ارزیابی اثرات توسعه شهری اردبیل بر کمیت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت اردبیل

یوسف حسنعلی‌پورهریس[۱]، رئوف مصطفی‌زاده [۲*]، اباذر اسمعلی عوری[۳]، محمد احمدی[۴] رسول ایمانی[۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲*- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استاد گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۴- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۵- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

*ایمیل نویسنده مسئول: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۳/۲۳

چکیده

توسعه شهری در کنار رشد جمعیت طی دهه‌های اخیر باعث شده تا چرخه هیدرولوژیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی دستخوش تغییرات فراوانی شود. در پژوهش حاضر ارزیابی اثرات توسعه شهری اردبیل بر کمیت و کیفیت آب‌های سطحی رودخانه بالیخلوچای، و آب زیرزمینی دشت اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج، مساحت منطقه شهری اردبیل در یک دوره ۳۰ ساله ۳۷۰۴ هکتار افزایش یافته است. سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل به میزان ۵ متر کاهش یافته است. تغییرات مکانی و زمانی دبی رودخانه بالیخلوچای طی ۳۰ سال اخیر روند کاهشی داشته است. در کیفیت هم بر اساس وضعیت پارامترهای کیفیت آب، شامل سختی کل، pH، هدایت الکتریکی، غلظت املاح محلول، غلظت یون کلر و نسبت جذبی سدیم، به صورتی است که در بخش‌های شمال، شمال شرق و شرق به‌طرف مرکز، جنوب و جنوب شرقی غلظت پارامترهای مذکور افزایش می‌یابد که حاکی از کاهش کیفیت آب در اثر توسعه شهری است. پهنه‌های مشخص شده برای پارامترهای از یک الگوی مشخص پیروی کرده، و مقادیر حداقل و حداکثر تمامی پارامترها در نواحی مشترکی از دشت واقع شده است.

کلمات کلیدی

"آب‌های سطحی"، "جریان رودخانه‌ای"، "سطح آب زیرزمینی"، "درون‌یابی"، "روند تغییرات"

۱- مقدمه

مدیریت منابع آب و محیط زیست اغلب نیاز به درک چند رشته‌ای از تعاملات آب زیرزمینی و آب سطحی دارد، زیرا این تعاملات پیوندهای کلیدی بین فعالیت‌های زمینی، اکوسیستم‌های آبی و یکپارچگی منابع آب را تشکیل می‌دهند. با این‌حال پتانسیل تعاملات آب سطحی و زیرزمینی برای تأثیرگذاری بر کیفیت آب، کمیت آب و سلامت اکوسیستم به‌خوبی شناخته شده است (Conant et al., 2019: 4). امروزه با توجه به رشد فزآینده شهرنشینی بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند، در حالی‌که در سال ۱۹۰۰ تنها ۱۳ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند. گرچه مناطق شهری ۴ درصد از سطح خشکی‌ها را تشکیل می‌دهند، ولی توسعه نامنظم شهری می‌تواند سبب تغییرات گسترده‌ای در شرایط محیطی زمین شود. در حالی‌که ماهواره‌های سنجش از دور، طیف وسیعی از داده‌های مکانی و زمانی را با هزینه بسیار کم در اختیار کاربران قرار می‌دهند و ابزاری پرکاربرد در شناسایی و بررسی تغییرات زمانی-مکانی عوارض سطح زمین است و از آن‌جا که بیش‌ترین میزان رشد جمعیت در آینده در کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه کشورهای کم‌تر توسعه‌یافته اتفاق خواهد افتاد (Tewolde and Cabral, 2011: 21). این افزایش فشار جمعیت منجر به رشد غیرقابل کنترل، پراکندگی، گسترش مناطق شهری، تغییر سریع کاربری زمین و افزایش تخریب زیست‌محیطی می‌شود (Maithani, 2009: 18). این در حالی است که رشد مناطق شهری، سریع‌تر از رشد جمعیت است و به‌نظر می‌رسد که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ جمعیت شهری جهان تا ۷۲ درصد افزایش پیدا کند. این دگرگونی ضمن تغییر سیمای شهرها، زمینه تغییرات در محتوا و ساختارهای اجتماعی-اقتصادی شهر را نیز فراهم می‌آورد. به‌منظور کاهش اثرات توسعه شهری بر محیط‌زیست و حفظ عملکرد بهینه اکوسیستم، الگوهای زمانی-مکانی تغییرات کاربری اراضی، در توسعه سیاست‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ضروری هستند (Serra et al., 2008: 33). آب زیرزمینی یکی از منابع عمده ذخیره آب شیرین محسوب می‌شود که بخش زیادی از آب قابل استفاده انسان را تأمین می‌کند (Mohammadi et al., 2011: 23). امروزه در دنیا تأمین آب آشامیدنی و حفظ بهداشت شهرها از طریق استخراج منابع آب زیرزمینی متداول شده است که مطالعات و بررسی علمی فراوانی در مورد اثرات توسعه شهری روی آب‌های سطحی و آب زیرزمینی و پیش‌گیری از آلودگی این

