

تدوین روش‌شناسی و ارزیابی اندرکنش بین منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور (پهنه‌بندی کشور از نظر اهمیت اندرکنش)

پژوهشگر: حامد کتابچی^۱

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. طوریکه 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

آب‌های زیرزمینی با منابع مختلف آب سطحی از جمله رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها در تعامل دو طرفه یا اندرکنش هستند. به عنوان مثال در اندرکنش آب زیرزمینی با رودخانه‌ها، سطح بالای آب زیرزمینی در آبخوان و یا پمپاژ از آن می‌تواند باعث ورود مقداری از آن به داخل رودخانه شود. همچنین در این اندرکنش، آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان بانک آب مورد استفاده باشد تا در دوره‌های خشکسالی به عنوان منبع مکمل مورد استفاده قرار گیرد (Dogrul et al., 2011). یا در مثالی دیگر، دریاچه‌ها در اقلیم‌های خشک نیاز مداوم به تأمین آب از منابع آب زیرزمینی دارند (حتی اگر صرفاً در حد زهکشی آب در اثر نیرو

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

موینگی باشد) تا رسوبات دریاچه‌ای قابل توجهی را به صورت متناوب تولید کنند و از خشک شدن در اثر تغییر اقلیم، جان سالم به در ببرند.

یکی از موارد لازم در رسیدن به مدیریت یکپارچه منابع آب در سطح کشور، دانستن اهمیت اندرکنش منابع آب در حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مختلف در سرتاسر کشور می‌باشد. پارامترهای مختلفی بر روی اندرکنش منابع آب مؤثر هستند از جمله آن می‌توان به عوامل طبیعی و عوامل انسانی اشاره نمود.

دسته عوامل طبیعی شامل (۱) عوامل اقلیمی همچون بارش باران و برف، تبخیر و تعرق، دمای هوا و ...، (۲) عوامل زمین‌شناسی همچون خصوصیات توپوگرافی زمین، تراکم رودخانه‌ها در سطح زمین، ضرایب قابلیت انتقال و ذخیره مربوط به هر آبخوان، ضخامت آبرفت هر منطقه و ...، (۳) عوامل هیدرولوژیکی همچون دبی پایه رودخانه‌ها، رواناب سطحی تولید شده، رطوبت خاک، عمق آب زیرزمینی و ...، (۴) کاربری اراضی همچون شاخص NDVI هر منطقه و ...، عوامل کیفی (شوری آبخوان و ...) (Healy, 2010; Parizi et al., 2020)، است. عوامل انسانی نیز شامل تراکم جمعیت، مقادیر برداشت از آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، آب برگشتی ناشی از مصارف مختلف آب، اراضی تحت کشت و ... می‌باشد.

روش‌شناسی انجام این نوع اهمیت‌سنجی به این صورت است که ابتدا شاخص‌هایی با استفاده از پارامترهای مؤثر بر روی اندرکنش آب سطحی - زیرزمینی تعریف می‌شود. سپس داده‌های مورد نیاز شاخص‌ها برای تمام محدوده‌های مطالعاتی ایران که مجموعاً ۶۰۹ مورد در سطح ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲ کشور می‌باشد (منطبق بر گزارش تقسیم‌بندی و کدگذاری حوزه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور (بازنگری در سال ۹۰-۸۹)، دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران)، گردآوری می‌شوند.

در مرحله بعدی، ابتدا اوزانی به این شاخص‌ها داده می‌شود که برگرفته از سه نوع وزن می‌باشد؛ (۱) وزن ریاضی، که حاصل از عملیات ریاضی مشخص و تعریف شده بر روی مقادیر هر شاخص به ازای محدوده‌های مطالعاتی مختلف ایران می‌باشد (استفاده از روش‌هایی همچون آنتروپی، انحراف معیار و یا ...)، (۲) وزن آماری بر مبنای رگرسیون چندمتغیره بین شاخص‌ها و تغذیه و تخلیه آبخوان (به عنوان دو رخنمون اصلی اندرکنش) در حالت داده‌های نرمال و لگاریتم طبیعی و (۳) استفاده از نظرات کارشناسان، که از پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط متخصصان و کارشناسان خبره این حوزه، منتج می‌شود. در انتها نیز با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند شاخصه و استفاده از روش PROMOTHEE-II که روشی جدید در علوم زیست‌محیطی می‌باشد و کاربردهای جالبی در سال‌های اخیر از این روش ارائه شده است (Hosseini et al., 2019; Mutikanga et al., 2011)، شاخص‌های هر محدوده با توجه به اوزانی که برای هر کدام از آنها معین شده است، با هم تلفیق شده و به یک رتبه‌بندی نهایی اهمیت‌سنجی اندرکنش خلاصه می‌شود.

