمی‌شود ولی کاهش ۵۰٪ زیستگاه تأثیر

قابل توجهی روی جمعیت خواهد گذاشت (جووت[1] و همکاران، ۲۰۰۸). بعضی از کارشناسان کاهش بیشتر از ۱۵٪ زیستگاه را به عنوان نقطه آغاز تهدید جدی بر زیستگاه موجودات آبزی می‌دانند (سیچرا[2]، ۲۰۰۷). با توجه به دبی جریان برای ماه های سال در جدول (۳-۲)، و شکل (۴-۱۱)، دبی معادل ۱۵ درصد کاهش زیستگاه (WUA) برای ماه های سال به این صورت محاسبه می‌شود که مقدار WUA به‌دست‌آمده به ازای هر یک از دبی‌های ماهانه از شکل (۴-۱۱) به میزان ۱۵ درصد کاهش می‌یابد و مجددا به ازای مقدار جدید WUA، دبی معادل آن خوانده می‌شود. این نتایج در جدول (۴-۷) آورده شده است. این جدول بیان کننده رژیم مناسب جریان اکولوژیکی رودخانه بابلرود می‌باشد.

جدول (۴-۷) دبی موردنیاز زیست‌محیطی بابلرود برای سس ماهی خزر

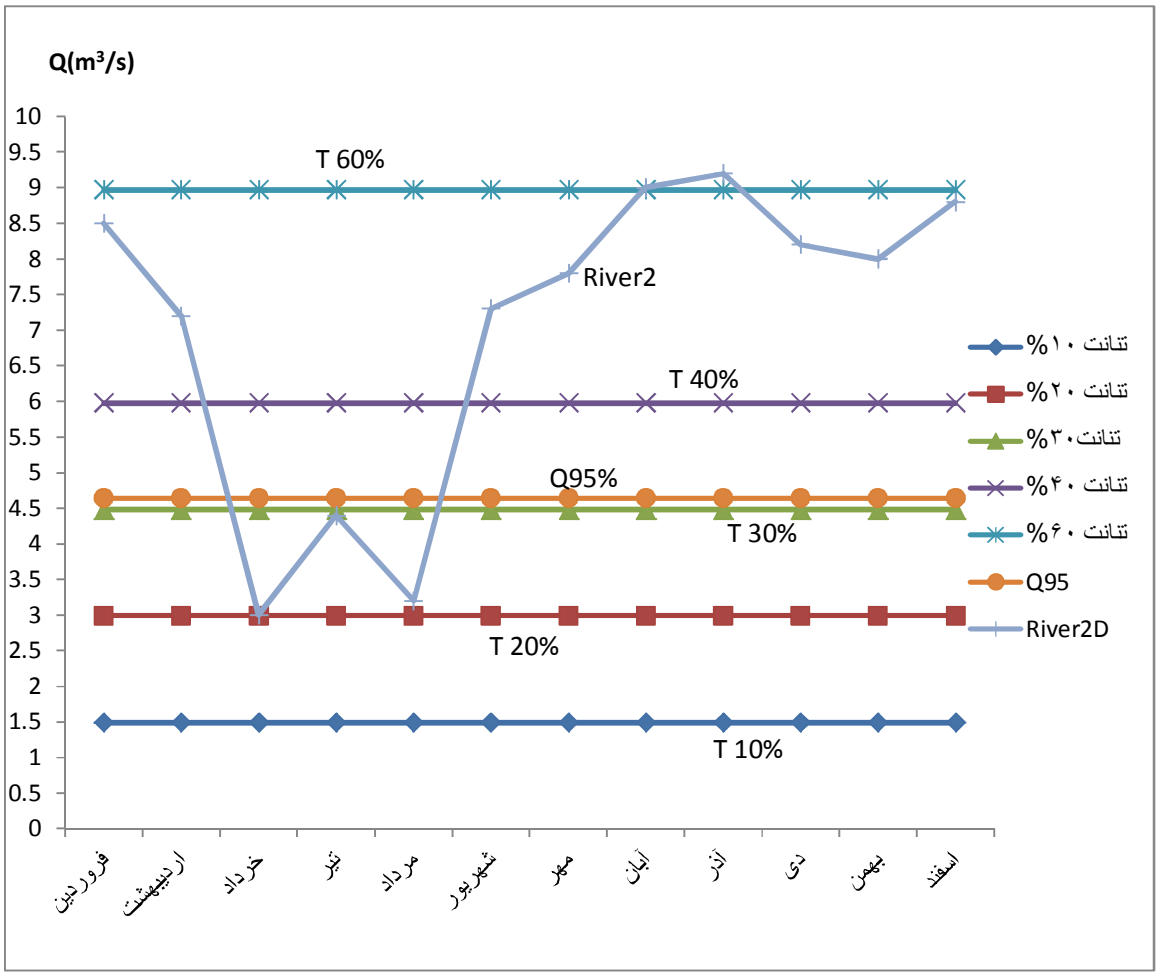
در مرحله مهاجرت به رودخانه (River2D)

ماه	دبی (m^3/s)	WUA (m^2/m)	دبی معادل ۱۵٪ کاهش WUA (m^3/s)
فروردین	۲۰/۸۶	۲۸۷۵۰	۸/۵
اردیبهشت	۱۰/۲۸	۲۶۲۰۰	۷/۲
خرداد	۴/۶۶	۱۸۷۰۰	۳
تیر	۶/۵	۲۱۵۰۰	۴/۴
مرداد	۴/۸۸	۱۸۸۰۰	۳/۲
شهریور	۱۰/۳۱	۲۶۳۰۰	۷/۳
مهر	۱۵/۶	۲۷۴۰۰	۷/۸
آبان	۲۲/۹۷	۲۹۴۰۰	۹
آذر	۲۳/۶	۲۹۵۵۰	۹/۲
دی	۱۹/۰۸	۲۸۴۰۰	۸/۲
بهمن	۱۸/۰۷	۲۸۰۰۰	۸
اسفند	۲۲/۹۹	۲۹۳۰۰	۸/۸
میانگین سالانه	۱۴/۹۵	۲۷۲۷۵	۷/۹

[1] Jowett
[2] Cichra

۴.۷.۴. مقایسه نتایج جریان زیست‌محیطی

نتایج حاصل از تمامی روش‌ها (تنانت ۱۰٪ ،۲۰٪ ، ۳۰٪، ۴۰٪ ، ۶۰٪، Q95 و River2D) برای جریان مناسب درون رودخانه برای سس ماهی دریای خزر در مرحله مهاجرت به داخل رودخانه در شکل (۴-۱۳) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل (۴-۱۳) مقایسه جریان زیست‌محیطی از روش‌های هیدرولوژیک (تنانت و Q95) و روش شبیه‌سازی زیستگاه (River2D)

همانطور که مشاهده می‌شود اعداد روش تنانت ۱۰٪ و ۲۰٪ پایین‌تراز حداقل‌های به‌دست‌آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه می‌باشد. همچنین نتایج تنانت ۳۰٪ و روش Q95 بسیار نزدیک به هم بوده و مانند روش تنانت ۴۰٪ در بیشتر ماه‌های سال مقداری کمتر از حداقل نیاز زیست‌محیطی گونه موردنظر را ارائه می‌دهند. ولی تنانت ۶۰٪، تنها در ماه‌های آبان و آذر، مقداری نزدیک به روش زیستگاهی دارد و این مقدار ثابت در تمام طول سال بدون در نظر گرفتن نیازهای زیست‌محیطی گونه شاخص و با توجه به اینکه مهم-ترین ماه‌های مهاجرت سس ماهی خزر که اواسط بهار تا اواسط تابستان می‌باشد، مقادیر زیادی را در تمام طول سال و حتی در ماه‌های کم‌آبی برآورد نموده است. با توجه به اینکه در روش‌های هیدرولوژیک بررسی شرایط گونه آبزی نقشی نداشته و تنها جریانات تاریخی معیار برآورد می‌باشند، به نظر می‌رسد نتایج روش شبیه‌سازی زیستگاه از اعتبار بالاتری برخوردار هستند و به خوبی می‌توانند مقداری منطقی بر اساس نیاز هر ماه در کنار حفظ شرایط مناسب اکوسیستم رودخانه برآورد نمایند. چنانچه برنامه‌ریزی آزادسازی آب رودخانه تنها با در نظر گرفتن مقادیر روش‌های هیدرولوژیکی باشد، شرایط نامناسبی برای مهاجرت سس ماهی دریای خزر به رودخانه فراهم شده و در پی آن تخم‌ریزی ماهی که از مهم‌ترین مراحل برای حفظ گونه در حال انقراض می‌باشد انجام نمی‌شود.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱.۵. خلاصه و نتیجه گیری

رودخانه‌ها به عنوان بخشی از ثروت‌های طبیعی و ملی کشورها از اهمیت خاصی برخوردارند. رودخانه‌ها دارای آبزیانی هستند که از نظر اقتصادی اهمیت جهانی دارند و جزو ذخایر موروثی هر کشور به شمار می‌آیند. حفظ و حراست از بقای رودخانه‌ها و ماهیان آن جهت استفاده آیندگان یک وظیفه همگانی است و یکی از راهکارهای حفاظت از محیط زیست رودخانه‌ها، برقراری حداقل آب موردنیاز محیط زیست آن‌ها، در زمان احداث و بهره‌برداری از سدها است و در ارزیابی زیست‌محیطی، حقابه رودخانه مشخص می‌شود و وزارت نیرو باید نسبت به این حقابه الزام به رعایت داشته باشد. در این پژوهش، نتایج روش‌های هیدرولوژیکی با یکی از روش‌های جدید محاسبه نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه (روش‌های زیستگاهی) مقایسه شده‌اند و اختلاف فاحش در برآورد میزان جریان زیست‌محیطی به روش‌های هیدرولوژیکی بررسی شده و نتایج زیر حاصل شده است:

۱- روش تنانت (مونتانا) که امروزه به دلیل سهولت برآورد حقابه زیست‌محیطی در رودخانه‌های ایران مورداستفاده قرار می‌گیرد، قادر به پاسخگویی نیازهای زیست‌محیطی نیست و با توجه به اینکه در این روش تغییرات روزانه، فصلی یا سالانه و همچنین شرایط زیستگاهی گونه شاخص در نظر گرفته نمی‌شود، چنین برآوردی بدون توجه به شرایط اکولوژیکی می‌تواند خسارت‌های عمده‌ای را در دوران کم‌آبی به محیط زیست وارد کند.

