

Original Article



Simulation of the Habitat-Suitability Area for Simuliid Larvae in the PHABSIM Model (Cheshme-Kileh River)

Received: 2024.08.06

Accepted: 2024.09.30

Rezvan Mousavi-Nadushan,^{1*}  Mohammad Reza Majdzade-Tabatabai,²
Abdolreza Sheikhbahaie²

¹ Department of
Environment and Marine
Science, Faculty of Marine
Science and Technology,
North Tehran College,
Islamic Azad University,
Tehran, Iran

² Department of Water
Engineering, Power and
Water Institute of
Technology, Shahid
Beheshti University,
Tehran, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The distribution pattern of simuliids, like other aquatic animals and especially benthic invertebrates, is affected by the surrounding environment and the fluctuations of ecohydraulic variables. These Dipterans are common benthic organisms in running waters, and they show significant reactions in response to disparities in the physical habitat and hydraulic variations.

Materials and Methods: In this research, through PHABSIM simulation system, favorable biological conditions (HSC), and by using HABTAM module, and the percentage of favorable and settleable habitats (WUA) for this group of macrobenthos was analyzed. This research was carried out during 8 surveys (from the beginning of June 2022 to September 2023) in 4 study stations, by measuring 3 hydraulic variables and collecting Simuliid larvae/pupae in Cheshme-Kileh River.

Results and Discussion: A total of 4380 Simuliid larvae and pupae were examined. It is noteworthy that the maximum abundance of Simuliid larvae was recorded at the research center station located upstream (station 1) and the minimum abundance was recorded at the downstream deltaic station (station 4) of Cheshme-Kileh River. The habitat suitability curves (HSC) also showed a significant influence of the larvae of the Simuliid family on the hydromorphological conditions of the habitat in the Cheshme Kileh River, and the optimal habitat ranges for the population of Simuliid larvae in the flow velocity of 0.8-1 m/s, depth 0.2 m and the substrate structure index (Channel Index) was evaluated as 50. The pattern obtained in HABTAM clearly shows that Simuliid species prefer medium depths of about 0.15 to 0.9 and occupy the most WUA at these depths, at this depth range the maximum WUA% remained constant and the habitat conditions remained favorable for the larvae of this family. On the other hand, the highest value of WUA against dimensionless speed (V/V_{max}) was determined to be around 0.4 to 0.5 and the suitable habitat area reached 22%. Also, the percentage of suitable habitat area in the speed ranges of 0.5 to 1.1 m/s remained constant at 18-22%. This suggests that Simuliid larvae prefer moderate flow conditions, which may provide optimal feeding and respiration conditions. In relation with the grain size and bed structure in Cheshme Kileh River, the percentage of suitable/usable habitat (WUA) showed an increase with the increase of D_{50} . Also, in the middle ranges of the bed particles, the area of suitable habitat (WUA) remained in the range of 18-18.5%. And finally, at $D_{50}/(D_{50max} \approx 1)$, a significant increase up to about 21.5% in the appropriate habitat space was observed for the simuliid larvae. This trend indicates that the largest relative sizes of substrate materials provide the most suitable habitat conditions for attachment and settlement of simuliid larvae. Also, in accordance with the patterns of WUA changes, the abundance distribution of simuliid larvae also showed a significant decrease by reaching the river delta and by reducing the size of the bed particles.

Conclusion: Finally, the results of this research exhibited that by simulating and identifying the preferred habitats by macrobenthos, especially the sensitive groups to hydraulic discharge variables, including the larvae of the Simuliidae, it is possible to control the resource exploitation projects and direct the rehabilitation projects in such a way that constraints and advantages of the habitat should be considered and the components of the flow should be controlled in such a way that suitable habitats for simuliids or other macrobenthos and finally fish communities are preserved.

Keywords: Riverine ecosystem, Simulation, Habitat suitability curve, usable area, Simuliidae.

How to cite this article:

Mousavi-Nadushan, R.,
Majdzade-Tabatabai, M.R.
and Sheikhbahaie, A., 2025.
Simulation of the Habitat-
Suitability Area for Simuliid
Larvae in the PHABSIM
Model (Cheshme-Kileh
River). Adv. Environ. Sci.
23(3): 583-598.

* Corresponding Author Email Address: r_mousavi.nadushan@iau-tnb.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1427



شبیه‌سازی مساحت زیستگاه مطلوب لاروهای خانواده سیمولیده در مدل PHABSIM (رودخانه چشمه کيله)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

رضوان موسوی ندوشن^{۱*}، محمد رضا مجدزاده طباطبائی^۲، عبدالرضا شیخ بهایی^۲^۱ گروه علوم محیطی و دریایی،

دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد

تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی،

تهران، ایران

^۲ گروه مهندسی منابع آب، دانشکده

عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه

شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: الگوی پراکنش سیمولیدها مانند سایر آبزیان و بویژه بی مهرگان کفزی متأثر از محیط پیرامون و نوسانات متغیرهای اکوهیدرولیک است. این دوالان از کفزیان رایج در آبهای جاری بشمار می روند، و به نوسانات زیستگاه فیزیکی و هیدرولیک جریان عکس العمل های شاخص نشان می دهند. لذا اهداف این مطالعه (۱) شبیه سازی نوسانات زیستگاه فیزیکی تحت تاثیر تغییرات هیدرولیک جریان جهت ارزیابی پاسخ و پراکنش جوامع لاروهای خانواده سیمولیده (Simuliidae)، (۲) پیش بینی محدوده های مطلوب زیستگاه فیزیکی برای لاروهای این خانواده و متعاقبا محاسبه درصد مساحت قابل دستیابی (WUA) بر اساس نوسانات طبیعی متغیرهای هیدرولیک در کل مسیر رودخانه چشمه کيله، در نظر گرفته شد.

مواد و روش ها: در این تحقیق با استفاده از سیستم شبیه سازی PHABSIM دامنه شرایط مطلوب زیستگاهی (HSC)، و با استفاده از مدل HABTAM درصد زیستگاه های مطلوب و قابل استقرار (WUA) برای لاروهای سیمولید مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این تحقیق در قالب ۸ عملیات صحرایی (از ابتدای خرداد ۱۴۰۱ تا شهریور ۱۴۰۲) در مقاطع ۴ ایستگاه مطالعاتی، با سنجش ۳ متغیر هیدرولیک و جمع آوری لاروهای سیمولید در رودخانه چشمه کيله انجام شد.

نتایج و بحث: در مجموع تعداد ۴۳۸۰ لارو سیمولید شمارش و مورد بررسی قرار گرفت. نکته قابل توجه اینکه حداکثر فراوانی لاروهای سیمولید در ایستگاه مرکز تحقیقات واقع در بالادست رودخانه چشمه کيله (ایستگاه ۱) و حداقل فراوانی در ایستگاه مصب (ایستگاه ۴) به ثبت رسید. منحنی های تناسب زیستگاه (HSC) نیز نشان دهنده تاثیر پذیری قابل توجه لاروهای خانواده سیمولید از شرایط هیدرومورفولوژیک زیستگاهی در رودخانه چشمه کيله بود، و بازه های مطلوب زیستگاهی برای جمعیت لاروهای خانواده سیمولید در سرعت جریان ۰/۸-۱ متر بر ثانیه، عمق ۰/۲ متر و شاخص ساختار بستر معادل ۵۰ ارزیابی گردید. همچنین الگوی بدست آمده در HABTAM بخوبی نشان می دهد که گونه های سیمولید عمق های متوسط حدود ۰/۱۵ تا ۰/۹ را ترجیح می دهند و بیشترین سطح را در این اعماق اشغال می نمایند. در این محدوده از عمق سطح قابل استقرار در محدوده ۰/۱۵-۰/۲۰ ثابت و شرایط زیستگاه برای لاروهای این خانواده مطلوب باقی می ماند. از سوی دیگر، بیشترین مقدار WUA در سرعت بدون بعد (V/V_{max}) حدود ۰/۴ تا ۰/۵ مشخص گردید و مساحت زیستگاه مناسب به ۲۲٪ رسید. همچنین درصد مساحت مطلوب زیستگاهی در بازه های سرعت ۰/۵ تا ۱/۱ متر بر ثانیه به میزان ۱۸-۲۲ درصد بصورت ثابت باقی ماند. این موضوع نشان می دهد که لاروهای سیمولید شرایط جریان متوسط را ترجیح می دهند، که ممکن است تغذیه و شرایط تنفسی بهینه را فراهم کند. در ارتباط با دانه بندی و ساختار بستر در رودخانه چشمه کيله، درصد زیستگاه مطلوب (WUA) با افزایش D50 افزایش نشان داد. همچنین در محدوده های میانی ذرات بستر، مساحت زیستگاه مطلوب (WUA) در محدوده ۱۸-۱۸.۵٪ ثابت ماند. و در (D50/(D50_{max} ≈ 1)، یک افزایش قابل توجه تا حدود ۲۱/۵٪ در فضای مطلوب زیستگاهی مشاهده شد. این روند بیانگر آن است که بزرگترین اندازه های نسبی مواد بستر، مناسب ترین شرایط زیستگاهی را برای چسبیدن و استقرار لاروهای سیمولیده فراهم می کنند. همچنین مطابق با الگوهای تغییرات WUA، پراکنش فراوانی لاروهای سیمولید نیز با نزدیک شدن به مصب رودخانه، و با کاهش ساین ذرات بستر کاهش چشمگیری نشان داد.

