محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٢، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٥، صفحهٔ ٧٠٧-٦٨٧

ارزیابی یکپارچهٔ محیط‌زیستی افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل در راستای ارائهٔ راهکارهای مدیریتی

طاهره اسکندری[١]، بهرام ملک‌محمدی[٢]*، لعبت زبردست[٣]، علی عزیزی[٤]

١. دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

٢. دانشیار، گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

٣. استادیار گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

٤. دانش‌آموختهٔ دکترای برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ١٣٩٥/٠٣/٨ تاریخ پذیرش مقاله: ١٣٩٥/١١/١٨

چکیده

مدیریت مسائل مرتبط با منابع آب‌های زیرزمینی که یکی از منابع مهم آب شیرین است، از اصلی‌ترین تصمیم‌های کشور محسوب می‌شود که با توجه به رشد جمعیت، افزایش تقاضا و نیز کمبود آب، لزوم مدیریت صحیح این منابع به‌خوبی نمایان شده است. ارزیابی یکپارچهٔ محیط‌زیستی یکی از بهترین ابزارها در تعیین اقدام‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی در مدیریت منابع آب زیرزمینی است. ارزیابی یکپارچه با استفاده از چارچوب علّی- معلولی نیروی محرکه، فشار، وضعیت، اثر و پاسخ (DPSIR) به طبقه‌بندی داده‌ها و ارزیابی یکپارچهٔ آثار برای حل مسائل محیط‌زیستی می‌پردازد. در این پژوهش، برای شبیه‌سازی و تحلیل آثار افت آب‌های زیرزمینی در دشت اردبیل، از روش ارزیابی یکپارچه و نرم‌افزار سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مولینو (MULINO DSS)، استفاده شد. راهکارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی این دشت بر اساس ارزیابی یکپارچه انجام و نظرات کارشناسان و متخصصان انتخاب و اولویت‌بندی شد. از میان راهکارهای مطرح‌شده، تعیین آب‌بهای واقعی، به‌ویژه در بخش کشاورزی، تغییر الگوی کشت، مشارکت مردمی و استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری، از طریق روش وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW)، به‌ترتیب با نمرات ٢/٢٧، ٢/٦٢، ٢/٢٥ و ١/٩٧ اولویت‌بندی شد. گزینهٔ تعیین آب‌بهای واقعی نسبت به دیگر راهکارهای مدیریتی دشت اردبیل در بالاترین رتبه قرارگرفت.

کلیدواژه

ارزیابی یکپارچهٔ محیط‌زیستی، دشت اردبیل، روش وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW)، نرم‌افزار سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مولینو (mDSS)، DPSIR.

١. سرآغاز

کشور ما از جمله کشورهایی است که میزان بارندگی سالانهٔ آن از یک‌سوم متوسط جهانی نیز کمتر است (٢٥٠ میلی‌متر در سال). از این نظر حفظ کمّی و کیفی منابع آبی موجود اهمیت ویژه‌ای دارد (ناصری و مهدی‌پور، ١٣٨٥). برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه افت این ذخایر ارزش‌مند پیامدهای گاه جبران‌ناپذیری خواهد داشت که مستقیم یا غیرمستقیم انسان و سکونتگاه‌های انسانی را متأثر خواهد کرد (نادریان‌فر و همکاران، ١٣٩٠).

منابع آبی باید برای تحقق اهداف توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی و برای تداوم توسعه مدیریت شود. مدیریت درست منابع آب برای حفظ بقا و رفاه انسان حیاتی است. منابع آب تضمین‌کنندهٔ برابری و امنیت در آب و بهداشت

* نویسنده مسئول: Email: Malekb@ut.ac.ir

جوامع، غذا و انرژی است. استفادهٔ پایدار از منابع آب زیرزمینی با مشکلات زیادی روبه‌روست (حسینی، ۱۳۹۱). کشف و بررسی علل و منشأ اصلی افت آبخوان، وضعیت آبخوان و آثاری که افت آبخوان بر محیط‌زیست می‌گذارد، به‌صورت جامع و یکپارچه نیازمند افزایش آگاهی و شناخت دربارهٔ منابع آب زیرزمینی است. ارزیابی یکپارچهٔ محیط‌زیست از مهم‌ترین اقداماتی است که در این زمینه لازم است انجام پذیرد.

به‌طور کلی، ارزیابی یکپارچه باید در قالب مدلی مفهومی ارائه شود تا بین اطلاعات گردآوری‌شده ارتباط برقرار شود. در بین روش‌ها و مدل‌های موجود در این زمینه، مدل نیروی محرکه- فشار- وضعیت- اثر- پاسخ[1] (DPSIR) را می‌توان یکی از جامع‌ترین روش‌ها دانست که برای ارزیابی علل، عواقب و پاسخ به تغییرات محیطی در برنامهٔ محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP) پیشنهاد شد و در ارزیابی‌های آژانس محیط‌زیست اروپا (EEA) در سال ۱۹۹۹ توسعه یافت. DPSIR در درک و تجزیه‌وتحلیل روابط علت و معلولی و مدیریت اطلاعات بین اجزای متقابل سیستم‌های پیچیدهٔ اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی نقش دارد (Kristensen, 2004; UNEP, 1997).

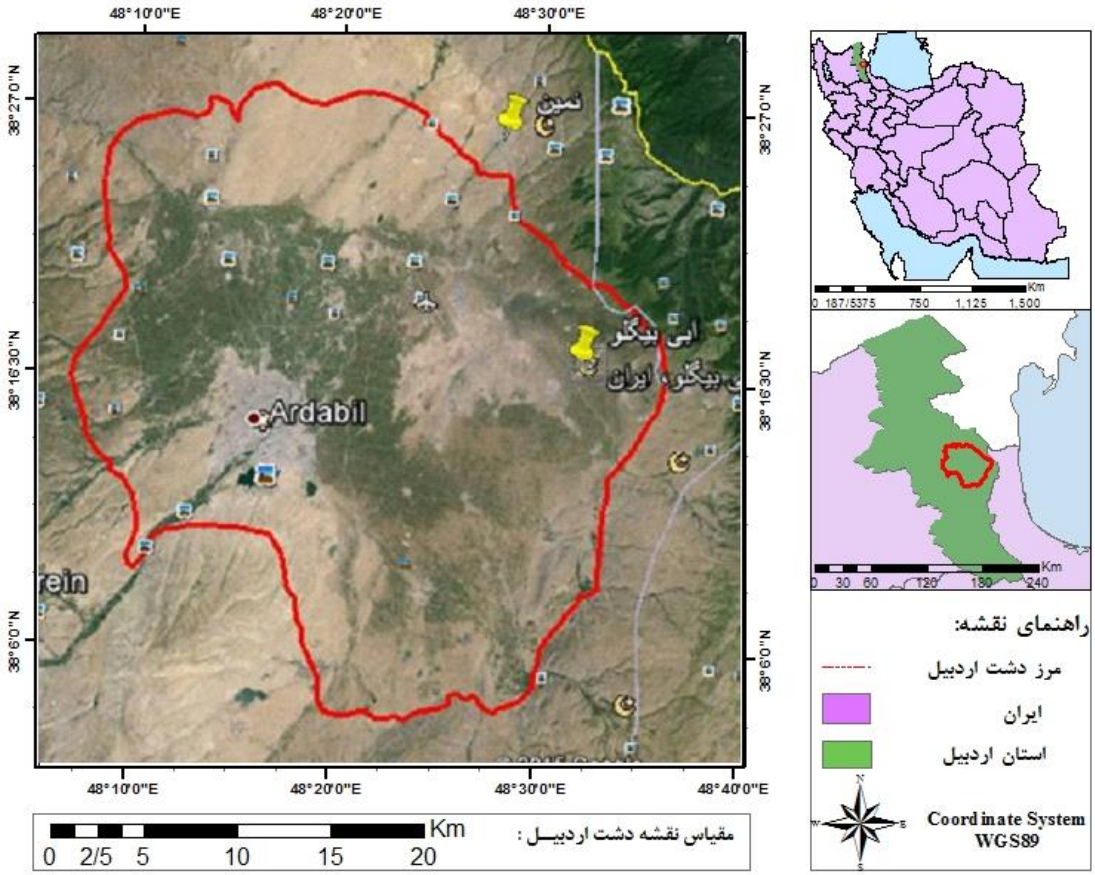
نرم‌افزار سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مولینو[2] (mDSS) نرم‌افزار کاربردی مفیدی برای پشتیبانی تصمیم‌گیری در مباحث مرتبط با مدیریت منابع آب و حل مشکلات پیچیدهٔ ناشی از تصمیم‌گیری در این خصوص و در مقیاس حوضهٔ رودخانه است که DPSIR را چارچوب مرجعی برای ارزیابی یکپارچهٔ مدل‌های اجتماعی- اقتصادی- اکولوژیکی در نظر می‌گیرد (Benini et al., 2010).

تحقیقات متفاوتی در زمینهٔ استفاده از ارزیابی یکپارچه در مدیریت منابع آب صورت گرفته است. عمرانیان خراسانی و همکاران (۱۳۹۲) در مقالهٔ «تحلیل وضع موجود منابع آب استان خراسان جنوبی با رویکرد مشارکتی با استفاده از چارچوب DPSIR و کاربرد آن در استان»، ارزیابی مشکل منابع آب استان و آنالیز آن را در تدوین راهبردهای بهبود منابع آب و برنامه‌ریزی راهبردی استان خراسان جنوبی با استفاده از چارچوب DPSIR انجام داده‌اند. صفی و نوری (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌سازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت مدیریت منابع آب با استفاده از روش Mulino DSS»، به ارائهٔ مدلی کاربردی با استفاده از روش‌های نرم‌افزاری در مدیریت و پشتیبانی تصمیم‌گیری مسائل مرتبط با منابع آب پرداخته‌اند و نرم‌افزار mDSS را نرم‌افزاری کاربردی در حل مشکلات مربوط به کیفیت آب معرفی کرده‌اند. غفوری‌فرد و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی یکپارچهٔ سیستم منابع آب محدودهٔ رفسنجان با استفاده از چارچوب DPSIR و با تکیه بر بهبود سیستم حکمرانی آب»، با استفاده از ارزیابی یکپارچه به نقاط ضعف سیستم حکمرانی آب حاکم بر رفسنجان اشاره داشته‌اند و در نهایت، با توجه به زنجیرهٔ علّی و معلولی DPSIR مشکلات منطقه را ریشه‌یابی و پاسخ‌های سیاستی معرفی کردند.

