

# تدوین روش‌شناسی و ارزیابی اندرکنش بین منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور (معرفی سامانه انتخاب روش IR-GWSWI-MST, VER.1)

پژوهشگر: حامد کتابچی<sup>۱</sup>

کد پروژه: 99/191

## چکیده

برداشت فزاینده منابع آب زیرزمینی و سطحی موجب برهم خوردن سیستم اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی شده و تعادل آبی در حوضه‌های آبریز را مخدوش می‌نماید. رویکردی که عدم توجه به مدیریت آن می‌تواند پایداری سرزمین را تهدید نماید. بدین منظور، بررسی این اندرکنش و رویکردهای مختلفی که می‌تواند در شناخت فرآیند و مدیریت آن موثر باشند، حائز اهمیت است. این مطالعه به رویکردهای روش‌شناسی برآورد اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی از زوایای مختلف می‌پردازد. ایجاد درک و شناخت کافی از چگونگی این فرآیند، ارائه روش‌شناسی‌های مناسب برای بررسی اندرکنش با توجه به ویژگی‌ها و مقیاس مکانی در مناطق مختلف، بررسی ظرفیت ابزارهای فن‌آورانه برای سنجش مولفه‌های مربوط و ارائه الزامات تولید داده‌ها، اطلاعات و پیش‌نیازهای لازم بدین منظور در مناطق مختلف کشور از اهم اهداف این مطالعه است. با بررسی پیشینه مطالعات انجام شده مبتنی بر تجربیات بین‌المللی و ملی، مرور مفاهیم اندرکنش، جمع‌بندی تحلیلی آموزه‌ها و ارائه فهرستی از الگوهای ممکن و قابل پیاده‌سازی در ایران و تدوین روش‌شناسی مربوط، بستر لازم برای توصیه روش‌های مناسب برآورد اندرکنش در مناطق مختلف کشور فراهم شده و ماتریس تناسب نیازهای روش‌های منتخب مبتنی بر زیرساخت‌های اطلاعاتی و قابلیت‌های موجود تبیین می‌شود و در نهایت راهنمای استفاده ارائه می‌گردد.

**کلیدواژه‌ها:** اندرکنش، الزامات، روش‌شناسی، مدل‌سازی، محدوده مطالعاتی

## مقدمه

امروزه با بررسی نتایج مطالعات مختلف، یکپارچگی منابع آب سطحی و زیرزمینی بیش از پیش ملموس می‌باشد و این دو منبع آب به شکل جدایی‌ناپذیری در ارتباط با یکدیگر می‌باشند. آب زیرزمینی، بزرگ‌ترین منبع آب شیرین جهان، که تأمین‌کننده ۳۶٪ از مصارف آب شرب و ۴۲٪ از مصارف آبیاری در جهان است، همواره در تبادل با منابع آب سطحی می‌باشد. شناخت ویژگی‌های اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی و نقش ناحیه غیراشباع در این تبادل از اهمیت ویژه‌ای در خصوص حفظ سلامت اکولوژیکی و عملکرد این سه جزء هیدرولوژیکی برخوردار است. همزمان بودن نقش مهم اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی با بروز مسائل مختلف و عدیده اکولوژیکی، سلامت زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی، توسعه پایدار، انتقال آلاینده‌ها و چرخه مواد مغذی اهمیت آن را

<sup>۱</sup> دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، h.ketabchi@modares.ac.ir

دوچندان می‌کند (Hammett et al., 2022). در این متن، تدوین روش‌شناسی‌های منتخب و متناسب با اهمیت هر محدوده مطالعاتی در کشور با در نظر داشتن اهداف مورد نظر مطالعات مختلف و داده‌های در دسترس هر مطالعه برای ارزیابی اندرکنش بین منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور توضیح داده می‌شود. این مهم در پاسخ به نیاز به تدوین دستورالعمل انتخاب روش برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی تعریف گردید. متعاقباً، روش‌های منتخب می‌تواند در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های حوزه آب کشور جاری‌سازی شود و یکی از بسترهای لازم را برای مدیریت یکپارچه منابع آب کشور محقق نماید.