نتیجه گیری: در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد با شبیه سازی و شناسایی زیستگاه های ترجیحی توسط کفزیان، بویژه گروه های حساس به پارامترهای هیدرولیک از جمله لاروهای خانواده سیمولیده، می توان پروژه های بهره برداری را کنترل و پروژه های بازسازی را به طریقی هدایت نمود که محدودیت ها و مطلوبیت های زیستگاهی در نظر گرفته شود و مولفه های جریان به گونه ای تحت کنترل قرار گیرد که زیستگاه های مناسب برای سیمولیدها، سایر کفزیان و در نهایت جوامع ماهیان حفظ شود.

واژه های کلیدی: اکوسیستم رودخانه ای، شبیه سازی، منحنی تناسب زیستگاه، سطح زیستگاهی قابل دستیابی، سیمولیده.

*استناد به این مقاله: موسوی**ندوشن، ر.، مهر. مجدزاده طباطبائی و**ا. شیخ بهایی. ۱۴۰۴. شبیه سازی**مساحت زیستگاه مطلوب لاروهای**خانواده سیمولیده در مدل**PHABSIM (رودخانه چشمه کيله).**فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۳(۳):**۵۸۳-۵۹۸.*

* Corresponding Author Email Address: r_mousavi.nadushan@iau-tnb.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1427



مقدمه

برروی رودخانه‌های ایران و خارج از کشور انجام شده است. از مطالعات داخلی می‌توان به ارزیابی کیفی آب رودخانه چشمه‌کیله توسط (Abbaspur et al., 2012) بررسی تنوع ماکروبن‌توزها، فراوانی و ارزیابی زیستی رودخانه کردان توسط (Mousavi-Nadushan and Ramezani, 2011)، ارزیابی زیستگاهی مصب های سرداب رود و چشمه کیله با معرفی گونه های جدید کم تاران (Tavoli et al., 2019) تاثیر برخی متغیرهای هیدرولیکی و کیفی آب بر تنوع و فراوانی زیستی ماکروبن‌توزها در رودخانه کرج توسط (Taban et al., 2018)، پراکنش جوامع کفزیان در جنگل‌های حرای مصب رودخانه مهران (Vahidi et al., 2020) ارزیابی کیفیت اکولوژیک مصب یکشبه (Yekshabe creek estuary) توسط (Kosari et al., 2021) اشاره کرد. از مطالعات خارج از کشور می‌توان به تأثیر یک سیل فاجعه‌بار بر وضعیت جامعه بی مهرگان کف زی در مصب موسمی گرمسیری توسط (Vineetha et al., 2020)، میزان فراوانی و تراکم جمعیت بی‌مهرگان آبی براساس هدفه شاخص کیفی در سواحل شمالی استرالیا توسط (Denis-Roy et al., 2020) طبقه‌بندی و تعیین وضعیت کیفی رودخانه مترو بر اساس جامعه جانوری ماکروزوبنتوز توسط (Setyobudiarso and Yuwono, 2018) و ارزیابی کیفیت آب جهت کنترل آلودگی برای بهبود تنوع زیستی و ترویج توسعه پایدار در حوضه رودخانه وی واقع در کشور چین توسط (Zhang et al., 2020) اشاره کرد. در مطالعات اکولوژیک و بررسی وضعیت زیستگاهی آبریان پیش‌بینی تغییرات و نوسانات درون محیط آب بویژه هنگامی که نیاز به توجیه تصمیمات مدیریت رودخانه، از جمله موارد مرتبط با برداشت آب، یا تغییرات در بستر رودخانه، وجود داشته باشد، از اهمیت ویژه برخوردار است. سیستم شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی PHABSIM (Physical Habitat Simulation System) یک مدل

اکوسیستم‌های آبی بدون شک از مهم‌ترین مناطق زیستگاهی در هر کشور بشمار می‌روند، که منابع و ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی را شامل می‌شوند. در دهه اخیر با توجه به مسائل و مشکلات زیست‌محیطی ازجمله آلودگی‌های صنعتی، تغییر اقلیم، خشک‌سالی و هم‌چنین گرمایش جهانی و متعاقباً تبخیر بالای آب، مدیریت این مناطق از اهمیت بسیار بالایی در نظام استراتژیک هر کشور برخوردار است (Ghiyas Abadi et al., 2014, Zhang et al., 2016, Yazdandoost et al., 2020). رودخانه‌ها دارای اهمیت اکولوژیکی و محل رویش تعداد بسیار زیادی از گیاهان و زیستگاه بسیاری از آبریان هستند و ساختار زیست‌محیطی پیچیده‌ای دارند. برقراری تعادل بین نیازهای اکوسیستم آبی و سایر مصارف آب در یک حوضه آبخیز اصلی‌ترین موضوع سیستم های کلان مدیریت آب بشمار می‌رود (Mousavi Nadushan and Fatemi, 2008). رودخانه‌ها در شرایط جغرافیایی و موقعیت‌های مختلف از سرچشمه تا انتها و از کف بستر تا سطح آب دارای گونه‌های گیاهی و جانوری متفاوتی هستند و قاعدتاً کیفیت آب در هر منطقه از اکوسیستم باید متفاوت باشد. از طرفی ماهیان و بی مهرگان کفزی ارتباط نزدیکی با هیدرولیک جریان دارند و جوامع آنها با کم یا زیاد شدن سرعت، دبی و عمق جریان با تغییرات روبرو می‌شوند (Mousavi-Nadushan et al., 2010; Majdzadeh Tabatabai et al., 2017). همچنین عواملی مانند مقدار غذا، نوع بستر، شرایط فیزیکی و شیمیایی حاکم بر زیستگاه، مقدار مواد آلی، آلودگی محیط‌زیست، اندازه ذرات رسوب، میزان اکسیژن محلول، تغییرات فصول، نوع ماهی و تعداد ماهیان کف زی خوار می‌تواند بر فراوانی و تنوع این موجودات کف زی تأثیرگذار باشد (Ghorbanzadeh Zaferani et al., 2017, Vahidi et al., 2021). مطالعات بیولوژیک و اکولوژیک مختلف، توسط محققان

هیدرو- اکولوژیک کاملاً معتبر است که در ارزیابی ارتباط میان شاخص‌های هیدرولیک و شاخص‌های زیستی و شبیه‌سازی شرایط زیستگاهی مطلوب انواع آبزیان از جمله ماهی‌ها و کف‌زبان از دقت بسیار بالایی برخوردار است (Vagenas *et al.*, 2023). در این راستا با رویکرد بررسی تاثیر شرایط هیدرولیک بر زیستگاه کف‌زبان، داده‌های مربوط به عمق، سرعت، دبی و دانه‌بندی به مدل PHABSIM معرفی و منحنی‌های تناسب زیستگاهی و به عبارتی شاخص زیستی- اکوهیدرولوژیک یا منحنی تناسب زیستگاه (HSC(Habitat Suitability Curve)) ترسیم می‌گردد. در واقع از طریق منحنی‌های HSC می‌توان کیفیت و کفایت شرایط زیستگاهی تاکسون مورد نظر را پیش‌بینی نمود. و در نهایت می‌توان با معرفی منحنی‌های تناسب زیستگاهی به زیرنرم‌افزار HABTAM و با شبیه‌سازی زیستگاه‌های بستر، درصد مساحت مطلوب و قابل استفاده (WUA) برای آبزی مورد نظر را پیش‌بینی و محاسبه نمود. در این میان آسیب‌پذیری و تخریب زیستگاه برای کف‌زبان بدلیل تحرک محدود در رودخانه‌هایی که در معرض استرس‌های زیست محیطی هستند شدیدتر است. در حال حاضر HSCs مهمترین روش و ابزار جهت تعیین آستانه‌های زیستی محسوب می‌شوند و مطالعات در زمینه طراحی HSCs برای انواع آبزیان تحت تاثیر شرایط مختلف اکوهیدرولیک ادامه دارد (Weng *et al.*, 2021).

از نظر عملی، داده‌های جمع‌آوری‌شده در شرایط مختلف جریان ممکن است اطلاعات حیاتی در مورد رفتار کف‌زبان را ارائه دهند که می‌تواند به دلیل تجمیع داده‌ها مبهم شود. در اکثر مطالعات، تعیین و تفسیر منحنی‌های suitability زیستگاه (HSCs) تنها بر اساس داده‌های یک عملیات میدانی واحد مد نظر قرار می‌گیرد زیرا درچنین شرایطی تفسیر داده آسان‌تر است. اما مطالعات در بازه‌های مکانی متنوع و در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند نیاز به در نظر گرفتن شرایط محیطی وسیع‌تر برای آبزیان را برآورده نماید.