در این بخش از پروژه، در مرحله اول، تدوین شاخص‌ها برای پهنه‌بندی و دسته‌بندی مناطق کشور و در مرحله دوم، تدوین و ارائه روش‌شناسی‌های منتخب بومی شده جهت بررسی اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی، در نظر گرفته می‌شود. در مرحله اول، هدف اصلی پهنه‌بندی و دسته‌بندی مناطق کشور از منظر اهمیت اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی است. در این راستا جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز به جهت تحلیل اولیه از اطلاعات موجود و مؤثر در این پهنه‌بندی مدنظر است. در این مرحله، جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات با هدف شناخت از مناطق و محدوده‌های مورد نظر و بررسی منابع آب زیرزمینی و سطحی موجود، با هدف ارزیابی از وضعیت منابع آب موجود و عوامل مؤثر بر اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی انجام می‌گردد. در ادامه، مناطق مختلف کشور در زمینه اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی، رتبه‌بندی شده و نیازهای تحقیقاتی و مطالعاتی جهت شناخت بیشتر این مناطق انجام می‌گردد. در نهایت پهنه‌بندی و دسته‌بندی مناطق کشور بر اساس شاخص‌ها و مقیاس‌های (مکانی و زمانی) متناسب تدوین می‌گردد. به جهت تحقق هدف مدنظر در این مرحله، در ادامه به فرآیند انجام کار اشاره شده است. فرآیند و روش انجام کار این مرحله از پروژه در شکل ۱ نشان داده شده است.

۱- گزارش بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوضه های آبریز درجه ۲ کشور منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰ (شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب کشور)^۱:

متشکل از ۵ جلد گزارش مطالعات پایه به ازای هر حوضه آبریز درجه ۲ کشور:

✓ جلد ۱) مطالعات هواشناسی شامل میانگین ماهانه و سالانه بلندمدت متغیرهای هواشناسی اعم از بارش، دما و تبخیر
✓ جلد ۲) مطالعات هیدرولوژی شامل تمامی سری زمانی داده های آماری از ایستگاه های هیدرومتری و شاخص های آماری مربوط به آن

✓ جلد ۳) مطالعات هیدروژئولوژی و آب زیرزمینی شامل معرفی و تشریح آبخوان ها و کلیه پارامترهای مربوط به آن
✓ جلد ۴) مطالعات کیفیت شیمیایی منابع آب شامل سری زمانی داده های کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی و محاسبات پارامترهای آماری مربوط به آن

✓ جلد ۵) مطالعات ارزیابی بیلان منابع آب شامل بیلان های سه گانه (هیدروکلیماتولوژی، آبخوان و عمومی) و حجم برداشت های آب برای مصارف مختلف از منابع آب سطحی و زیرزمینی

مجموع این گزارش ها برای سرتاسر ایران، ۱۴۶ جلد و بالغ بر ۲۲۰۰۰ صفحه موجود می باشد. در تهیه این گزارش ها از داده های ایستگاه های هواشناسی، هیدرومتری و پارامترهای مرتبط با بیلان های سه گانه به صورت میانگین بلندمدت سالانه (به مدت ۴۵ سال منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰)، تغییرات سطح آب زیرزمینی در پیزومترها به صورت میانگین کوتاه مدت سالانه (به مدت ۱۵ سال منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰) و آخرین دوره آماربرداری سراسری کمی - کیفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی (مربوط به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰) استفاده شده است.