Mysiak و همکاران (2005) در مقاله‌ای با عنوان «توسعهٔ سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای مدیریت منابع آب»، mDSS را ابزار مؤثری در مسائل محیط زیستی با روش ارزیابی چند معیاره می‌دانند. ایشان متذکر می‌شوند که سایر نرم‌افزارهای موجود تصمیم‌گیری در مواجه با پیچیدگی‌ها نامطمئن و ناکارآمد است. Giupponi و همکاران (2005) در مقاله‌ای مشابه، با عنوان «ابزار پشتیبانی برای شبیه‌سازی تأثیرات سیاست‌های گزینه‌های مؤثر در منابع آب»، mDSS برنامه‌ای کاربردی در مباحث مرتبط با منابع آب اروپا مطرح کرده‌اند. همچنین، Broja و همکاران (2006) در پژوهشی با عنوان «راهنمای آب اروپا و DPSIR روشی برای ارزیابی ریسک، با استفاده از راهنمای آب اروپا (WFD)»، چارچوبی برای حفاظت از آب‌های زیرزمینی، سطحی، آب دهانهٔ ورودی‌ها و آب‌های ساحلی ارائه دادند. در مقالهٔ مذکور تجزیه‌وتحلیل نوع آب،

شناسایی نیروی محرکه، فشار و آثار به‌وجود آمده از نظر محیط‌زیستی و شیمیایی با استفاده از مدل DPSIR صورت گرفته است. Messouli و همکاران (2009) در مقاله‌ای با عنوان «اکوهیدرولوژی و مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی تحت شرایط تغییر جهانی در حوضهٔ صحرای جنوب مراکش»، از DPSIR استفاده کردند تا ارتباط بین سیاست‌ها، اقتصاد و توسعهٔ آب‌های زیرزمینی و موضوعات مدیریتی نشان داده شود. Hojati و Boustani (2011)، در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی روند آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان»، مشخص کردند که منابع آب‌های زیرزمینی در دشت ارسنجان، آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب را تأمین می‌کند.

همچنین، توسعهٔ کشاورزی در این منطقه و افزایش نیاز به آب‌های زیرزمینی به‌خصوص در سال‌های خشکسالی، بر آبخوان دشت تأثیر گذاشته است. در پژوهشی مشابه Bell (2012) DPSIR را ابزار و راهنمایی برای ارزیابی و اندازه‌گیری و ارزش‌گذاری بیش از یک‌دهه در مدیریت محیط‌زیست می‌داند. در مطالعه‌ای که در مرکز تحقیقات دریایی یونان صورت گرفته، مدل‌های مفهومی از جمله مدل Mulino DSS در بررسی تأثیرات فشار بر تنوع زیستی و چالش‌های موجود برای حرکت از چارچوب مفهومی به ارزیابی بررسی شده است (Hellenic Centre for Marine Research, 2014).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

همچنین، تحقیقاتی روی افت آب زیرزمینی دشت اردبیل (خدایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ سیدشکری و همکاران، ۱۳۹۱) یا فرونشست دشت (عالی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲؛ امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۲) صورت گرفته است. با مرور منابع داخلی و بین‌المللی درمی‌یابیم که در مطالعات ارزیابی کوتاه و مختصر، در مورد آثار توسعه به افت آب‌های زیرزمینی به‌صورت جزئی اشاره یا آثار برداشت بر یک یا دو مورد از عوامل محیط‌زیستی بررسی شده است. لازم به ذکر است که در مطالعات صورت‌گرفته، ارزیابی‌های انجام‌شده مختص به ارزیابی پیامدهای قبل از احداث و بعد از احداث پروژه یا طرح محیط‌زیست است و کمتر دید جامع و یکپارچه‌ای در ابعاد اقتصادی- اجتماعی و محیط‌زیستی دارد. در این پژوهش با نگاه کلی و یکپارچه بر افت آب‌های زیرزمینی، علل و آثار افت آبخوان در چارچوب علّی- معلولی بررسی می‌شود؛ بنابراین، ارزیابی یکپارچه ابزاری مؤثر است که عوامل تهدیدکننده و وضعیت حال و آینده را بررسی می‌کند و در آخر با ارائهٔ راهکار تصمیم‌گیرنده و ذی‌نفعان را از جریان علت و معلولی پدیده به‌طور واضح آگاه می‌کند. همچنین، در توسعهٔ پایدار در مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست استفاده می‌شود.

نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش، به‌نام mDSS، در سطح بین‌المللی در حوزهٔ منابع آب‌های سطحی استفاده می‌شود. در ایران نیز صفی و نوری (۱۳۹۰) تنها به معرفی این نرم‌افزار پرداخته‌اند، اما به‌طور کاربردی از آن استفاده نشده است. در این پژوهش با معرفی این نرم‌افزار، به نقش آن در ارزیابی یکپارچه و تصمیم‌گیری چند معیاره در ارتباط با افت سطح آب زیرزمینی خواهیم پرداخت.

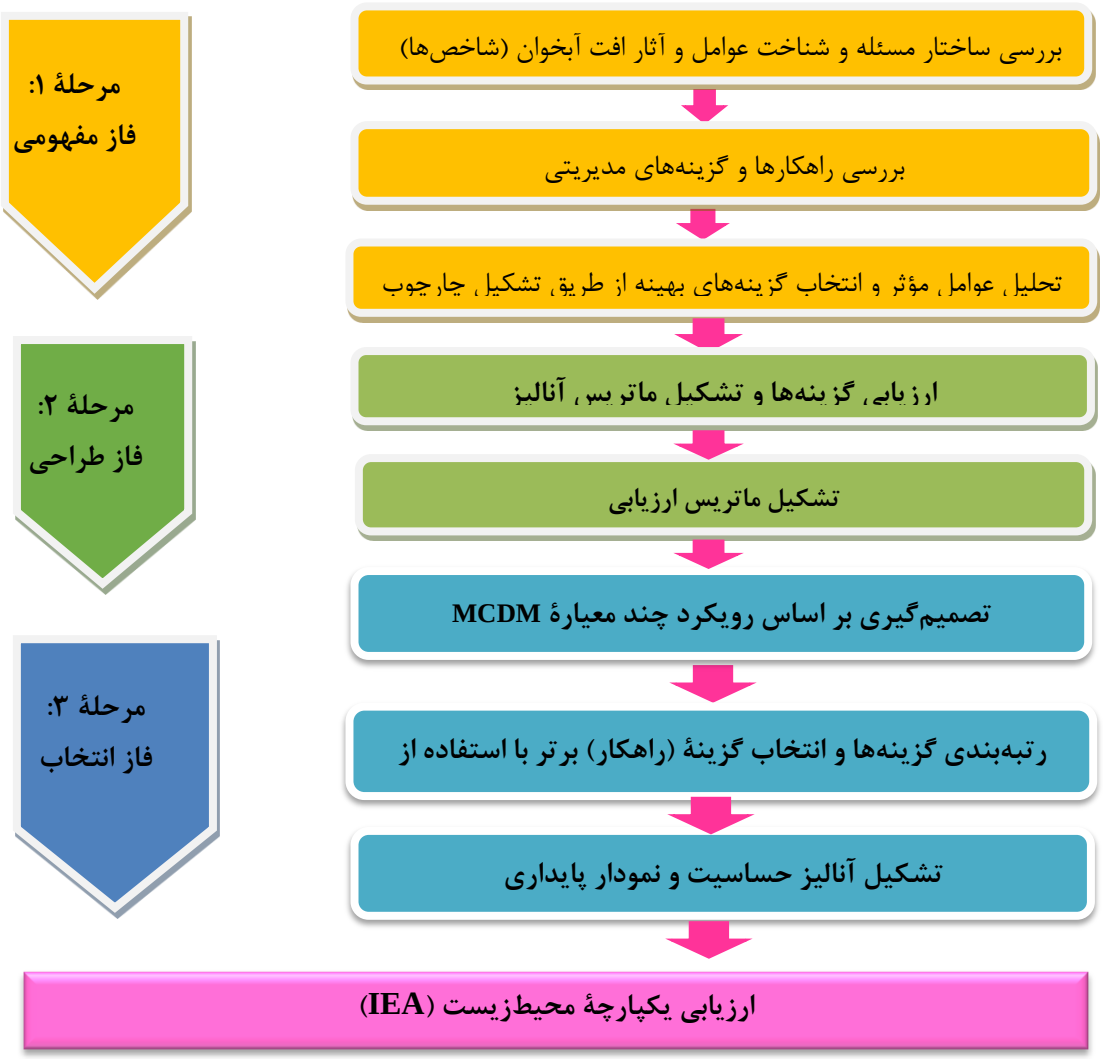
۲. معرفی منطقهٔ مطالعاتی

دشت اردبیل در قسمت شمال‌غربی کشور واقع شده است. ناحیهٔ مزبور بین عرض جغرافیایی '۰۴،°۳۸ تا '۲۵،°۳۸ شمالی و طول جغرافیایی '۱۰،°۴۸ تا '۳۷،°۴۸ شرقی قراردارد و از نظر تقسیمات کشوری جزو استان اردبیل و از نظر حوضهٔ آبریز بخشی از حوضهٔ رودخانهٔ ارس محسوب می‌شود (عالی‌پور، ۱۳۹۲). موقعیت قرارگیری دشت اردبیل در ایران و استان اردبیل در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

دشت اردبیل دارای حوضهٔ آبریزی معادل ۹۰۰ کیلومترمربع است که از شمال به ارتفاعات مرزی بین ایران و آذربایجان، از شرق به ارتفاعات تالش، از جنوب به آرپاچای و از غرب به دامنهٔ کوه سبلان محدود می‌شود. این دشت به‌لحاظ دارا بودن سفرهٔ آب زیرزمینی همواره مطرح و در طول نیم قرن اخیر مهم‌ترین منبع تأمین آب کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی شهری و روستایی بوده است (Azizi et al., 2017).

محدودیت پتانسیل آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت اردبیل و بی‌توجه به میزان برداشت مجاز و توسعهٔ روزافزون مصارف کشاورزی، شرب و صنعت، بهره‌برداری ناموزون و نامتجانس، عدم جایگزینی آن از طریق ریزش‌های جوی به‌دلیل مواجه‌شدن با سال‌های کم‌آبی و خشک دوره‌های کلیماتولوژی موجب شده است که در آبخوان دشت افت ۱۰ متری سطح آب زیرزمینی و حدود ۵۴۰ میلیون مترمکعب کسری مخزن ایجاد شود.

بررسی روند افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل نشان می‌دهد که به‌طور متوسط تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل در هر سال ۱۸ سانتی‌متر افت دارد و آثاری از جمله فرونشست و کاهش رواناب‌ها را در پی داشته است (دانشور وثوقی و همکاران، ۱۳۹۰). وزارت نیرو با توجه به شرایط حاد سفرهٔ آب زیرزمینی منطقه، از سال ۱۳۶۸ دوسوم از دشت اردبیل را منطقهٔ ممنوعه در برداشت آب زیرزمینی اعلام کرده است (Azizi et al., 2016).



شکل ۲. مدل مفهومی روند تحقیق تحقیق

۳. مواد و روش کار

در انجام این پژوهش از روش کتابخانه‌ای و مطالعهٔ اسناد و مدارک، مصاحبه و تهیهٔ پرسشنامه و پرکردن آن توسط دانشگاهیان و کارشناسان مربوط استفاده شده است. ارزیابی یکپارچه باید در قالب مدل مفهومی ارائه شود تا بین اطلاعات گردآوری‌شده ارتباط برقرار شود. در بین روش‌ها و مدل‌های موجود در این زمینه DPSIR برای ارزیابی علل، عواقب و پاسخ به تغییرات محیطی UNEP (1997) را پیشنهاد کرد و در ارزیابی‌های آژانس محیطزیست اروپا (EEA) در سال ۱۹۹۹ توسعه یافت. DPSIR در درک و تجزیه‌وتحلیل روابط علت و معلولی و مدیریت اطلاعات بین اجزای متقابل سیستم‌های پیچیدهٔ اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی نقش دارد (Kristensen, 2004).

نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش MULINO-DSS (mDSS) است که در راستای پروژهٔ سه سالهٔ MULINO (سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری چندبخشی، یکپارچه و عملیاتی برای استفادهٔ پایدار از منابع آب در مقیاس حوضهٔ آبریز) یکی از طرح‌های تحقیقاتی در حمایت از روند اجرای چارچوب دستورالعمل آبیس WFD[۳] در قالب پنج برنامه در سال ۲۰۰۴ Giupponi راه‌اندازی کرد (Giupponi, 2007).

mDSS نرم‌افزار کاربردی مفیدی در پشتیبانی

تصمیم‌گیری در مباحث مرتبط با مدیریت منابع آب و حل مشکلات پیچیدهٔ ناشی از تصمیم‌گیری در این خصوص و در مقیاس حوضهٔ رودخانه است که DPSIR را چارچوب مرجعی در ارزیابی یکپارچهٔ مدل‌های اجتماعی- اقتصادی- اکولوژیکی در نظر می‌گیرد (Benini et al., 2010). داده‌ها در این روش بر اساس ضرورت‌های تعریف‌شدهٔ تصمیم‌گیران جمع‌آوری می‌شود. سپس، بین گزینه‌های انتخاب‌شده، گزینهٔ دارای رجحان بیشتر شناسایی و برگزیده می‌شود (صفی و نوری، ۱۳۹۰). نرم‌افزار mDSS به سه مرحلهٔ تصمیم‌گیری کلی تقسیم می‌شود، شامل فاز مفهومی[۴]، فاز طراحی[۵] و فاز انتخاب[۶] (شمایی از روش تحقیق در شکل ۲ آمده است). در ادامه این سه فاز توضیح داده می‌شود.

۱.۳. تجزیه‌وتحلیل اولیهٔ تصمیم‌گیری در فاز مفهومی یا فاز اطلاعات

تعریف اهداف مورد نظر در مدیریت آب زیرزمینی و تعیین شاخص‌ها و گزینه‌ها، راهکارها و اقدام‌های قابل انجام در این بخش صورت می‌گیرد. این مرحله با مشارکت ذی‌نفعان شروع می‌شود و به تشکیل ساختار و شناسایی دقیق منطقهٔ مورد مطالعه می‌انجامد (معمولاً حوضهٔ آبریز یا زیرحوضهٔ آبریز)؛ یعنی، ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی با توجه به DPSIR تعیین می‌شود (EEA, 1999). چارچوب مفهومی نگرشی جامع و چندبعدی از روابط علت و معلولی در سیستم انسان- محیط زیست را فراهم می‌آورد تا با ردیابی علیت عوارض، ارتباط نیروی محرکه (برای مثال، فعالیت‌های کشاورزی) با فشار (برای مثال، مازاد نیترات) و تغییر در وضعیت منابع طبیعی (برای مثال کاهش کیفیت آب) و تأثیر نهایی (برای مثال، انباشت آب) به‌دست آید (Giupponi, 2007).

۲.۳. ارزیابی گزینه‌ها در فاز طراحی

در فاز طراحی، شاخص‌ها و گزینه‌ها به‌صورت ماتریس درآورده می‌شود که در آن شاخص‌ها به‌صورت عمودی و گزینه‌ها و راهکارها (معیارها) به‌صورت افقی است. شناسایی گزینه‌های جایگزین و انتخاب مهم‌ترین آن بر اساس ضوابط تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد و ماتریس آنالیز (AM)[۷] تشکیل می‌شود. سلول‌های ماتریس از طریق مقدار ارزش هر شاخص در گزینه پرمی‌شود. در نرم‌افزار mDSS این کار به چهار طریق صورت می‌گیرد: ۱. از طریق ماتریس ذخیره‌شدهٔ قبلی، ۲. واردکردن فایل اکسل ذخیره‌شده، ۳. واردکردن اعداد و مقادیر به‌صورت دستی، و ۴. با مقایسهٔ زوجی. در این پژوهش این وزن‌ها را همگی کارشناسان و بر اساس نظر خبرگان از طریق پرسشنامه و به‌صورت دستی تهیه کرده‌اند.

پس از تکمیل سطرها و ستون‌ها ماتریس آنالیز (AM)، برای شناسایی بهترین گزینه، روش‌های تصمیم‌گیری معیارهای چندگانه (MCDM) وجود دارد. نرم‌افزار mDSS از نوع تصمیم‌گیری چند شاخصه با یک هدف[۸] (MADM) و مدل جبرانی است. از مدل‌های جبرانی این نرم‌افزار می‌توان به TOPSIS، ELECTRE و SAW اشاره کرد. در این تحقیق از روش وزن‌دهی تجمعی ساده (SAW)[۹] برای مقایسهٔ معیارها و گزینه‌ها استفاده شد.

۳.۳. انتخاب پاسخ بهینه در فاز انتخاب

اعمال روش SAW در نرم‌افزار mDSS در فاز انتخاب صورت می‌گیرد. ماتریس آنالیز از طریق توابع ارزش به ماتریس بی‌بعد از ۰ تا ۱ به نام ماتریس ارزیابی تبدیل می‌شود. قوانین تصمیم‌گیری از طریق وزن‌گذاری صورت می‌پذیرد و آنالیز حساسیت و نمودار پایداری شاخص‌ها نسبت به گزینه‌ها در این مرحله صورت می‌گیرد.

پس از تکمیل ماتریس آنالیز AM در مرحلهٔ قبلی و انتخاب روش تصمیم‌گیری SAW، به‌دلیل اینکه اعداد موجود در ماتریس آنالیز قابل مقایسه با هم نیست، باید بی‌مقیاس شود. بی‌مقیاس‌سازی در SAW طبق روابط (۱) و (۲) صورت می‌گیرد. رابطهٔ (۱) برای معیار سود (مثبت) و رابطهٔ (۲) برای معیار هزینه (منفی) به‌کار می‌رود.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (۱)$$

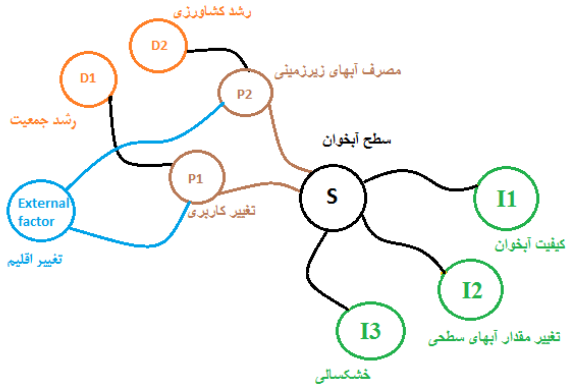
$$x'_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (۲)$$

رابطهٔ (۱) این‌طور بیان می‌شود که مؤلفه‌های هر ستون (X_{ij}) از کمترین عدد همان ستون (X_j^{min}) کم شود و تقسیم بر بیشینه (X_j^{max}) منهای کمینهٔ (X_j^{min}) ستون مورد نظر شود. برای معیار هزینه (منفی) رابطهٔ (۲) کاربرد دارد؛ یعنی، بیشینهٔ ستون (X_j^{max}) از مؤلفه‌های ستون (X_{ij}) کم می‌شود و مخرج هم بیشینه منهای کمینه است که با مفروض انگاشتن تجمع افزایشی مقادیر معیار و نرمال‌سازی آن مقایسهٔ آن را با توابع ارزش امکان‌پذیر می‌سازد؛ یعنی، تابع چندبعدی AM به بی‌بعد ۰ و ۱ تبدیل می‌شود که در ماتریس جدید به‌نام ماتریس ارزیابی[۱۰] (EM) ذخیره می‌شود. نکته‌ای که باید در محاسبات بی‌مقیاس‌سازی توجه کرد، این است که بعد از بی‌مقیاس‌کردن ماتریس تصمیم باید هر ستون دارای حداقل یک مقدار ۱ باشد که آن مقدار همان بهترین مقدار برای معیار مربوط در ماتریس آنالیز است (امیری و دارستانی، ۱۳۹۲).

۴. نتایج

شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی مرتبط با افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل جمع‌آوری شد. این عوامل با توجه به اجماع گروه کارشناسی متشکل از بیست کارشناس دانشگاهی و ده کارشناس و متخصص منطقه‌ای در قالب پرسشنامه بررسی شد. این عوامل در طیف لیکرت از لحاظ درجهٔ اهمیت طبقه‌بندی و معیارهای با درجهٔ اهمیت بالاتر از ۴ انتخاب و بقیهٔ معیارها از فهرست عوامل مؤثر حذف شد. بر این اساس تغییرات اقلیمی، مسائل تکتونیکی، رشد بی‌رویهٔ جمعیت و توسعهٔ شهری، تغییر کاربری، رشد صنایع، رشد کشاورزی و افزایش کشت و زرع و حفر چاه‌های زیاد، تخریب مراتع و جنگل‌ها، بی‌توجهی نهادهای دولتی و غیردولتی و نیز افزایش سطح نفوذناپذیر ازجمله عوامل مورد بررسی در افت آبخوان است. افت کیفی، تخریب زیستگاه، فرونشست، تغییر مقدار آب‌های سطحی، افزایش آسیب‌پذیری دشت، سلامت و بهداشت، خسارت‌های مالی و بیکاری از آثار و عواملی است که پس از افت آبخوان به‌وجود می‌آید.

بر اساس نظر کارشناسان و متخصصان در دشت اردبیل، رشد جمعیت و توسعهٔ کشاورزی مهم‌ترین عامل (نیرو محرکه) افت آب‌های زیرزمینی است. همچنین، عوامل تغییر کاربری اراضی و میزان مصرف آب کشاورزی عوامل فشار محسوب می‌شود. افت کمّی آبخوان که موضوع اصلی این پژوهش است وضعیت منطقه و عوامل افت کیفی آبخوان، تغییر مقدار آب‌های سطحی و نیز افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی (خشک‌شدن باغات و زمین‌های کشاورزی) آثار در نظر گرفته شد. شمایی از شاخص‌های مؤثر DPSIR در افت آب‌های زیرزمینی در شکل ۳ آمده است.