۲- روش Q95 به عنوان یک روش هیدرولوژیکی که از داده‌های تاریخی استفاده می‌کند، نیازهای زیست‌محیطی گونه شاخص را در نظر نگرفته و علیرغم توانایی در برخی ماه‌های سال، در ماه‌های بحرانی، کارایی مقبولی ندارد.

۳- روش شبیه‌سازی زیستگاه با نرم‌افزار River2D، برآورد معقولی از حقابه زیست‌محیطی ماهانه و بسته به نیاز گونه موردنظر ارائه می‌دهد که خود معتبر بودن این روش را در سطح جهان تأیید می‌نماید.

۴- تعیین حقابه زیست‌محیطی به روش‌های زیستگاهی بدون داشتن اطلاعات زیستگاهی گونه‌های مختلف امکان پذیر نیست. با توجه به اینکه در مدلسازی‌های یک‌بعدی و دوبعدی این روش‌ها، نیاز به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی می‌باشد، ایجاد و توسعه این منحنی‌ها بسیار لازم و ضروری است.

۵- موجودات زنده رودخانه مطلوبیت‌های مختلفی در مراحل مختلف زندگی خود دارند، بنابراین در نظر گرفتن یک دبی ثابت زیست‌محیطی برای تمام سال صحیح نیست و بهتر است یک رژیم اکولوژی به ازای ماه‌های مختلف تعریف شود.

۶- River2D علاوه بر آن که یک مدل زیستگاهی باشد، یک مدل دوبعدی هیدردینامیک برای شبیه‌سازی رقوم سطح آب و سرعت است و قابلیت بسیار بالایی در شبیه‌سازی جریان رودخانه دارد.

۲.۵. پیشنهادها

با توجه به نتایجی که از این پژوهش به‌دست‌آمده است، موارد زیر جهت برنامه ریزی هر چه دقیق‌تر در زمینه توسعه پایدار منابع آبی و حفظ سلامت رودخانه‌ها پیشنهاد می‌گردد:

۱- تعیین حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌های کشور باید به عنوان یکی از چالش‌های مهم و بسیار حیاتی کشور قلمداد شده تا بتوان برای آن قانونمندی و تصویب لوایح جدی را لحاظ نمود.

۲- در برنامه‌ریزی منابع آب مخازن و آبخوان‌ها، برآورد حقابه زیست‌محیطی به‌طور جدی و با روش‌های اصولی، کارآمد و بروز در محاسبه آن، مد نظر قرار گیرد.

۳- روش‌های کمی برآورد حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌ها نظیر روش تنانت ، نیازمند بررسی و اصلاح و در نظر گرفتن سایر پارامترهای زیست‌محیطی از جمله گیاهان و آبزیان رودخانه و برآورد نیاز واقعی حقابه زیست‌محیطی می‌باشد.

۴- از روش‌های زیستگاهی که جایگاه و اعتبار آن‌ها در دنیا به اثبات رسیده است، در برآورد حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌های ایران نیز استفاده گردد.

۵- ایجاد منبع جامع در مورد اطلاعات زیستگاهی ماهیان و توسعه منحنی‌های مطلوبیت آن‌ها.

۶- بر طرف نمودن ضعف ورود داده‌های اولیه به River2D. ساده‌سازی ورود داده‌های توپوگرافی منطقه به این نرم‌افزار می‌تواند قابلیت آن را افزایش داده و از بروز خطای احتمالی نیز جلوگیری کند.

۷- پارامتر دما به عنوان یکی از داده‌های موثر بر زیستگاه ماهی‌ها، مانند سایر پارامترهای مطلوبیت زیستگاه در شبیه‌سازی مدل River2D بکار گرفته شود که خود نیازمند توسعه نرم‌افزاری در آن است.

منابع

۱- احمدپور ظ، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " شاخص‌های رژیم متغیر هیدرولوژیکی در ارزیابی زیست‌محیطی رودخانه‌ها "، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲- امینی م، شکوهی ع، (۱۳۹۳) " حل تحلیلی تعیین نقطه شکست نمودار محیط تر شده – دبی در روش هیدرولیکی تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی" مجله هیدرولیک ایران، شماره ۱ ، دوره ۹، ص ۲۷
۳- امینی م، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " مقایسه و گزینش روش بهینه تعیین حداقل جریان موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه‌های غرب مازندران"، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین
۴- بدیسار ن. و احمدی م، (۱۳۹۵)، " اهمیت و ضرورت رعایت حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌ها " ، دومین کنفرانس علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط زیست، دانشکده محیط زیست، تهران
۵- پورستار توپراق قلعه س، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " محاسبه و ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه کارون از ملاثانی تا دارخوین "، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۶- تقوی کلجاهی س.، ریاضی ب. و تقوی ل، (۱۳۹۳) " تعیین حقابه زیست‌محیطی تالاب میانکاله " علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۲ ، دوره ۱۶، ص ۱۰۱
۷- خان محمدی فلاح س، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " بررسی امکان توسعه روش محدوده تغییرات در تعیین جریان زیست‌محیطی "، دانشگاه بین المللی قزوین
۸- ذوالفقاری س.، قنبر پور م. ر.، حبیب‌نژاد م. و افخمی م، (۱۳۸۸) " بررسی و ارزیابی جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی(مطالعه موردی: تالاب شادگان) " مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم، شماره ۸، ص ۶۷
۹- ذوالفقاری س.، قنبر پور م. ر.، حبیب‌نژاد م. و افخمی م، (۱۳۸۶)، " بررسی اثر پروژه سدسازی درتغییر رژیم جریان رودخانه بر اساس تعیین جریان زیست‌محیطی (مطالعه موردی سد مارون در استان خوزستان) " ، اولین هامیش ملی سد و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج
۱۰-زرعکانی م. و شکوهی ع، (۱۳۹۳)، " تعیین جریان لازم برای حفظ مورفولوژی بستر رودخانه و مقایسه چهار روش تعیین جریان زیست‌محیطی مبتنی بر هیدرولوژی و هیدرولیک جریان "، کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست، اهواز
۱۱-زرعکانی م. و شکوهی ع .و پی سینگ و،(۱۳۹۶) " معرفی رژیم جامع اکولوژیکی در شرایط کمبود داده برای تعیین حق‌آبه زیست‌محیطی رودخانه‌ها " مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال سیزدهم، شماره ۲، ص ۱۵۳-۱۴۰

۱۲-شکوهی ع، (۱۳۹۳) " تحلیل حساسیت روش‌های هیدرولیکی نسبت به روش‌های تأمین اطلاعات هیدرومورفولوژیکی برای تعیین نیاز محیط زیستی" نشریه آب و فاضلاب، شماره ۳، ص ۱۰۴
۱۳-شکوهی ع. و هانگ ی.، (۱۳۹۰) " استفاده از مشخصه های مرفولوژیکی در رودخانه‌های دایمی برای تعیین حداقل نیاز آبی محیط اکولوژیکی"، مجله محیط شناسی دانشگاه تهران، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۵۸ ، صفحهٔ ۱۱۷- ۱۲۸
۱۴-صدیق کیا م.، ایوب زاده ع. و حاجی اسماعیلی م، (۱۳۹۴) " بررسی الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با روش‌های هیدرواکولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه دلیچای واقع در استان تهران)" مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۳، ص ۳۰۰-۲۸۹
۱۵-طالب بیدختی ن. و بنی هاشمی ب، (۱۳۸۷)، " حقابه زیست‌محیطی " ، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران
۱۶-عبدلی ا.، و نادری م ، (۱۳۸۷) " تنوع زیستی ماهیان حوضه جنوبی دریای خزر". تهران: انتشارات علمی آبزیان. ۲۳۷ صفحه.
۱۷-عبدی ر، یاسی م. و صدقی ح، (۱۳۹۳) " ارزیابی روش‌های اکولوژیکی- هیدرولیکی- هیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه " نشریه آب و فاضلاب، شماره ۲، ص ۷۱
۱۸-عریان س،صادقیان م.ص،مخدوم فرخنده م،زرنکابی م،(۱۳۹۲)" مقایسه روش‌های تعیین حقابه محیط‌زیستی رودخانه‌ها و پیشنهاد رویکرد مناسب برای کاربرد در ایران با استفاده از روش تصمیم‌گیری تاپسیس" پژوهش‌های محیط‌زیست،سال۴،شماره ۸، ص ۱۴
۱۹-غرقی ا، (۱۳۹۱) " بررسی هیدرولوژی و هیدروبیولوژی رودخانه بابلرود" پروژه موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور – پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور
۲۰-کیانی ن.، مجدزاده طباطبائی م.ر.، مریدی ع. و موسوی ندوشنی س،(۱۳۹۵)، " تعیین دبی زیست‌محیطی رودخانه زاینده رود به روش هیدرولیکی با توجه به گونه‌های شاخص" ، سومین همایش و نمایشگاه محیط زیست و بحران‌های پیش رو
۲۱-مصطفوی س. و یاسی م، (۱۳۹۴) " ارزیابی حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها با روش اکو- هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه باراندوز چای- حوضه دریاچه ارومیه) " نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۵، ص ۱۲۳۱-۱۲۱۹
۲۲-نادری جلودار مهدی،۱۳۹۶. مصاحبه، دکترای زیست شناسی آبزیان، ریاست گروه غیر زیستی و عضو هیئت علمی پژوهشکده اکولوژی آبزیان دریای خزر، ساری

