

## ضرورت جایگزینی روش منطق فازی به جای روش تک متغیره PHABSIM در تخمین جریان محیط زیستی در رودخانه (مطالعه موردی، رودخانه جاجرود)

مهدی صدیق کیا<sup>۱\*</sup>؛ اصغر عبدلی<sup>۲</sup>؛ شهرزاد کاویانی<sup>۳</sup> و فرشاد نجات<sup>۴</sup>

۱- دکترای سازه های آبی، گروه سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۳- کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آبیاری، دانشگاه تهران

۴- کارشناسی ارشد زیستگاه ها و تنوع زیستی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت ۹۸/۱۰/۰۳- تاریخ پذیرش ۹۸/۱۱/۱۴)

### چکیده:

در چندسال اخیر در منابع علمی استفاده از شبیه سازی فیزیک زیستگاه در رودخانه ها برای محاسبه جریان محیط زیستی مورد توجه قرار گرفته، اما مطالعات انجام شده عمدتاً برپایه روش تک متغیره PHABSIM بوده است. در مقاله حاضر روش منطق فازی در مطالعات شبیه سازی فیزیک زیستگاه مطالعه شده که در سطح جهان در تخمین جریان محیط زیستی مورد توجه کمتری بوده است. در رودخانه جاجرود نتایج دو روش مورد مقایسه قرار گرفته است. در روش منطق فازی به دلیل اینکه اثر ترکیبی پارامتر به طور همزمان بر میزان جمعیت و مطلوبیت در یک زیستگاه در نظر گرفته می شود، بنابراین مطلوبیت زیستگاهی حقیقی موجود در زیستگاه استخراج می شود. مقایسه نتایج محاسباتی با مشاهدات واقعی زیستگاه نیز این موضوع را اثبات می نماید. در صورت استفاده از روش تک متغیره PHABSIM در پروژه های منابع آب، میزان آب قابل برداشت از رودخانه ممکن است به طرز قابل توجهی پایین تخمین زده شود. این مسئله نادرست بوده و باعث ایجاد تعارض منافع برای ذینفعان و حقایق داران می شود. بنابراین به طور اکید توصیه می شود که روش تک متغیره در مطالعات جریان محیط زیستی حذف و با روش منطق فازی جایگزین شود.

**کلید واژگان:** زیستگاه های رودخانه ای، تخمین رژیم جریان محیط زیستی، شبیه سازی فیزیک زیستگاه، رویکرد منطق فازی، مدل ریاضی

CASIMIR

## ۱. مقدمه

جریان محیط زیستی میزان جریانی است که برای حفظ سلامت و پایداری اکولوژیکی اکوسیستم در پهنه آبی مورد نیاز است و می تواند از جنبه های مختلف تعریف شود. یک استراتژی مناسب در تعیین رژیم جریان محیط زیستی براساس مدل سازی های اکولوژیکی است؛ در این رویکرد، متناسب با ویژگی های زیستی و محیطی روش های مناسب برای مدل سازی اکولوژیک رودخانه انتخاب می شود (Sedighki et al., 2015). این نوع رویکرد قطعا با تمرکز بر اکولوژی منطقه و شرایط ارگانیسم یا ارگانیسم های هدف، به تعیین رژیم جریان محیط زیستی می پردازد و نتایج حاصل شده براساس شرایط دینامیک اکولوژیکی محدوده مطالعاتی است. بنابراین مزایای زیادی نسبت به روش های قدیمی هیدرولوژیک و هیدرولیک دارد (Sedighki et al., 2014).

منشا این رویکرد در تعیین رژیم جریان محیط زیستی مربوط به چهار دهه پیش است. در اواخر دهه ۱۹۷۰ سرویس حیات وحش ایالات متحده (FWS)<sup>۱</sup> به کمک آژانس حفاظت محیط زیست آن کشور، گروه مهندسی مدیریت جریان جاری آبراهه های ایالات متحده را تأسیس کرد. مسئولیت اصلی این گروه توسعه روش هایی برای کمی کردن اثرات محیط زیستی در اکوسیستم های رودخانه ای مختلف بود. یکی از نتایج فعالیت های این گروه، توسعه روش افزایشی جریان جاری آبراهه ای<sup>۲</sup> بود، که مدل شبیه سازی فیزیک زیستگاه (PHABSIM) یکی از اجزاء آن است. از طریق این روش آبریان نیز در بین دیگر کاربران آب، به عنوان کاربران قانونی آب معرفی شدند (Stalnaker

et al., 1995; Freeman et al., 2001). برپایه توسعه مدل ریاضی PHABSIM شبیه سازی فیزیک زیستگاه شکل گرفت. مدل PHABSIM از چهار معیار هیدرولیکی که از اندازه گیری های صحرایی محاسبه می شوند و به کیفیت زیستگاه ماهیان مربوط می باشند، استفاده می کند. متغیرهای هیدرولیکی موجود در مدل عبارتند از؛ عمق آب، سرعت جریان و زیرلایه یا مواد بستری. خروجی PHABSIM، منحنی های مساحت قابل استفاده وزنی (WUA) می باشد که دبی جریان را به یک شاخص زیستگاه برای گونه های مختلف ماهیان هدف در مراحل مختلف زندگی مرتبط می کند. پیچیدگی کاربرد این مدل توسعه صحیح منحنی مطلوبیت زیستگاهی با در نظر داشتن تمامی پیچیدگی های اکولوژیکی است (Sedighkia et al., 2014).

از میان این روش ها، روش ضرب، مشهورترین و پرکاربردترین روش است (Ayyoubzadeh et al., 2017) که در مقاله حاضر نیز مورد توجه بوده است. نقطه ضعف اساسی این مدل کاربرد روش تک متغیره برای توسعه منحنی مطلوبیت زیستگاهی است که از روش های قدیمی و با دقت پایین برای توسعه معیارهای کمی اکولوژیک است. عدم قطعیت های موجود در مدل های تک متغیره باعث شد که به کاربرد تفکر منطق فازی در مطالعات شبیه ساز زیستگاه آبریان اندیشیده شود. در منطق فازی بیان وضعیت زیستگاهی با عبارت های کلامی (Verbal) قابل بیان است (Ayyoubzadeh et al., 2017). در مطالعات گذشته بررسی ها براساس مقایسه ی نتایج به دست آمده با زیستگاه های تخم ریزی و مشاهدات واقعی زیستگاه های

تخمین ریزی انجام شده و بر مبنای نتایج حاصله مدل‌های تک متغیره تطابق کمتری را با مشاهدات واقعی زیستگاه‌ها داشته‌اند، که از میان این روش‌ها روش ضرب بدترین پاسخ را خواهد داد. اما نتایج روش منطق فازی تطابق مناسبی را با مشاهدات واقعی نشان می‌دهد (Schneider and Peter, 1999).