### تدوین و ارائه روش‌شناسی‌های منتخب

گستره وسیعی از روش‌ها مانند روش‌های ردیابی شیمیایی، روش‌های آماری و مدل‌سازی و روش‌های ردیابی حرارت در برآورد اندرکنش کمی و کیفی آب سطحی و زیرزمینی استفاده می‌شوند. از کاربردی‌ترین روش‌های برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی می‌توان به روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی اشاره کرد. به صورت کلی، کلیه روش‌های بومی شده را می‌توان در چهار دسته مدل‌ها (مدل‌های ریاضی، روش‌های آماری و داده‌محور، روش‌های بیلان‌محور و حسابداری آب و روابط تجربی و تحلیلی)، مدل‌های فیزیکی-آزمایشگاهی، روش‌های اندازه‌گیری (مینی‌پیزومتر، نست‌سنج‌ها، ردیابی‌های حرارتی، روش‌های ردیابی شیمیایی و ابزارهای سنجنده) و روش‌های سنجش از دور (ماهواره GRACE، عکس‌های مادون‌قرمز و سایر محصولات ماهواره‌ای) تقسیم‌بندی کرد.

### طراحی سامانه انتخاب روش برآورد اندرکنش

مطالعه و شناخت کافی از پیش‌نیازهای اطلاعاتی و قابلیت‌های روش‌های ارائه شده در این پروژه و انتخاب یک یا چند روش از مجموع روش‌های ارائه شده برای متخصصان و محققان یک چالش در برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی محسوب می‌شود. از این روی نیاز به یک ابزار برای انتخاب روش برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به یک ضرورت بدل شده است (Hammett et al., 2022). (Hammett et al., 2022) برای پاسخ به این نیاز به بررسی نحوه انتخاب روش مناسب در ارزیابی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی پرداختند. این مطالعه بر اساس طرح برخی سوالات از کاربر (پژوهشگر) در خصوص اهداف، ابزار و داده‌های موجود به پیشنهاد روش‌های مناسب در پژوهش اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در حوضه مدنظر می‌پردازد. سه نوع اندرکنش شامل اندرکنش رودخانه و آبخوان، اندرکنش دریاچه و تالاب با آبخوان و اندرکنش دریا و خور با آبخوان در پژوهش اشاره شده مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال نتایج این مطالعه با توجه به تفاوت‌های ابزاری و داده‌ای موجود در کشور ایران و اهداف و مناقشات موجود در این کشور نیاز به بومی‌سازی دارد. در این پروژه با در نظر داشتن مجموعه ابزار و داده‌های اندازه‌گیری شده موجود در کشور و با در نظر داشتن اهداف مختلف در مطالعه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به توسعه سامانه بومی انتخاب روش در برآورد اندرکنش کمی کیفی آب سطحی و زیرزمینی<sup>1</sup> IR-GWSWI-MST (VER.1) پرداخته شده است.

روش‌های میدانی در برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی (اعم از مینی‌پیزومتر، نست‌سنج، روش‌های ردیابی شیمیایی و روش‌های سنجش از دور)، با توجه به قابلیت‌های هر روش، در مقیاس‌های نقطه‌ای تا حوضه آبریز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (Hammett et al., 2022). برخی از این روش‌ها در برآورد کمی اندرکنش، نظیر محاسبه جریان عمودی توسط نست‌سنج کاربرد دارند (Duque et al. 2020; Rosenberry et al. 2020). برخی روش‌ها نیز به صورت نیمه کمی عمل می‌کنند. برای مثال روش‌های حرارت‌سنجی به صورت کمی به ارزیابی دما در محدوده مورد بررسی پرداخته و بر اساس این نتایج نواحی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به صورت کیفی تعیین می‌گردد (Hammett et al., 2022).