۲- مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور به ازای حوضه های آبریز درجه ۲ منتهی به سال آبی ۱۳۸۵-۸۶ (معاونت آب و آبفا وزارت نیرو)^۲:

این طرح از مطالعات به ازای هر حوضه آبریز درجه ۲ کشور، ۶ بسته و بالغ بر ۲۵ جلد گزارش موجود می باشد (در مجموع بیش از ۷۰۰ جلد گزارش و ۱۲۰ هزار صفحه گزارش) که در این پروژه به صورت ویژه از گزارش های زیر استفاده شد.

✓ جلد ۱) مطالعات جمعیت (در سال ۱۳۸۵) شامل جمعیت هر محدوده مطالعاتی به تفکیک شهرها و روستاهای مربوطه
✓ جلد ۹) مطالعات کشاورزی، مصارف و نیاز کشاورزی و زهاب تولیدی (در سال آبی ۱۳۸۵-۸۶) شامل مساحت های زراعی و باغی هر محدوده مطالعاتی

✓ جلد ۱۱) بیلان منابع و مصارف آب (متوسط ۴۰ ساله تا سال ۱۳۸۵) شامل مساحت ها و بیلان های سه گانه محدوده های مطالعاتی

✓ جلد ۱۸) مطالعات جمعیت در افق ۱۴۲۰ شامل جمعیت در گذشته و پیش بینی آن برای آینده در افق ۲۵ ساله
۳- نقشه ها و لایه های GIS:

از ۶ لایه نقشه به شرح زیر طبق آخرین نسخه شرکت مدیریت منابع آب کشور استفاده شد؛

- ✓ مساحت کشور ایران
- ✓ محدوده های مطالعاتی کشور
- ✓ دشت های کشور
- ✓ آبخوان های کشور

^۱ (گزارش بیلان، ۱۳۹۰)

^۲ (طرح جامع آب کشور، ۱۳۸۶)

✓ DEM-30m کشور

✓ آبراهه‌های کشور

۴- اطلاعات ماهواره‌ای سنجش از دور:

از دو ماهواره MODIS و SMAP برای داده‌های NDVI و رطوبت خاک استفاده شد.

در جدول ۱ فهرستی از جزئیات داده‌های خام مورد استفاده در تدوین شاخص‌ها تشریح شده است.

جدول ۱: معرفی داده‌های خام مورد استفاده در پروژه - اهمیت سنجی اندرکنش

نوع داده	کاربرد مکانی	مقیاس زمانی	واحد	مرجع
زمین‌شناسی	مساحت	دشت / ارتفاعات آبخوان	Km ²	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان) ** (جلد ۱۱ بیلان)
		کشاورزی آبی (زراعی / باغی)	ha	** (جلد ۹ کشاورزی)
	مرز و محدوده جغرافیایی	دشت / محدوده آبخوان	—	GIS (Shp. file)
	مدل رقومی ارتفاعی (DEM)	سرتاسر کشور ایران	m	GIS (Raster file)
	طول آبراهه	سرتاسر کشور ایران	m	GIS (Shp. file)
	کاربری (شاخص NDVI)	دشت / محدوده	—	RS (MODIS)
هواشناسی	دمای هوا	دشت / ارتفاعات	°C	* (جلد ۱ هواشناسی)
	بارش	دشت / ارتفاعات	mm	* (جلد ۱ هواشناسی)
	تبخیر از سطح آب آزاد	دشت / ارتفاعات	mm	* (جلد ۱ هواشناسی)
هیدرولوژی	پارمترهای آماری ایستگاه‌های هیدرومتری	محدوده	ماهانه ^(۲) / سالانه ^(۱)	* (جلد ۲ هیدرولوژی)
	رطوبت خاک	سطحی / زیرسطحی دشت / محدوده	mm	RS (SMAP)
	عمق سطح آبخوان (کمینه / بیشینه)	آبخوان	m	* (جلد ۳ هیدروژئولوژی)
هیدروژئولوژی	ضخامت آبخوان	آبخوان	m	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان)
	ضریب ذخیره آبخوان	آبخوان	%	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان)
	ضریب قابلیت انتقال آبخوان (کمینه / بیشینه)	آبخوان	m	* (جلد ۳ هیدروژئولوژی)
	شوری آبخوان (EC)	آبخوان	سالانه ^(۴)	* (جلد ۴ کیفیت)