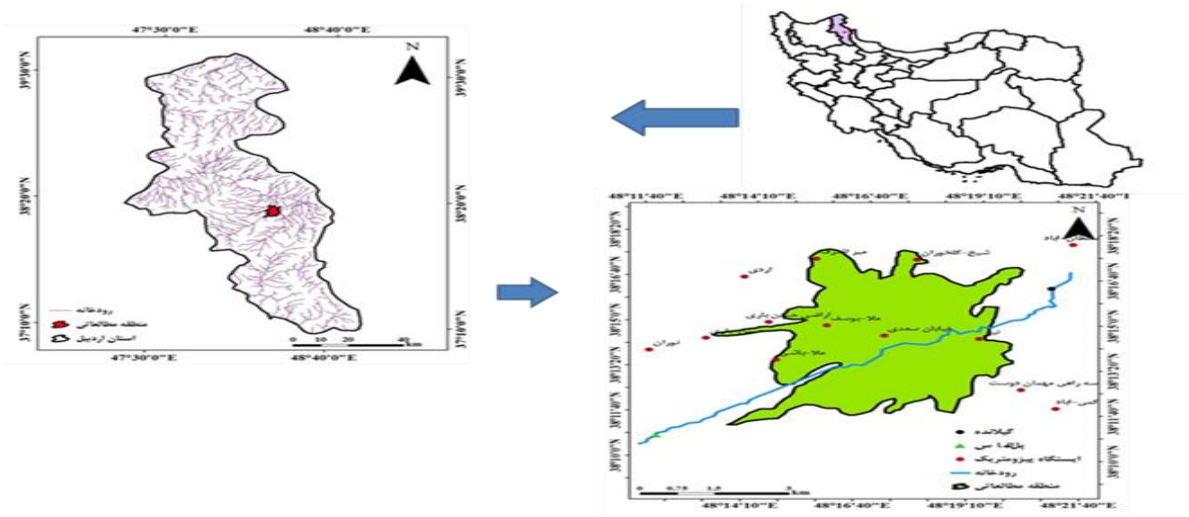
منابع در اکثر کشورها صورت گرفته است. برای تضمین استفاده پایدار از آب‌های زیرزمینی توسط انسان‌ها و اکوسیستم‌ها، باید کمیت آن در برابر کاهش و کیفیت آن در برابر آلودگی محافظت شود. استراتژی‌های حفاظت و مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی باید بر اساس اطلاعات دقیق، پیش بهره‌برداری، شناخت ویژگی‌های سفره‌های زیرزمینی، جریان آب زیرزمینی و کیفیت آب در آبخوان و منابع تغذیه باشد. گنجاندن آب‌های سطحی در چنین مطالعاتی حیاتی است، زیرا آب‌های سطحی ممکن است سفره‌های زیرزمینی را تغذیه کند و در یک زنجیره هیدرولوژیکی با آب‌های زیرزمینی مرتبط شوند (Conant et al., 2019: 5). از آن‌جا که کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کره‌زمین محسوب می‌شود، لزوم استفاده بهینه از منابع آب‌های زیرزمینی با توجه به رشد صنایع و کشاورزی در کشور و وابستگی این صنایع به منابع آبی لازم است که یک برنامه‌ریزی دقیق و اصولی برای بهره‌برداری صحیح از منابع آب موجود در هر منطقه صورت گیرد (Sedaghat, 2008: 23). محدودیت منابع آب در دسترس، آب را به‌عنوان یک کالای اقتصادی و باارزش مطرح نموده است. با رشد روزافزون جمعیت و افزایش فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، آب‌های زیرزمینی در معرض خطر آلودگی قرار گرفته‌اند. در ایران آب‌های زیرزمینی سهم ۶۰ درصدی در تأمین آب آشامیدنی اکثر شهرها را دارد (Saberi et al., 2014: 24). استفاده از روش‌های سنتی برای بررسی وضعیت کیفیت سفره‌های آب زیرزمینی، زمان‌بر و پرهزینه است، لذا روش‌های زمین‌آماری با توجه به داشتن توانمندی‌های خوبی چون کاهش نمونه‌برداری‌ها و افزایش دقت تخمین‌ها، به لحاظ استفاده می‌تواند هم هزینه‌ها را کاهش دهد، هم موجب افزایش دقت برآوردها شود (Esfandiari et al., 2014: 24). گسترش مناطق شهری مهم‌ترین نوع تغییر کاربری اراضی یا پوشش سطح زمین است که در آن پوشش‌های مصنوعی و نفوذناپذیر ساختمانی، مانند پشت‌بام‌ها، خیابان‌ها، پیاده‌روها، جاده‌ها، جایگزین پوشش‌های طبیعی و نفوذپذیر مرتعی، جنگلی، زراعی و بایر می‌شوند (Verbeiren et al., 2013: 20). مناطق شهری با دو ویژگی بسیار مهم تمرکز بالای جمعیت و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ شناخته می‌شوند. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع در رابطه با ارزیابی اثرات توسعه شهری بر منابع آب سطحی و زیرزمینی در داخل و خارج از ایران مطالعات متعددی صورت گرفته است که برای نمونه در ایران (2014) Faramarzi et al به بررسی رابطه بین توسعه شهری با افت سطح تراز آب زیرزمینی پرداختند. نتایج بررسی نشان داد که همبستگی مثبتی بین افزایش اراضی دیم، اراضی آبی، جنگل دست‌کاشت با افت سطح ایستابی وجود دارد که این افت در درازمدت می‌تواند بر کیفیت آب نیز تأثیرگذار باشد. Imani and Ghazavi (2016) به بررسی تأثیر گسترش مناطق شهری بر کمیت و کیفیت آب رودخانه بالیخلوچای اردبیل پرداختند. در