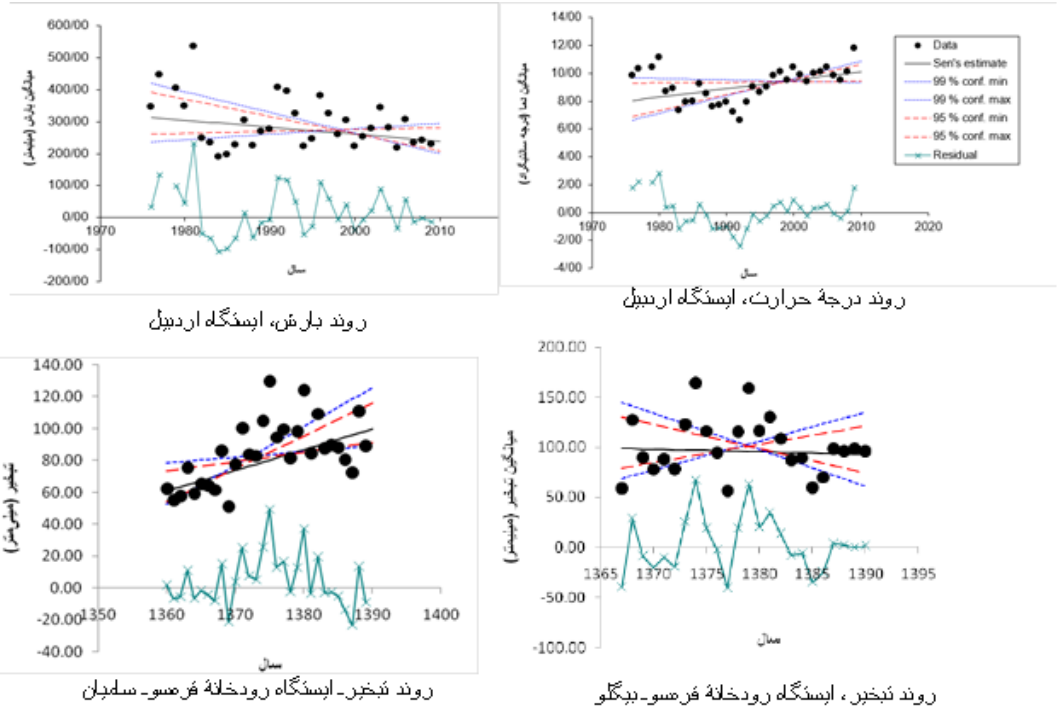


شکل ۳. شمایی از شاخص‌های مرتبط با افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل در مدل DPSIR

۱.۴. تغییر اقلیم، عامل بیرونی

با توجه به پیچیدگی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی، همچنین به‌دلیل اینکه این تغییرات اقلیمی به‌طور غیرمستقیم همهٔ عوامل موجود در مدل DPSIR را تحت تأثیر قرارمی‌دهد، برای مدیریت افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل، تغییر اقلیم عامل بیرونی در نظر گرفته شد. برای بررسی تغییر اقلیم باید از داده‌های طولانی‌مدت استفاده شود. بر این اساس، داده‌های دما و بارش به‌دست آمده از ایستگاه سینوپتیکی اردبیل و داده‌های تبخیر از ایستگاه‌های هیدرولوژی در برنامهٔ از پیش طراحی‌شدهٔ من-کندال[11] در اکسل وارد شد و محاسبه و نمودارهای آن به‌دست آمد.

همان‌طور که در نمودار روند بارش شکل ۴ مشاهده می‌شود، آزمون‌های همگنی و روندیابی تطابق نسبتاً مناسبی با یکدیگر داشت. نتایج بررسی همگنی سری داده‌ها نشان می‌دهد که میزان Z-value تحلیل روند بارش سالانه در ایستگاه سینوپتیکی اردبیل ۱/۵۳- است که چون در بازهٔ ۱/۹۶+ > U(ti) > ۱/۹۶- قراردارد، بارش روند کاهشی یا افزایشی خاصی نشان نمی‌دهد، هر چند نزدیک به کاهش است. در مورد درجهٔ حرارت ایستگاه اردبیل، آزمون توالی حاکی از وجود ناهمگنی در داده‌ها بود و آزمون من-کندال نیز وجود روند صعودی (افزایش درجهٔ حرارت) را تأیید می‌کند. میزان Z-value آن ۲/۲۲+ و نشان‌دهندهٔ روند افزایشی درجهٔ حرارت و یکی از عوامل مؤثر در افت آب‌های زیرزمینی است. آزمون همگنی و روندیابی من-کندال برای دادهٔ تبخیر نیز صورت گرفت. داده‌های تبخیر از ایستگاه هیدرومتری بیگلو (شرق) و سامیان (شمال غرب) رودخانهٔ قره‌سو به‌دست آمده است. نتایج آزمون همگنی در ایستگاه بیگلو روند نداشت، اما در ایستگاه سامیان روند صعودی داشته است. میزان Z-value ایستگاه بیگلو ۰/۱۷- و میزان Z-value ایستگاه سامیان ۳/۲۱+ و نشان‌دهندهٔ روند افزایشی تبخیر در این ایستگاه است. تغییر میزان Z-value تبخیر در ایستگاه بیگلو با ایستگاه سامیان به‌دلیل کوهستانی‌بودن (وجود رشته‌کوه‌های تالش در ایستگاه آبی بیگلو) است که به تبخیر کمتر در ایستگاه بیگلو می‌انجامد؛ بنابراین، تبخیر و درجهٔ حرارت عامل تأثیرگذار در افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل است.

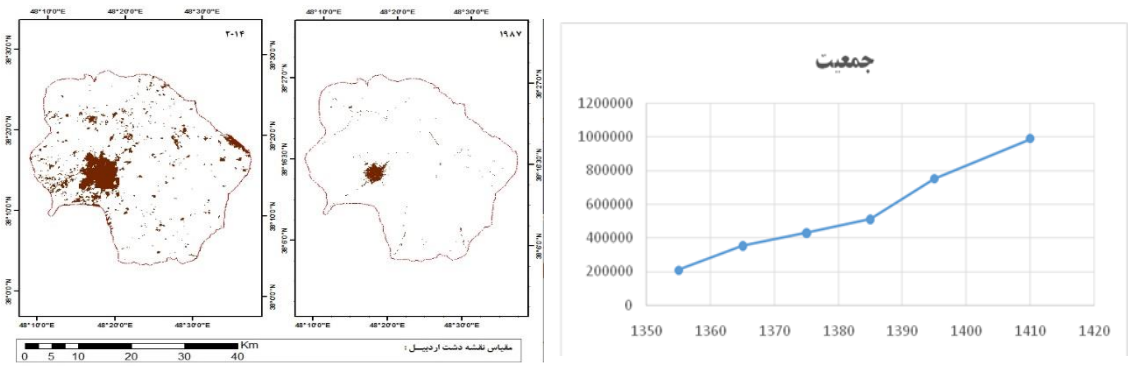


شکل ۴. نمودارهای روند بارش، درجهٔ حرارت، تبخیر در دشت اردبیل به روش من-کندال

۲,۴. نیرومحرکه‌ها

۱.۲.۴. رشد جمعیت

جمعیت دشت اردبیل با توجه به آمار سازمان آمار و محاسبهٔ دهستان‌های این دشت از قبیل کلخوران، کلخوران شرقی، فولادلوی شمالی، دولت‌آباد، ولیگیج شمالی، گرده، مهماندوست، ولیگیج مرکزی، هیر، بالغلو و سردابه و نیز دو شهرستان اصلی این دشت یعنی شهرستان اردبیل و آبی بیگلو، در سال ۱۳۵۵ حدود ۲۰۹,۰۵۴ نفر بود. در سال ۱۳۶۵ به ۳۵۱,۵۸۷ نفر، در سال ۱۳۷۵ به ۴۲۸,۳۸۱ نفر، در سال ۱۳۸۵ به ۵۰۴,۹۴۶ نفر و در سال ۱۳۹۰ به ۵۶۴,۳۶۵ نفر رسید. با توجه به برآورد خانی و زویا سماوی (۱۳۸۸) پیش‌بینی می‌شود، در سال ۱۴۱۰ جمعیت به بیش از ۹۸۶ هزار نفر بالغ شود. بر این اساس نیاز شرب در حال حاضر در حدود ۳۱ میلیون مترمکعب است و در سال ۱۴۱۰ به حدود ۷۳ میلیون مترمکعب خواهد رسید. رشد جمعیت اثر مستقیم بر دیگر عوامل تهدیدکننده دارد. همچنین، گسترش مناطق مسکونی در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۱۹۸۷ نیز محسوس است تا جایی که از ۱۸۰۱۷ به ۱۲۰۲۰۵ مترمربع رسیده است (شکل ۵).



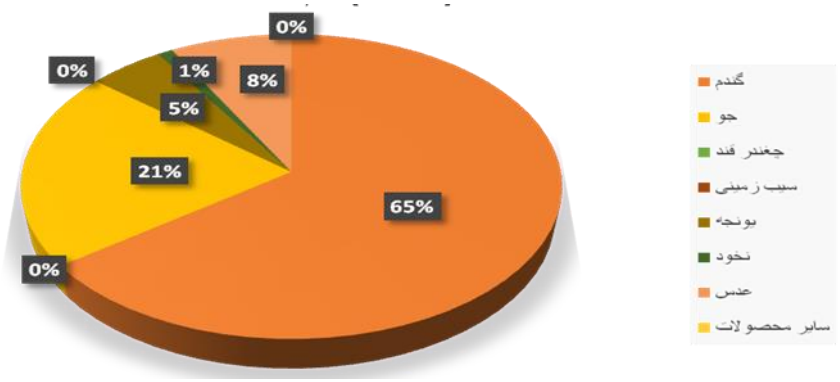
شکل ۵. روند رشد جمعیت از سال ۱۳۵۵ و برآورد آن در سال ۱۴۱۰ به‌همراه نقشهٔ توسعهٔ شهری سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۴ در دشت اردبیل

۲.۲.۴. توسعهٔ کشاورزی

طبق گزارش خانی و زویا سماوی (۱۳۸۸)، بیش از ۸۸ درصد آب مصرفی کشاورزی با حفر چاه‌های متعدد در محدودهٔ دشت تأمین می‌شود. حدود ۱۱ درصد آب مصرفی کشاورزی به‌وسیلهٔ رودخانه‌ها و حدود ۱ درصد نیز به‌وسیلهٔ چشمه‌ها و قنوات تأمین می‌شود. کشاورزی در سه بخش سطح زیرکشت، تولید محصول و نوع محصول نشان می‌دهد با اینکه از ۶۶۲,۰۶۳ هکتار سطح اراضی، ۴۳۴,۵۴۱ هکتار به صورت دیم و ۲۲۷,۵۲۲ هکتار به صورت آبی است، رشد محصولات به‌روش آبیاری بسیار زیادتر از محصولات به روش دیم است. آمارنامهٔ کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی در خصوص محصولات زراعی از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که از ۱,۷۵۹,۸۰۴ تناژ محصول در سال ۱۳۷۷، ۱,۲۷۲,۹۸۲ تن به صورت آبی و ۴۸۶,۸۲۲ تن به صورت دیم صورت‌گرفته است که این میزان در سال ۱۳۹۲ از ۱,۷۴۶,۸۹۴ تن محصول سالانه به ۱,۳۵۱,۰۳۱ تن به روش آبی و ۳۹۵,۸۶۳ تن به صورت دیم رسید. همچنین، این آمار نشان می‌دهد که در سال‌هایی که با بارش کمتری مواجهیم، برای مثال سال ۱۳۸۵، با میزان بارش ۲۱۶/۵ میلی‌متر، رشد محصول به‌صورت آبی افزایش یافته است که نشان‌دهندهٔ استفاده از منبع آبی با کیفیت مناسب و خوب در بخش کشاورزی است که همان آب‌های زیرزمینی دشت است.

نوع محصول نیز در این پژوهش بررسی شد. غلات ۸۸ درصد، حبوبات ۷/۵ درصد، نباتات علوفه‌ای ۳/۲۵ درصد و محصولات صنعتی ۱ درصد را به‌خود اختصاص داده

است (شکل ۶). اراضی دیم گندم ۶۵ درصد و بعد از آن جو و عدس به ترتیب با ۲۱ و ۸ درصد بیشترین سهم اراضی دیم را دارد. سهم اراضی دیم سیب‌زمینی و چغندر صفر درصد است. بنابراین، کشت سیب‌زمینی در دشت اردبیل که مقام اول از لحاظ سطح زیرکشت را به‌خود اختصاص داده است (۱۳/۷۹ درصد کشور)، ۹۸ درصد به صورت آبیاری است.