نوع داده	کاربرد مکانی	مقیاس زمانی	واحد	مرجع
برداشت از منابع آب زیرزمینی (چاه / چشمه / قنات)	دشت / ارتفاعات آبخوان	سالانه ^(۴)	MCM	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان)
	دشت / ارتفاعات آبخوان	سالانه ^(۴)	MCM	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان)
بیان هیدروکلیماتولوژی بیان آبخوان بیان عمومی	دشت / ارتفاعات	سالانه ^(۱)	MCM	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان)
	آبخوان	سالانه ^(۱)	MCM	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان)
	محدوده	سالانه ^(۱)	MCM	* (جلد ۵ ارزیابی بیلان)
جمعیت	محدوده (شهر / روستا)	۱۳۸۵	Pop	** (جلد ۱ یا ۱۸ جمعیت)

*: (گزارش بیلان، ۱۳۹۰)

** (طرح جامع آب کشور، ۱۳۸۶)

(۱): میانگین بلندمدت ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰

(۲): میانگین دوره آماری موجود هر ایستگاه هیدرومتری

(۳): میانگین کوتاهمدت ۱۵ ساله منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰

(۴): آخرین دوره آماربرداری سراسری کمی - کیفی از منابع سطحی - زیرزمینی (سال آبی ۱۳۸۹-۹۰)

پهنه‌بندی و دسته‌بندی مناطق کشور

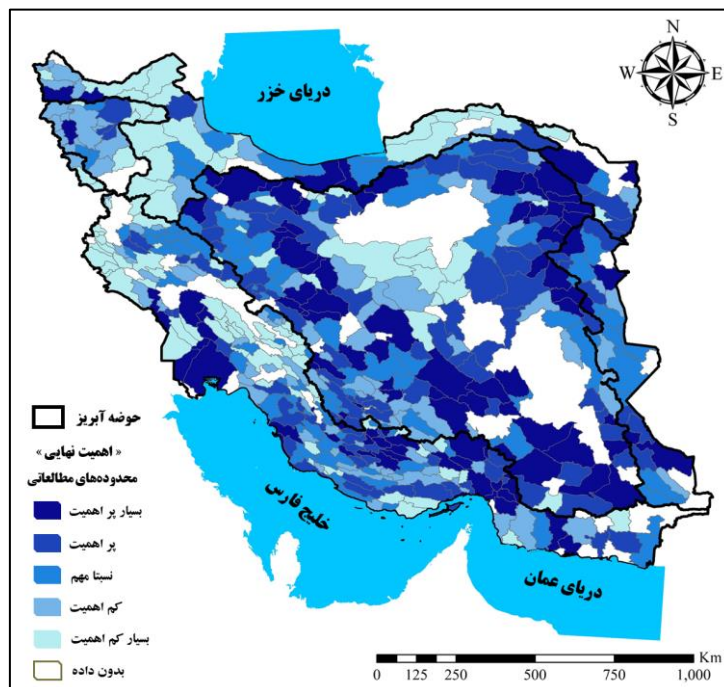
در این پروژه شاخص‌های بسیار و متعددی با استفاده از پیشینه پژوهش انجام شده و داده‌ها و اطلاعات در دسترس تهیه شده‌اند تا میزان اهمیت جمع آنها بر روی اندرکنش منابع آب سطحی - زیرزمینی سنجیده شود. از این فهرست متشکل از شاخص‌های متعدد، ۱۴ شاخص انتخاب شدند تا وزنی بدان تعلق گیرد و با استفاده از چارچوب تصمیم‌گیری چند شاخصه باهم تجمیع شده تا در نهایت رتبه اهمیت اندرکنش محدوده‌های مطالعاتی کشور بدست آید. این ۱۴ شاخص که در جدول ۲ معرفی شده‌اند، نقشه‌های پهنه‌بندی آنها در سطح محدوده‌های مطالعاتی و همچنین در سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲ سطح کشور (مجموعاً ۳۰ حوضه) و همچنین در سطح استان‌ها (مجموعاً ۳۱ استان) تهیه گردید.