۲۳-نادری م.ح.، ذاکری نیا م. و سالاری جزی م، (۱۳۹۶)، " مدل سازی هیدرولیکی زیستگاه برای تعیین جریان موردنیاز زیست‌محیطی ماهیان در رودخانه"، چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت
۲۴-نیک قلب س، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " استفاده و ارزیابی مدل IFIM برای تعیین جریان زیست‌محیطی در شرایط کمبود داده و مقایسه آن با روش‌های هیدرولیک و هیدرولوژیک "، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین
۲۵-وزارت نیرو،دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا.۱۳۹۰، راهنمای تعیین آب موردنیاز اکوسیستم‌های آبی، نشریه شماره ۵۵۷
۲۶-یوسفی روشن م،(۱۳۹۵)، "حوضه آبریز و خصوصیات فیزیکی رودخانه بابلرود" اولین همایش ملی مدیریت آب با رویکرد مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی، همدان، دبیرخانه دائمی همایش

27- Arthington A. H. and Zalucki J. M. (1998) ” Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods” **Land and Water Resources Research and Development Corporation.,** pp **141**

28- Arthington A.H., Tharme R.E., Brizga S.O., Pusey B.J., Kennard M.J. (2004) “ ENVIRONMENTAL FLOW ASSESSMENT WITH EMPHASIS ON HOLISTIC METHODOLOGIES” **Land and Water Resources Research and Development Corporation.,** pp **37-65**

29- Arthington A. H.. Bunn S. O., Poff N. L. & Naiman R. J. (2006)” The Challenge of Providing Environmental Flow Rules to Sustain River Ecosystems” **Ecological Applications**.,**16, 4, pp 1311-1318.**

30- Akter J., (2010), M.S thesis, “ ENVIRONMENTAL FLOW ASSESSMENT FOR THE GANGES RIVER “, **Department of Water Resources Engineering of Bangladesh**, University of Engineering and Technology, Dhaka,

31- Ayllon D., Almodóvar A., Nicola G. G . And Elvira B. (2011) “The influence of variable habitat suitability criteria on PHABSIM habitat index results” **RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS ., 28, 8, pp 1179-1188**.

32- Beecher, H. A., Caldwell, B. A., DeMond, S. B., Seiler, D., & Boessow, S. N.(2010) “ An empirical assessment of PHABSIM using long-term monitoring of coho salmon smolt production in Bingham Creek, Washington**” North American Journal of Fisheries Management., 30, 6, pp 1529-1543.**

33- Booker D.J., Dunbar M.J.(2004) "Application of physical habitat simulation (PHABSIM) modelling to modified urban river channels" **River Research and Applications.**, **20, 2, pp 167-83.**

34- Bovee K.D. (1986) " Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology**" Washington, DC: USDI Fish and Wildlife Service Instream Flow Information**.,**7**, pp **235.**

35- Bovee K.D., Lamb B.L., . Bartholow J.M., Stalnaker C.B.,Taylor J. and Henriksen J.(1998)"Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology**" U.S. Geological Survey Information and Technology**., Report **1998-0004,** pp **130 .**

36- Bovee K.D.(1997) " DATA COLLECTION PROCEDURES FOR THE PHYSICAL HABITAT SIMULATION SYSTEM" **U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Mid-Continent Ecological Science Center**, Fort Collins, Colorado **80525.**

37- CAISSIE J. CAISSIE D. and EL-JABI N. (2015) "HYDROLOGICALLY BASED ENVIRONMENTAL FLOW METHODS APPLIED TO RIVERS IN THE MARITIME PROVINCES (CANADA) " **River research and applications**., **31**, pp **651- 662.**

38- Cichra E.D., Dahm C.N., Loke A.(2007) "Proposed Minimum Flow and Levels for the upper segment of the Braden river, from linger lodge to lorraine Road**" Ecological Evaluation Section, Resourse conservation and Development Department, southwest Florida Water Management District**

39- Conder A. L. and Annear T. C.(1987)" Test of Weighted Usable Area Estimates Derived from a PHABSIM Model for Instream Flow Studies on Trout Streams" **North American Journal of Fisheries Management., 7, pp 339-350.**

40- Fabris L., Malcolmb I., Buddendorf W .B., Millidine K .J., Tetzlaff D .and . Soulsbya C.(2017) "Hydraulic modelling of the spatial and temporal variability in Atlantic salmon parr habitat availability in an upland stream"**Science of the Total Environment., pp 1046-1059**

41- Gard M.(2009) " Comparison of spawning habitat predictions of PHABSIM and River2D models" **Intl. J. River Basin Management., 7, 1, pp 55-71**

42- Garland R.D., Tiffan K.F., Rondorf D.W., Clark L.O. (2002) "Comparison of subyearling fall Chinook salmon's use of riprap revetments and unaltered habitats in Lake Wallula of the Columbia River" **North American Journal of Fisheries Management, 22, 4 ,pp 1283-1289.**

43- Ghanem A., . Steffler P., . Hicks F. and Katopodis C. (1996) "Two dimensional hydraulic simulation of physical conditions in flowing streams Regulated Rivers" **Research and Management., 12, pp 185–200**.

44- Gibbinsh C. N., Moir J., Webb J. H. and Soulsby C.(2002) "ASSESSING DISCHARGE USE BY SPAWNING ATLANTIC SALMON: A COMPARISON OF DISCHARGE ELECTIVITY INDICES AND PHABSIM SIMULATIONS" **RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS., 18, pp 383-395.**

45- Harish Kumara B. K. and Srikantaswamy S.(2011) " Environmental Flow Requirements in Tungabhadra River, Karnataka, India " **Natural Resources Research., 20, 3, pp 193**

46- Jowett I.G., Hayes J.W., Duncan M.J.(2008) " A Gide to instream HabitatSurvey Methods and Analysis" **NIWA Science and Technology Series.,54.**

47- Kim K.O. , Park Y .Ki., Kang J .and Lee B.S. (2016) "Estimation of Ecological Flow and Habitat Suitability Index at Jeonju-Cheon Upstream" **J. Korean Soc. Environ. Eng., 38, 2, pp 47-55.**

48- Kang J., Yeo H. and Kim ch. (2013) " Assessment of Habitats According to Groyne Types (Using Pale Chub) " **Engineering.,5, pp 22-28.**

49- Katopdis CH. (2003) "Case Studies of Instream Flow Modelling for Fish Habitat in Canadian Prairie Rivers "**Canadian Water Resources Journal**., **28, 2, pp 199.**

50- Lacey R.W.J. and Millar R.G.(2001) "Application of a 2-Dimensional Hydrodynamic Model for the Assessment and Design of Instream Channel Restoration Works" **Watershed Restoration Management** .,Report **No. 9.**

51- Mazvimavi D., Madamombe E. and Makurira H.(2007) "Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe " **Physics and Chemistry of the Earth** ., **32**, pp **995- 1006**

52- Mc Cartney M.P., Shiferaw A. and Seleshi Y.(2009) " Estimating environmental flow requirement downstream of the Chara Chara weir on the Blue Nile River" **HYDROLOGICAL PROCESSES., 23**, pp **3751-3758.**

53- MOIR H. J., GIBBINS C. N., SOULSBY C .and. YOUNGSON A. F.(2005) "PHABSIM MODELLING OF ATLANTIC SALMON SPAWNING HABITAT IN AN UPLAND STREAM: TESTING THE INFLUENCE OF HABITAT SUITABILITY INDICES ON MODEL OUTPUT " **River Research and Applications., 21,pp 1021-1034**

54- Nikghalb S., Shokoohi A., Singh V. P. & Yu R.(2016) " Ecological Regime versus Minimum Environmental Flow: Comparison of Results for a River in a Semi Mediterranean Region" **Water Resources Management, 30,13, pp 4969-4984.**

55- Shim T., Bae E., Jung J.(2016) "Application of Habitat Suitability Models for Assessing Climate Change Effects on Fish Distribution" **Ecology and Resilient Infrastructure,3, 2, pp 134-42.**

56- 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.**

57- Stalnaker C., Lamb B. L., Henriksen J., Bovee k. and Bartholow J. (1995)"The Instream Flow Incremental Methodology – A Primer for IFIM" **Biological Report** 29, March 1995, U.S. **Department of the Interior, National Biological Service, Fort Collins, Colo.**

58- Steffler P. and Blackburn J.(2002)" River2D,Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat: Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual**" University of Alberta**., September, 2002.