<sup>1</sup> IR-GWSWI-MST (VER.1): Iranian Groundwater/Surface Water Interaction - Method Selection Tool (First Version), Download link: <https://drive.modares.ac.ir/index.php/s/9484HqHKdwn3OD>

توانایی یک روش یا ترکیبی از چند روش در حل مسئله یا مسائلی خاص از اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به توانایی روش در پاسخ به مسائل اندرکنش همراه با شرایط محدوده مطالعاتی (اعم از داده‌ها و ابزارهای در دسترس و ویژگی‌های خاص محدوده) که می‌تواند در کارآیی روش در محدوده مورد نظر تأثیر داشته باشد وابسته است (Hammett et al., 2022). برای مثال هر روش در مقیاس مکانی خاصی کارآیی دارد و بسته به اهداف مطالعه انتخاب روش‌ها می‌تواند متفاوت باشد. همچنین برخی محدودیت‌ها می‌تواند عملکرد یک روش را در یک محدوده خاص به صورت کامل مختل کند. برای مثال برخی روش‌ها نظیر استفاده از نش‌سنج‌ها تنها در آبخوان‌های آبرفتی کارآیی لازم را داراست و بنابراین در یک آبخوان آبرفتی استفاده از این روش مردود خواهد بود. بنابراین می‌توان ابراز داشت که هر روشی در هر محدوده مطالعاتی و در برآورد هر هدفی کارآیی ندارد و از این روی نیاز است که روش مناسب برای اهداف بر اساس ویژگی‌ها و امکانات در دسترس تعیین گردد (Day-Lewis et al., 2016). بنابراین در این مطالعه بر اساس اهداف، داده‌ها و ابزار تعیین شده توسط کاربر در هر نوع از اندرکنش و اهمیت محدوده مورد نظر کاربر روش مناسب انتخاب خواهد شد.

با در نظر داشتن اهمیت انواع اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در این پروژه به ارائه یک سامانه انتخاب روش برای ارزیابی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی پرداخته شد. بر این اساس روش‌های موجود در برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی بر اساس کارآیی در انواع شش‌گانه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی دسته‌بندی شدند. اندرکنش رودخانه و آبخوان، اندرکنش دریاچه و تالاب و آب زیرزمینی، اندرکنش دریا و آب زیرزمینی، اندرکنش آب برگشتی مصارف انسانی و آبخوان، اندرکنش بارش و آب زیرزمینی و اندرکنش کیفی آب سطحی و زیرزمینی انواع مختلف اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در این مطالعه هستند. همچنین قابلیت‌ها، ویژگی‌ها و ملزومات هر روش در برآورد هر نوع از اندرکنش تعیین گردید. بر این اساس، سامانه طراحی شده برای انتخاب روش برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی با طرح مجموعه‌ای از سوالات مربوط به محدوده مطالعاتی مورد بررسی، اهداف، ویژگی‌ها و نیازهای کاربر، داده‌ها و اطلاعات در دسترس کاربر و همچنین دسته‌بندی روش‌های مورد نظر کاربر برای انتخاب روش برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به ارزیابی تناسب هر روش با پاسخ‌های کاربر می‌پردازد. بر این اساس چهار دسته از سوالات در سامانه طراحی شده‌اند که شامل: تعیین محدوده مطالعاتی، شرایط و ویژگی‌های مطالعه، پارامترها و داده‌های در دسترس مطالعه و سوالات مربوط به تعیین دسته‌بندی روش‌های مورد نیاز کاربر هستند.

با پاسخگویی کاربر به سوال مربوط به تعیین محدوده مطالعاتی، اهمیت کلی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی، اهمیت نوع خاص اندرکنش (از انواع شش‌گانه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی) و اهمیت ناحیه غیراشباع بر اساس نتایج مطالعات اهمیت‌سنجی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در گستره محدوده‌های مطالعاتی کشور ایران تعیین می‌گردد. بر این اساس سامانه برای محدوده‌های دارای اهمیت زیاد به ارائه روش‌های دارای دقت بالاتر می‌پردازد. در سویی دیگر روش‌های با دقت کم و متوسط برای محدوده‌های دارای اهمیت کمتر پیشنهاد می‌شوند. همچنین با تعیین اهمیت ناحیه غیراشباع در محدوده مطالعاتی مورد نظر، در محدوده‌های دارای اهمیت زیاد از منظر تأثیر ناحیه غیراشباع بر اندرکنش، تنها روش‌های دارای قابلیت شبیه‌سازی ناحیه غیراشباع مورد تأیید قرار گرفته و به کاربر پیشنهاد می‌شوند.