در چندسال اخیر در منابع علمی استفاده از شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه در رودخانه‌های ایران مورد توجه قرار گرفته است، و در منابع علمی چندسال اخیر به طور چشمگیری قابل مشاهده است که برای مطالعه جامع این پیشینه به (Ayyoubzadeh *et al.*, 2017) مراجعه نمایید. اما مطالعات انجام شده تماماً برپایه روش تک متغیره PHABSIM بوده است (Naderi *et al.*, 2019; Sedighki *et al.*, 2017) ; (Abdi *et al.*, 2015). این مطالعات نقطه ضعف‌های غیر قابل انکاری در شبیه‌سازی زیستگاه و به تبع آن تخمین جریان محیط زیستی دارد. با توجه به اینکه ویژگی‌های منطقه‌ای در توسعه معیارهای مطلوبیت اکولوژیک اثر مستقیم دارد تا کنون مطالعه‌ای در زمینه کاربرد روش منطقه فازی و حذف و ضرورت‌های جایگزینی روش تک متغیره PHABSIM با این روش در زیستگاه‌های رودخانه‌های حفاظت شده ایران انجام نشده است. در این مطالعه به دلیل اهمیت زیستگاه‌های رودخانه‌های حفاظت شده‌ی کشور، رودخانه‌ی جاجرود، مورد تمرکز قرار گرفته است. به بیان دیگر مقاله حاضر به دنبال اثبات علمی و مستدل ضرورت‌های جایگزینی روش منطق فازی با روش قدیمی تک متغیره است که در سال‌های اخیر در کشور مورد توجه قرار گرفته؛ اما ضعف‌های اکولوژیک و مطالعاتی آن تبیین نشده است. نتایج مطالعه حاضر به طور عملیاتی برای کلیه مطالعات اکولوژیک رودخانه، بخصوص

تخمین رژیم جریان محیط زیستی با روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی اکولوژیک کاربرد دارد. این مطالعه با تمرکز بر یکی از رودخانه‌های مهم حفاظت شده کشور، رودخانه‌ی جاجرود، انجام شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

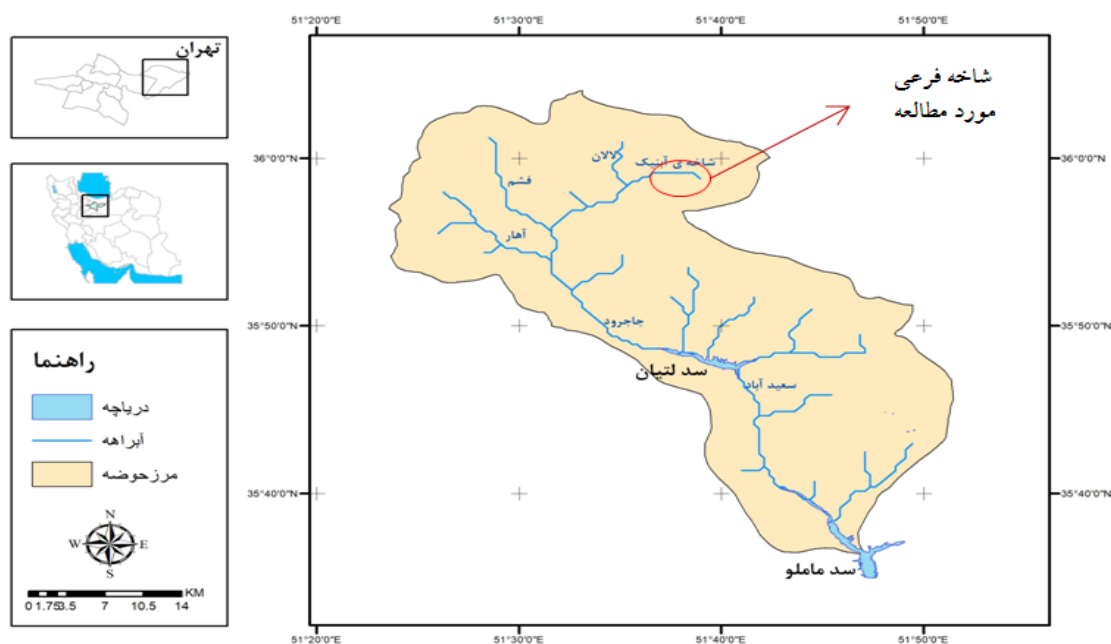
### ۲-۱. معرفی محدوده مطالعاتی و مشخصه‌های

#### زیستگاهی گونه هدف

رودخانه‌ی جاجرود شکل ۱ رودی دائمی در استان تهران بوده که در حوضه آبخیز دریاچه نمک قرار دارد. رودخانه‌ی جاجرود به طول حدود ۱۴۰ کیلومتر از دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز مرکزی سرچشمه گرفته به طرف جنوب غربی جریان می‌یابد و از آنجا به سمت شرق جریان یافته و رودخانه‌های شمشک، آهار، رودک و امامه از شاخه‌های مهم آن است. در طول مسیر خود، با رودخانه‌های دماوند، کن و کرج تلفیق شده و در ارتفاع ۷۹۵ متری به دریاچه نمک می‌ریزد. این رودخانه از رودخانه‌های مهم اکولوژیکی است و زیستگاه آبزیان مختلف به شمار می‌رود. مروری بر مطالعات گذشته نشان می‌دهد که باتوجه به خصوصیات اکولوژیکی و بیولوژیکی آبزیان در سطح کشور، ماهیان از مناسب‌ترین گونه‌های آبزیان برای شبیه سازی زیستگاه‌های رودخانه هستند (Ayyoubzadeh *et al.*, 2017). براساس مطالعات شناسایی ماهیان، ۹ گونه ماهی در رودخانه جاجرود شناسایی شد. در نمونه برداری انجام شده بیشترین تعداد ماهیان، از گونه سگ ماهی جویباری بود. کمترین تعداد گونه ماهیان مربوط به گونه سگ ماهی جویباری تاج دار (صید شده در ایستگاه پایین دست سد) بود. در بالا دست سد لتیان ۴ گونه از ۸ گونه موجود صید شدند. بیشترین گونه‌های ماهی صید شده