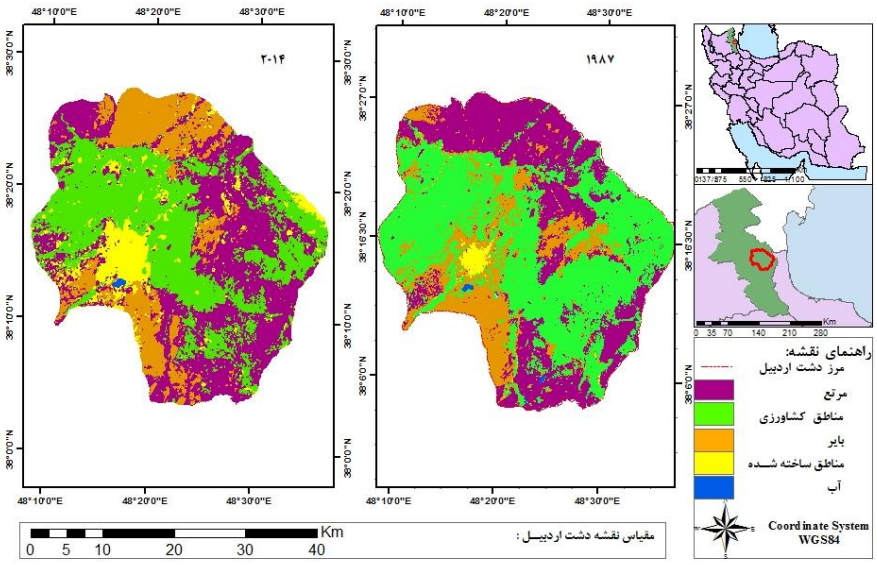


شکل ۶. درصد اراضی دیم به تفکیک نوع محصول دشت اردبیل

۳.۴. فشارها

۱.۳.۴. تغییر کاربری

به‌منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در سال‌های مختلف در یک منطقه، تصاویر ماهواره‌ای در فصول مناسب و تاریخ یکسان برداشت شده است. در این پژوهش، به‌منظور استخراج کاربری‌های مختلف از تصاویر لندست دو دوره استفاده شد. در دورهٔ نخست، از ماهواره لندست سنجندهٔ TM ژوئن ۱۹۸۷ (۱۳۶۶) و در دورهٔ دوم از تصاویر لندست سنجندهٔ +ETM ژوئن ۲۰۱۴ (۱۳۹۳) استفاده شد. طبقه‌بندی از طریق الگوریتم حداکثر احتمال[۱۲] صورت گرفت و پس از فیلترکردن تصاویر نقشهٔ کاربری اراضی هر یک از سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۴، طبق شکل ۷ به‌دست آمد.



شکل ۷. نقشهٔ طبقه‌بندی‌شده در سال ۱۹۸۷ مربوط به ماهوارهٔ لندست TM و سال ۲۰۱۴ مربوط به ماهوارهٔ لندست +ETM

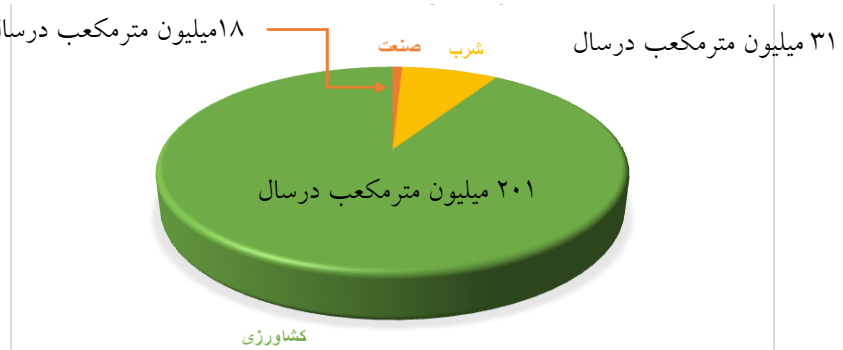
به‌منظور ا دقت و صحت طبقه‌بندی، ضریب کاپا محاسبه شد. این مقادیر در سال ۱۹۸۷، ۹۷ درصد و در سال ۲۰۱۴، ۸۴ درصد به‌دست آمد که نشان از صحت نتایج دارد. نتایج طبقه‌بندی (جدول ۱) نشان می‌دهد که اراضی ساخته‌شده ۲۹ و مراتع ۲۱/۵ درصد افزایش یافته است. این در حالی است که اراضی کشاورزی، زمین‌های بایر و آب کاهش داشته است. یکی از دلایل کاهش اراضی کشاورزی و آب‌های سطحی، کاهش آب‌های زیرزمینی منطقه است.

جدول ۱. میزان تغییرات مساحت پوشش اراضی طی سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۴

طبقات پوشش اراضی	سال ۱۹۸۷ (۱۳۶۶)		سال ۲۰۱۴ (۱۳۹۳)		میزان تغییرات نسبی (نرخ رشد)	
	مساحت (مترمربع)	درصد	مساحت (مترمربع)	درصد	مساحت (مترمربع)	درصد
ساخته‌شده	۱۸۰۱۷	۱/۳۳	۱۲۰۲۰۵	۸/۸	۱۰۲۱۸۸	۲۹
کشاورزی	۶۶۲۱۵۰	۴۸/۶	۵۰۶۰۴۷	۳۸	-۱۵۶۱۰۳	-۴۴
مرتع	۴۲۸۱۴۵	۳۱/۳۶	۵۰۲۳۶۴	۳۶/۸	۷۴۲۱۹	۲۱/۵
آب	۱۱,۱۱۹	۰/۷۵	۲۰۴۹	۰/۱۵	-۹۰۷۰	-۲/۲
بایر	۲۴۶۱۰۵	۱۸/۰۵	۲۳۴۴۲۵	۱۷	-۱۱۶۸۰	-۳/۳
جمع	۱,۳۶۵,۵۳۶	۱۰۰	۱۳۶۵۰۹۰	۱۰۰	-	-

۲.۳.۴. مصارف آب زیرزمینی

آماربرداری خانی و زویا سماوی (۱۳۸۸) از منابع آب دشت اردبیل در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که تخلیهٔ آب زیرزمینی از تعداد ۲۶۳۲ حلقه چاه، ۱۱۵۸ دهانه چشمه و ۲۴ رشته قنات به‌ترتیب برابر ۳۶۵/۲۸، ۲۹، ۰/۵۴۴ میلیون مترمکعب در سال بوده است. حجم تخلیهٔ آبخوان برای مصارف کشاورزی در محدودهٔ دشت از تعداد ۲۲۴۳ حلقه چاه بهره‌برداری فعال برابر ۲۰۱ میلیون مترمکعب (۹۱,۲ درصد) در سال مذکور بوده است. در آماربرداری سال ۱۳۸۸، رقم ثبت‌شده برای تخلیهٔ چاه‌های شرب روستایی و شهری در محدودهٔ مطالعاتی اردبیل به قرار زیر بوده است: از تعداد ۱۰۶ حلقه چاه برابر ۳۱ میلیون مترمکعب (۸ درصد) و تخلیهٔ چاه‌های صنعتی از تعداد ۲۸۳ حلقه چاه برابر ۱۸ میلیون مترمکعب (۰/۸ درصد).

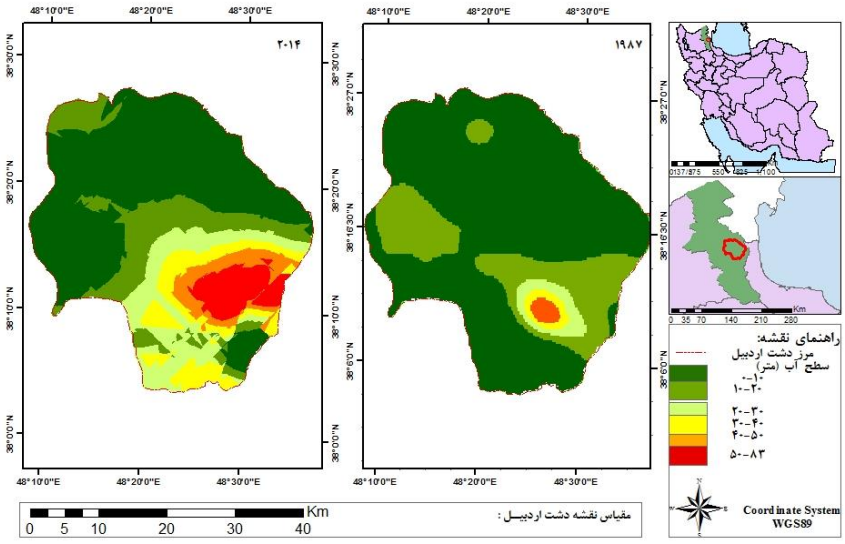


شکل ۸. استفاده از چاه‌های آب زیرزمینی در بخش کشاورزی- شهری و صنعت به‌همراه حجم تخلیهٔ آن

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌کنید، بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی بوده است که در این بخش مصرف از طریق استفادهٔ آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. نیاز تمامی بخش‌ها (کشاورزی، شرب و صنعت) در شرایط فعلی ۸۴۰/۳۷ میلیون مترمکعب و در افق ۱۴۱۰ در حدود ۹۱۴/۴۹ میلیون مترمکعب است که با توجه به پتانسیل منابع آبی تجدیدپذیر شهرستان اردبیل که به میزان ۲۸۵/۹۵ میلیون مترمکعب است، کمبود منابع آبی شهرستان در شرایط فعلی و افق ۱۴۱۰ به‌ترتیب بالغ بر ۵۵۴/۴۲ و ۶۲۸/۵۲ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود.

۴.۴. وضعیت

وسعت سفرهٔ آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل ۸۵۰ هکتار است که با ۳۶۶۷ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق آب از آن استحصال می‌شود (نصرت‌پور، ۱۳۸۸). به‌منظور بررسی عمق سطح ایستابی و تعیین سطح برخورد با آبخوان باید چاه‌های مشاهده‌ای (پیزومتری) به‌صورت پراکنده و در فواصل معینی از یکدیگر در دشت بررسی شود. در این پژوهش، داده‌های چاه‌های انتخابی ۱۹۸۷ با داده‌های همان چاه‌ها در سال ۲۰۱۴ مقایسه شد. این داده‌ها، به‌طور مجزا برای هر سال، وارد نرم‌افزار GIS شد. سپس، درون‌یابی کریجینگ روی مقادیر سطح آب طبق تصاویر (شکل ۹) صورت گرفت. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود افت آبخوان در چاه‌های جنوب خیلی بیشتر افزایش یافته است تا حدی که سطح آبخوان تا ۸۳ متر هم مشاهده می‌شود و موجب شده است که پهنهٔ دیگری به رنگ قرمز به پهنه‌بندی سطح آبخوان اضافه شود.