از نظر عملی، داده‌های جمع‌آوری‌شده در شرایط مختلف جریان ممکن است اطلاعات حیاتی در مورد رفتار کف‌زبان را ارائه دهند اما تنها تعداد محدودی از تحقیقات به مطالعه همزمان شرایط اکوهیدرولیک مختلف پرداخته‌اند و بنظر میرسد که تا کنون مطالعه‌ای در زمینه مطالعه توام و همزمان شرایط اکوهیدرولیک موقعیت‌های کوهستانی و مصبی و تاثیر آن بر زندگی کف‌زبان انجام نشده باشد (Özbek *et al.*, 2025). از سوی دیگر ضرورت ارزیابی حفظ جوامع کف‌زبان در هر دو مورد تعارضات جریان‌های تنظیم‌شده و همچنین در برنامه‌ریزی برای بازسازی، احیا و یا حفظ مناطق و زیستگاه‌های بحرانی به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است (Fu *et al.*, 2025; Weng *et al.*, 2021). اکولوژی و شرایط زیستگاه‌های رودخانه چشمه‌کیله تنکابن و سرشاخه‌های آن به عنوان یک منطقه استراتژیک و حساس شیلاتی از نیم‌قرن گذشته تا کنون مطرح بوده، و فعالیت‌های تولیدی کارگاه‌های متعدد پرورش ماهی و فعالیت‌های انسانی ناشی از برداشت بیرویه شن و ماسه، آلودگی شهری، آلودگی صنعتی، آلودگی کشاورزی و روستائی تغییراتی را در شرایط طبیعی رودخانه چشمه‌کیله بوجود آورده است. بدین ترتیب در این تحقیق استفاده مناسب از معیارهای زیستگاهی لاروهای یک خانواده شاخص از کف‌زبان در ارزیابی تغییرات شرایط اکوهیدرولیک در امتداد سرشاخه‌های رودخانه چشمه‌کیله تنکابن تا مصب آن مورد استفاده قرار گرفت و اهداف این مطالعه (۱) شبیه‌سازی نوسانات زیستگاه فیزیکی تحت تاثیر تغییرات هیدرولیک جریان جهت ارزیابی پاسخ و پراکنش جوامع لاروهای خانواده سیمولیده (۲) پیش‌بینی محدوده‌های مطلوب زیستگاه فیزیکی برای لاروهای این خانواده و متعاقباً پیش‌بینی و محاسبه درصد مساحت قابل دستیابی (WUA) بر اساس نوسانات طبیعی متغیرهای هیدرولیک در کل مسیررودخانه چشمه‌کیله، در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

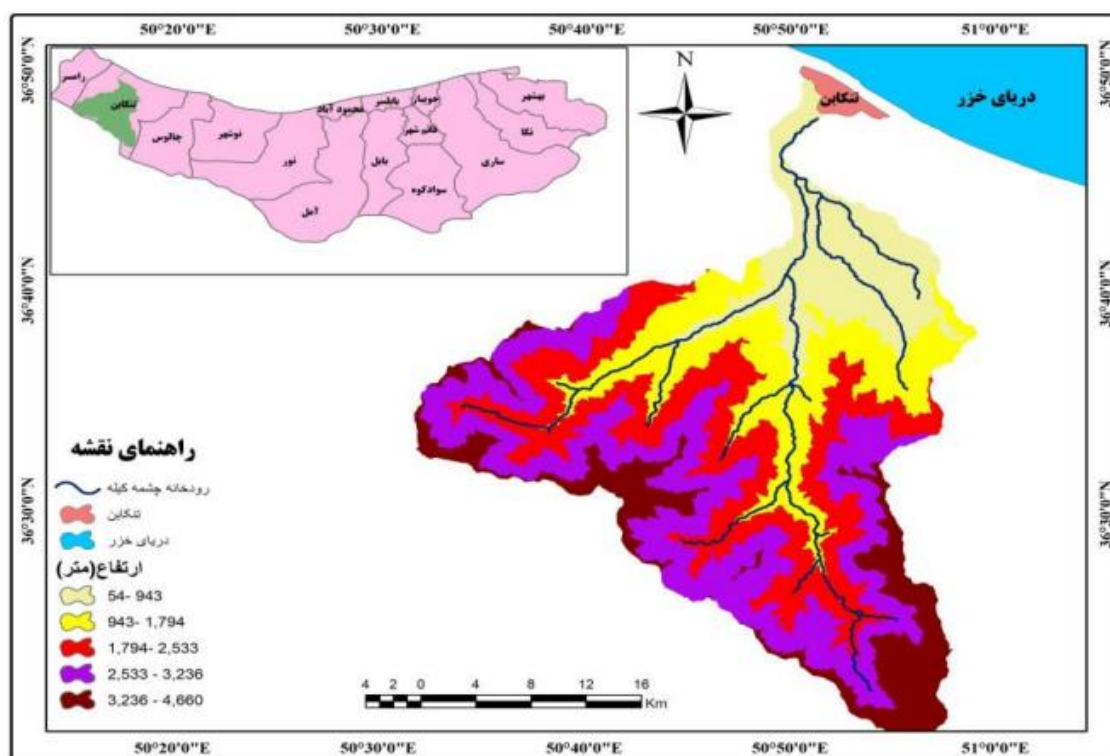
معرفی عمومی رودخانه در محدوده طرح

رودخانه چشمه کیله در منطقه غرب مازندران جریان داشته و سرشاخه‌های اصلی آن در محدوده طرح شامل رودخانه‌های دوهزار، سه هزار و ولمرود می‌باشند. دو رودخانه دوهزار و سه هزار به صورت قرینه از جنوب غرب و جنوب شرق خط-الرأس‌های مرتفع البرز مرکزی با شبکه آبراهه مناسب جریان یافته و در منطقه چالدره واقع در حدود ۱۸ کیلومتری جنوب شهر تنکابن بهم پیوسته و رودخانه چشمه کیله را تشکیل می‌دهند (شکل ۱).

انتخاب محدوده و موقعیت ایستگاه‌های

مطالعاتی

در انتخاب نقاط مورد مطالعه به دلیل دست یافتن به نتایج قابل مقایسه ایستگاه‌های مطالعاتی تحقیق حاضر منطبق بر مناطق پایش‌های ادواری مرکز تحقیقات شیلات شهرستان تنکابن در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که دو ایستگاه در بخش کوهستانی و سرشاخه‌های دوهزار و سه هزار از قسمت و دو ایستگاه در قسمت پایین دست رودخانه چشمه کیله انتخاب گردید. همچنین در (شکل ۲) موقعیت ایستگاه‌ها و در جدول (۱) مشخصات جغرافیایی هریک ارائه شده است.



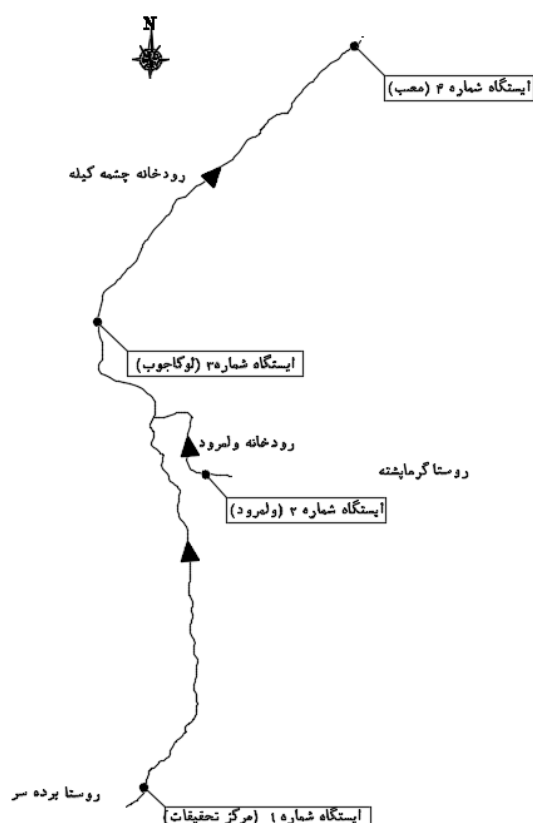
شکل ۱- موقعیت حوزه آبریز چشمه کیله

Fig. 1- Location of the Cheshme-Kileh watershed

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه - رودخانه چشمه کیله

Table 1 - Geographic locations of the study stations - Cheshme-Kileh River

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	مرکز تحقیقات	۴۸۵۲۳۵.۰۰۹	۴۰۶۰۶۵۰.۷۵۲
۲	لوکاجوب	۴۸۴۲۸۲.۱۲۶	۴۰۶۹۲۱۸.۴۲۷
۳	ولمرود	۴۸۶۶۰۸.۸۸۶	۴۰۶۶۴۱۰.۶۰۶
۴	پل چشمه کیله- مصب	۴۸۹۲۲۳.۱۶	۴۰۷۴۶۹۵.۸۰۲