زیستگاهی صورت گیرد (Sedighki et al., 2017). استفاده از داده های پارک ملی لار به عنوان زیستگاه بکر برای قزل آلای خال قرمز، بهترین راه حل برای توسعه منحنی های مطلوبیت در حوضه آبخیز جاجرود بود و از این اطلاعات استفاده گردید. منحنی های مطلوبیت تک متغیره ی زیستگاهی گونه ی قزل آلای خال قرمز در زیستگاه پارک ملی لار قبلاً توسعه داده شده است (Sedighki et al., 2017). از این منحنی های در مطالعه حاضر برای مقایسه با روش منطق فازی استفاده شده است. منحنی مطلوبیت توسعه داده شده در مطالعه ی قبلی (Sedighki et al., 2017) در شکل ۲ نمایش داده شده است. در میان کلیه زیستگاه های خال قرمز در رودخانه جاجرود شاخه فرعی آب نیک بهترین محل برای انجام مطالعه-ی حاضر بوده است. بنابراین این شاخه فرعی رودخانه برای انجام مطالعات میدانی انتخاب شد.

مربوط به سایت پایین دست سد بود که در آن ۷ گونه ماهی صید شد و در مناطق بالادست رودخانه (مانند شاخه فرعی آب نیک) گونه خال قرمز حضور داشت. در میان گونه های موجود، تنها گونه ای که قابلیت مطالعات تطبیقی و مقایسه ای اکولوژیک را دارد گونه خال قرمز است. زیرا اطلاعات اکولوژیک موجود و طبقه بندی شده در کشور برای سایر گونه های ماهی به اندازه ای نیست که بتواند برای این نوع مطالعات استفاده شود. بنابراین ماهی قزل آلای خال قرمز به عنوان گونه هدف در مطالعه حاضر انتخاب شد. مطابق با مطالعات قبلی محققان مقاله حاضر توسعه منحنی های معیارهای مطلوبیت زیستگاهی نیاز به زیستگاه بکر دارد (Ayyoubzadeh et al., 2017). به دلیل اینکه رودخانه جاجرود با توجه به حجم آلاینده ها زیستگاه بکر این گونه را ندارد و زیستگاه های موجود دست خورده هستند؛ بنابراین توسعه معیارهای مطلوبیت زیستگاه باید در یک زیستگاه بکر با شرایط مشابه



شکل ۱- نقشه حوضه آبخیز جاجرود و شاخه فرعی مورد مطالعه

## ۲-۲. بین روش منطق فازی در مطالعات شبیه

### سازی فیزیک زیستگاه

مجموعه فازی براساس تابع عضویت تعریف می شود که تصویر مجموعه فراگیر در بازه [صفر و یک] است. هر یک از اعضا، درجه‌ی عضویت دارند. مجموعه فازی از تعمیم و عمومیت دادن تئوری مجموعه‌های کلاسیک ایجاد می شود. در تئوری مجموعه‌های کلاسیک، عضویت اعضا در یک مجموعه، به صورت جملات باینری بر اساس شرط دودویی تعیین می شوند که یک عضو به مجموعه، می تواند تعلق داشته یا نداشته باشد. در تئوری فازی درجات نسبی عضویت اعضا در مجموعه مجاز است. تابع عضویت، تابعی است از تصویر مجموعه کلی به  $\bar{U}$  نسبت به بازه بسته  $[0, 1]$ . مجموعه فازی  $A$  با تابع عضویت  $\mu_A$  در  $U$  تعریف شده است. عددی که تابع به هر عضو ارزش‌دهی می نماید درجه عضویت آن عضو در آن مجموعه را مشخص می سازد. اگر درجه‌ی عضویت یک عنصر از مجموعه برابر با صفر باشد آن عضو کاملاً از مجموعه خارج است و اگر درجه‌ی عضویت یک عضو برابر با یک باشد، آن عضو کاملاً در مجموعه قرار دارد و می توان نتیجه گرفت مجموعه کلاسیک، یک حالت مجموعه فازی، یعنی زیرمجموعه-ای از مجموعه فازی است. حال اگر درجه عضویت یک عضو مابین صفر و یک باشد این عدد بیانگر درجه عضویت تدریجی می باشد (Schneider and Peter, 1999).

اولین گام در روش منطق فازی، فازی سازی متغیرهای فیزیک زیستگاه است. برای این کار به مجموعه‌ای از داده های میدانی، مشاهداتی واقعی و تیمی خبره از بیولوژیست ها و اکولوژیست های مسلط به گونه های مورد مطالعه و شرایط منطقه ای مورد نیاز است. فرایند فازی سازی معمولاً متغیر را در سه کلاس Low،