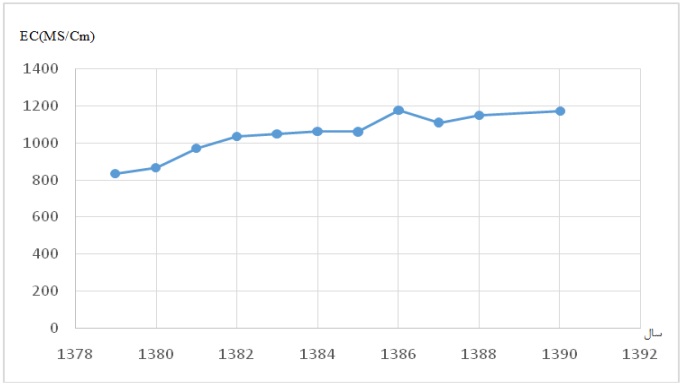
شکل ۹. درون‌یابی کریجینگ سطح آبخوان در سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۴

۵.۴. آثار

۱.۵.۴. افت کیفی آبخوان

در دشت اردبیل، به‌دلیل کم‌بودن ضخامت لایه‌های خاکدار با دانه‌بندی متفاوت و حرکت آب در مسافت کوتاه تمامی منابع آبی (سطحی و زیرزمینی) از کیفیت مناسب برای کشاورزی و مصارف عمومی و شرب برخوردار است، اما به‌دلیل افت آبخوان، کیفیت آب در حال تغییر است. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی رابطهٔ مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد، در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کیفیت آب در آبخوان دشت اردبیل از شاخص

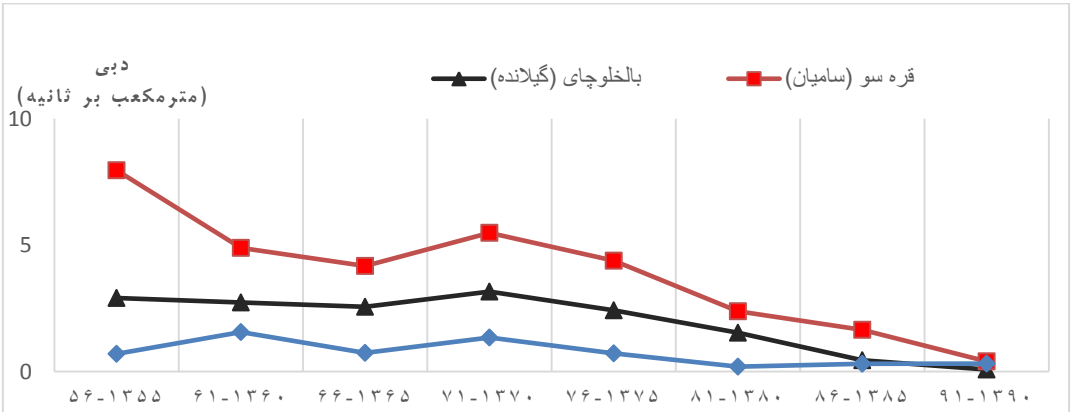
هدایت الکتریکی آب (EC)[1] استفاده شد. داده‌های مورد نیاز از مطالعات پایهٔ آب و نیز سایت سازمان آب اردبیل استخراج شده است. از لحاظ هدایت الکتریکی، دشت اردبیل در سری زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ ماه خرداد به مدت دوازده سال بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۱۰ آمده است، میانگین سالانهٔ EC روند افزایشی دارد؛ یعنی، از مقدار ۸۳۴ میکروموس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۷۹ به ۱۱۷۰ میکروموس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۹۰ رسیده است. این روند نشان‌دهندهٔ کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در آبخوان این دشت است.



شکل ۱۰. هدایت الکتریکی دشت اردبیل در سری زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ (خرداد ماه)

۲.۵.۴. کاهش میزان آب‌های سطحی

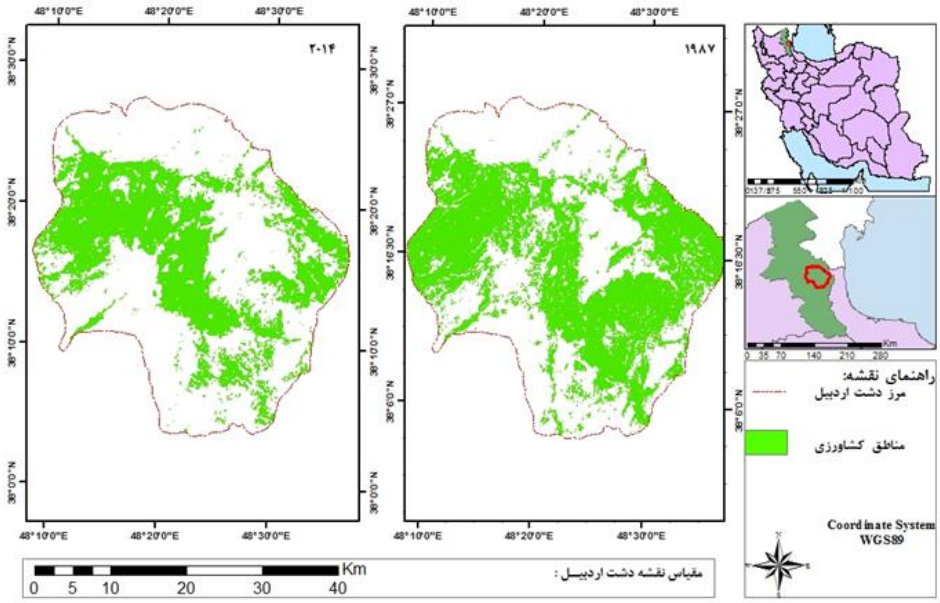
رودخانهٔ قره‌سو مهم‌ترین رودخانهٔ استان اردبیل، از دشت اردبیل می‌گذرد و بخش شمالی دشت را طی می‌کند و در مسیر خود آب رودخانه‌های زیادی را دریافت می‌کند که دو رودخانهٔ اصلی بالخلوچای (بالقلی چای) و قوری‌چای از مهم‌ترین آن‌هاست. با بررسی آبدهی این رودخانه‌ها کاهش نسبی آب رودخانه مشاهده می‌شود که بخشی از آن به‌علت افت آب‌های زیرزمینی دشت است. در این تحقیق، داده‌های ایستگاه گیلانده با ارتفاع ۱۳۳۲ متر از رودخانهٔ بالخلوچای و نیز ایستگاه کوزه‌تپراقی با ارتفاع ۱۳۹۴ متر از رودخانهٔ قوری‌چای و رودخانهٔ قره‌سو در ایستگاه هیدرولوژی سامیان با ارتفاع ۱۲۹۰ متر طی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۹۱ بررسی شده است که در شکل ۱۱، کاهش دبی این رودخانه‌ها به‌وضوح قابل مشاهده است.



شکل ۱۱. روند میانگین سالانهٔ دبی رودخانه بالخلوچای (ایستگاه گیلانده)، رودخانهٔ قوری‌چای (ایستگاه کوره تپلاقی) و رودخانهٔ قره‌سو (ایستگاه سامیان)

۵.۵. افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی (خشک‌شدن باغات و زمین‌های کشاورزی)

مساحت کل اراضی کشاورزی دشت اردبیل ۸۲۹۵۰ هکتار و در حال حاضر مجموع سطح زیرکشت سالانهٔ اراضی آبی در حدود ۴۷۰۵۸ هکتار است. نظام آبیاری و حقابه‌بری از منابع آب موجود در محدودهٔ دشت به‌گونه‌ای است که کفاف سیراب‌شدن اراضی را نمی‌دهد و به موازات آن خشکسالی و کاهش شدید سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر سبب تشدید این امر شده است و کشاورزان قادر به آبیاری کامل اراضی خود نیستند. خشک‌شدن باغات و زمین‌های کشاورزی و تفاوت آن در سال ۱۹۸۷ و ۲۰۱۴ در شکل ۱۱ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زمین‌های کشاورزی در سال ۱۹۸۷، ۶۶۲,۱۵۰ متر بوده اما در سال ۲۰۱۴ به ۵۰۶,۰۴۷ متر کاهش یافته است که می‌توان این امر را به‌علت افت آب‌های زیرزمینی دانست و این اثر همچنان در حال افزایش است.



شکل ۱۱. مقایسهٔ اراضی کشاورزی سال ۱۹۸۷ با ۲۰۱۴

۶.۵. راهکارها

از بین راهکارهای پیشنهادی، چهار راهکاری انتخاب شد که بیشترین میانگین را از دید کارشناسان و متخصصان منطقه‌ای، همچنین کارشناسان دانشگاهی به خود اختصاص داده بود. برای هر یک از این چهار راهکار مخففی در نظر گرفته شد تا به سهولت در نرم mDSS وارد شود. این چهار راهکار عبارت است از:

۱. مشارکت عمومی[۱۳] در مدیریت حوضهٔ آبخیز دشت زیر نظر شرکت تعاونی مردم‌نهاد و همکاری سازمانی (P.P). یکی از مهم‌ترین موضوعات در بحث مدیریت آب‌های زیرزمینی، مشارکت عمومی، در نظر گرفتن نیازهای مردم و به‌کار گرفتن نظرات آن‌ها و در نهایت استفاده از کمک و همکاری آن‌ها در مواجهه با مشکل است. در مشارکت عمومی نخست باید ذی‌نفعان شناسایی شوند تا با استفاده از تجارب و دانش آن‌ها بتوانیم گامی مؤثر در حفظ آب‌های زیرزمینی داشته باشیم. ایجاد اتحادیه و انجمن‌های مردمی (NGOها) برای اطمینان از مشارکت واقعی کشاورزان در مدیریت آبیاری، سپردن

بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری به خود بهره‌برداران، انتقال و ترویج فناوری و روش‌های مناسب و پیشرفتهٔ آبیاری و ایجاد پیوند بین مروجان و کشاورزان همگی به صرفه‌جویی در مصرف آب و مدیریت تقاضای آن کمک مؤثر خواهد کرد. با توجه به نظر کارشناسان و متخصصان این راهکار با اکتساب نمرهٔ ۴/۰۰۵ یکی از چهار راهکار انتخابی است.

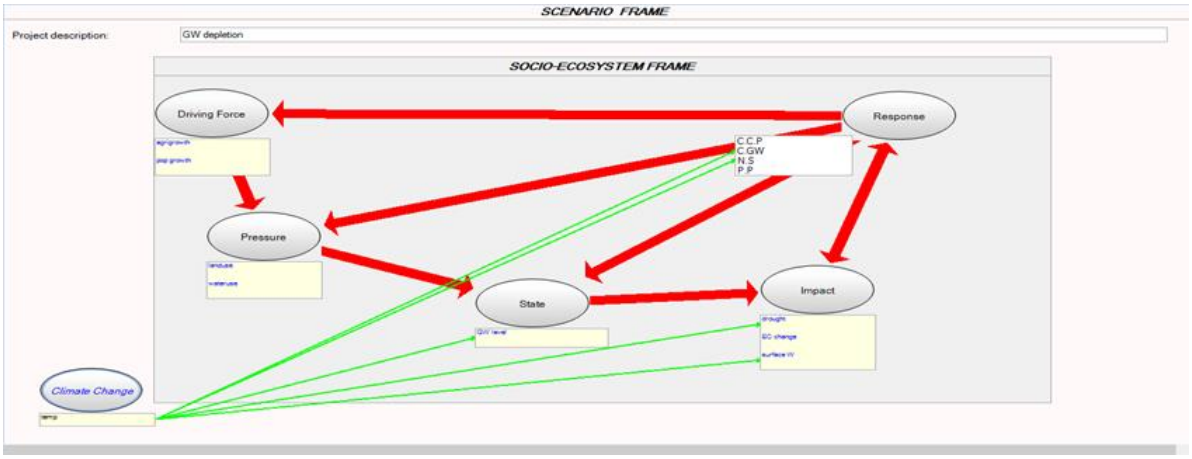
۲. تغییر در الگوهای کشت کشاورزی[14] و جلوگیری از کشت محصولات پرآب‌طلب (C.G.W). برگزیدن الگوی کشت هماهنگ با شرایط آب و خاک منطقه در مصرف بهینهٔ آب نقش اساسی ایفا خواهد کرد. این راهکار با امتیاز ۴/۷۲ از دید کارشناسان و متخصصان جزو چهار گزینهٔ مهم قرارگرفت. از آنجا که اکثر زمین‌های کشاورزی دشت اردبیل سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی و به‌صورت آبی است، کشاورزان با حداکثر توان خود اقدام به تخلیهٔ آبخوان‌ها و آبیاری زمین‌های خود می‌کنند و با توجه به سودآوری آن هیچ‌گونه توجهی به عواقب نامطلوب آن از جمله آسیب به آبخوان ندارند. با این حال با افزایش صادرات ۴۰ درصدی محصولات زراعی مواجهیم که در واقع صادرکردن آب مجازی کشور به خارج است. تغییر الگوی کشت و جایگزینی محصولات سازگار با شرایط آبی و خاکی منطقه که نیاز آبی کمتری داشته باشد یا تغییر زمان کشت محصول و موکول‌کردن آن به زمان با بارش بیشتر، برای مثال تغییر کشت محصول چغندرقند از بهار به پاییز، ضمن بازدهی بالاتر، راهگشای بسیاری از مسائل است. در این راستا، لازم است برای کشاورزان کارا سیاست‌های حمایتی و تشویقی اتخاذ شود تا دیگر کشاورزان مناطق کم‌آب نیز انگیزهٔ بیشتری به کشت محصولاتی از خود نشان دهند که به آب کمتری نیاز دارند.