جدول ۲: معرفی ۱۴ شاخص منتخب

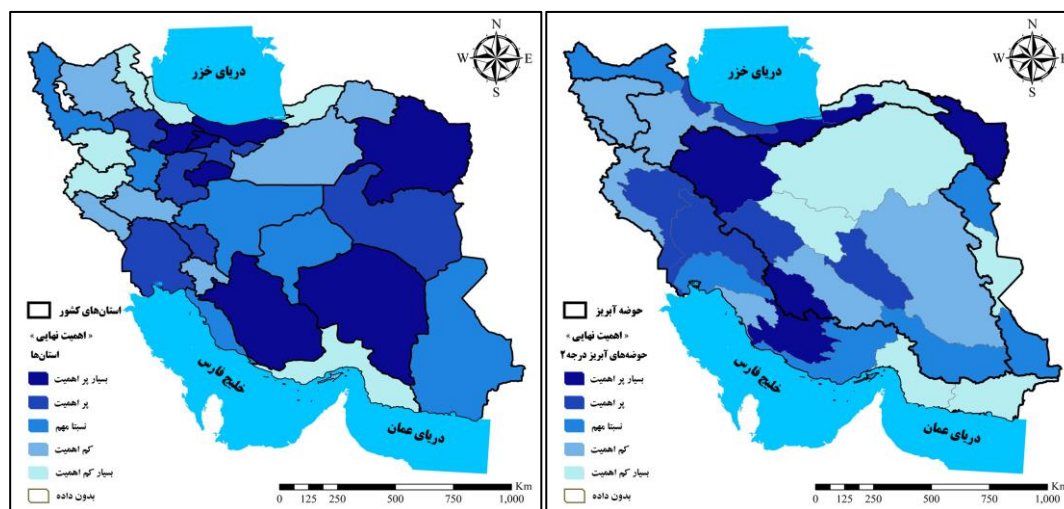
نسبت حجم نفوذ به بارش	درصد شیب متوسط زمین	کاربری اراضی (NDVI)	نفوذ از جریان سطحی به آبخوان
رطوبت خاک زیر سطحی	عمق سطح آبخوان - کمینه	ضخامت آبخوان	ضریب ذخیره آبخوان
ضریب قابلیت انتقال آبخوان - پیشینه	نسبت زمین‌های کشاورزی آبی	نسبت کل آب برگشتی به کل برداشت	توان آبدهی آبخوان
نسبت برداشت آبخوان به آب تجدیدی		نسبت جمعیت به مساحت محدوده	

نتایج و جمع‌بندی

با تجمیع این ۱۴ شاخص منتخب با وزن‌هایی که بدان اختصاص پیدا کرده است در چارچوب تصمیم‌گیری چند شاخصه از روش PROMETHEE-II، نقشه پهنه‌بندی نهایی اهمیت‌سنجی اندرکنش در سطح محدوده‌های مطالعاتی کشور طبق شکل ۲ و در سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲ و استان‌های کشور طبق شکل ۳ بدست می‌آید.



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی اهمیت اندرکنش منابع آب سطحی - آبخوان با تجمیع روش‌های وزن‌دهی



شکل ۳: نقشه نهایی پهنه‌بندی اهمیت اندرکنش منابع آب سطحی - آبخوان در سطح حوضه آبریز درجه ۲ و استان

شکل ۲ که نقشه پهنه‌بندی نهایی این پروژه می‌باشد، نشان می‌دهد که اکثر محدوده‌های بسیار پراهمیت از منظر اندرکنش منابع آب در حوضه آبریز فلات مرکزی ایران جای دارد. محدوده‌هایی مثل قم - کهک (۴۱۲۶)، نجف آباد (۴۲۰۶)، هشتگرد (۴۱۰۵)، اصفهان برخوار (۴۲۰۲)، تهران - کرج (۴۱۳۳)، ورامین (۴۱۳۴)، کرمان - باغین (۴۹۰۶)، نیشابور (۴۷۳۸) و ... از این قرار هستند.

در کنار این محدوده‌ها، محدوده‌های دیگری همچون مشهد (۶۰۰۷)، ارومیه (۳۰۰۳)، اهواز جنوبی (۲۳۰۲)، میناب (۲۸۰۷) و ... از دیگر حوضه‌های آبریز سرتاسر کشور موجود است.