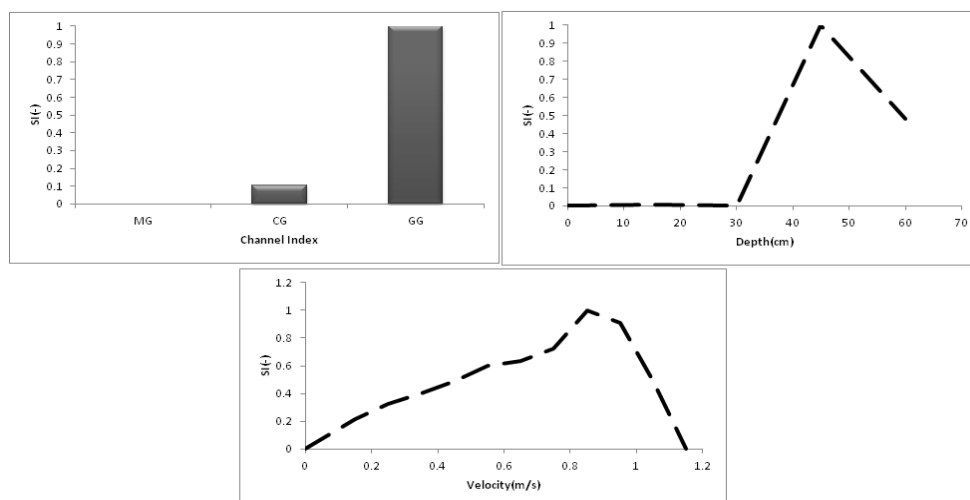
Medium و High تعریف می کند و درجه عضویت هر مقدار در یک کلاس بین صفر تا یک تعریف می شود. صفر به عنوان عدم تعریف آن مقدار در کلاس مربوطه و یک به معنی تعلق کامل آن مقدار به آن کلاس تلقی می شود. به بیان دیگر سه کلاس تعریف شده، می تواند بیانگر درک واقعی آبی از محیط باشد. برای مثال یک ماهی ممکن است تفاوت بین عمق ۲۰ سانتیمتر و ۲۱ سانتیمتر را در فعالیت بیولوژیک درک نکند. قوانین فازی فیزیک زیستگاه بر پایه IF-THEN تعریف می شود یا به بیان فارسی؛ بر فرض اگر میزان عمق در کلاس متوسط، سرعت در کلاس بالا و بستر در کلاس کم باشد، آنگاه مطلوبیت زیستگاه کم است. مدل ریاضی CASIMIR برای شبیه سازی زیستگاه با رویکرد منطق فازی در کشور آلمان توسعه داده شده است. در این مدل بر پایه توسعه قوانین فازی توسط اکولوژیست ها این قوانین قابل ورود به مدل هستند. همچنین مدول شبیه سازی هیدرولیکی این مدل، مشابه با مدول شبیه سازی هیدرولیک در PHABSIM می باشد. اطلاعات هیدرولیکی قابل ورود از نتایج مدل هیدرولیکی HEC-RAS نیز می باشد. پس از ورود اطلاعات، این مدل با توجه به الگوی محاسباتی شکل ۳ که برای نمونه در حالت وجود دو قانون فازی نمایش داده شده، به محاسبه شاخص مطلوبیت زیستگاهی در حالت ترکیبی می پردازد (Schneider and Peter, 1999).

## ۲-۳. مطالعات میدانی

بخش اول مطالعات میدانی اختصاص به نقشه برداری از مقاطع رودخانه دارد. در این مطالعه با استفاده از دوربین نقشه برداری نقاط مختلف در رودخانه در محدوده سیلاب دشت و کانال اصلی برداشت شده است. پس از آنالیز داده ها با نرم افزار Civil3D، مقاطع نهایی

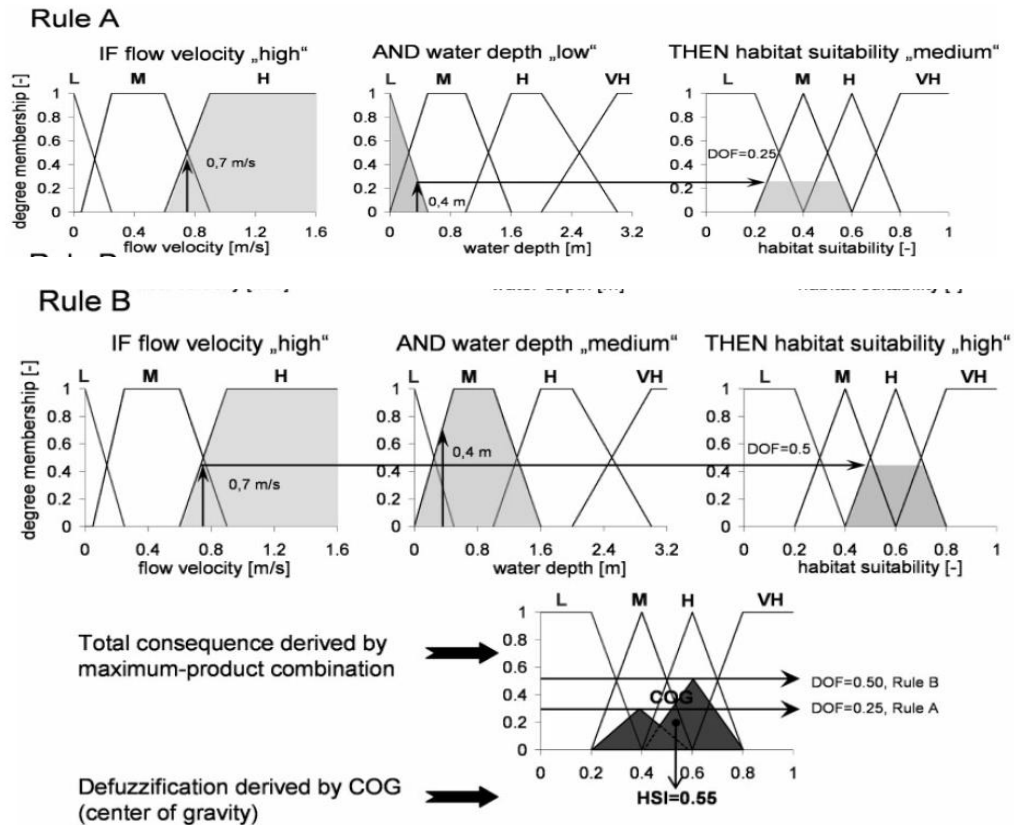
شده رودخانه استخراج شد. نقاط برداشت مقطع باید طوری انتخاب شود که شکل هیدرولیکی مقطع با دقت مناسب استخراج گردد. این امر نیاز به دیدگاه مهندسی قوی در زمینه شناخت سیلاب دشت و کانال اصلی رودخانه دارد. پارامترهای هیدرولیکی جریان که در مطالعات اکولوژیکی برداشت می‌گردد، شامل عمق، سرعت، اندازه بستر، عرض رودخانه و دبی جریان می‌باشد. بسته به نوع مطالعات می‌توان از تجهیزات مختلفی استفاده کرد. عمق را عمدتاً می‌توان با اشل دستی و یا متر لیزری برداشت کرد. که در اکثر رودخانه‌هایی که دارای عمق جریانات محدود هستند، از اشل‌های مدرج استفاده می‌شود. عمدتاً در مطالعات اکولوژیکی برای بررسی سرعت از دستگاه مولینه استفاده می‌شود. در این دستگاه تعداد پالس برحسب مقدار زمان تعیین شده ثبت می‌گردد و با توجه به رابطه‌ای که در دستورالعمل دستگاه ارائه شده است، می‌توان سرعت را تعیین کرد. سرعت جریان معمولاً بر حسب متر بر ثانیه استخراج می‌شود. استخراج سرعت متوسط در یک نقطه با استفاده از سه روش امکان‌پذیر است. در نقاطی که دارای عمق کمتر از ۷۰ cm باشد، استفاده از روش تک نقطه و برداشت سرعت در ۶۰٪