59- Steffler P.(2002)" R2D_Bed: Bed Topography File Editor User's Manual" **University of Alberta**., September, 2002.

60- Tennant D.L.(1976)" Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources" **Fisheries., 1,pp 6–10.**

61- Tharme, R. (2003) "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers" **Published online in Wiley InterScience**

62- Thomas H .& Nisbet T. R. (2006)"An assessment of the impact of floodplain woodland on flood flows" **Water and Environment Journal, Print ISSN 1747-6585**

63- Ting Chu P. (2017) "Application of Species distribution models and River2D to assess riverine ecosystems: A case of Sicyopterus japonicus in Datuan stream "**Geophysical Research Abstracts ., 19, pp 4269.**

64- Vismara R., Azzellino A., Bosi R., Crosa G., Gentili G..(2001) "Habitat suitability curves for brown trout (Salmo trutta fario L.) in the River Adda, Northern Italy: comparing univariate and multivariate approaches" **Regulated Rivers: Research & Management**,**17, 1, pp 37-50**.

65- Waddle, T.J. (2009) " HELD EVALUATION OF A TWO-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC MODEL NEAR BOULDERS FOR HABITAT CALCULATION" **River Research and applications., 26,pp 730-741.**

66- Waddle, T.J. (2001)" PHABSIM for Windows user's manual and exercises" **U.S. Geological Survey** ., Open-File Report **2001, pp340- 288**

67- Waddle T. J., Steffler P. (2002)" R2D_Mesh: Mesh Generation Program For River2D Two Dimensional Depth Averaged Finite Element, Introduction to Mesh Generation and User's Manual**" U.S. Geological Survey**., September, 2002.

68- Waddle, T., . Steffler P., Ghanem A., Katopodis C. and Locke A.(2000) " Comparison of one an d two-dimensional open channel flow models for a small habitat stream" **Rivers**., **7, 3, pp 205-220**.

پیوست ۱

پرسشنامه تکنیک دلفی

سس ماهی دریای خزر – تکنیک دلفی، دور اول- سرعت آب

تاریخ.....

کارشناس.....

جدول زیر را بر اساس سرعت مناسب (متر بر ثانیه) هر مرحله زندگی/فعالیت پر نمایید.

	سرعت (متر بر ثانیه)					
شرایط سرعت	Inmigrant	Spawning	Incubation	Premergent larval	Outmigrant	Other
حداقل سرعت مورداستفاده	**0.1**					
حداکثر سرعت مورداستفاده	**1**					
حداقل سرعت اپتیمم	**0.4**					
حداکثر سرعت اپتیمم	**0.6**					
حد بالای سرعت که در آن SI برابر صفر می‌شود (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	>1					
حد پایین سرعت که در آن SI برابر صفر می‌شود (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	**N**					
سرعت هایی که در آن‌ها شاخص مطلوبیت برابر ۰/۵ است (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	-	-	-	-	-	

معمولاً سرعت ستون متوسط (سرعت در ۰/۶ عمق از سطح) در نظر گرفته می‌شود. البته در بعضی مواقع اندازه‌گیری‌های دقیق تر در نظر گرفته می‌شود. منظور خود از سرعت ذکر شده در جدول را به‌طور مختصر بیان نمایید.

زیر هر یک از موارد مقابل که منظور شما از سرعت را نشان می‌دهد خط بکشید: سرعت در سطح آب، سرعت در فاصله ۶ اینچ از کف، سرعت در محل حضور ماهی (مثلا nose velocity). سایر موارد را ذکر کنید

حداقل SI برابر ۰/۲ در نظر گرفته شد

سرعت در ۰/۶ عمق از کف در نظر گرفته شد

چنانچه مرحله زندگی/فعالیت قابل توجهی وجود دارد که از قلم افتاده است آن را مشخص نمایید.

سس ماهی دریای خزر - تکنیک دلفی، دور اول- عمق آب

تاریخ.....

کارشناس.....

جدول زیر را با در نظر گرفتن عمق مناسب (متر) هر مرحله زندگی/فعالیت پر نمایید.

	عمق (متر)					
شرایط عمق	Inmigrant	Spawning	Incubation	Premergent larval	Outmigrant	Other
حداقل عمق مورداستفاده	**0.2**					
حداکثر عمق مورداستفاده	**1.5-2**					
حداقل عمق اپتیمم	**0.3**					
حداکثر عمق اپتیمم	**0.5**					
حد پایین عمق که در آن SI برابر صفر می‌شود (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	**0**					
حد بالای عمق که در آن SI برابر صفر می‌شود (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	**N**					
عمق‌هایی که در آن‌ها شاخص مطلوبیت برابر ۰/۵ است (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	**-**					

منظور خود از عمق ذکر شده در جدول را به‌طور مختصر بیان نمایید. زیر هر یک از موارد مقابل که منظور شما از عمق را نشان می‌دهد خط بکشید: حداقل عمق آب. عمق متوسط آب. Nose Depth

یا عمق در محل ماهی/تخم/فعالیت ماهی. سایر موارد را ذکر کنید

حداقل SI برابر ۰/۲ در نظر گرفته شد

چنانچه مرحله زندگی/فعالیت قابل توجهی وجود دارد که از قلم افتاده است آن را مشخص نمایید.

سس ماهی دریای خزر – تکنیک دلفی، دور اول– دمای آب

تاریخ.....

کارشناس.....

جدول زیر را با در نظر گرفتن دمای مناسب (درجه سانتیگراد) هر مرحله زندگی/فعالیت پر نمایید.

	دما (درجه سانتیگراد)					
شرایط دما	Inmigrant	Spawning	Incubation	Premergent larval	Outmigrant	Other
حداقل دمای مورداستفاده.	**15**					
حداکثر دمای مورداستفاده	**25**					
حداقل دمای اپتیمم	**18**					
حداکثر دمای اپتیمم	**22**					
حد پایین دمای آب که در آن SI برابر صفر می‌شود (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	**13**					
حد بالای دمای آب که در آن SI برابر صفر می‌شود (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	**30**					
دمایی که در آن‌ها شاخص مطلوبیت برابر ۰/۵ است (چنانچه اتفاق نمی افتد از حرف N استفاده نمایید)	-	-	-	-	-	

متوسط دمای روزانه آب در گرم ترین ساعت روز، به‌طور معمول ساعاتی پس از ظهر.

چنانچه مرحله زندگی/فعالیت قابل توجهی وجود دارد که از قلم افتاده است آن را مشخص نمایید.

حداقل SI برابر ۰/۲ در نظر گرفته شد

سس ماهی دریای خزر - تکنیک دلفی، دور اول- مصالح کف

تاریخ.....

کارشناس.....

جدول زیر را با در نظر گرفتن شاخص مطلوبیت مناسب (۰ تا ۱) جنس کف برای هر مرحله زندگی/فعالیت پر نمایید.

جنس کف							
		شاخص مطلوبیت (۰ تا ۱)					
کد	اندازه دانه بندی	مهاجرت Inmigrant	تخم‌ریزیSpawning	نهفتگی Incubation تخم ها	نوزادی Premergent larval	خروج Outmigrant از رودخانه	Other
۱.	مواد آلی(OL)	**0.2**					
۲.	گل(رس نرم، CL)	**0.2**					
۳.	سیلت و لای (۰/۰۶۲ میلیمتر،ML)	**0.4**					
۴.	ماسه (۰/۰۶۲ تا ۲ میلیمتر، Sand)	**0.5**					
۵.	شن (۲ تا ۶۴ میلیمتر، Gravel)	**0.8**					
۶.	قلوه سنگ (۶۴ تا ۲۵۰ میلیمتر،Cobble)	**0.9**					
۷.	تخته سنگ (۲۵۰ تا ۴۰۰۰ میلیمتر،Boulder)	**0.4**					
۸.	صخره های کف (Bedrock)	**0.2**					

شاخص مطلوبیت صفر به معنی شرایط کاملا نامناسب، و شاخص مطلوبیت یک به معنی بهترین شرایط می‌باشد.

مشخص کنید که منظور شما از مصالح کف که در جدول فوق به آن اشاره کردید، چیست؟ زیر هر مورد که به منظور شما نزدیک است خط بکشید: ذرات غالب مشاهده شده روی کف. مصالحی که شامل بالاترین درصد وزنی در نمونه می‌باشد. سایر موارد را ذکر کنید

حداقل SI برابر ۰/۲ در نظر گرفته شد

چنانچه مرحله زندگی دیگری موردنظر شما است که باید در جدول فوق در نظر گرفته شود، آن را ذکر کرده و مقدار شاخص مطلوبیت آن را مشخص نمایید.