دسته دوم از سوالات به شرایط و ویژگی‌های مطالعه و نیازهای کاربر اختصاص دارد که با پاسخگویی کاربر به این دسته از سوالات ماتریس تناسب اهداف کاربر با روش‌های مختلف تعیین می‌گردد. این دسته از سوالات به بررسی دقت مدنظر کاربر، مقیاس مکانی مورد نظر کاربر، بودجه در نظر گرفته شده توسط کاربر (یا مجموعه کاربران) برای برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی، اهمیت سهولت کاربری روش پیشنهاد شده توسط سامانه برای کاربر، دسترسی به تجهیزات خاص و وجود امکان بازدید و فعالیت‌های میدانی، دسترسی به نیروی انسانی متخصص منابع آب و سنجش از دور، زمان مدنظر کاربر برای برآورد اندرکنش و دسترسی (یا عدم دسترسی) به داده‌های آب سطحی و زیرزمینی می‌پردازند و پاسخ‌های ارائه شده توسط کاربر با ماتریس روش‌ها مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. بر این اساس در ماتریس تناسب اهداف، اهداف محقق شده توسط هر روش تعیین می‌گردد. در صورتی که روشی

توانایی برآورد حداقل یکی از اهداف کاربر را داشته باشد مورد تأیید سامانه قرار می‌گیرد. با این حال روش‌هایی که تعداد اهداف بیشتری را محقق نمایند، در مجموعه روش‌های تأیید شده با اولویت بالاتری به کاربر پیشنهاد می‌شوند.

دسته سوم از سوالات مربوط به پارامترهایی از محدوده مطالعاتی است که در دسترس کاربر قرار دارند. بر اساس مجموعه داده‌های مورد نیاز هر روش و داده‌هایی در دسترس کاربر، ماتریس «تناسب روش با داده‌های موجود» تکمیل شده و مبنای داده‌ای مورد نیاز هر روش در این ماتریس مورد سنجش قرار می‌گیرد. بر این اساس روش‌هایی که همه داده‌های مورد نیاز آن‌ها در دسترس کاربران باشد مورد تأیید قرار می‌گیرند. بر این اساس در صورتی که حتی یک دسته داده از مجموعه داده‌های مورد نیاز روش در دسترس کاربر قرار نداشته باشد، به دلیل نقص اطلاعاتی روش رد شده و به کاربر پیشنهاد نخواهد شد.

همچنین در این مطالعه، روش‌های موجود به دسته‌های مدل/معادلات (مدل‌های ریاضی، روش‌های آماری و داده‌محور، روش‌های بیلان‌محور و حساب‌داری آب و روابط تحلیلی و تجربی)، مدل‌های فیزیکی-آزمایشگاهی، میدانی (مینی‌پیزومتر، نشت‌سنج، ردیابی حرارتی، روش‌های ردیابی شیمیایی و سایر ابزارهای سنجنده) و روش‌های سنجش از دور (تصاویر مادون قرمز و استفاده از محصولات ماهواره‌ای) تقسیم شده‌اند. بر این اساس با انتخاب کاربر امکان ایجاد محدودیت در پیشنهاد روش‌های مربوط به هر یک از این دسته‌ها فراهم گردیده است. بر این اساس سامانه تعیین روش در برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی تنها به ارائه روش‌هایی خواهد پرداخت که در دسته‌های مورد نظر کاربر قرار گرفته باشند.

در گام بعد نتایج تناسب هر روش با پاسخ سوالات چهارگانه فوق، روش‌هایی که از منظر هر چهار دسته از سوالات مورد تأیید قرار گرفته‌اند به کاربر پیشنهاد خواهد شد و روش‌هایی که در تناسب با حتی یکی از دسته سوالات فوق نباشند مورد تأیید سامانه قرار نخواهند گرفت. روش‌های تأیید شده در این مرحله بر اساس میزان برآورده کردن اهداف کاربر و همچنین میزان تطابق روش با نتایج اهمیت‌سنجی محدوده مطالعاتی اولویت‌بندی خواهند شد. این اولویت‌بندی می‌تواند در صرفه‌جویی کاربر در انرژی، زمان و هزینه صرف شده برای کاربران حائز اهمیت باشد.