پایین‌تر از سطح آب توصیه می‌شود. در عمق‌های بیش از ۷۰ cm از روش‌های دو نقطه، سه نقطه و یا پنج نقطه می‌توان استفاده کرد. که روش دو نقطه دارای دقت مناسب است و زمان کمتری را می‌برد. در این روش سرعت در عمق‌های ۰/۲d و ۰/۸d از سطح آب برداشت شده و میانگین‌گیری می‌شوند. برای تعیین بستر یک کواترات  $40 \times 40 \text{ cm}$  تهیه و با گرفتن عکس طبق جدول ارائه شده در راهنمای نرم افزار شبیه سازی فیزیک زیستگاه (PHABSIM) به تعیین محدوده اندازه ذرات پرداخته می‌شود. برای اندازه گیری دبی نیز از روش تقسیم‌بندی مقطع استفاده می‌شود، که شرح تفصیلی آن در منابع پایه هیدرولیکی ارائه شده است. نمونه برداری از ماهیان با روش‌های مختلف شامل الکتروشوکر، غواصی، مشاهده مستقیم، ویدئو تلمتری و ... امکان‌پذیر است، که هر یک دارای شرح مفصل بوده که در منابعی مانند Bovee (۱۹۸۶) به این موضوع پرداخته شده است. در این مطالعه از روش شوک لحظه‌ای برقی استفاده شد که دارای مزیت‌های زیادی است و با توجه به امکانات موجود در کشور بهترین روش برای برداشت نمونه از ماهیان رودخانه‌های زیستگاه ماهیان سردآبی است.



شکل ۲- منحنی‌های مطلوبیت تک متغیره برای گروه سنی بالغ خال قرمز در مطالعه گذشته در پارک ملی لار (Sedighki et al., 2017)

ضرورت جایگزینی روش منطق فازی به جای روش تک متغیره...

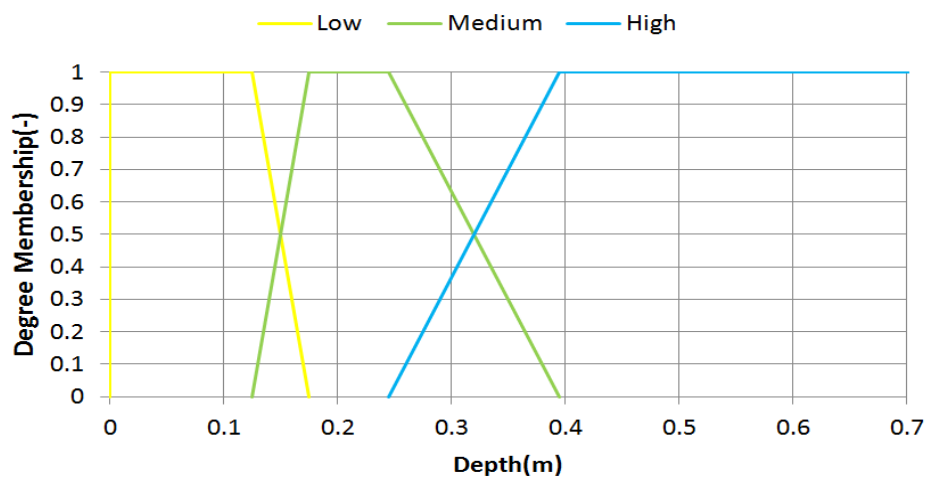


شکل ۳- استخراج شاخص مطلوبیت زیستگاهی در مدل منطق فازی فیزیک زیستگاه (Maddock et al., 2013)

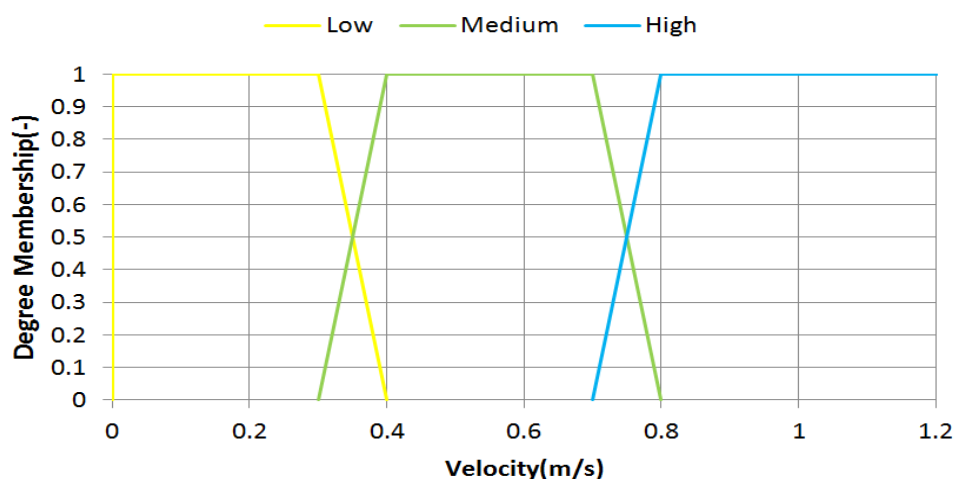
### ۳. نتایج

خبره تیم مطالعاتی منحنی‌های درجه عضویت و همچنین منحنی درجه تحقق مطلوبیت زیستگاهی گروه سنی بالغ خال قرمز تعریف شد، که در ادامه نمایش داده شده است (شکل ۴-۶).