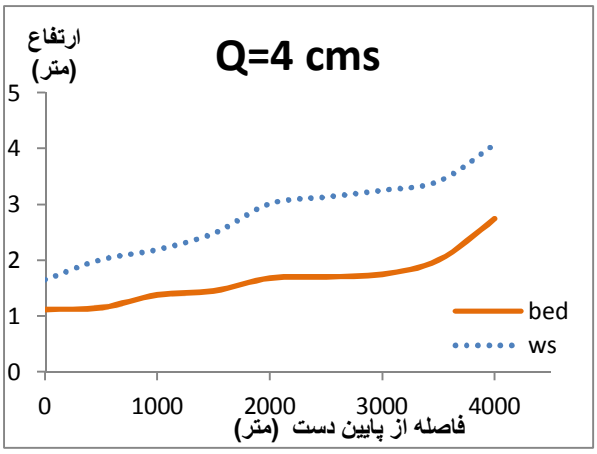
پیوست ۲

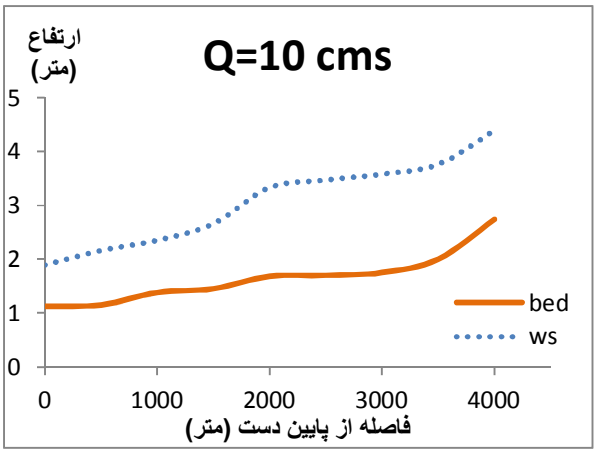
رقوم سطح آب

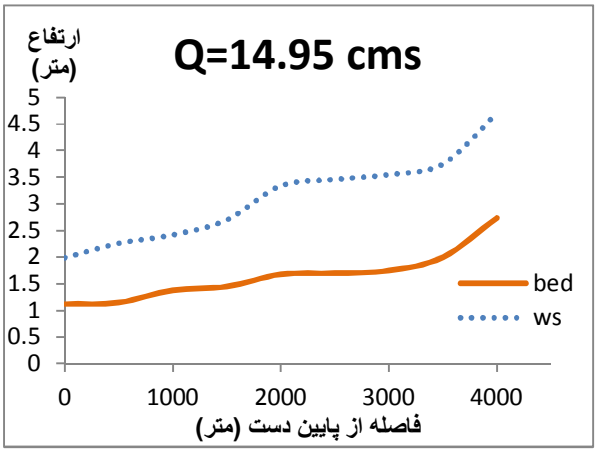
و

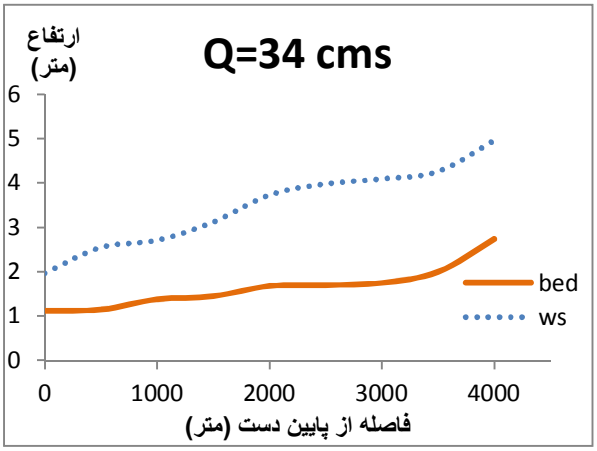
شبیه‌سازی سرعت

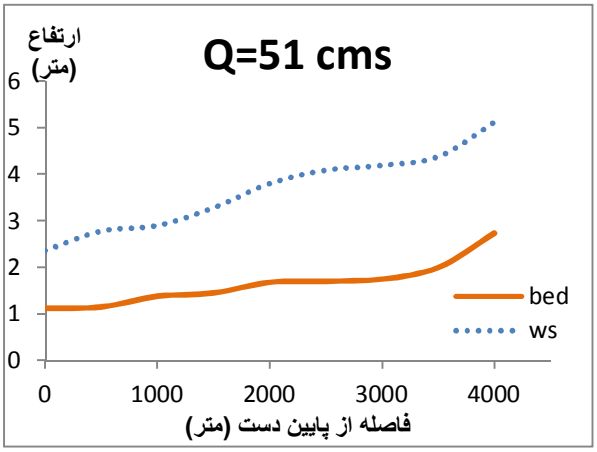
پروفیل‌های سطح آب شبیه‌سازی شده در River2D:

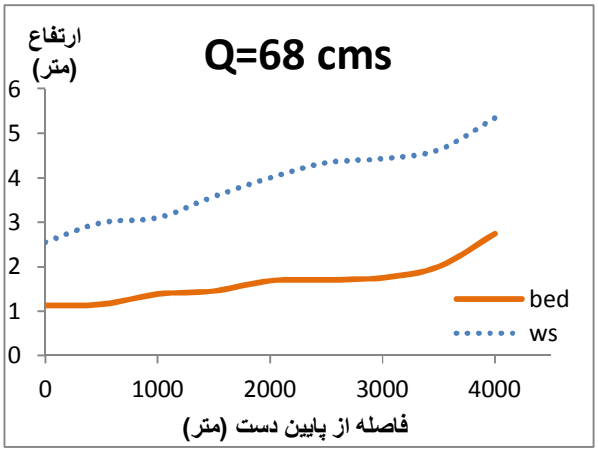


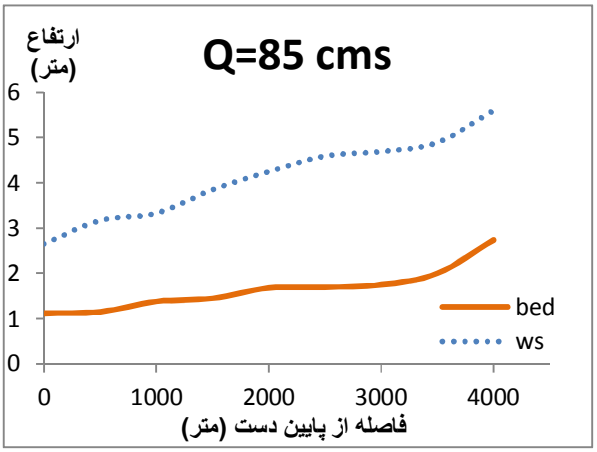


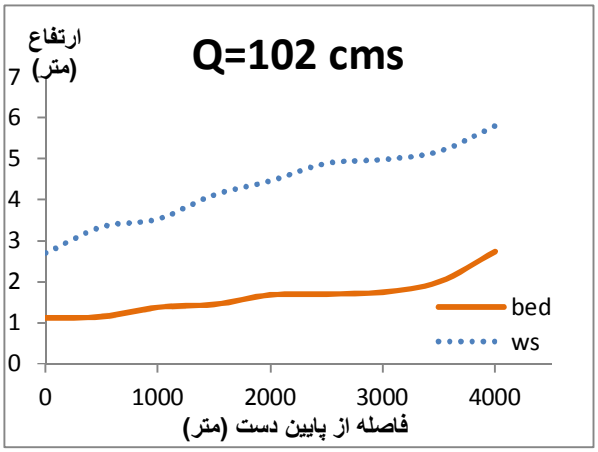


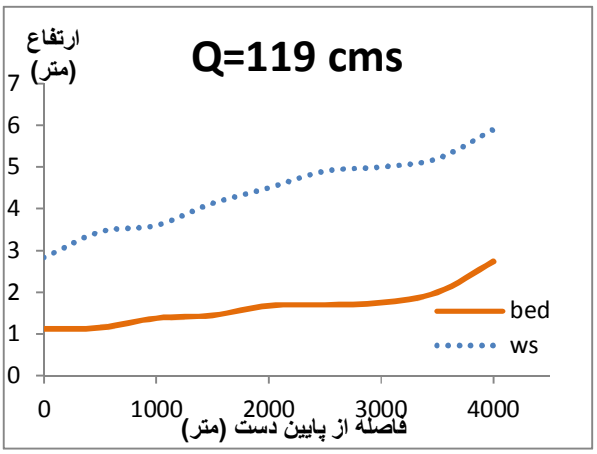


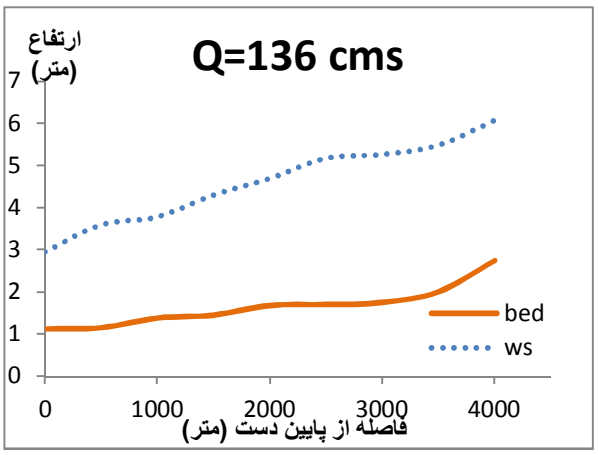


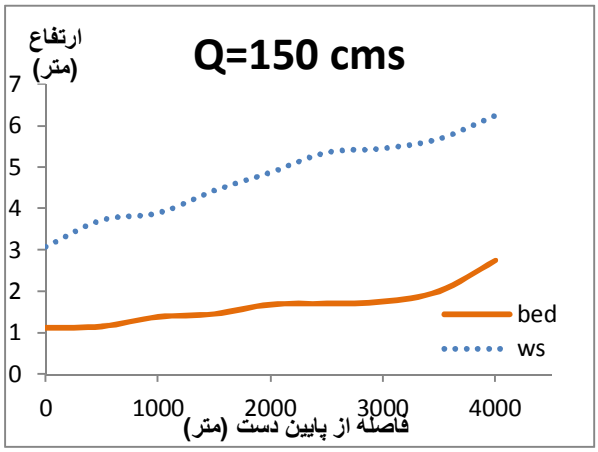



Q=85 cms
ارتفاع (متر)
0
1
2
3
4
5
6
0
1000
2000
3000
4000
فاصله از پایین دست (متر)
bed
ws