این تحقیق نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست منطقه به‌روش نظارت شده با الگوریتم بیش‌ترین شباهت در محیط نرم‌افزار ENVI نشان می‌دهد که مساحت منطقه شهری در طول ۱۵ سال اخیر ۱۵۶۸ هکتار افزایش داشته است. هم‌چنین نتایج تحقیق این محققان بیان‌گر این است که شیب کاهشی دبی متوسط روزانه در خروجی جریان (ایستگاه هیدرومتری گیلانده) کم‌تر از ورودی جریان (ایستگاه هیدرومتری پل الماس) است و شیب کاهشی کیفیت آب در خروجی بیش‌تر از ورودی است، که می‌تواند ناشی از افزایش تولید و تخلیه رواناب‌های سطحی آلوده شهری به رودخانه در اثر افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری و تولید آلاینده‌ها باشد. Eskandari Damaneh et al (2018) به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی حوضه غرب تالاب جازموریان پرداختند. این محققان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، سنجنده‌ها TM ۲۰۰۲ و OLI ۲۰۱۵ با استفاده از روش حداکثر احتمال روند تغییرات کاربری اراضی را بررسی کردند. هم‌چنین از اطلاعات چاه‌های آب زیرزمینی به ارزیابی پارامترهای کیفی و کمی آب زیرزمینی پرداختند. در نهایت این محققان نتیجه گرفتند که در پی تغییرات کاربری اراضی (افزایش وسعت کاربری مسکونی و کشاورزی و کاهش وسعت کاربری خشکه‌رود، سد، مراتع و اراضی بایر و کوهستانی)، در قسمت‌های جنوبی حوضه مطالعاتی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی کاهش یافته است، که دلیل آن نیز احداث سد جیرفت روی رودخانه هلیل‌رود و رها نکردن حق‌آبه و افزایش وسعت کاربری شهری و کشاورزی است. در خارج از ایران نیز Finke et al (2004) در پژوهشی از کرجینگ ساده برای برآورد تغییرات سطح آب استفاده کردند و آن را روشی مناسب برای پایش و تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی معرفی کردند. Pun et al (2011) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر تغذیه آب زیرزمینی در حوضه رودخانه Guishui در چین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش کاربری شهری و احداث شهرک‌های روستایی و همزمان کاهش اراضی مرتعی، تغذیه آب‌های زیرزمینی سالانه ۴ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. هم‌چنین کمیت آب زیرزمینی با استفاده از تغذیه طبیعی و مصنوعی به‌علت تغییر استفاده از زمین و الگوی پوشش زمین افزایش یافته است. Huang et al (2012) برای ارزیابی و درون‌یابی تغییرات مکانی NO-3-N آب زیرزمینی در منطقه شاندونگ چین، از روش کوکریجینگ استفاده کردند. نتایج نشان داد که مناطقی با غلظت بالاتر، اساساً در مناطقی با کشاورزی شدید دیده می‌شود. هم‌چنین نتایج نشان داد که روش درون‌یابی کوکریجینگ، روش مناسبی برای بررسی تغییرپذیری مکانی در این مناطق است. Machiwal and Madan (2015) طی پژوهشی تحت عنوان شناسایی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در یک سیستم آبخوان سنگ سخت با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری چند