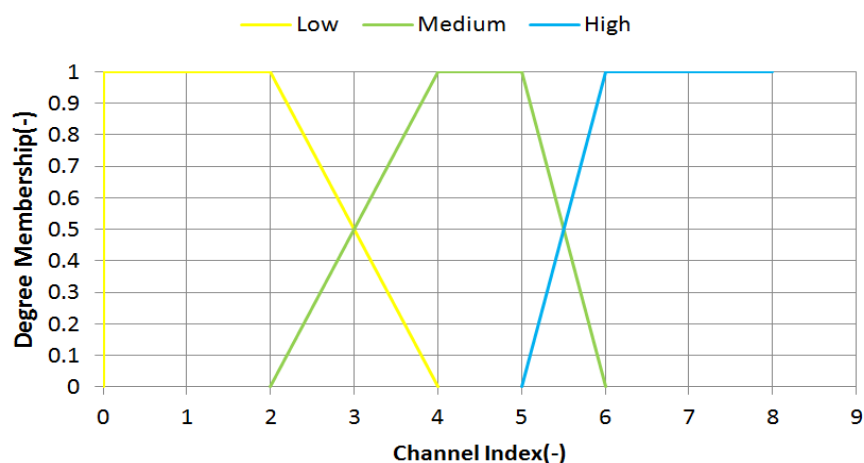
براساس محدوده‌های مشاهده شده در مطالعات میدانی و با توجه به قضاوت‌های کارشناسی اکولوژیست



شکل ۴- منحنی درجه عضویت عمق جریان- ماهی خال قرمز بالغ



شکل ۵- منحنی درجه عضویت سرعت جریان- ماهی خال قرمز بالغ



شکل ۶- منحنی درجه عضویت شاخص کانال- ماهی خال قرمز بالغ

برای تعریف دقیق منحنی درجه عضویت بستر از تعین شود. جدول ۱ به عنوان یک معیار عمومی برای شاخص کانال که در تحقیقات مختلف به آن اشار شده است، استفاده می‌شود تا محدوده‌ها به طور دقیق

جدول ۱- تعریف شاخص کانال

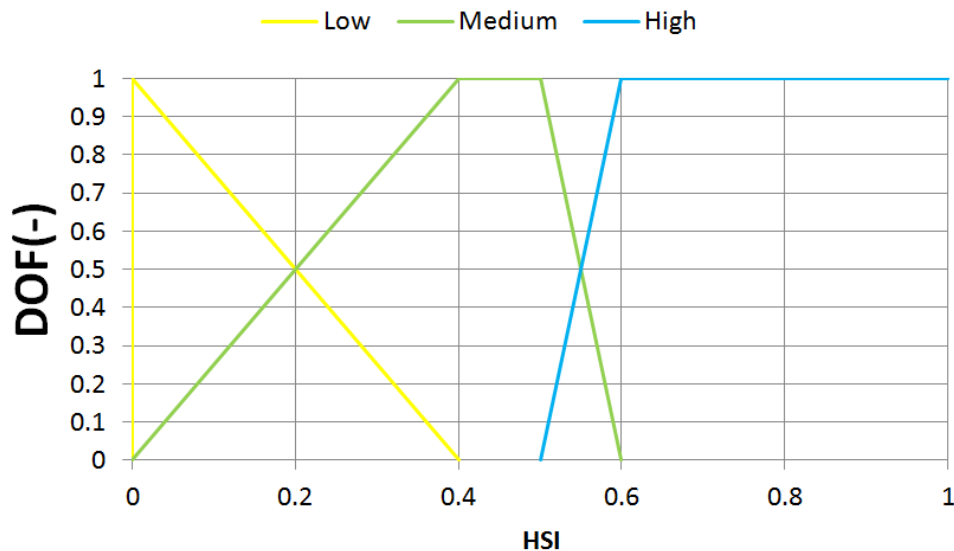
نوع ذرات بستر	ارزش عددی شاخص کانال
مواد ارگانیک یا گیاهان	۱
رس نرم	۲
لای	۳
ماسه	۴
شن	۵
قلوه سنگ	۶
لاشه سنگ	۷
تخته سنگ	۸



### ضرورت جایگزینی روش منطق فازی به جای روش تک متغیره...

شاخص مطلوبیت کمتر از ۰/۴ به عنوان مطلوبیت پایین و شاخص مطلوبیت بیش از ۰/۶ به عنوان محدوده کاملاً مطلوب در نظر گرفته می‌شود، اما به دلیل اینکه کلاس متوسط مطلوبیت به صورت کاملاً

ترکیبی با کلاس پایین باید تعریف شود منحنی درجه تحقق مطلوبیت زیستگاهی به صورت ارائه شده در شکل ۷ می‌باشد.



شکل ۷- منحنی درجه تحقق تابع مطلوبیت فیزیکی زیستگاه

برای توسعه قوانین فازی اطلاعات بدست آمده از مطالعات میدانی، که در کلاس کاملاً فریز شده قرار داشتند (کلاس مطلقاً کم، متوسط و یا بالا بدون اشتراک مجموعه فازی)؛ در هر نقطه برداشت، براساس میزان جمعیت مشاهده شده و شاخص انتخاب زیستگاهی ژاکوب مشخص شد. در شرایط ترکیبی

عمق، سرعت و بستر به صورت ادغام شده این سوال پرسیده می‌شود که آیا کلاس مطلوبیت زیستگاهی در شرایط کم، متوسط یا بالا قرار دارد و در نهایت از نتایج حاصل شده قوانین منطق فازی مطابق با جدول ۳ استخراج شد.