### نحوه کار با سامانه

در این مطالعه روش‌های منتخب بر اساس نوع اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی تفکیک شده‌اند. بر این اساس اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در این مطالعه به شش دسته تفکیک شده است. بر اساس هر نوع اندرکنش دو دسته اصلی از سوالات طراحی شده است. دسته اول سوالات مختص اهداف مطالعه مورد نظر در خصوص اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی و دسته دوم بر اساس ویژگی‌های محدوده مطالعاتی مورد نظر و داده‌ها و ابزار در دسترس مطالعه اختصاص دارد. بر اساس پاسخ‌های ارائه شده توسط کاربر ماتریس اهداف و ماتریس ابزار و ویژگی‌ها به صورت جداگانه تدوین می‌شود. سوالات تدوین شده برای انواع شش‌گانه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در برخی موارد یکسان و در برخی موارد دیگر بر اساس ویژگی‌های مختص به نوع اندرکنش متفاوت هستند. همچنین بر اساس کد محدوده مطالعاتی تعیین شده توسط کاربر اهمیت کلی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی، اهمیت نوع خاص اندرکنش و اهمیت ناحیه غیراشباع در محدوده مطالعاتی مورد نظر بر اساس مطالعه اهمیت‌سنجی محدوده‌های مطالعاتی کشور تعیین می‌گردد.

اولین کاربرگ IR-GWSWI-MST (VER.1) به مقدمه اختصاص دارد. در این کاربرگ به ارائه توضیحات مختصری از سامانه انتخاب روش برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی پرداخته شده است. در شکل ۱ تصویری از کاربرگ مقدمه سامانه انتخاب روش برآورد اندرکنش آب زیرزمینی و آب سطحی ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود این سامانه به عنوان یک ابزار راهنما در جهت تدقیق مسیر انتخاب روش اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی و کاهش هزینه و زمان مورد نیاز در این خصوص طراحی شده است.



شکل ۱: کاربرد گام مقدمه سامانه انتخاب روش برآورد اندرکنش آب زیرزمینی و آب سطحی

در ادامه در کاربرد دوم این سامانه راهنمای کاربری سامانه انتخاب روش در برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی ارائه شده است. در این کاربرد به نصب و راه اندازی سامانه، داده‌های ورودی و انتخاب روش برآورد اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی (خروجی) به تفصیل معرفی شده‌اند. برای نصب و راه اندازی این سامانه تنها نیاز است که فایل اکسل این سامانه در بخشی از فضای ذخیره‌سازی سیستم رایانه‌ای کاربر ذخیره شود. در گام بعد با دبل کلیک بر روی آیکون فایل اکسل سامانه صفحه گسترده اکسل سامانه راه اندازی خواهد شد. داده‌های ورودی این سامانه که به صورت جزئی تر در ادامه به آن اشاره می‌شود به صورت کلی شامل:

۱- انتخاب سناریوی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی با توجه به انواع شش گانه اندرکنش

۲- پاسخ به سوالات طرح شده از کاربر در کاربرد مختص به نوع خاص از اندرکنش

۳- اعمال تغییرات مورد نیاز در صورت لزوم تغییر نتایج اهمیت‌سنجی محدوده مطالعاتی مورد نظر

با تعیین داده‌های ورودی بر اساس نیاز و امکانات کاربر و اهمیت محدوده به صورت اتوماتیک نتایج انتخاب روش و اولویت‌بندی روش‌های معرفی شده قابل مشاهده خواهند بود. در ادامه به تفصیل در مورد جزئیات بخش‌های ذکر شده به ارائه توضیحات پرداخته خواهد شد.