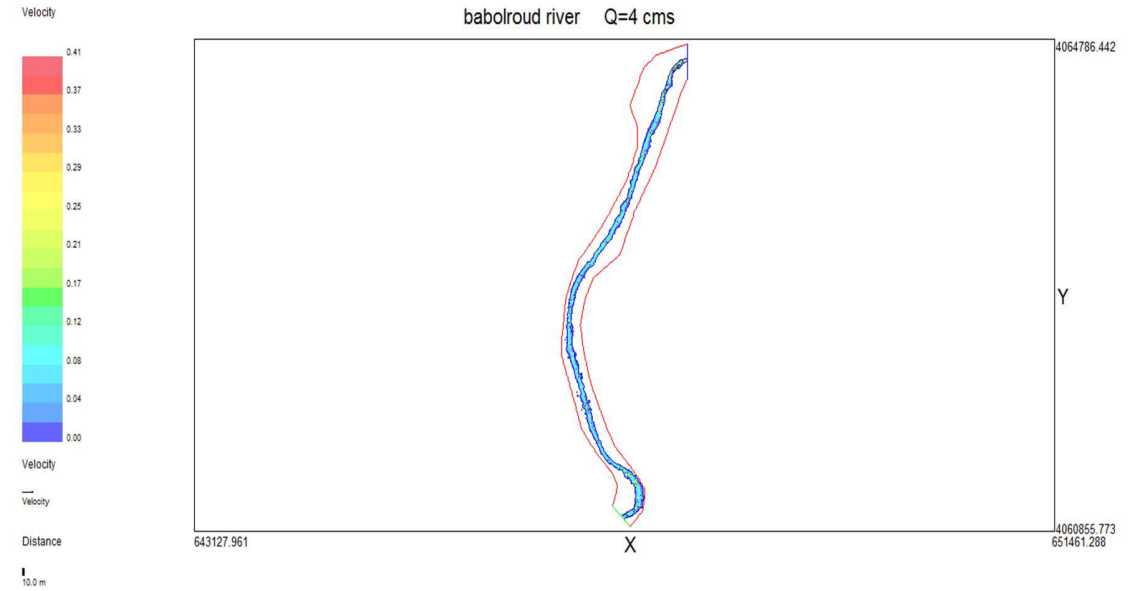

Q=102 cms
ارتفاع (متر)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
1000
2000
3000
4000
فاصله از پایین دست (متر)
bed
ws

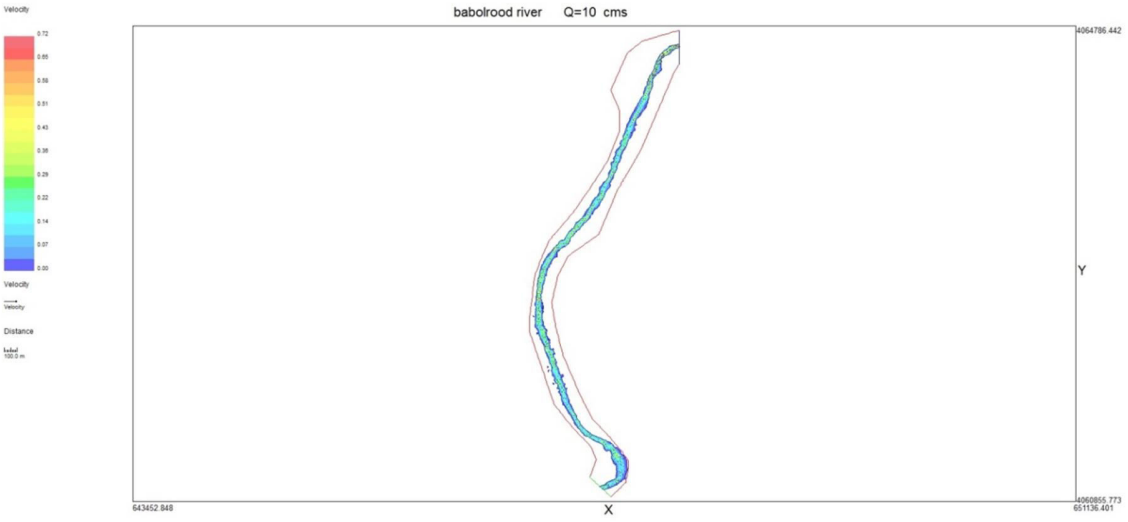

Q=119 cms
ارتفاع (متر)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
1000
2000
3000
4000
فاصله از پایین دست (متر)
bed
ws

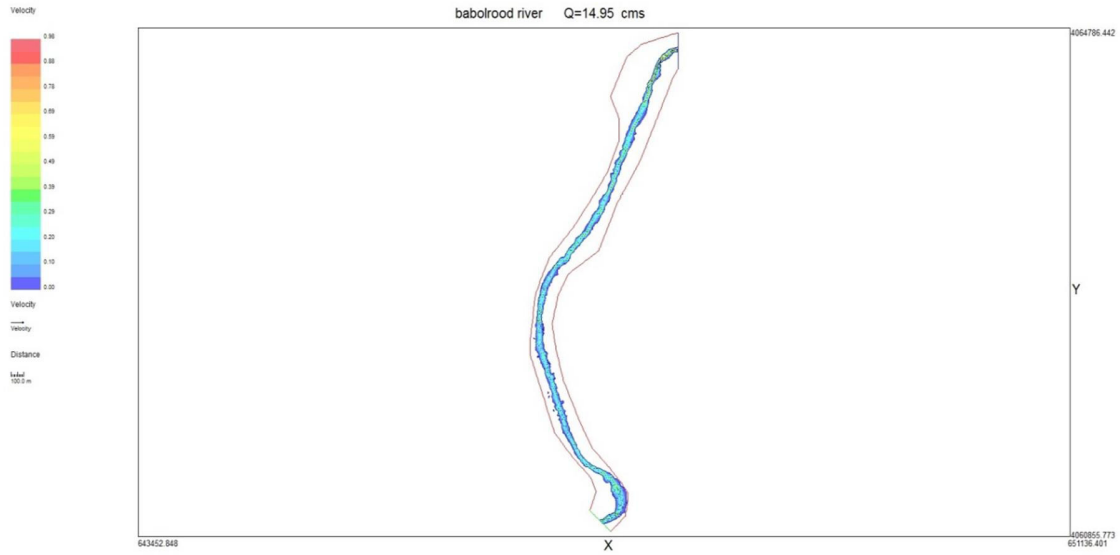

Q=136 cms
ارتفاع (متر)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
1000
2000
3000
4000
فاصله از پایین دست (متر)
bed
ws

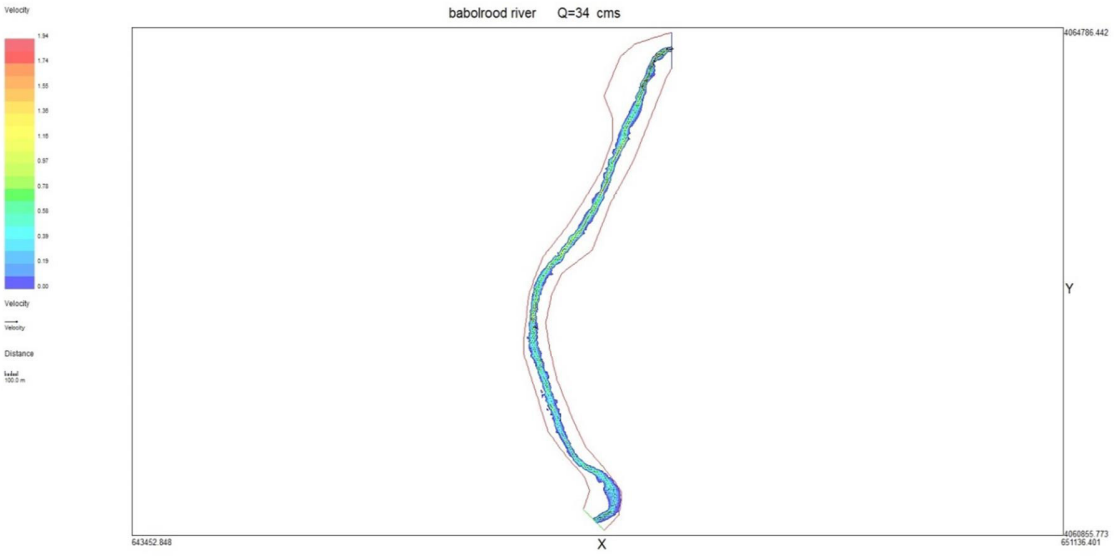

Q=150 cms
ارتفاع (متر)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
1000
2000
3000
4000
فاصله از پایین دست (متر)
bed
ws