متغیره و تکنیک‌های مدل‌سازی زمین‌آماری مبتنی بر GIS تغییرات مکانی و زمانی ۱۵ پارامتر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه اودیاپور را با نمودار جعبه‌ای بررسی کردند. نتایج این تحقیق حاکی از افزایش عناصر هیدروشیمیایی در آب زیرزمینی بود. Şener et al (2017) در پژوهشی به ارزیابی توسعه شهری روی کیفیت رودخانه Aksu واقع در ترکیه با استفاده از شاخص WQI پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص کیفیت آب مشاهده شده در منطقه بین ۳۵/۶ و ۳۳۷/۵ در نوسان است و شاخص کیفیت آب سد در شرایط بهتری قرار دارد. با این‌حال کیفیت آب در شمال و جنوب منطقه در شرایط ضعیف و بسیار ضعیف قرار دارد. Tam et al (2018) در پژوهشی به ارزیابی اثرات توسعه شهری روی منابع آب زیرزمینی Hanoi ویتنام پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ۵۳/۶ درصد بارش نفوذ و ۳۱ درصد آن از طریق رودخانه‌ها به دریاچه‌ها و ۱۵/۴ درصد آن از طریق شبکه فاضلاب شهری منابع آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند. در این مطالعه نتایج نشان می‌دهد که علت اصلی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه انتزاع گسترده آب‌های زیرزمینی است، در حالی‌که افزایش مناطق نفوذناپذیر شهری با توجه به شهرنشینی تنها باعث کاهش جزئی از تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد. Das and Nayak (2018) در پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از آمار چند متغیره و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در شهر Odisha کشور هند پرداختند. از متغیرهای سختی کل، منگنز، آهن، pH که از طریق سلسله‌مراتب رتبه‌بندی شدند برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری و تمایز نقاطی دارای آب زیرزمینی با کیفیت پایین و بالا در منطقه مورد مطالعه استفاده کردند. نتایج نشان داد که غلظت نیترات، پتاسیم، سولفات و کلرید بین ۳ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است Ahmad et al (2021) به بررسی تأثیر تغییر کاربری/پوشش زمین بر کیفیت آب و سلامت انسان در ناحیه Peshawar پاکستان پرداختند. این محققان ۱۰۵ و ۱۱۲ نمونه آب زیرزمینی را از چاه‌های لوله در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۹ جمع‌آوری کردند و هفت پارامتر استاندارد کیفیت آب (pH، هدایت الکتریکی (EC)، کدورت، کلرید، کلسیم، منیزیم و نیترات) را برای نمونه‌ها تجزیه و تحلیل کردند. نتایج این تحقیق نشان داد کیفیت آب زیرزمینی در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۱۲ کاهش یافته است و این کاهش کیفیت در مناطق پرجمعیت بیش‌تر بوده است. هم‌چنین سطح غلظت نیترات در مجاورت مناطق کشاورزی به‌دلیل استفاده بیش از حد از کودهای نیتروژن‌دار و آفت‌کش‌ها بالا است و در نتیجه نسبت بیماران متهموگلوبینمی ۱۴ درصد افزایش داشته است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به ارزیابی اثرات توسعه شهر اردبیل روی کمیت و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت اردبیل پرداختیم.