۳. تلاش برای ایجاد سیستم‌های جدید[15] (مانند: آبیاری تحت‌فشار) و تغییر سیستم‌های سنتی آبیاری (N.S). درحالی که ۳۵ درصد از زمین‌های کشاورزی دشت اردبیل تحت آبیاری است و ۶۵ درصد بقیه به‌صورت دیم و بدون آبیاری استفاده می‌شود، محصولات بیشتری به صورت آبی حاصل می‌شود که این خود نشان‌دهندهٔ اهمیت و نقش آبیاری در بخش کشاورزی است. به‌طور کلی، آبیاری‌های نوین به شکل تحت فشار و به دو شکل کلی آبیاری قطره‌ای و بارانی انجام می‌شود. راندمان آبیاری بارانی تا ۷۰ درصد و آبیاری قطره‌ای تا ۹۵ درصد است؛ یعنی، در سیستم آبیاری بارانی تا ۳۰ درصد و در سیستم آبیاری قطره‌ای تا ۵ درصد آب تلف می‌شود، در حالی که در آبیاری مزارع به روش سطحی حتی با انجام هزینه‌های گزاف و تسطیح اراضی راندمان آبیاری از ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کند و در وضعیت سنتی که اکثر اراضی کشور ما به‌همین ترتیب آبیاری می‌شود، این میزان حتی کمتر از ۳۵ درصد است. لذا، با استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار می‌توان از تلفات آب جلوگیری کرد تا به رشد اقتصادی و به‌دنبال آن به توسعهٔ پایدار در همهٔ زمینه‌ها دست یافت.

۴. تعیین آب‌بهای واقعی[16] به‌ویژه در بخش کشاورزی در جهت کاهش مصرف بی‌رویه و افزایش صرفه‌جویی (C.C.P). با توجه به اینکه ۹۲ درصد از آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، قیمت‌گذاری در بخش کشاورزی و تعیین مالیات در این بخش بسیار مؤثر است، زیرا تعیین نرخ عادلانهٔ آب که از یک‌سو جبران‌کنندهٔ بخشی از هزینه‌های شبکه و از سوی دیگر نشان‌دهندهٔ ارزش واقعی آب تحویلی به کشاورزان است. این راهکار از نظر کارشناسان و متخصصان با امتیاز ۴/۵ یکی از راهکارهای مهم در ارزیابی یکپارچه در نظر گرفته شد.

۷.۵. ورود داده‌ها به نرم‌افزار mDSS

تجزیه و تحلیل مقدماتی در فاز مفهومی. در این مرحله عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی تعریف‌شده طبق چارچوب DPSIR در نرم‌افزار وارد می‌شود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. تشکیل DPSIR در فاز مفهومی

ارزیابی گزینه‌ها در فاز طراحی. در این مرحله، تمامی شاخص‌ها و گزینه‌هایی که انتخاب کرده‌ایم در ماتریسی قرارمی‌گیرد که در ستون آن شاخص‌ها و در ردیف آن گزینه‌ها جای دارد و به آن ماتریس آنالیز (AM) گفته می‌شود. سپس، ارزیابی اهمیت این گزینه‌ها در شاخص‌ها صورت می‌گیرد. این اعداد با توجه به میانگین اهمیت هر یک از گزینه‌ها در شاخص‌های اولویت‌بندی‌شدهٔ کارشناسان و متخصصان به داخل ماتریس وارد می‌شود (جدول ۲).

انتخاب پاسخ بهینه در فاز انتخاب. در این مرحله، نرمال‌سازی ماتریس AM با تابع ارزش صورت گرفت؛ یعنی تابع چندبعدی AM به بی‌بعد ۰ و ۱ تبدیل شد و در ماتریس EM (جدول ۳) قرارمی‌گیرد.

جدول۲. ماتریس آنالیز (AM) در فاز طراحی

INDICATOR	شاخص	C.C.P	C.GW	N.S	P.P
Pop growth	رشد جمعیت	۱	۲	۱	۶
Agri growth	رشد کشاورزی	۸	۶	۴	۳
Water use	مصرف آب	۹	۷	۶	۴
Land use	تغییر کاربری زمین	۵	۴	۳	۴
GW level	افت سطح آبخوان	۷	۸	۷	۲
Drought	خشکسالی	۷	۸	۷	۲
Surface W	میزان آب‌های سطحی	۵	۸	۷	۲
EC change	تغییرات هدایت الکتریکی (EC)	۵	۳	۴	۴

جدول۳. ماتریس ارزیابی (EM) در فاز انتخاب

INDICATOR	شاخص	C.C.P	C.GW	N.S	P.P
Pop growth	رشد جمعیت	۰	۰/۰۷	۰	۱
Agri growth	رشد کشاورزی	۰/۸۷	۰/۶۶	۰/۳۷	۰/۵۱
water use	مصرف آب	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۲۵
Land use	تغییر کاربری زمین	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵
GW level	افت سطح آبخوان	۱	۱	۰/۷۵	۰/۷۵
Drought	خشکسالی	۰/۷۵	۰/۹۹	۰/۷۵	۰
Surface W	میزان آب‌های سطحی	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۲۵
EC change	تغییرات هدایت الکتریکی (EC)	۰/۵	۰/۱۶	۱	۰/۲۵

وزن‌گذاری. در این پژوهش وزن‌گذاری با روش وزن‌گذاری نوسانی[۱۷] صورت گرفت (جدول ۴). در جدول ۴ وزن‌گذاری بر اساس اولویت‌بندی شاخص‌ها صورت می‌گیرد. در اینجا گزینهٔ افت سطح آبخوان رتبهٔ ۱، مصرف آب در بخش کشاورزی رتبهٔ ۲، رشد جمعیت رتبهٔ ۳، مصرف آب زیرزمینی رتبهٔ ۴، آب‌های سطحی رتبهٔ ۵، تغییر کاربری اراضی رتبهٔ ۶، تغییرات کیفی آبخوان رتبهٔ ۷ و خشکسالی رتبهٔ ۸ را به‌خود اختصاص داده است. لازم به‌ذکر است که این وزن‌ها در تصمیم‌گیری نهایی تأثیر داده و گزینهٔ نهایی انتخاب می‌شود. اولویت‌بندی پاسخ‌ها با استفاده از روش SAW صورت می‌گیرد (شکل ۱۳).

جدول ۴. وزن‌گذاری با استفاده از رتبه‌بندی

INDICATOR	شاخص	RANK	وزن‌ها
Pop growth	رشد جمعیت	۳	۰/۶۸۸
Agri growth	رشد کشاورزی	۲	۰/۸۱۲
Water use	مصرف آب	۴	۰/۵۶۲
Land use	تغییر کاربری زمین	۶	۰/۳۱۲
GW level	افت سطح آبخوان	۱	۰/۹۳۸
Drought	خشکسالی	۸	۰/۰۸۲
Surface W	میزان آب‌های سطحی	۵	۰/۴۳۸
EC changes	تغییرات هدایت الکتریکی (EC)	۷	۰/۱۲۵

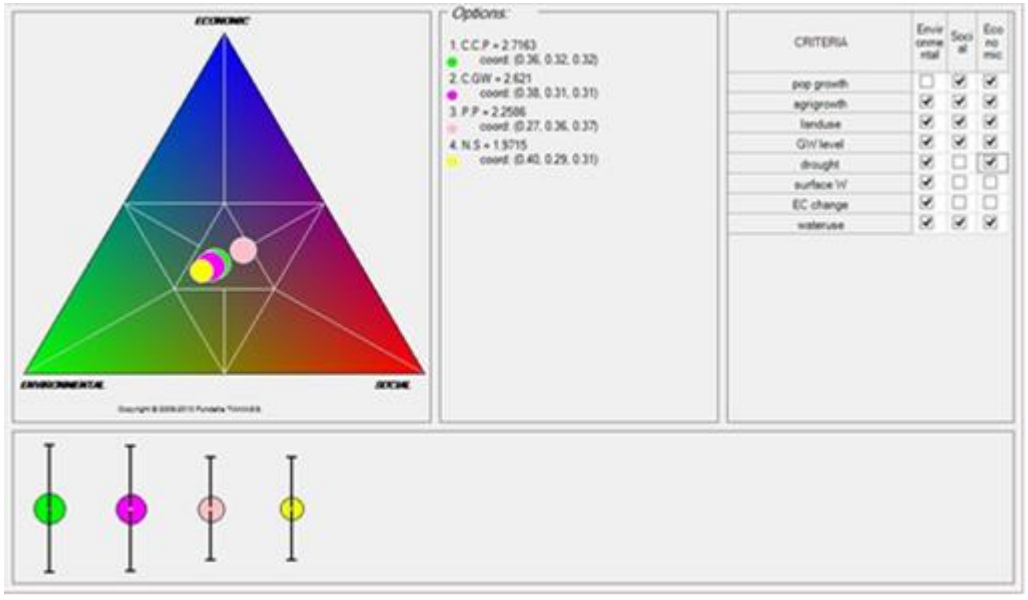
همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، در اولویت‌بندی ما گزینهٔ C.C.P یعنی تعیین آب‌بهای واقعی آب‌های زیرزمینی، به‌ویژه در بخش کشاورزی، در جهت کاهش مصرف بی‌رویه و افزایش صرفه‌جویی مهم‌ترین گزینه با نمرهٔ ۲/۷ و از لحاظ تأثیر و مرتبط بودن ۱۰۰ درصد دارای ارجحیت بیشتر است.