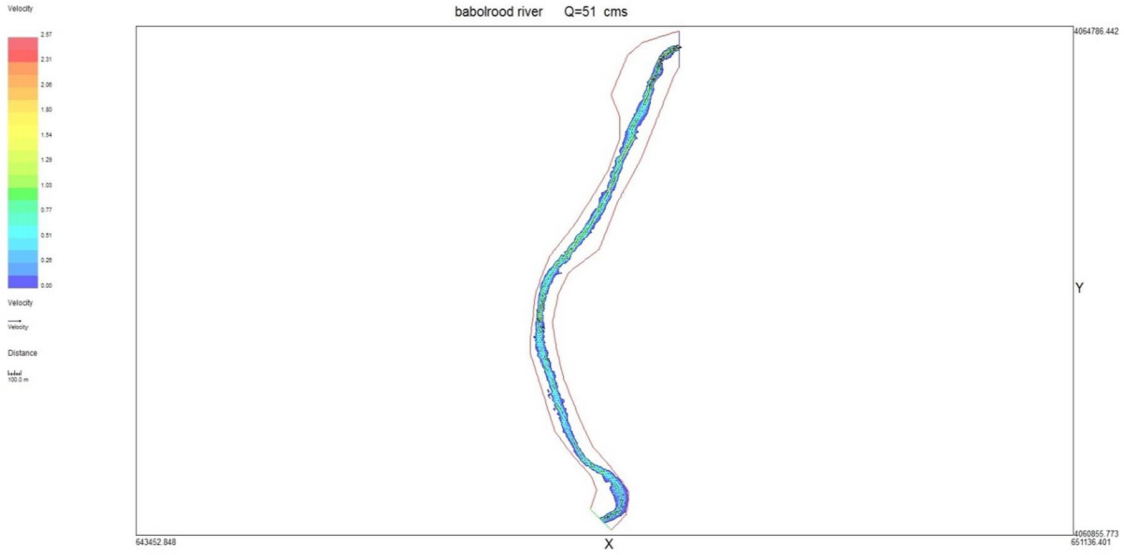
شبیه‌سازی سرعت:

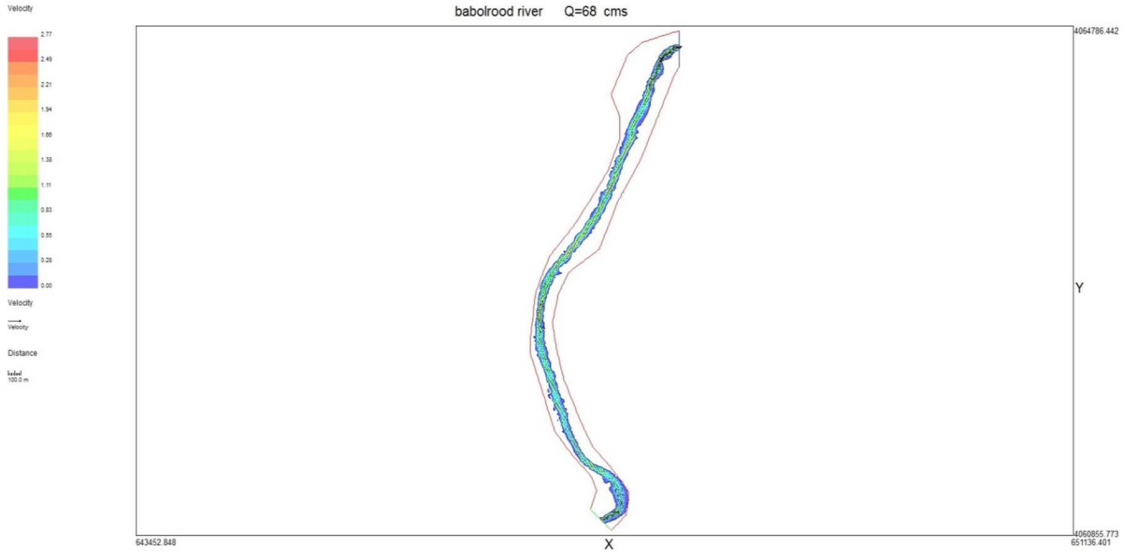


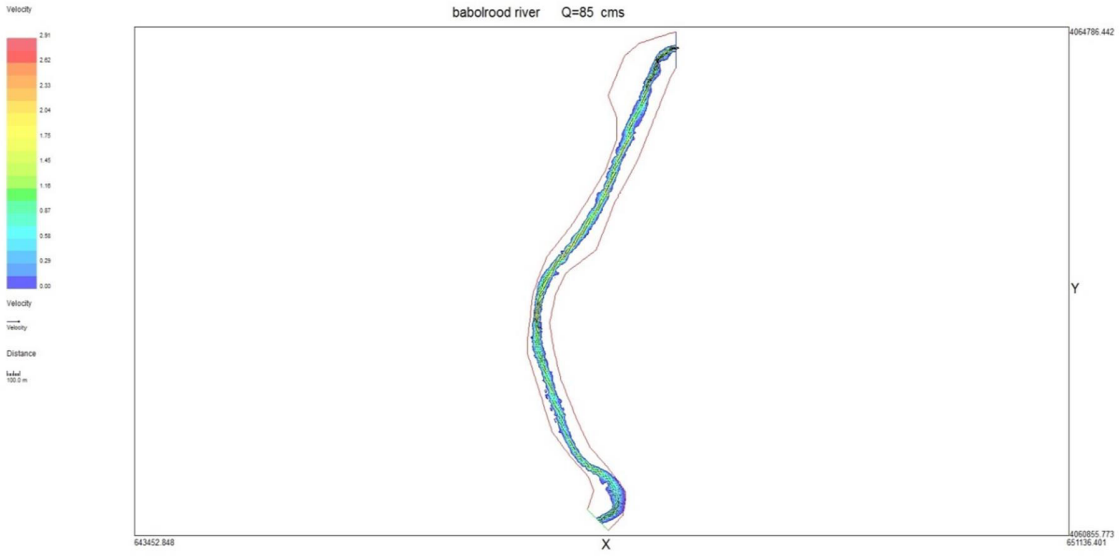


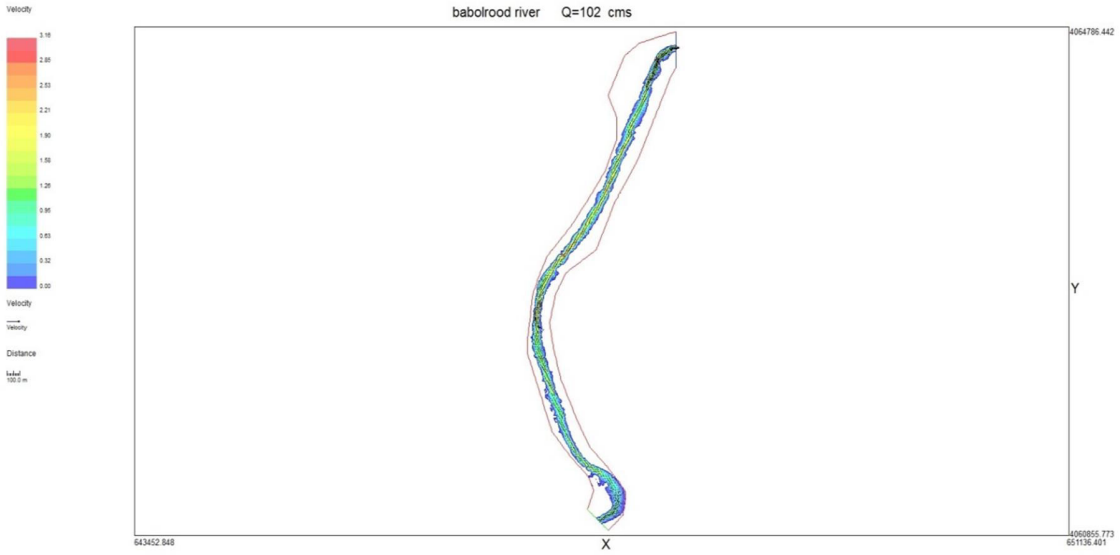

babolrood river Q=14.95 cms
Velocity
0.98
0.88
0.78
0.69
0.59
0.49
0.39
0.29
0.20
0.10
0.00
Velocity
Velocity
Distance
Label
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
643452.848
651136.401
X