در اولین گام برای استفاده از این سامانه، IR-GWSWI-MST (VER.1)، نیاز است که نوع خاص اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی که برآورد آن مورد پرسش کاربر قرار دارد تعیین گردد. بدین منظور در کاربرد انتخاب سناریوی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی انواع ۶ گانه اندرکنش قابل مشاهده هستند که با انتخاب هر یک از این سناریوها کاربر به کاربرد مربوط به نوع خاص انتخاب شده از اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی منتقل خواهد شد. در شکل ۲ تصویری از کاربرد انتخاب سناریوی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود انواع شش گانه اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی قابل مشاهده و انتخاب در این کاربرد هستند.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود برای تعیین اهمیت محدوده مطالعاتی مورد نظر کاربر بر اساس مطالعات اهمیت‌سنجی محدوده‌های مطالعاتی کشور، از کاربر سامانه خواسته می‌شود که استان و محدوده مطالعاتی مورد نظر تعیین گردد. با پاسخ کاربر به سوالات فوق، کد محدوده مطالعاتی و حوضه آبریز درجه ۱ و ۲ که محدوده به آن تعلق دارد (در باکس اول شکل ۱۹) نمایش داده می‌شود. همچنین اهمیت اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مورد نظر، اهمیت اندرکنش مورد نظر در محدوده مطالعاتی مورد بررسی و اهمیت ناحیه غیراشباع در محدوده مورد نظر نمایش داده می‌شود. با در نظر داشتن امکان عدم موافقت کاربر با رتبه پیشنهادی سامانه برای اهمیت محدوده مطالعاتی مورد نظر؛ امکان تعیین اهمیت محدوده مورد نظر از منظر اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی توسط خود کاربر هم فراهم گردیده است.

۶ اندرکنش کیفی آب سطحی و زیرزمینی

| # | شرایط و ویژگی‌های مطالعه                                                                | # | پارامترهای محدوده مطالعاتی                                    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------|
| A | دقت منظر شما برای برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به چه میزان است؟                    | 1 | آیا داده‌های هواشناسی محدوده مطالعاتی در دسترس هستند؟         |
| B | لطفاً مقیاس مکانی محدوده خود را تعیین کنید                                              | 2 | آیا داده‌های هیدرومتری محدوده مطالعاتی در دسترس هستند؟        |
| C | بودجه (هزینه) در نظر گرفته شده برای برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی را تعیین کنید؟    | 3 | آیا داده‌های تراز آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در دسترس هستند؟ |
| D | اهمیت سهولت کاربری روش معرفی شده برای ارزیابی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی را تعیین کنید؟ | 4 | آیا مشخصات بستر رودخانه در دسترس هستند؟                       |
| E | آیا تجهیزات خاص اندازه‌گیری در دسترس قرار دارد؟                                         | 5 | آیا تصاویر کاربری اراضی محدوده مطالعاتی در دسترس هستند؟       |
| F | آیا امکان بازدید و فعالیت‌های میدانی وجود دارد؟                                         | 6 | آیا مشخصات ایخوان محدوده مطالعاتی مورد نظر در دسترس هستند؟    |
| G | آیا نیروی انسانی متخصص منابع آب و آشنا به مسائل اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی وجود دارد؟   | 7 | آیا اطلاعات بهره‌برداری از ایخوان در دسترس هستند؟             |
| H | آیا نیروی انسانی متخصص سنجش از دور وجود دارد؟                                           | 8 | آیا اطلاعات مورفولوژی رودخانه در دسترس هستند؟                 |
| I | زمان منظر شما برای برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به چه میزان است؟                   | 9 | آیا اطلاعات کیفی آب زیرزمینی در دسترس هستند؟                  |
| J | آیا داده‌های آب سطحی و زیرزمینی در دسترس قرار دارد؟                                     |   |                                                               |

| # | انتخاب روش‌های مورد نیاز                                                                                                                               |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | آیا مایل به استفاده از مدل‌ها (مدل‌های ریاضی، روش‌های آماری و داده‌محور، روش‌های بیلان‌محور و حساب‌داری آب و رولپت تجربی و تحلیلی) در پژوهش خود هستید؟ |
| 2 | آیا مایل به استفاده از مدل‌های فیزیکی-آزمایشگاهی در پژوهش خود هستید؟                                                                                   |
| 3 | آیا مایل به استفاده از روش‌های اندازه‌گیری (مینی‌پیزومتر، نشست‌سنج، سنسور حرارتی، روش‌های هیدروشییمی و سایر ابزارهای سنجنده) در مطالعه خود هستید؟      |
| 4 | آیا مایل به استفاده از روش‌های سنجش از دور (تصاویر مادون قرمز و محصولات ماهواره‌ای) در مطالعه خود هستید؟                                               |