۲-روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

شهر اردبیل در بخش مرکزی استان اردبیل و در شمال‌غرب ایران واقع شده است. این شهر از نظر توپوگرافی بین دامنه شرقی کوه سبلان و حاشیه غربی دریای خزر و از نظر موقعیت جغرافیایی بین "۰۸ '۱۲ °۳۶ تا "۳۶ '۱۷ °۳۸ عرض شمالی و "۱۴ '۱۴ °۴۸ تا "۱۱ '۲۰ °۴۸ طول شرقی قرار گرفته است. مساحت فعلی این شهر حدود ۵۰۱۷ هکتار است که از چهار منطقه شهری تشکیل شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات مختلف نشان می‌دهد که طی ۲۰ سال گذشته مساحت این شهر بالغ بر ۵۰ درصد افزایش داشته است (Imani and Ghazavi., 2016: 33)، از این‌رو با توجه به اهمیت موضوع و مشکلات موجود در منطقه، هدف اصلی این تحقیق بررسی میزان توسعه فیزیکی و جمعیتی شهر اردبیل در چند دهه اخیر و ارزیابی اثرات این توسعه بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه است. موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل

- **ارزیابی توسعه شهری**

در این تحقیق تعیین روند و میزان گسترش و توسعه شهری اردبیل در طول یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵) مورد ارزیابی قرار گرفت. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌روش الگوریتم بیش‌ترین شباهت در نرم‌افزار ENVI به‌منظور تعیین منطقه شهری اردبیل در سال‌های مختلف استفاده شد. در این راستا، ۷ مقطع زمانی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ میلادی با فواصل ۵ سال انتخاب و تصاویر لندست ۷ با سنجنده TM گرفته شده در ژوئن ۱۹۸۵ میلادی برای سال آبی ۱۳۶۵ بررسی شد. هم‌چنین تصاویر لندست ۷ سنجنده ETM^+ گرفته شده در می ۱۹۹۰، می ۱۹۹۵، ژوئن ۲۰۰۰، ژوئن ۲۰۰۵، جولای ۲۰۱۰ و می ۲۰۱۵ از سایت USGS اخذ شدند.

- **ارزیابی کمیت و کیفیت آب سطحی**

کمیت دبی رودخانه بالیخلوچای طی ۳۰ سال اخیر با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه شد. بررسی کیفیت جریان رودخانه نیز با استفاده از نرم‌افزار Aquachem برای استفاده شرب با دیاگرام شولر و برای کشاورزی نیز با دیاگرام ویلکاکس بررسی شدند.