شکل ۲ - محدوده ایستگاه‌های مطالعاتی به صورت شماتیک
Fig. 2- Schematic outline of the study stations

نمونه برداری از ذرات رسوبی، پارامترهای هیدرولیکی و لاروهای خانواده سیمولیده

نمونه برداری از ذرات زیر سطحی بستر با استفاده از روش "قدم زدن پاشنه تا پنجه" بر اساس روش پیشنهادی توسط ولمن انجام شد (Wolman, 1954). بدین ترتیب که تعداد ۱۰ سنگ درشت از رسوبات سطحی موجود بر روی یک سطح با ابعاد مشخص برداشت و رسوبات لایه زیر سطحی با استفاده از بیلچه و به صورت حجمی نمونه برداری شد. در نهایت منحنی دانه بندی نمونه‌های جمع آوری شده از لایه زیرسطحی بستر رودخانه چشمه کیله در آزمایشگاه مکانیک خاک با استفاده از الک‌های استاندارد به دست آمد. برای بررسی و به منظور بدست آوردن فراوانی لاروهای خانواده سیمولید در واحد سطح، از دستگاه نمونه‌بردار سوربر (۲۵×۲۰) سانتیمتر مربع استفاده شد، بدین ترتیب که سوربر درخلاف جهت جریان قرار داده شد و سنگ‌ها

وسنگریزه‌ها و قطعات و ذرات محدوده سطح سوربر، به دقت شستشو داده شد و موجودات بنتیک انتقال یافته توسط جریان آب به انتهای تور جمع آوری و در فرملین ۴٪ تثبیت گردید..

فرایندهای آزمایشگاهی

آزمایش دانه‌بندی از آزمایش‌های مکانیک خاک است. که به منظور تعیین منحنی دانه‌بندی رسوبات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در هر بازدید به عمل آمد.

نمونه‌های کفزیان در آزمایشگاه بوسیله لوپ با بزرگ نمایی ۴۵ تا ۳۰ برابر و به کمک کلیدهای شناسایی معتبر مورد شناسایی قرار گرفته و شمارش شدند (McCafferty, 1981; Merritt & Cummins, 1996). پس از شناسایی به کمک استریومیکروسکوپ دوربین دار و با دوربین معمولی از نمونه‌ها عکس برداری انجام گرفت. پس از شناسایی و شمارش، فراوانی و درصد فراوانی لاروهای خانواده سیمولیده

در هر ماه و در هر ایستگاه محاسبه شد.

تولید منحنی تناسب زیستگاه

منحنی‌های تناسب زیستگاه نشان دهنده تاثیر پذیری جانداران از محیط زندگی خود و فیزیک زیستگاه خود هستند. لذا براساس داده‌های زیستی، هیدرولیکی و رسوبی، منحنی‌های تناسب زیستگاه، برای جمعیت خانواده سیمولیده بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در مرحله ابتدایی، پارامترهای هیدرولیکی تاثیرگذار بر شرایط زیستگاهی لاروهای خانواده سیمولیده، شامل عمق و سرعت جریان و دانه بندی بستر مورد بررسی قرار گرفت. سپس فراوانی لاروهای سیمولید در اعماق و سرعت‌های متناظر اندازه‌گیری و به همراه منحنی دانه بندی به صورت جداگانه به عنوان داده‌های ورودی مرحله اول به نرم افزار PHABSIM معرفی شدند.

تحلیل و شبیه‌سازی اکو هیدرولیکی توسط نرم

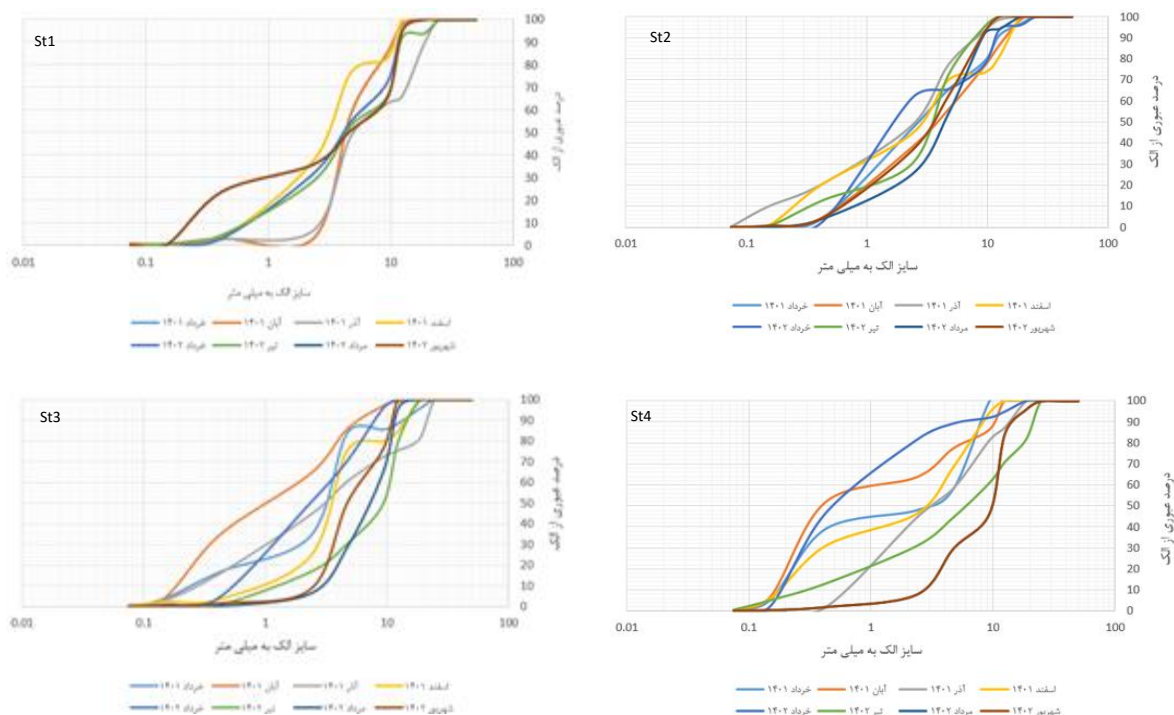
افزار PHABSIM:

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی زیستگاهی از گزینه HABTAM به عنوان مهم‌ترین مدل زیستگاهی در نرم افزار

PHABSIM استفاده شد. در این رابطه در ابتدا شرایط مطلوب زیستگاهی سیمولید بر اساس فراوانی جوامع در ایستگاه‌های مورد مطالعه در PHABSIM در قالب گراف‌های HSC ترسیم گردید. لازم به ذکر است که منحنی‌های تناسب زیستگاهی (HSC)، خروجی مرحله اول در روند مدل سازی زیستگاهی محسوب می‌شوند. سپس گراف‌های فوق به عنوان داده‌های ورودی به گزینه HABTAM معرفی شد تا داده‌های WUA شبیه‌سازی شود. و در نهایت جهت اعتبارسنجی سطوح قابل دستیابی و مطلوب زیستگاهی شبیه سازی شده برای لاروهای خانواده سیمولیده، از آزمون همبستگی میان درصد‌های شبیه سازی شده با فراوانی لاروهای سیمولیده در ماه‌های و ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شد (SPSS software, version 19).

نتایج

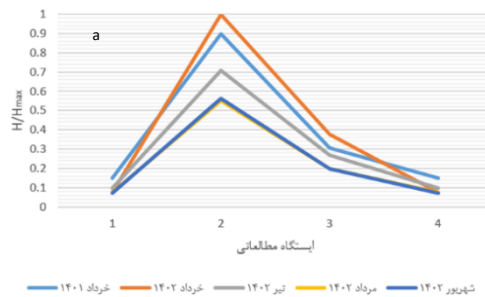
منحنی‌های دانه بندی در لایه زیر سطحی بیشترین نوسانات زمانی را در ایستگاه‌های ۳ و ۴ به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۳).



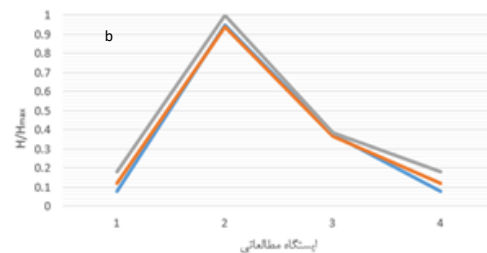
شکل ۳- نمودار دانه بندی لایه زیرسطحی در ۴ ایستگاه مطالعاتی.

Fig. 3- Subsoil layer grain size distribution at 4 study stations.