شکل ۴: سه دسته سوالات مختلف پرسیده شده از کاربر در سامانه

## نتایج و جمع‌بندی

با تکمیل پاسخ سوالات هر چهار دسته، ماتریس‌های چهارگانه متناظر با آن‌ها تکمیل می‌گردد. روش‌هایی که از منظر هر ۴ دسته از سوالات مورد تأیید قرار بگیرند مورد تأیید قرار خواهند گرفت. همچنین در این بخش اولویت روش‌های تأیید شده بر اساس تعداد اهداف محقق شده و میزان تطابق روش با اهمیت محدوده مشخص خواهد شد. نمونه‌ای از نتایج این بخش در شکل ۵ نمایش داده می‌شود.

| روش                             | تأیید روش از منظر نیاز کاربر | اولویت روش از منظر نیاز کاربر | تناسب روش با اهمیت محدوده | تناسب نوع روش با نیاز کاربر | تناسب با اهداف |
|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| IHACRES (GW.CMD.runo)           | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |
| تداوم جریان                     | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |
| تبادل شار تجمعی                 | ✓                            | ۱                             | ✓                         | ✓                           | ✓              |
| ردیابی شیمیایی                  | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |
| ردیابی حرارت                    | ✓                            | ۳                             | ✓                         | ✓                           | ✓              |
| جریان پایه رودخانه              | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |
| معادلات و رولپت تحلیلی و تجربی  | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |
| گرادبان هیدرولیکی               | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |
| نوسانات سطح آب                  | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |
| ترکیب روش‌های مدل‌سازی و میدانی | ×                            |                               | ×                         | ✓                           | ✓              |

شکل ۵: تناسب روش‌ها با پاسخ سوالات توسط کاربر و تأیید و اولویت‌بندی نهایی روش‌ها

با در نظر داشتن که اینکه انتخاب روش مناسب برای ارزیابی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی بدون در نظر داشتن نیاز و امکانات در دسترس کاربر به اهمیت محدوده مطالعاتی وابسته است و در صورتی که کاربر به پیش‌نیازهای یک روش دسترسی نداشته باشد نیز نیاز به یک روش با دقت بالا در محدوده‌های دارای اهمیت زیاد ضرورت دارد. سامانه توسعه داده شده ضمن ارائه روش مناسب بر اساس نیاز کاربر به ارائه روش‌های متناسب با اهمیت محدوده مطالعاتی مورد بررسی کاربر برای بررسی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی نیز می‌پردازد. از این روی بر اساس تناسب دقت هر روش با اهمیت محدوده به ارائه فهرست روش‌های متناسب با محدوده پرداخته شده است که عملاً روش صحیح پیشنهادی است و نمونه‌ای از آن در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

| اولویت روش از<br>منظر اهمیت<br>محدوده | تأیید روش از<br>منظر اهمیت<br>محدوده | روش                                           |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ۹                                     | ✗                                    | IHACRES (GW/CMD/runo)                         |
| ۱۱                                    | ✗                                    | تداوم جریان                                   |
|                                       | ✓                                    | تبادل شار تجمعی                               |
|                                       | ✗                                    | ردیابی شیمیایی                                |
|                                       | ✓                                    | ردیابی حرارت                                  |
|                                       | ✗                                    | جریان پایه رودخانه                            |
|                                       | ✗                                    | معادلات و روابط تحلیلی و تجربی                |
|                                       | ✗                                    | گردابان هیدرولیکی                             |
|                                       | ✗                                    | نوسانات سطح آب                                |
|                                       | ✗                                    | ترکیب روش‌های مدل‌سازی و میدانی               |
| ۱۰                                    | ✓                                    | اندازه گیری دبی و سطح آب دریاچه‌ها و تالاب‌ها |
|                                       | ✗                                    | اندازه گیری مستقیم خصوصیات جریان              |

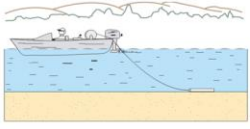
شکل ۶: ارائه روش‌های متناسب با اهمیت محدوده مطالعاتی

با در نظر داشتن اینکه هر یک از روش‌های برآورد اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی دارای پیشینه مطالعاتی، مبنای علمی و جزئیات مختلفی هستند که برای استفاده از آن‌ها نیاز است مطالعه جامعی توسط کاربران انجام پذیرد. با این حال در این سامانه راهنمای کاربری استفاده از بسیاری از روش‌های معرفی شده توسط سامانه در دسترس می‌باشد. برای استفاده از این راهنمای کاربردی در خصوص هر روش تنها نیاز است بر روی نام روش کلیک شود. با کلیک کاربر بر روی نام روش، کاربر به کاربردگ متناظر با راهنمای کاربردی روش مورد نظر منتقل خواهد شد. در شکل ۷ نمونه‌هایی از راهنمای استفاده از روش‌های مختلف ارائه شده در سامانه ارائه شده است.