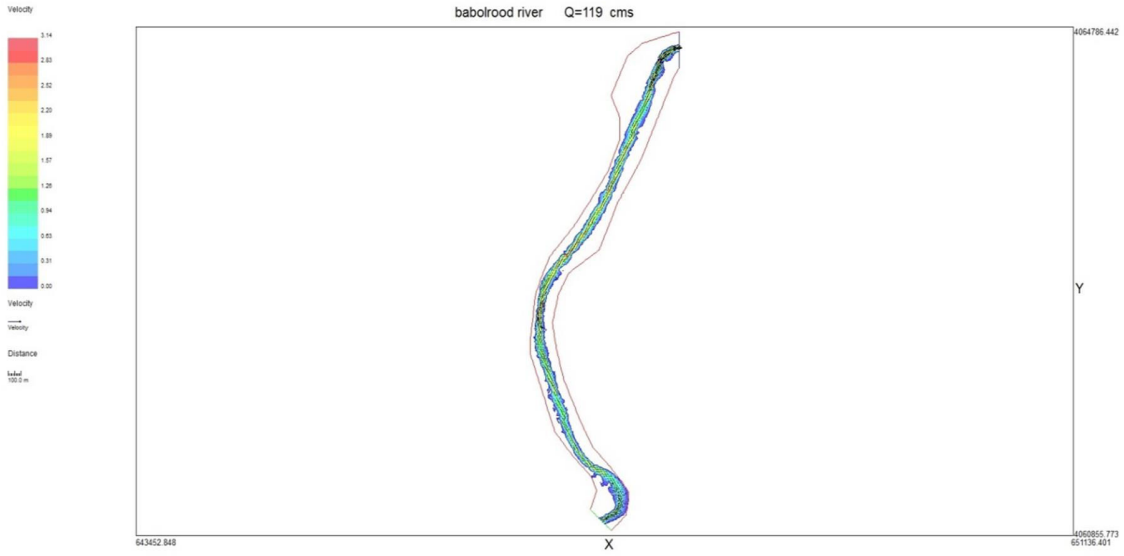

babolrood river Q=34 cms
Velocity
1.94
1.74
1.55
1.36
1.16
0.97
0.78
0.58
0.39
0.19
0.00
Velocity
Velocity
Distance
Label
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
643452.848
651136.401
X

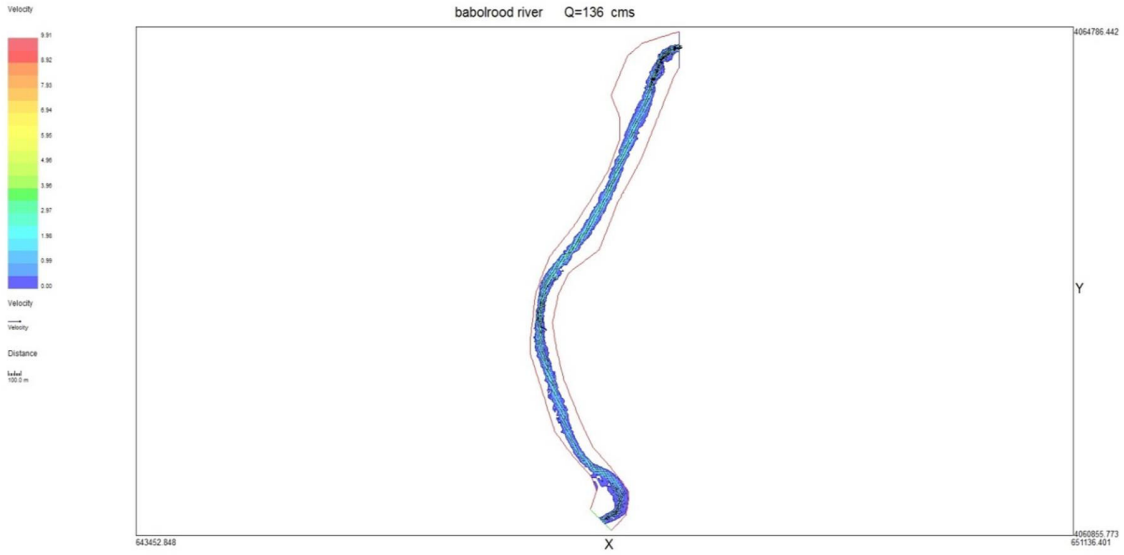

babolrood river Q=51 cms
Velocity
2.57
2.31
2.06
1.80
1.54
1.29
1.03
0.77
0.51
0.26
0.00
Velocity
Velocity
Distance
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
643452.848
X
651136.401

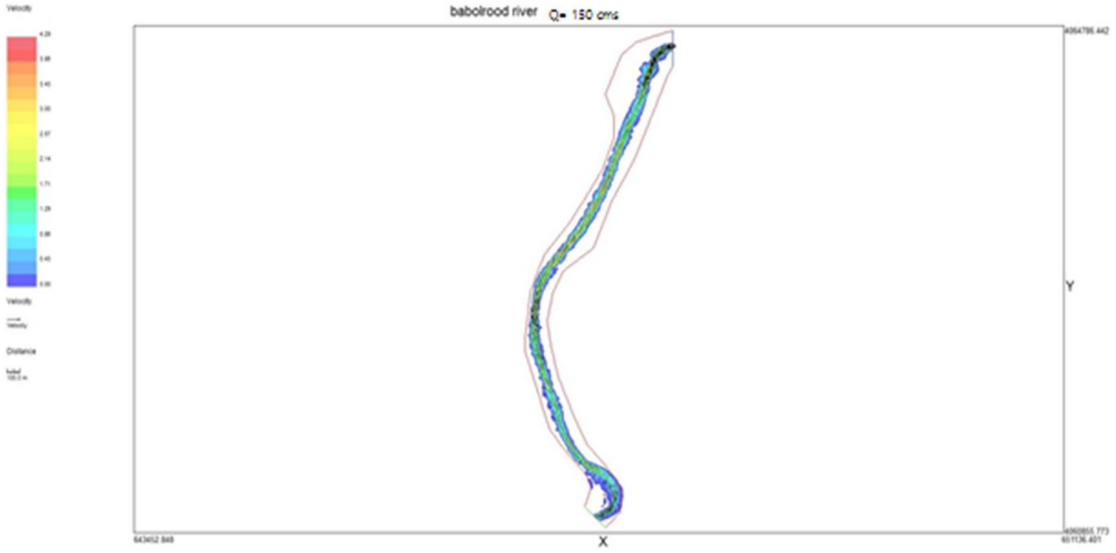

babolrood river Q=68 cms
Velocity
2.77
2.49
2.21
1.94
1.66
1.38
1.11
0.83
0.55
0.28
0.00
Velocity
Velocity
Distance
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
643452.848
X
651136.401


babolrood river Q=85 cms
Velocity
2.91
2.62
2.33
2.04
1.75
1.45
1.16
0.87
0.58
0.29
0.00
Velocity
Velocity
Distance
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
651136.401
643452.848
X


babolrood river Q=102 cms
Velocity
3.16
2.85
2.53
2.21
1.90
1.58
1.26
0.95
0.63
0.32
0.00
Velocity
Velocity
Distance
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
651136.401
643452.848
X


babolrood river Q=119 cms
Velocity
3.14
2.83
2.52
2.20
1.89
1.57
1.26
0.94
0.63
0.31
0.00
Velocity
Velocity
Distance
Label
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
643452.848
X
651136.401


babolrood river Q=136 cms
Velocity
9.91
8.92
7.93
6.94
5.95
4.96
3.96
2.97
1.98
0.99
0.00
Velocity
Velocity
Distance
Label
100.0 m
4064786.442
Y
4060855.773
643452.848
X
651136.401


babolrood river Q= 150 cms
Y
X

Abstract:

Rivers are important as part of our natural and national resources. It is a public duty to present the Protection of rivers and fish for the use of future. but unfortunately, in Iran, due to the lack of proper management of surface water, and lack of legal certainty environmental problems have been encountered with environmental crises. This research investigates one of the most important environmental challenges of rivers, namely, environmental assessment. A case study on Babolroud River was one of the most important rivers in northern Iran. The environmental requirement of this river was estimated by three methods of Tenant, Q95% and habitat simulation method using River2D software for Indicator species (Luciobarbus brachycephalus in migration stage). The results showed that the Tenant method (Montana), is not able to meet the environmental requirements. Considering that in this method daily changes, seasonal or annual, as well as the habitat conditions of the species are not considered, such an estimate, regardless of the ecological conditions, can bring major damage to the environment during the short run. Also Q95% method as a hydrological method that just uses historical data does not consider the environmental requirements of the species species and despite the ability in some fish of the month in critical months, acceptable performance does not have. The habitat simulation method with River2D software provides a reasonable estimation of the monthly environmental liability, depending on the needs of the species, which validates the validity of this method globally. The living organisms of the river have different utility at different stages of their lives, so it is better to define an ecology regime for different fish.

Key words: Environmental flow, Habitat simulation, Tenant method, Q95% method, Weighted Usable Area, Habitat Suitability Index , Ecological regime, River2D

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Water Structures Engineering

Environmental flow requirements assessment in the Babolrud River

By: Maryam Mohammadi

Supervisors:
Dr. Zahra Ganji Noroozi
Dr. Khalil Azhdari

Advisor:
Dr. Roozbeh moazenzadeh

June 2018