- **ارزیابی کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی**

در محدوده دشت اردبیل تعداد ۲۲۴۳ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق، ۲۰ دهنه چشمه و ۱۸ رشته قنات وجود دارد، که به مصارف کشاورزی اختصاص دارند. از سال ۱۳۵۰، برداشت آمار سطح ایستابی دشت اردبیل با ۱۱ ایستگاه پیزومتری در محدوده دشت شروع شد و در سال‌های اخیر به ۵۴ حلقه چاه رسید. این امر خوشبختانه پراکندگی مناسبی دارند، اما به‌جهت این‌که دقت کافی در برداشت یا ارائه آمار ماهیانه و سالیانه از تراز سطح ایستابی چاه‌های ایستابی صورت نمی‌گیرد، بنابراین پس از دریافت داده‌های آمار چاه‌های پیزومتری دشت اردبیل از شرکت آب منطقه‌ای، فقط داده‌ها و اطلاعات ۱۵ حلقه چاه برای ارزیابی کمیت بر اساس داده‌های سطح آب‌های زیرزمینی و ۶ حلقه چاه برای ارزیابی کیفیت میزان تغییرات از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۹۱ بر اساس پارامترهای سختی کل، میزان مواد محلول، نسبت جذب سدیم، کلر و هدایت الکتریکی در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که دلیل استفاده از ۱۵ حلقه چاه برای کمیت و ۶ حلقه چاه برای کیفیت، قرارگیری در داخل یا مجاورت منطقه مطالعه و داشتن اطلاعات کامل و طولانی‌مدت طی ۳۰ سال اخیر است. در تحقیق حاضر با ارزیابی روش‌های زمین‌آمار، بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در شهر اردبیل انجام شد. به‌منظور ارزیابی اولیه پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی شهر اردبیل، در ابتدا برای به‌دست آوردن مدل مناسب، از نرم‌افزار GS^+ استفاده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10/1 با روش وزن‌دهی معکوس مورد ارزیابی قرار گرفتند. در روش وزن‌دهی معکوس فاصله مدل بر اساس نقاط همسایه، برازش داده تولید می‌شود و نقاط مجاور بر اساس نسبت فاصله آن‌ها از نقطه مجهول وزن خاصی اختصاص می‌یابد. در حقیقت نوعی میانگین‌گیری وزن‌دار صورت می‌گیرد. برای به‌دست آوردن مقدار تخمینی از رابطه (۱) استفاده شد.

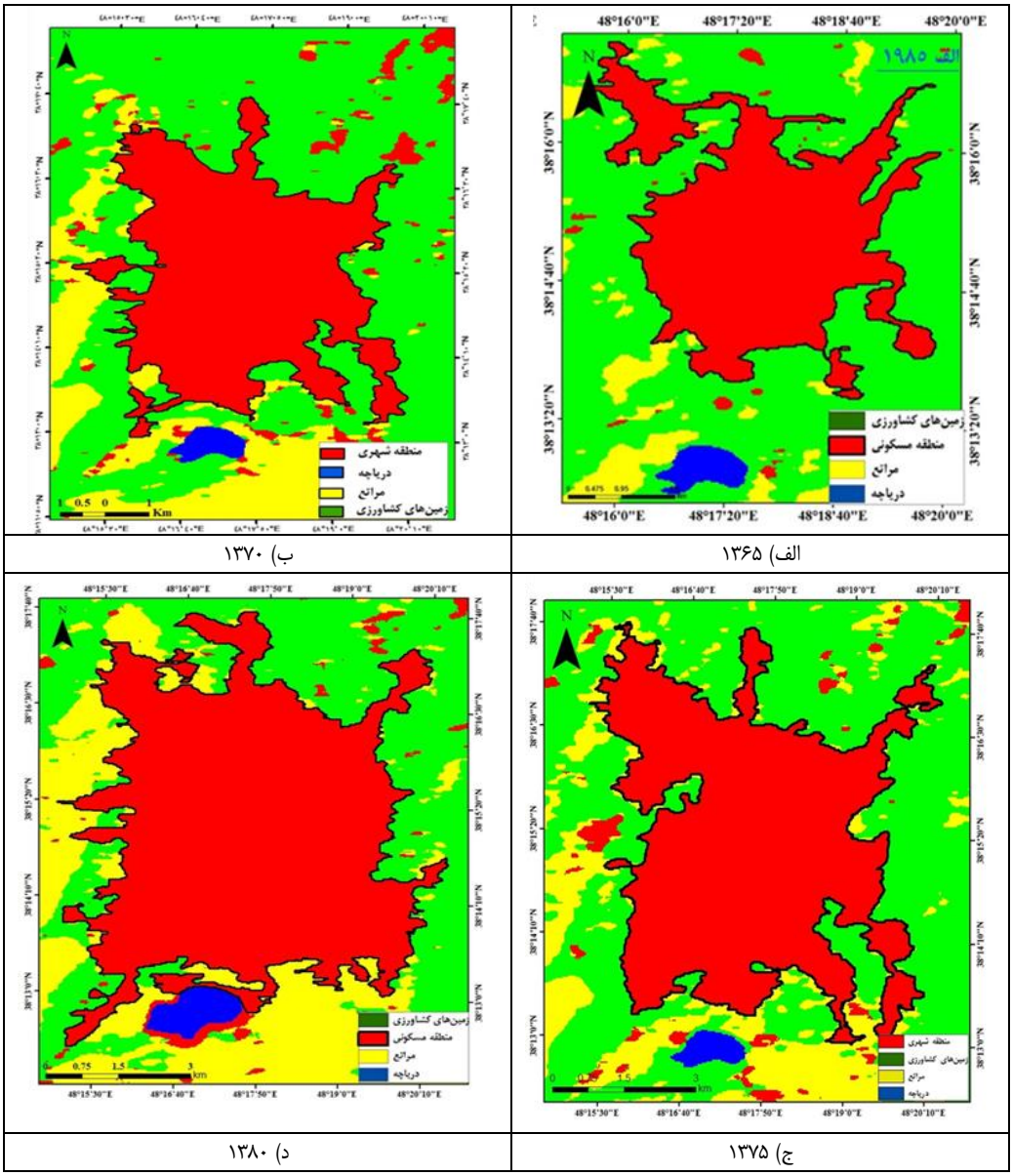
$$Zxo = \frac{\sum_{i=1}^{\alpha} Zxi\ Di^{-a}}{\sum_{i=1}^{\beta} di^{-a}} \quad (۱)$$