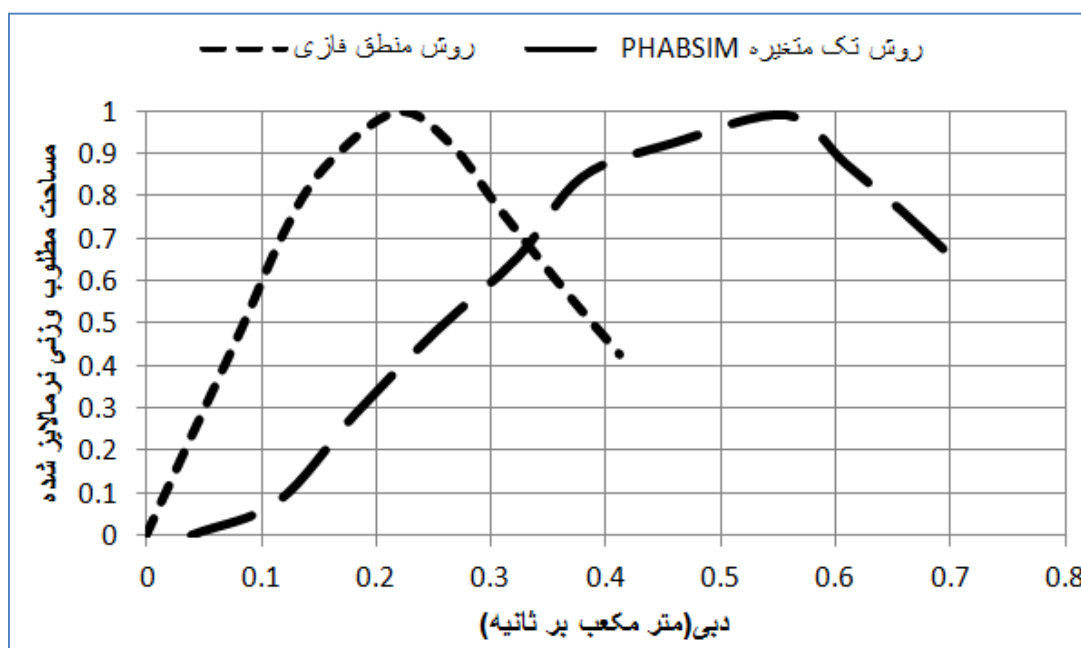
جدول ۳- قواعد منطق فازی مطلوبیت فیزیکی زیستگاه خال قرمز

کد قانون	عمق	سرعت	بستر	مطلوبیت زیستگاه
BR1	M	L	M	M
BR2	H	L	M	M
BR3	L	L	M	L
BR4	H	M	H	H
BR5	L	M	H	H
BR6	M	M	H	H
BR7	H	H	L	L
BR8	M	H	L	L
BR9	L	H	L	L
BR10	M	M	M	M
BR11	L	M	M	M
BR12	H	M	M	M

ادامه جدول ۳- قواعد منطق فازی مطلوبیت فیزیک زیستگاه خال قرمز

L	M	H	M	BR13
L	M	H	L	BR14
L	M	H	H	BR15
L	L	L	L	BR16
L	L	L	M	BR17
M	L	L	H	BR18
M	H	L	L	BR19
M	H	L	M	BR20
H	H	L	H	BR21
H	L	M	M	BR22
H	L	M	H	BR23
M	L	M	L	BR24
L	H	H	L	BR25
L	H	H	M	BR26
L	H	H	H	BR27

براساس نتایج شبیه سازی زیستگاهی با هر دو رویکرد  
وزنی که خروجی نهایی مطالعات شبیه سازی زیستگاه  
منطق فازی و تک متغیره منحنی مساحت مطلوب  
است در ادامه شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸- مقایسه نتایج حاصل شده از شبیه سازی فیزیک زیستگاه با روش منطق فازی و تک متغیره PHABSIM

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

براساس نتایج حاصل شده در شکل ۸ می توان تحلیل مهمی بر نتایج حاصل شده از دو روش ارائه داد. در روش تک متغیره نقطه اوج منحنی در دبی حدود ۵۵۰ لیتر بر ثانیه حادث شده است. تا قبل از این نقطه، میزان مساحت مطلوب وزنی به طور تدریجی افزوده شده که حاکی از این موضوع است که در دبی برابر ۵۵۰ لیتر در ثانیه حداکثر مطلوبیت فیزیک زیستگاه حاصل می شود و تنظیم دبی جریان محیط زیستی باید تغییرات میزان مطلوبیت فیزیک زیستگاه در اطراف این نقطه اوج منحنی صورت گیرد (Sedighki et al., 2017; Naderi et al., 2019).

در شرایط استفاده از روش منطق فازی در دبی حدود ۲۲۰ لیتر در ثانیه نقطه اوج مساحت مطلوب وزنی حاصل می شود و تغییرات مساحت مطلوب تا رسیدن به این نقطه در بازوی بالارونده منحنی با شیب تندی اتفاق می افتد. پس از آن کاهش میزان مطلوبیت وزنی مشابه روش تک متغیره اما در دامنه دبی کمتر مشاهده می شود (Abdi et al., 2015).

تحلیل اکولوژیک نتایج حاصل از این دو روش تاثیر بسزایی در مطالعات آینده جریان محیط زیستی در سطح کشور دارد (Ayyoubzadeh et al., 2017). باید توجه داشت که در روش تک متغیره به دلیل اینکه در هر متغیر به صورت جداگانه میزان مطلوبیت محاسبه شده با روش ضرب با هم ترکیب می شود، بنابراین عدم مطلوبیت یک پارامتر تاثیر بسزایی در سایر پارامترها و نتیجه نهایی خواهد داشت. به همین دلیل و با توجه به اینکه مطابق با منحنی های تک متغیره مطلوبیت حاصل شده در مطالعات، در سرعت های نسبتا بالا مطلوبیت مشاهده شده است و در نتیجه در دبی های کمتر که سرعت به مراتب کمتر است میزان مساحت مطلوب وزنی افزوده نمی شود و آهنگ تغییرات میزان مساحت مطلوب وزنی کند می باشد (Sedighki et al., 2017). اما در روش منطق فازی به دلیل اینکه اثر ترکیبی پارامتر به طور همزمان بر میزان جمعیت و مطلوبیت در یک زیستگاه در نظر گرفته می شود،

بنابراین مطلوبیت زیستگاهی حقیقی موجود در زیستگاه استخراج می شود. به بیان دیگر باید توجه داشت که طبیعت مانند شرایط ایجاد شده در منطق فازی است و ماهی براساس مجموعه ای از شرایط زیستگاه خود را انتخاب می نماید. بنابراین دیدگاه تک متغیره در شبیه سازی مطلوبیت زیستگاهی غلط بوده و به طور قابل توجهی میزان جریان محیط زیستی را بالا تخمین می زند (Schneider and Peter, 1999; Sedighki et al., 2017).