نوع پهنه‌بندی روش‌شناسی این پژوهش بدین صورت است که ابتدا به هر محدوده‌ای با توجه به مقادیر و وزن شاخص‌هایی که دارد، رتبه‌ای (از ۱ تا ۵۲۶ به تعداد محدوده‌های مطالعاتی دارای آبخوان قابل توجه دارای داده اندازه‌گیری شده) داده می‌شود سپس در ۵ دسته ۱۰۵ تایی تقسیم می‌شود که هر دسته میزان اهمیت محدوده‌های مربوطه را مشخص می‌کند. محدوده‌هایی که در بالا نام برده شد، همگی در دسته ۱ قرار داشته و دارای بیشترین اهمیت بودند. وجه اشتراک این دسته مقادیر بالای شاخص‌های نفوذ از بارش در سطح محدوده، نفوذ به آبخوان، اراضی آبی، جمعیت و مقادیر بالاتری از نسبت تغذیه و تخلیه انسانی به کل تغذیه و تخلیه می‌باشد. همین مورد نشان‌دهنده اتکا بیشتر اندرکنش در این مناطق به اثرات انسانی مؤثر بر روی تغذیه و تخلیه آبخوان (به عنوان دو مؤلفه اصلی اندرکنش) می‌باشد.

از سوی دیگر در دسته ۵، محدوده‌هایی همچون کوی‌الله آباد (۴۶۰۶)، مغان - پارس آباد (۱۱۰۱)، کویر درانجیر (۴۹۰۱)، منجیل (۱۳۱۱)، دماوند (۴۱۳۵)، سنندج (۲۱۱۰)، بروجن (۲۳۳۳) و ... قرار دارند. با این حال که این دسته مقادیر نسبت تغذیه طبیعی بیشتری نسبت به دسته ۱ دارند اما در کل مقادیر کلی تغذیه و تخلیه آبخوان آنها به مراتب کمتر از دسته ۱ می‌باشد که نشان‌دهنده دارا بودن آبخوان‌های کوچک و محدود در این محدوده‌ها و عدم برطرف سازی نیاز اصلی منابع آب از طریق آبخوان در این مناطق می‌باشد.

مراجع

- [1]. Dogrul, E. C., Schmid, W., Hanson, R. T., Kadir, T., & Chung, F. (2011). Integrated water flow model and MODFLOW-farm process: a comparison of theory, approaches, and features of two integrated hydrologic models. Department of Water Resources, California Natural Resources Agency, State of California, Sacramento, Technical Information Record.
- [2]. Healy, R. W. (2010). Groundwater recharge. In Estimating groundwater recharge. Cambridge University Press.
- [3]. Hosseini, S. M., Parizi, E., Ataie-Ashtiani, B., & Simmons, C. T. (2019). Assessment of sustainable groundwater resources management using integrated environmental index: Case studies across Iran. Science of the total environment, 676, 792-810.
- [4]. Engelhardt, I., Piepbrink, M., Trauth, N., Stadler, S., Kludt, C., Shulz, M. and Ternes, T.A. (2011). Comparison of tracer methods to quantify hydrodynamic exchange within the hyporheic zone. Journal of Hydrology, 400, 255-266.
- [5]. Fleckenstein, J. H., Krause, S., Hannah, D. M., & Boano, F. (2010). Groundwater-surface water interactions: new methods and models to improve understanding of processes and dynamics. Advances in Water Resources, 33(11), 1291-1295.
- [6]. Hoehn, E. (1998). Solute exchange between river water and groundwater in headwater environments. Proceeding of the Headwater 98 conference, Italy, IAH publications, 248, 165-171.
- [7]. Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011). Multi-criteria decision analysis: a strategic planning tool for water loss management. Water resources management, 25(14), 3947-3969.
- [8]. Parizi, E., Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., & Simmons, C. T. (2020). Normalized difference vegetation index as the dominant predicting factor of groundwater recharge in phreatic aquifers: case studies across Iran. Scientific Reports, 10(1), 1-19.
- [9]. Rathfelder, K. M. (2016). Modelling tools for estimating effects of groundwater pumping on surface waters. Water Sci. Ser. WSS2016-09). Province of BC: Ministry of Environment.