شکل ۱۴، نمودار پایداری را نمایش می‌دهد. معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی در رئوس هرم قراردارد و گزینه‌ها به‌صورت دایره‌های رنگی در مرکز قرارگرفته است. لازم به ذکر است که گزینهٔ پایدار گزینه‌ای است که هر سه معیار را بهبود می‌بخشد؛ یعنی، به هیچ‌یک از رئوس مثلث مایل نباشد. تصمیم‌گیری بهتر موقعی خواهد بود که هر سه معیار در برنامه و راهکار در نظر گرفته شده باشد. تمامی راهکارهای ما در میان هرم قرارگرفته است که از لحاظ اجرایی‌بودن بسیار کارآمد است. گزینهٔ تعیین آب‌بهای کشاورزی هر سه معیار اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را بهبود می‌بخشد، بنابراین کاملاً در مرکز قرار گرفته و به رنگ سبز است.

Responses for SAW

OPTIONS:	Score:	% (relative to 1st position)
C.C.P	2.7163	100%
C.GW	2.621	96%
P.P	2.2586	83%
N.S	1.9715	72%

شکل ۱۳. پاسخ نهایی و انتخاب گزینهٔ برتر



شکل ۱۴. نمودار پایداری گزینه‌های مدیریتی ارائه‌شده

۶. نتیجه‌گیری

نرم‌افزار سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مولینو (mDSS)، DPSIR را چارچوب مرجعی برای ارزیابی یکپارچهٔ مدل‌های اجتماعی- اقتصادی- اکولوژیکی در نظر گرفته و قالب این نرم‌افزار بر همین اساس طرح‌ریزی شده است؛ بنابراین، برای تحلیل DPSIR بهتر است که از نرم‌افزاری استفاده شود که برای همین علت طرح‌ریزی شده و مختص آن است، ضمن اینکه این نرم‌افزار ارزیابی نهایی را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام می‌دهد. بنابراین، نرم‌افزار mDSS با ادغام تکنیک‌های مدل‌سازی محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی در GIS و نیز تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره ابزاری عملیاتی در پروژه‌های علّی- معلولی استفاده می‌شود که پاسخگوی نیازهای تصمیم‌گیری و مدیریت در حوزهٔ آب است. تدوین سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) با این نرم‌افزار، به‌خصوص در برنامه‌های محیط‌زیستی، امکان کشف مشکل و ارائهٔ راه‌حل در روابط علّی- معلولی را فراهم می‌آورد. در این پژوهش، با استفاده از روش SAW در نرم‌افزار mDSS، تعیین آب‌بهای واقعی آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در بخش کشاورزی با اکتساب نمرهٔ ۲/۷ گزینهٔ برتر شناسایی شد. در استفاده از آب‌های زیرزمینی به گزینهٔ آب‌بها در بخش کشاورزی کمتر توجه شده است و می‌توان گفت تاکنون ملاحظه نشده است. قیمت‌گذاری در بخش کشاورزی و تعیین مالیات در این بخش بسیار مؤثر است. آب‌بهای کشاورزی در آب‌های سطحی، طبق قانون تثبیت نرخ آب‌بهای زراعی مصوب مجلس شورای اسلامی بر مبنای درصدهای متوسط محصول برداشت شده و با توجه به هدف حمایت از محصولات استراتژیکی و نیل به متوسط درآمدهای مقرره در قانون تعیین می‌شود.

تغییر الگوی کشت و تهیهٔ الگوی کشت بهینه با توجه شرایط زمین و اقلیم منطقه با احتساب ۲/۶۲ گزینهٔ برتر بعدی است. از آنجا که اکثر زمین‌های کشاورزی دشت اردبیل سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی و به‌صورت آبی است، کشاورزان با حداکثر توان خود اقدام به تخلیهٔ آبخوان و آبیاری زمین‌های خود می‌کنند و با توجه به سودآوری آن هیچ‌گونه توجهی به عواقب نامطلوب آن ندارد، از جمله آسیب به آبخوان که سرمایهٔ ملی است و با افزایش ۴۰ درصدی محصولات زراعی مواجهیم. تغییر الگوی کشت و جایگزینی محصولات سازگار با شرایط آبی و خاکی منطقه با نیاز آبی کمتر، برای مثال تغییر کشت محصول چغندرقند از بهاره به پاییزه، ضمن بازدهی بالاتر راهگشای بسیاری از مسائل خواهد بود. در نهایت، مشارکت مردمی و استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری گامی مهم در جهت حفظ آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل خواهد بود.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل، سازمان مطالعات پایه‌ای آب تهران، جهاد کشاورزی و ادارهٔ کل حفاظت محیط‌زیست استان اردبیل به‌دلیل در اختیار گذاشتن اطلاعات پایهٔ مورد نیاز این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود. از این تحقیق شرکت آب منطقه‌ای اردبیل تحت قرارداد تحقیقاتی شمارهٔ ۹۰۰/۱۵۷۰۷ مورخ ۱۳۹۲/۴/۶ حمایت مالی کرده است که از ایشان نیز تشکر و قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Driver forces, Pressures, State, Impacts, Responds (DPSIR)
2. MULti-sectoral, INtegrated and Operational Decision Support System (MULINO DSS)
3. The Water Framework Directive
4. concept phase
5. design phase
6. choice phase
7. Analysis Matrix
8. Multi-attribute decision making (MADM)
9. Simple Additive Weighting (SAW)
10. Evaluation Matrix
11. Mann Kendall
12. maximum likelihood
13. Part Participation (P.P)
14. Changing in G.W Cultivation Pattern (C.G.W)
15. New Systems (N.S)
16. Changing Cost of Price (C.C.P)
17. swing weights

منابع

امیراحمدی، ا.، معالی اهری، ن.، احمدی، ط. (۱۳۹۲). تعیین مناطق فرونشست احتمالی دشت اردبیل با استفاده از GIS، نشریهٔ علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شمارهٔ ۴۶، ص ۱-۲۳.

امیری، م.، دارستانی فراهانی، ا. (۱۳۹۲). تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، تهران، انتشارات دانشگاهی کیان.

جعفرزاده، ج.، رستم زاده، ه. اسدی، ا. (۱۳۹۴). پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از سری‌های زمانی، کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب، تهران، شرکت همایش فرازان کاراهیوا.

حسینی، ا. (۱۳۹۱). ارزیابی یکپارچهٔ روند توسعهٔ منابع آب زیرزمینی دشت مشهد، سلسله گزارش‌های راهبردی مدیریت یکپارچه منابع آب (۲)، مشهد، مدیریت پایدار آب.

خانی، ح.، زویا سماوی، ط. (۱۳۸۸). منابع و مصارف دشت اردبیل، شرکت مهندسین مشاور آبان پژوه.

خدایی، ح.جعفرزاده، ج.، اسدی، ا.، حسنی تبار، م. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات افت سطح تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش زمین آماری IDW، کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب، تهران، شرکت همایش فرازان کاراهیوا.

دانشور وثوقی، ف.، دین‌پژوه، ی.، اعلمی، م.ت. (۱۳۹۰). تأثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی در دو دههٔ اخیر (مطالعهٔ موردی: دشت اردبیل)، نشریهٔ دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شمارهٔ ۴، ص ۱۶۵.

سید شکری، س.، صدیق، ح.، حشمتی، ر. (۱۳۹۱). بررسی کمیت آب زیرزمینی دشت اردبیل، ششمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، کرمان، دانشگاه پیام نور مرکز کرمان.

صفی، م.، نوری، ج. (۱۳۹۰). مدلسازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت مدیریت منابع آب با استفاده از روش MULINO DSS، فصل‌نامهٔ مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، سال ۱، شمارهٔ ۲، ص ۷۳.

عالی‌پور اردی، م.، ملک‌محمدی، ب.، جعفری، ح. (۱۳۹۲). بررسی علل فرونشست زمین در دشت اردبیل، سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران.

عمرانیان خراسانی، ح.، باقری، ع.، داوری، ک.، ثمره هاشمی، م. (۱۳۹۲). تحلیل وضع موجود منابع آب استان خراسان جنوبی با رویکرد مشارکتی با استفاده از چارچوب DPSIR و کاربرد آن در استان، هفتمین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

غفوری‌فرد، س.، بابائیان، ف.، باقری، ع. امیری، م. (۱۳۹۳). ارزیابی یکپارچهٔ سیستم منابع آب محدودهٔ رفسنجان با استفاده از چارچوب DPSIRو با تکیه بر بهبود سیستم حکمرانی آب، دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط‌زیست)، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.

نادریان فر، م.، انصاری، ح.، ضیائی، ع.، داوری،ک. (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضهٔ آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ۱، شمارهٔ ۴.

ناصری، ح، مهدی‌پور، ف. (۱۳۸۵). تهیهٔ مدل ریاضی به‌منظور اعمال مدیریت بهینهٔ کمّی و کیفی آبخوان مطالعهٔ موردی دشت تبریز، مقالهٔ بیست‌وپنجمین گردهمایی علوم زمین.

نصرت‌پور، ش. (۱۳۸۸). بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل، مقالهٔ همایش بحران آب و ضرورت احیای حقابهٔ استان اردبیل.

Azizi, A., Ghorbani, A., Malekmohammadi, B., Jafari, H.R. (2017). Government management and overexploitation of groundwater resources: absence of local community initiatives in Ardabil plain-Iran. Journal of Environmental Planning and Management, pp. 1-24. DOI: 10.1080/09640568.2016.1257975.

Azizi, A., Malakmohamadi, B., Jafari, H.R. (2016). Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model. Global Journal of Environmental Science and Management, Vol. 2, No. 3, pp. 223-234.

Bell, S. 2012. DPSIR= A Problem Structuring Method? An exploration from the ‘‘Imagine’’ approach, European Journal of Operational Research, No. 222, pp. 350-360.

Benini, L., Bandini, V., Marazza, D., Contin, A. 2010. Assessment of land use changes through an indicator-based approach: A case study from the Lamone river basin in Northern Italy, Ecological Indicators, Vol. 10, pp. 4-14.

Broja, A., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E., Uriarte, A., Valencia.2006. 2006. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 66, pp. 84-96.

EEA. (1999). Environmental indicators: Typology and overview, Technical Report No.25, European Environment Agency, Copenhagen.

Giupponi, C., Fassio, A., Hiederer, R., Simota, C. (2005). A decision support tool for simulating the effects of alternative policies affecting water resources: an application at the European scale, Journal of Hydrology, Vol. 304, pp. 426-476.

Giupponi, C. 2007. Decision Support Systems for Implementing the European Water Framework Directive: the MULINO approach, Environmental Modelling & Software, Vol. 22, pp. 248-258.

Hellenic Centre for Marine Research. 2014. Conceptual models for the effects of marine pressures on biodiversity.

Hojati, M.H., Boustani, F. 2011. Evaluation of Groundwater Trend of Arsanjan Plain, World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 54.

Kristensen, P. 2004. The DPSIR Framework, workshop on a comprehensive/ detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach. UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya.

M., Messouli, M., Ben Salem, A., Ghallabi, B., Yacoubi-Khebiza, M., Ait Boughrous, A., El Alami, El Filali, A., Rochdane, S., Ezzahra, Hammadi F. 2009. Ecohydrology and groundwater resources management under global change: A pilot study in the pre-Saharan basins of southern Morocco, CIHEAM, Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, Vol. 88, pp. 255-264.

Mysiak, J., Giupponi, C., Rosato, P. 2005. Towards the development of a decision support system for water resource management, Environmental Modelling & Software, Vol. 20, pp. 203-214.

UNEP. (1997). Global Environment Outlook. United Nations Environment Programme: Nairobi.