براساس برآورد دبی سالانه شاخه فرعی آب نیک برپایه روش بالانس جرمی که شرح آن در (Ayyoubzadeh et al., 2017) آمده است، کل آبدهی سالانه بازه مطالعاتی برابر ۲۲ میلیون متر مکعب است که روش تک متغیره میزان جریان زیست محیطی سالانه را در حدود ۱۷ میلیون متر مکعب تخمین می زند در حالیکه روش فازی جریان زیست محیطی را برابر حدود ۷ میلیون متر مکعب تخمین می زند به همین دلیل در صورت استفاده از روش تک متغیره در مطالعات رودخانه ممکن است میزان آب قابل برداشت از رودخانه به طرز قابل توجهی پایین تخمین زده شود، که قطعا صحیح نبوده و باعث ایجاد تعارض منافع برای ذینفعان و حقایق داران می شود. بنابراین به طور اکید توصیه می شود که روش تک متغیره در مطالعات جریان محیط زیستی (روش مدل سازی اکولوژیک) حذف و با روش منطق فازی جایگزین شود. به منظور مقایسه نتایج حاصله با مشاهدات عملی جمعیت ماهی در زیستگاه و جمعیت مشاهده شده در مقطعی که حداکثر جمعیت ماهی خال قرمز وجود داشته (با تبدیل به مساحت مطلوب وزنی معادل با نتایج حاصل شده) مقایسه شد. شبیه سازی از دو روش برای مقطع مورد مطالعه صورت گرفت (شکل ۹). بر طبق این شکل مشاهده می شود که روش منطق فازی نسبت به روش تک متغیره به طور قابل توجهی به نتایج مشاهدات میدانی نزدیک تر بوده و بنابراین این روش مطابقت بیشتری با شرایط اکولوژیک ماهیان در طبیعت دارد (Schneider and Peter, 1999).

منابع ممکن است میزان آب قابل برداشت از رودخانه را به طرز قابل توجهی بالا تخمین بزند که قطعاً صحیح نبوده و باعث ایجاد تعارض منافع برای ذینفعان و حقایق داران می‌باشد. بنابراین به طور اکید توصیه می‌شود که روش تک متغیره در مطالعات جریان محیط زیستی با روش مدل‌سازی اکولوژیک حذف و با روش منطق فازی جایگزین شود.

### تقدیر و تشکر

در اینجا برخورد لازم می‌دانیم از زحمات کلیه کارشناسان سازمان محیط زیست بخصوص آقای مهندس احمدی معاون محیط طبیعی اداره کل محیط زیست استان تهران به دلیل زحمات فراوان جهت انجام هماهنگی‌های لازم برای انجام مراحل مطالعاتی میدانی تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

نتایج مطالعه حاضر به طور عملیاتی برای کلیه مطالعات اکولوژیک رودخانه بخصوص تخمین رژیم جریان محیط زیستی با روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی اکولوژیک کاربرد دارد. این مطالعه با تمرکز بر یکی از رودخانه‌های مهم حفاظت شده کشور انجام شده است. در این مقاله با استفاده از این مدل ریاضی در یکی از شاخه‌های فرعی رودخانه جاجرود به مقایسه دو روش در شبیه سازی زیستگاه پرداخته شد. براساس نتایج در روش منطق فازی به دلیل اینکه اثر ترکیبی پارامتر به طور همزمان بر میزان جمعیت و مطلوبیت در یک زیستگاه در نظر گرفته می‌شود بنابراین مطلوبیت زیستگاهی حقیقی موجود در زیستگاه استخراج می‌شود که مقایسه نتایج محاسباتی با مشاهدات واقعی زیستگاه نیز این موضوع را اثبات می‌نماید. در صورت استفاده از روش تک متغیره PHABSIM در پروژه‌های

### References

- Abdi, R., Yasi, M., Sedghi, H., 2015. Evaluation of ecologic-hydraulic-hydrologic methods of environmental flow assessment. Water and wastewater journal. (2) 26, 71-81. (Persian In)
- Ayyoubzadeh, S.A., Sedighkia, M., Hajiesmaeli, M., 2017. Ecohydraulics and simulation of river habitats. University Press, Tarbiat Modares University, 288 p. (In Persian)
- Bovee, K.D., 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology (No. FWS/OBS-86/7). USDI Fish and Wildlife Service.
- Freeman, M.C., Bowen, Z.H., Bovee, K.D. and Irwin, E.R., 2001. Flow and habitat effects on juvenile fish abundance in natural and altered flow regimes. Ecological Applications, 11(1), pp.179-190.
- Maddock, I., Harby, A., Kemp, P. and Wood, P.J., 2013. Ecohydraulics: an integrated approach. John Wiley & Sons.

- Naderi, M.H., Zakerinia, A., Salarjazi, M., 2019. Investigation on ecohydraulic indices in analysis of environmental flow regime and physical habitat simulation using RIVER2D with focusing on restoration of Zaringol River. Iranian ecohydrology journal., (1) 6, 205-222. (Persian In)

- Schneider, M. and Peter, A., 1999, July. Okostrom: field study and use of the simulation model CASIMIR for determination of fish habitat in River Brenno. In Proceedings of the 3rd International Symposium on Ecohydraulics, Salt Lake City, Utah.

- Sedighkia, M., Ayyoubzadeh, M., Hajiesmaeli, M., 2015. Investigation of necessities river environmental flow using hydroecological method. Iranian ecohydrology journal., (3) 2, 125-131. In (Persian)

- Sedighkia, M., Abdoli, A., Ahmadi, A., Gholizadeh, M., 2017. Development of environmental flow assessment method in southern Caspian Sea basin. Environmental studies, (3) 43, 543-560.

Sedighkia, M., Ayyoubzadeh, S.A. and Hajiesmaeili, M. (2014). Environmental Challenges and Uncertainties of Hydrological and Hydraulic Approaches for Environmental Flow Assessment in Streams of Iran. The 4th International Conference on Environmental Challenges and Dendrochronology, Sari, Iran.

Stalnaker, C., Lamb, B.L., Henriksen, J., Bovee, K. and Bartholow, J., 1995. The Instream flow incremental methodology: a primer for IFIM. National Biological Service Fort Collins Co Midcontinent Ecological Science Center