برای بازگشت به کارهای زیر روی عنوان کاربرگ مد نظر کلیک کنید.

|         |        |      |      |           |      |
|---------|--------|------|------|-----------|------|
| رودخانه | دریاچه | دریا | بارش | آب برکنشی | کیفی |
|---------|--------|------|------|-----------|------|

### راهنمای استفاده از سوندهای هدایت الکتریکی ویژه در برآورد اندرکنش آب زیرزمینی و آب سطحی



پروپ‌های هدایت ویژه روشی دیگر برای تعیین ناحیه تخلیه آب سطحی به آب زیرزمینی است (Harvey et al., 1997). پروپ‌های سونده هدایت الکتریکی ویژه از یک القای جریان می‌دهند و توسط یک کابل به یک هدایت سنج متصل می‌شوند که دین یک محفظه آرز می‌گیرد. این محفظه با رسوبات در تماس می‌باشد. اگر هدایت الکتریکی آب سطحی و زیرزمینی توسط این دستگاه اندازه‌گیری باشد، می‌توان نقطه تخلیه آب زیرزمینی به آب سطحی را شناسایی کرد. از این روش در مکان‌هایی که نفوذ شوری وجود دارد می‌توان استفاده کرد و با این نوع رسوبات نیز روی آن تأثیرگذار است. روش مذکور با باید با روش‌های دیگر مستندسازی کرد زیرا نتایج آن تقریبی می‌باشد (الزبیدی، ۱۳۹۴). سوندهای هدایت الکتریکی و سوندهای حرارتی به این روش هموار با داده‌های سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS)، برای تعیین محل‌های تخلیه آب زیرزمینی به آب سطحی و بررسی تغییرات فصلی آن در مناطق وسیعی به‌کاربرده شده‌اند (Vaccaro and Maloy, 2006).

استفاده سریع و آسان  
دقت متوسط روش

|                         |                                      |                      |                      |                           |                                |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| اندکشن رودخانه و آبخوان | اندکشن معادن طبیعی و مصنوعی و آبخوان | اندکشن دریا و آبخوان | اندکشن بارش و آبخوان | اندکشن آب برکنشی و آبخوان | اندکشن کیفی آب سطحی و زیرزمینی |
| ✓                       | ✓                                    | ✗                    | ✗                    | ✗                         | ✗                              |

**مزایا**

**معایب**

**کارایی در بررسی انواع اندرکنش مورد بررسی**

شکل ۷: نمونه‌هایی از راهنمای استفاده از روش‌های مختلف ارائه شده در سامانه

## مراجع

- [1]. Day-Lewis, F. D., Johnson, C. D., Slater, L. D., Robinson, J. L., Williams, J. H., Boyden, C. L., ... & Lane, J. W. (2016). A fractured rock geophysical toolbox method selection tool. *Groundwater*, 54(3), 315-316.
- [2]. Duque, C., Russoniello, C. J., & Rosenberry, D. O. (2020). History and evolution of seepage meters for quantifying flow between groundwater and surface water: Part 2—Marine settings and submarine groundwater discharge. *Earth-Science Reviews*, 204, 103168.
- [3]. Hammett, S., Day-Lewis, F. D., Trotter, B., Barlow, P. M., Briggs, M. A., Delin, G., ... & Werkema, D. D. (2022). GW/SW-MST: A groundwater/surface-water method selection tool. *Groundwater*, 60(6), 784-791.
- [4]. Rosenberry, D. O., Duque, C., & Lee, D. R. (2020). History and evolution of seepage meters for quantifying flow between groundwater and surface water: Part 1—Freshwater settings. *Earth-Science Reviews*, 204, 103167.