حالی که در مناطق جلگه‌ای افزایش می‌یابد و در نزدیکی مصب، این شاخص به حداکثر مقدار خود می‌رسد. نوسانات این شاخص به تغییرات جریان بستگی دارد، بدین صورت که با افزایش تغییرات جریان در فصول پرآبی افزایش یافته (شکل ۵b) و با کاهش آن در فصول کم آبی نیز کاهش می‌یابد (شکل ۵a).

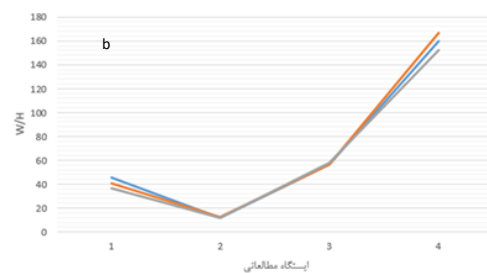
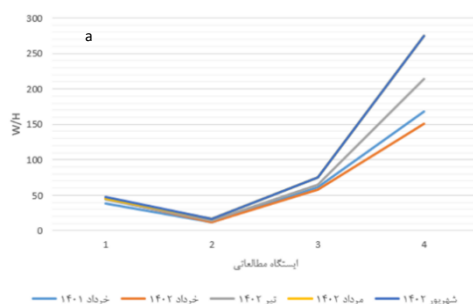


نتایج مقادیر بی‌بعد عمق رودخانه در فصول پر آبی (شکل a ۴) و کم آبی حاکی از آن است که ایستگاه شماره ۲ به دلیل قرارگیری در محل گودآب رودخانه دارای بیشترین نوسانات عمق در فصول کم آبی می‌باشد (شکل b ۴). نسبت عرض به عمق یکی از شاخص‌های مهم هیدرولیکی رودخانه است. این شاخص در مناطق کوهستانی کوچک در



شکل ۴- مقادیر بی‌بعد عمق در ایستگاه‌های مطالعاتی در فصول کم آبی (b) و پر آبی (a).

Fig. 4- Dimensionless depth values at the study stations in the dry season (b) and the wet season (a).



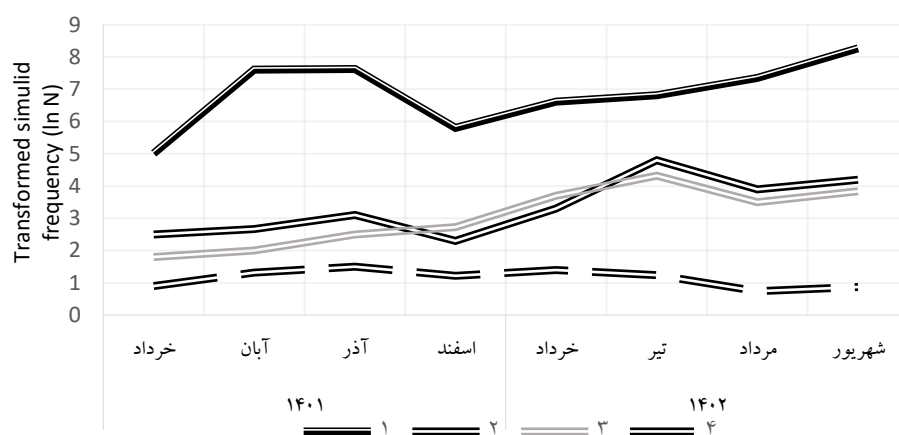
شکل ۵- مقادیر نسبت عرض به عمق در فصول کم آبی (b) و پر آبی (a) در ایستگاه‌های مطالعاتی

Fig. 5- Width-to-depth ratio values in dry (b) and wet (a) seasons across study stations

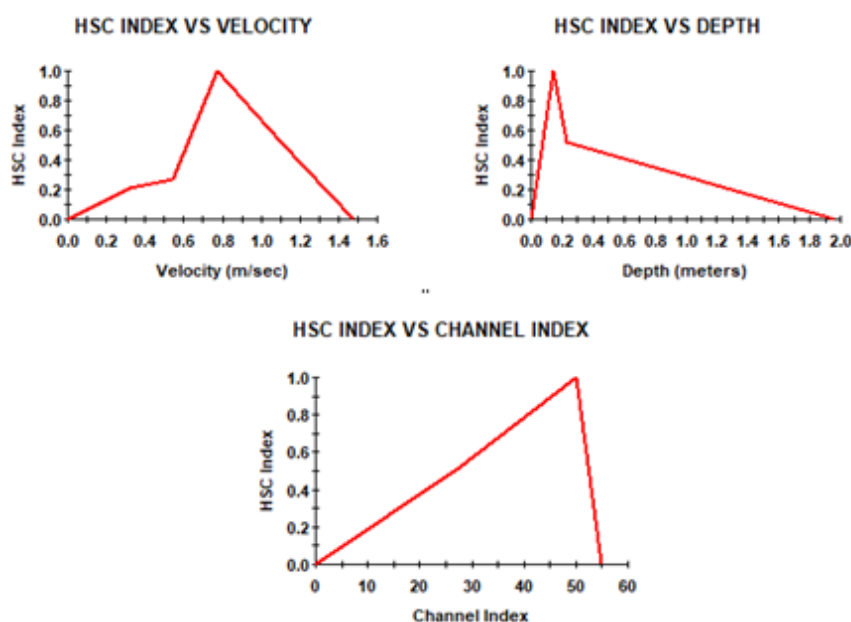
منحنی‌های تناسب زیستگاه نشان دهنده تاثیر پذیری لاروهای خانواده سیمولید از شرایط هیدرومورفولوژیک زیستگاه خود هستند. لذا با ورود شاخص‌های جمعیت (فراوانی)، منحنی‌های تناسب زیستگاهی (HSC) به عنوان خروجی مرحله اول از مدل PHABSIM، بدست آمد. در شکل ۷، بازه‌های مطلوب زیستگاهی برای جمعیت لاروهای خانواده سیمولید مربوط به عمق، سرعت جریان و ساختار بستر آورده شده است.

در شکل ۸ تاثیر مقادیر بی بعد سرعت بر WUA نشان داده شده است. در بازه سرعت ۰/۴ تا ۰/۵، تقریباً ۲۰٪ درصد از فضای زیستگاهی بستر برای لاروهای این خانواده، مطلوب و قابلیت استقرار دارد.

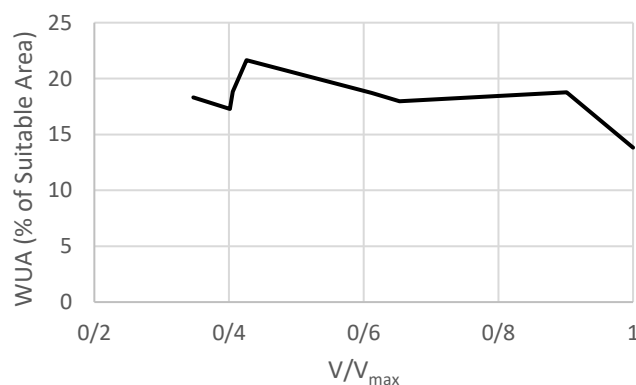
شکل ۶ تغییرات فراوانی زمانی- مکانی لاروهای خانواده سیمولید را نشان می‌دهد. در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه فراوانی سیمولیدها در ماه‌های سرد سال کاهش یافته و حداقل فراوانی در ماه اسفند قابل مشاهده است. لاروهای این خانواده در فصل بهار به دنبال تخم‌ریزی مگس‌های بالغ، به رشد خود تا فصل تابستان ادامه می‌دهند. فراوانی لاروهای این خانواده در ایستگاه‌های ۱ تا ۴، الگوهای متفاوتی را از نشان می‌دهند که منعکس کننده تفاوت‌های مکانی جوامع آن‌ها در بازه مورد مطالعه می‌باشد. نکته قابل توجه آن است که در ایستگاه مرکز تحقیقات واقع در نزدیکی روستای پرده سر (ایستگاه ۱) فراوانی در حداکثر مقدار و در ایستگاه مصب (ایستگاه ۴) به حداقل مقدار رسیده است.



شکل ۶- میانگین تغییرات فراوانی لاروهای خانواده سیمولید در ایستگاه‌های مطالعاتی.
Fig. 6 – Mean changes in the abundance of larvae from the Simuliidae family at the study stations.