که در آن، Zxo مقدار تخمینی متغیر Z در نقطه xo، Zx1 مقدار نمونه در نقطه x1، di فاصله نقطه نمونه تا نقطه مورد تخمین و a نیز ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند. در این پژوهش از مدل‌های کروی، خطی، نمایی، قوسی دارای سقف برازش نیم‌تغییرنما استفاده شد. برای انجام آنالیزهای زمین‌آماری در این تحقیق از نرم‌افزار GS^+ و برای تهیه نقشه‌های نهایی از نرم‌افزار ArcGIS 10.1 استفاده شد. برای انجام تحلیل‌های زمین‌آماری، نرمال بودن توزیع داده‌ها امری ضروری است.

۳- نتایج

تحلیل توسعه شهری

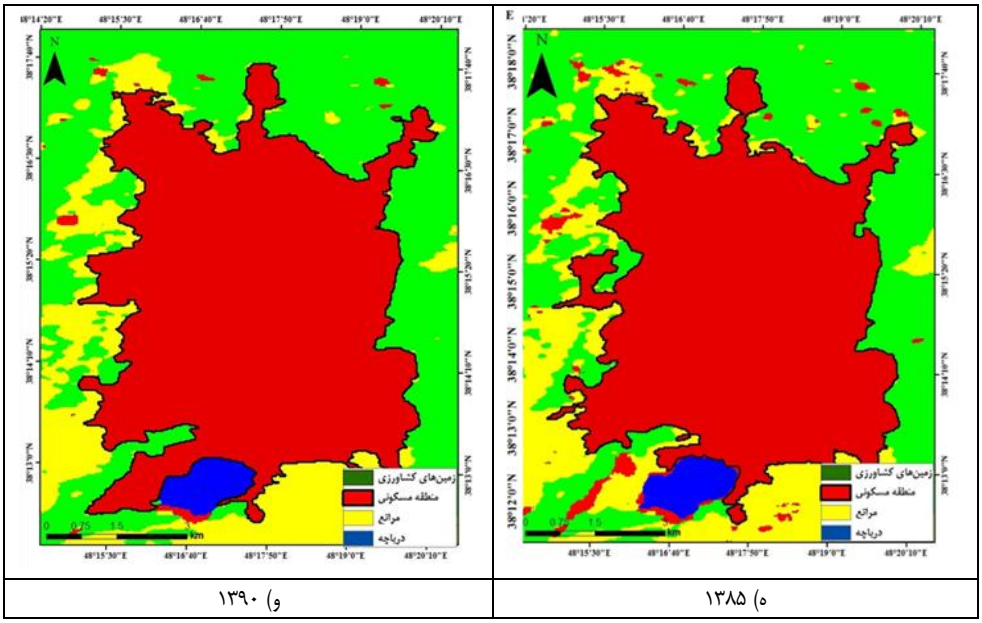
نتایج بررسی توسعه شهری اردبیل نشان داد که مساحت شهر برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ به‌ترتیب برابر با ۳۱۱۱، ۳۲۴۵، ۴۱۷۶، ۴۲۳۸، ۴۴۲۲، ۵۰۱۷ هکتار است، که نشان‌دهنده افزایش منطقه شهری است (شکل ۲).