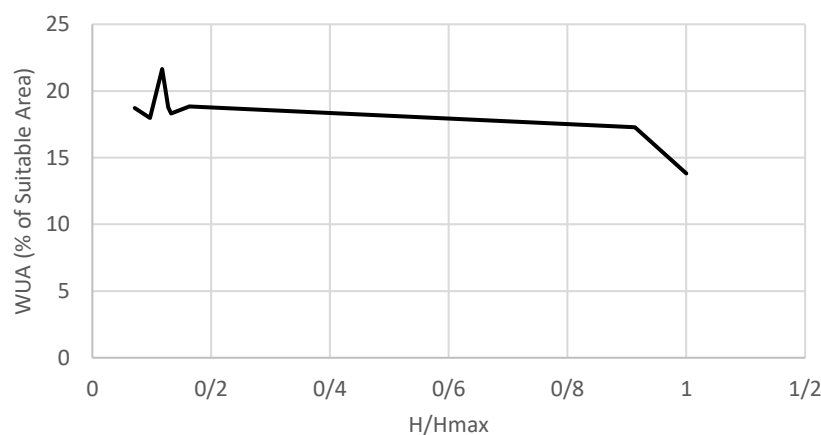
شکل ۷- منحنی تناسب زیستگاه بر اساس پارامترهای عمق، سرعت و ساختار بستر (Channel index) برای جمعیت لاروهای خانواده سیمولید.
Fig. 7- Habitat suitability curve according to depth, velocity, and bed structure (Channel index) for Simuliidae larval population.



شکل ۸- نسبت مساحت زیستگاه‌های مناسب از کل مساحت قابل دستیابی برای لاروهای خانواده سیمولید در سرعت‌های متفاوت - رودخانه چشمه کیله
Fig. 8 - Proportion of suitable habitat area to total usable area for Simuliidae larvae at varying velocities – Cheshme-Kileh River

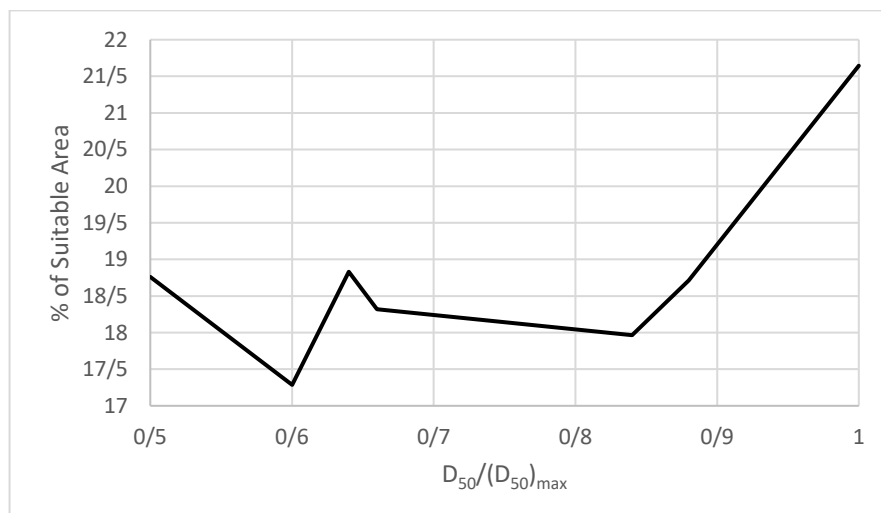
سیمولیده روندی افزایشی است. با این حال، این رابطه خطی نبوده، نوساناتی نیز مشاهده می‌شود. در این تحقیق داده‌های فراوانی لاروهای سیمولیده در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف در بخش‌های بالادست و پایین‌دست جهت اعتبارسنجی مدل رودخانه انتخاب شدند. و سپس آزمون همبستگی پیرسون برای اعتبارسنجی پیش‌بینی مدل درباره نتایج WUA مورد بررسی قرار گرفت و یک همبستگی قوی میان داده‌های فراوانی و خروجی مدل مشاهده شد (جدول ۲).

با توجه به شکل ۹، درصد زیستگاه ایده‌آل خانواده سیمولیده در اعماق کم حدود ۰/۱ (به عبارتی نسبت کوچک عمق به حداکثر عمق)، به حداکثر ۲۲٪ می‌رسد. اما در بازه ۰/۱ تا ۰/۹ درصد زیستگاه مطلوب تقریباً ثابت و با افزایش عمق به بیش از ۰/۹، مساحت زیستگاه مطلوب بشدت کاهش می‌یابد. شکل ۱۰ الگوی تغییرات درصد مساحت زیستگاه مطلوب (WUA) را تحت تاثیر اندازه مواد بستر بدون بعد $(D_{50}/(D_{50})_{max})$ نشان می‌دهد. روند کلی تغییرات مساحت زیستگاه مطلوب با افزایش D_{50} برای لاروهای



شکل ۹- نسبت مساحت زیستگاه‌های مناسب از کل مساحت قابل دستیابی برای لاروهای خانواده سیمولید در اعماق مختلف- رودخانه چشمه کیله

Fig. 9 - Proportion of suitable habitat areas to total accessible area for Simulidae larvae at different depths – Cheshme-Kileh River



شکل ۱۰- نسبت مساحت زیستگاه‌های مناسب از کل مساحت قابل دستیابی برای لاروهای خانواده سیمولید در امتداد ساختارهای مختلف بستر - رودخانه چشمه کیله

Fig. 10 - Proportion of suitable habitat areas to total usable area for Simulidae larvae along different bed structures – Cheshme-Kileh River

جدول ۲- همبستگی پیرسون میان فراوانی لاروهای خانواده سیمولیده و مساحت سطح مطلوب شبیه سازی شده (WUA) در رودخانه چشمه کیله.

Table 2. Pearson correlation between Simuliidae larval abundance and simulated WUA (weighted usable area) in Cheshme-Kileh River

Frequency	WUA(velocity)	WUA(Depth)	WUA(Channel Index)
<i>r</i> -values	- 0.73	- 0.61	0.78
<i>p</i> -value (2tailed)	0.029	0.031	0.011

بحث

سیمولیدها به طور طبیعی در نهرها و رودخانه های سراسر جهان وجود دارند. ویژگی شاخص آنها این است که بسترهایی را برای زندگی انتخاب می کنند که در معرض سرعت های جریان خاص هستند. در ایران نیز در تمامی چشمه ها و نهرهای کوهستانی یافت می شوند (Mousavi-Nadushan *et al.*, 2010; Docile *et al.*, 2015) اما اطلاعات در زمینه پراکنش آنها در آبهای مصبی و جلگه ای محدود است. در تحلیل منحنی تاسب زیستگاهی لاروهای سیمولید در رودخانه چشمه کیله، بیشترین مقدار WUA در سرعت بدون بعد (V/V_{max}) حدود ۰/۴ تا ۰/۵ مشخص گردید، و در این شرایط مساحت زیستگاه مناسب تقریباً به ۲۲٪ رسید. و درصد مساحت مطلوب زیستگاهی در بازه های سرعت ۰/۵ تا ۱/۱ متر بر ثانیه به میزان ۱۸-۲۲ درصد بصورت ثابت باقی ماند (شکل ۹). این موضوع نشان می دهد که لاروهای سیمولیده شرایط جریان متوسط را ترجیح می دهند، که ممکن است تغذیه و شرایط تنفسی بهینه را فراهم کند. تحقیقات (Horne *et al.* 1992) در تعیین سرعت های مطلوب سیمولیدها در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که اغلب گونه ها در سرعت های ۰/۱۸ تا ۰/۳ متر مربع در ثانیه بالاترین فراوانی را به خود اختصاص می دهند اما آبهای با سرعت کمتر را به سوی زیستگاههای با سرعت بالاتر ترک می کنند. بطوریکه در نهر های با جریان های سریعتر در مدت زمان کوتاهی خود را بخوبی با سرعت ها متوسط جریان در محدوده ۰/۸ - ۰/۹۵ متر بر ثانیه سازگار می نمایند. همچنین برخی گونه ها جریان های سریعتر

حدود ۰/۹ تا ۱/۳ متر بر ثانیه را ترجیح می دهند Morin *et al.* (1986) نیز با تحقیق بر روی رودخانه Laurentian نشان دادند که هرچند لاروهای سیمولید جریان کند را ترجیح می دهند ولی بخوبی می توانند در سرعت های پایین یا بالا وجود داشته باشند و لذا الگوهای گرافیکی WUA مسطحی داشتند.

در ارتباط با عمق، سیمولیدها در رودخانه چشمه کیله حداکثر مساحت زیستگاهی مطلوب را در عمق ۰/۱ متر به خود اختصاص دادند و با افزایش عمق WUA کاهش یافت، هرچند که درصد مساحت مطلوب تا عمق کمتر از یک متر همچنان بالا بود. افزایش اولیه عمق بی بعد از ۰ تا ۰/۱ حاکی از آن است که در بخش هایی از مناطق کم عمق، مساحت زیستگاه مطلوب می تواند بصورت قابل توجه افزایش نشان دهد. با افزایش بیشتر عمق از ۰/۱۵ تا ۰/۹ سطح مطلوبیت در محدوده ۱۵-۲۰٪ ثابت و شرایط زیستگاه برای لاروهای این خانواده مطلوب باقی می ماند. با افزایش بیشتر عمق از ۰/۹ تا ۱، افت قابل توجه در WUA مشاهده می شود و این کاهش نشان می دهد که آب های بسیار عمیق برای این گونه، زیستگاهی مطلوب نخواهد بود. الگوی بدست آمده در HABTAM بخوبی نشان می دهد که گونه های سیمولید عمق های متوسط را ترجیح می دهند (۰/۲ تا ۰/۸ متر) و بیشترین سطح را در این اعماق اشغال می نمایند. این احتمال وجود دارد که آب های کم عمق، بستر مناسب، جریان آب، اکسیژن و ذرات غذایی کافی فراهم نباشد، در حالی که در آب های بیش از حد عمیق ممکن است کیفیت زیستگاه به دلیل عواملی مانند کاهش

نفوذ نور، سطوح اکسیژن پایین‌تر، و ایجاد جریان‌های گردابی، کاهش یابد. بنابراین در برنامه‌های پایش، حفاظت و بازسازی زیستگاه، حفظ جریان‌های سطحی در دامنه اعماق بی بعد ۰/۰۵ تا ۰/۸، برای حداکثرسازی دسترسی لاروهای سیمولید به زیستگاه مناسب ضروری خواهد بود. در رودخانه کوچک Flinta در لهستان نیز عمق ترجیحی برای سیمولیدها ۰/۱۵ متر گزارش گردید و نشان داده شد که تا عمق ۰/۴ فراوانی همچنان در حد مطلوب قرار دارد (Szałkiewicz *et al.*, 2022).

در ارتباط با دانه بندی و ساختار بستر، در رودخانه چشمه کیله درصد WUA با افزایش D50 افزایش نشان داد. بدین صورت که مساحت زیستگاه مطلوب در $D50/(D50)_{max}$ $= 0.5$ از حدود ۱۸/۸٪ شروع و سپس به پایین‌ترین میزان ۱۷/۳٪ در $D50/(D50)_{max} \approx 0.6$ رسید. این کاهش اولیه نشان می‌دهد که مواد بستر ریزتر، تناسب زیستگاهی را کاهش می‌دهد. در محدوده‌های میانی ذرات بستر، مساحت زیستگاه مطلوب (WUA) در محدوده ۱۸-۱۸.۵٪ ثابت ماند. و در نهایت، از $D50/(D50)_{max} \approx 0.9$ یک افزایش قابل توجه تا حدود ۲۱.۵٪ در $D50/(D50)_{max} = 1.0$ مشاهده شد. این روند بیانگر آن است که بزرگترین اندازه‌های نسبی مواد بستر، مناسب‌ترین شرایط زیستگاهی را برای لاروهای سیمولیده فراهم می‌کنند. بر اساس الگوهای پراکنش فراوانی نیز با نزدیک شدن به مصب (شکل ۵)، و با کاهش سائز ذرات زیر سطحی (شکل ۲) کاهش چشمگیری در فراوانی سیمولیدها مشخص گردید. مطالعات سایر محققان نشان داده است که اکثر گونه‌های سیمولید، زیستگاه‌های سنگی و riffle را ترجیح می‌دهند (Figueiró *et al.*, 2012). نتایج مطالعات Lo'pez-Pen'a *et al.*, (2020) نیز نشان داد در رودخانه‌هایی که بستر رودخانه غالباً با سنگ، شن و ماسه پوشیده شده است تنوع سیمولیدها زیاد است و فراوانی‌های بالایی را نشان می‌دهند. در تحقیق Lo'pez-Pen'a مشخص گردید که برای لاروهای اکثر گونه‌های سیمولید سطح

سنگ‌ها بهترین زیستگاه برای چسبیدن و استقرار است و لذا با افزایش سطح سنگ‌ها تعداد بیشتری از لاروها امکان چسبیدن و رشد خواهند داشت.

در این تحقیق از داده‌های فراوانی لاروهای سیمولیده در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف جهت اعتبارسنجی مقادیر WUA از طریق آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد و یک همبستگی قوی میان داده‌های فراوانی و خروجی مدل مشاهده شد. محققین مختلف سعی کرده‌اند مدل‌های زیستگاه هیدرولیکی را با تعیین اینکه آیا رابطه خطی مثبتی بین فراوانی کفزیان و مساحت زیستگاه وجود دارد، اعتبارسنجی نمایند. نتایج متفاوت هستند، به طوری که در برخی مطالعات همبستگی و ارتباط خطی مشاهده شد (Fischer *et al.*, 2012; Pinna *et al.*, 2024) اما در پاره‌ای از مطالعات همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (Nuhfer and Baker, 2004; Hoffman, 2015). در واقع این تفاوت نشان می‌دهد. در برخی سیستم‌های اکولوژیک رودخانه‌ای روابط پیچیده‌ای برقرار نیست، و اغلب در درصدهای زیستگاهی کوچک تقریباً این اطمینان وجود دارد که جمعیت‌های کم تراکم با فراوانی محدود استقرار یابند، اما در درصد‌های زیستگاهی بزرگ الزامی برای تشکیل جمعیت‌های متراکم وجود ندارد (Put *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

PHABSIM به عنوان یک سیستم شبیه‌سازی، بخشی از یک چارچوب تحلیلی گسترده را برای پرداختن به اکوهیدرولوژی آبهای جاری بکار گرفته، مسائل مربوط به مدیریت جریان را در قالب استراتژی‌های گام به گام درون جریانی پردازش می‌کند. در این سیستم، مدل HABTAM ترجیحات موجودات و ساکنین را بر اساس پارامترهایی مانند سرعت، عمق و نوع بستر، بصورت کمی و در قالب منحنی‌های HSC مشخص نموده، در نهایت نوسانات مساحت سطح مطلوب زیستگاهی را ارزیابی می‌کند.

می‌شوند. در نهایت با اعتبارسنجی مدل می‌توان جزئیات تناسب زیستگاه در رودخانه چشمه کیله را برای سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار داد و براساس نتایج اعتبارسنجی، امکان استفاده و پیش‌بینی WUA برای جمعیت لاروهای سیمولیده در رودخانه‌های مشابه دیگر نیز وجود دارد. همچنین با شناسایی زیستگاه‌های ترجیحی توسط کفزیان و بویژه گروه‌های حساس به پارامترهای هیدرولیک از جمله لاروهای خانواده سیمولیده، می‌توان پروژه‌های بهره‌برداری را کنترل و پروژه‌های بازسازی را به گونه‌ای پیش‌بینی کرد که محدودیت‌ها و مطلوبیت‌های زیستگاهی در نظر گرفته شود و در نتیجه مولفه‌های جریان به شیوه‌ای تحت کنترل قرار گیرد که به بازسازی و افزایش جوامع تخریب شده بیانجامد.

سپاسگزاری

در انجام این تحقیق از سازمان، نهاد و شخصی کمک مالی دریافت نشده است.

References

- Abbaspur, R., Hedayatifard, M., Mesgaran, K. J., & Toosi, A. (2012). The Study of Effects of Pollution on Macroinvertebrates Populations of Cheshmekile River of Tonekabon Based on Biological Indicators. *Journal of Animal Biology* 4(4), 55-68.
- Denis-Roy, L., Ling, S. D., Fraser, K. M., & Edgar, G. J. (2020). Relationships between invertebrate benthos, environmental drivers and pollutants at a subcontinental scale. *Marine Pollution Bulletin*, 157, 111316. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111316>
- Docile, T. N., Figueiró, R., Gil-Azevedo, L. H., & Nessimian, J. L. (2015). Water pollution and distribution of the black fly (Diptera: Simuliidae) in the Atlantic Forest, Brazil. *Revista de biologia tropical*, 63(3), 683-693.
- Fischer, J., Paukert, C., & Daniels, M. (2012). Fish community response to habitat alteration: Impacts of sand dredging in the Kansas River. *Transactions of the American Fisheries Society*, 141(6), 1532-1544. <https://doi.org/10.1080/00028487.2012.703156>
- Figueiró, R., Gil-Azevedo, L. H., Maia-Herzog, M.,

مطالعه تاثیر مولفه‌های هیدرولیک بر زیستگاه‌های مطلوب لاروهای خانواده رودخانه چشمه کیله و الگوی HSC نشان‌دهنده یک رابطه واضح بین عمق بی‌بعد و مناسب بودن زیستگاه برای لاروهای سیمولید است، و در بررسی تاثیر سرعت جریان بر الگوی پراکنش لاروهای سیمولید مشخص شد که در سرعت‌های متوسط تقریباً ۲۰٪ درصد از فضای زیستگاهی بستر رودخانه برای لاروهای این خانواده، مطلوب و قابلیت استقرار دارد. بالاترین WUA در محدوده خاصی از عمق‌ها مشاهده شد، که اهمیت حفظ شرایط جریان بهینه را برای حمایت از زیستگاه آبزیان برجسته می‌کند. در بررسی تاثیر دانه‌بندی لایه‌های زیربستر برای زیستگاه لاروهای سیمولید مشخص گردید هر چه میزان قطر متوسط دانه‌بندی بیشتر باشد مساحت زیستگاه مناسب برای سیمولیدها افزایش می‌یابد. لذا آنالیزها و نتایج این تحقیق می‌تواند بینش‌های ارزشمندی برای مطالعات بوم‌شناختی و مدیریت منابع آب فراهم نماید و اطمینان حاصل شود که زیستگاه‌های مناسب برای سیمولیدها، سایر کفزیان و در نهایت جوامع ماهیان حفظ

منابع

- & Monteiro, R. F. (2012). Diversity and microdistribution of black fly (Diptera: Simuliidae) assemblages in the tropical savanna streams of the Brazilian cerrado. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 107, 362-369. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762012000300011>
- Fu, Q., Wang, J., Sun, D., Chi, J., Fan, W., Li, Y., ... & Chen, L. (2025). Environmental heterogeneity drives the spatial distribution of macrobenthos in the Yellow River Delta wetland. *Aquatic Sciences*, 87(2), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00027-025-01172-4>
- Ghorbanzadeh Zaferani, S. G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari, A. R., & Fatemi, S. M. R. (2017). Spatial and temporal patterns of benthic macrofauna in Gorgan Bay, south Caspian Sea, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(1), 274-252. <http://aquaticcommons.org/id/eprint/23068>, 18721, 2018-06-15
- GhiyasAbadi, M., Mousavi Nadushan, R., Fatemi, M. R., & Jozi, S. A. (2014). Assessment of Gahar Lake trophic status using TLI index. *Journal of Marine Science and Technology Research*, 8(4), 75-

88.

- Hoffman, J. C., Kelly, J. R., Peterson, G. S., & Cotter, A. M. (2015). Landscape-scale food webs of fish nursery habitat along a river-coast mixing zone. *Estuaries and coasts*, 38(4), 1335-1349. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9880-8>
- Horne, P. A., Bennison, G., & Davis, J. (1992). The water velocity preferences of *Austrosimulium furiosum* and *Simulium ornatipes* (Diptera: Simuliidae) larvae, and the implications for micro-habitat partitioning. *Hydrobiologia*, 230(1), 31-36. <https://doi.org/10.1007/BF00015112>
- Kosari, S., Mousavi Nadushan, R., Faremi, R., Ejlali Khanghah, K., & Mashinchian, A. (2021). Macrobenthos as bioindicator of ecological status in the Yekshabe creek-estuary, Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(2). <https://doi.org/10.22092/ijfs.2021.123874>
- López-Peña, D., García-Roger, E. M., & Jiménez-Peydró, R. (2020). Pre-imaginal black fly assemblages in streams of Eastern Spain: environmental and substrate requirements. *Hydrobiologia*, 847(6), 1521-1538. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04206-0>
- McCafferty, W.P. (1981). *Aquatic Entomology*, Jones & Bartlett Publishers, Boston.
- Majdzadeh Tabatabai, M. R., Mousavi Nadushan, R., & Hashemi, S. (2017). Impact of hydrogeomorphic processes on ecological functions of brown trout habits. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(8), 1757-1770. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1281-7>
- Merritt, R.W. & Cummins, K.W. (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America* (3rd edition), Kendell/Hunt Publishing Company, Iowa.
- Morin, A., Harper, P. P., & Peters, R. H. (1986). Microhabitat-preference curves of blackfly larvae (Diptera: Simuliidae): a comparison of three estimation methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(6), 1235-1241. <https://doi.org/10.1139/f86-153>
- Mousavi Nadushan, R., & Ramezani, M. (2011). Bioassessment of Kordan Stream (Iran) water quality using macro-zoobenthos indices. *International Journal of Biology*, 3(2), 127-134. <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/ijb/article/view/8721/7259>
- Nadushan, R. M., & Fatemi, S. M. (2008). Trophic status and primary production in Lake Choghakhor, Chaharmahal-Bakhtiari Province, Islamic Republic of Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 11(4), 577-582. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.577.582>
- Nadushan, R. M., Emadi, H., Fatemi, M. R., & Samanpajuh, M. (2010). Assessment of the ecological status of the shallow Lake Neor (Iran) using a macroinvertebrate community structure. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 135, 169-177. <https://doi.org/10.2495/wp100151>
- Nuhfer, A. J., & Baker, E. A. (2004). A long-term field test of habitat changes predicted by PHABSIM in relation to brook trout population dynamics during controlled flow reduction experiments. Michigan Department of Natural Resources, Fisheries Division.
- Özbek, M., Taşdemir, A., Yildiz, S., Topkara, E. T., & Çil, E. A. (2025). Diversity and spatio-temporal distribution of benthic macroinvertebrate communities in a transboundary river basin in the Caucasus region (Aras river, NE Türkiye). *BMC Ecology and Evolution*, 25(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s12862-025-02428-1>
- Pinna, B., Laini, A., Negro, G., Burgazzi, G., Viaroli, P., & Vezza, P. (2024). Physical habitat modeling for river macroinvertebrate communities. *Journal of Environmental Management*, 358, 120919. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120919>
- Put, W., & Pasture, P. (2017). Don't throw out the baby (PHABSIM) with the bathwater: Bringing scientific credibility to use of hydraulic habitat models, specifically PHABSIM. *Future of Salmon in the Face of Change*, 146, 493-560. <https://doi.org/10.1080/03632415.2017.1394126>
- Setyobudiarso, H., & Yuwono, E. (2018). Analysis of biodiversity and quality of Metro River in Malang City (plankton and benthos bioindicator study). *J. Sci. Appl. Eng.*, 1(1), 1-19. <https://doi.org/10.31328/jsae.v1i1.549>
- Szałkiewicz, E., Kałuża, T., & Grygoruk, M. (2022). Detailed analysis of habitat suitability curves for macroinvertebrates and functional feeding groups. *Scientific Reports*, 12(1), 10757. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15096-8>
- Taban, P., Abdoli, A., Khorasani, N., & Aazami, J. (2018). Biodiversity study and the effect of some environmental factors on distribution of macrobenthos in Jajrood and Karaj Rivers. *Journal of Animal Environment*, 10(4), 477-488.
- Tavol Koteri, M., Fatemi, M. R., Mousavi Nadushan, R., & Khoda Bakhshi, M. (2019). First record of *Nais elinguis* Müller, 1773 (Annelida: Oligochaeta: Naididae), Spatio-temporal patterns of its population density and biomass production along two estuaries in the South Caspian Sea, Mazandaran Province, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18(4), 996-1013. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.119157>
- Vahidi, F., Fatemi, S. M. R., Danehkar, A., Mashinchian, A., & Musavi Nadushan, R. (2020). Benthic macrofaunal dispersion within different mangrove habitats in Hara Biosphere Reserve,

Persian Gulf. International Journal of Environmental Science and Technology, 17(3), 1295-1306. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02469-2>

Vahidi, F., Fatemi, S. M. R., Danekar, A., Mashinchian Moradi, A., & Mousavi Nadushan, R. (2021). Patterns of mollusks (Bivalvia and Gastropoda) distribution in three different zones of Harra Biosphere Reserve, the Persian Gulf, Iran. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 20(5), 1336-1353. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2021.124955>

Vagenas G., Theodoropoulos C., Moutaouakil S., Benaissa H., Fendane Y., El Rharras A., Oikonomou A., Stoumboudi MT., Dimitriou E., Ghamizi M., Stamou A., (2023) Ecohydraulics-based environmental flow assessment in two arid North African rivers. Science of The Total Environment, 1(954) 176373. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176373>.

Vineetha, G., Kripa, V., Karati, K. K., Rehitha, T. V., Vishal, C. R., Vineetha, V., & Manu, M. (2020). Impact of a catastrophic flood on the heavy metal pollution status and the concurrent responses of the benthic-pelagic community in a tropical monsoonal estuary. Marine Pollution Bulletin, 155, 111191. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111191>

Weng, X., Jiang, C., Yuan, M., Zhang, M., Zeng, T., & Jin, C. (2021). An ecologically dispatch strategy using environmental flows for a cascade multi-sluiice

system: A case study of the Yongjiang River Basin, China. Ecological Indicators, 121, 107053. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107053>

Wolman, M.G. (1954) A method of sampling coarse river-bed material. Transactions of the American Geophysical Union 35: 951-956. <https://doi.org/10.1029/TR035i006p00951>

Yazdandoost, F., Moradian, S. and Izadi, A., (2020) Evaluation of water sustainability under a changing climate in Zarrineh River Basin, Iran. Water Resources Management, 34(15), 4831-4846. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02693-3>

Zhang, Q., Han, L., Jia, J., Song, L. and Wang, J., (2016) Management of drought risk under global warming. Theoretical and applied climatology, 125, 187-196. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1503-1>

Zhang, J., Li, S., & Jiang, C. (2020). Effects of land use on water quality in a River Basin (Daning) of the Three Gorges Reservoir Area, China: Watershed versus riparian zone. Ecological Indicators, 113, 106226. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117309>



*This page is intentionally
left blank.*