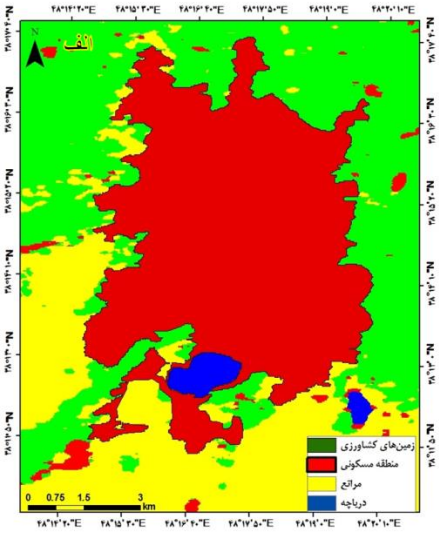
الف) ۱۳۶۵ | ب) ۱۳۷۰

ج) ۱۳۷۵ | د) ۱۳۸۰

شکل ۲- تصاویر طبقه‌بندی شده شهر اردبیل در دوره‌های مورد مطالعه



ه) ۱۳۸۵ | و) ۱۳۹۰

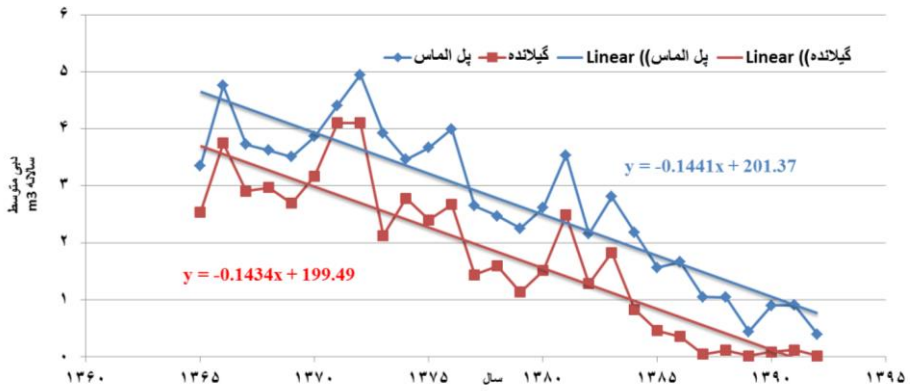


ز) ۱۳۹۵

ادامه شکل ۲- تصاویر طبقه‌بندی شده شهر اردبیل در دوره‌های مورد مطالعه

تحلیل کمیت آب سطحی

با تحلیل نتایج دبی رودخانه بالیخلوچای مشخص شد میزان دبی متوسط روزانه در سال‌های آبی ۶۶-۶۵، ۶۷-۶۶، ۶۸-۶۷ و ۹۲-۹۱، ۹۴-۹۳ برای ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس به‌ترتیب برابر با ۳/۳۴، ۴/۷۵، ۳/۷۲، ۰/۹، ۰/۳ مترمکعب برثانیه و برای ایستگاه هیدرومتری گیلانده برابر با ۲/۵۳، ۳/۷۵، ۲/۹، ۰/۱۱، ۰/۰۱ مترمکعب برثانیه بوده است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط جریان روزانه در بازه زمانی مورد نظر در رودخانه برای هر دو ایستگاه هیدرومتری در طول ۳۰ سال گذشته رو به کاهش بوده است (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات زمانی و مکانی دبی متوسط سالانه رودخانه بالیخلوچای

ارزیابی کیفیت آب سطحی

کیفیت آب سطحی رودخانه بالیخلوچای بر اساس دیاگرام شولر و ویلکاکس مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به دیاگرام شولر رسم شده برای ۷ مقطع زمانی ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس و گیلانده در ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس مقطع زمانی ۲ نسبت به ۶ مقطع زمانی دیگر در شرایط بد قرار دارد و مقطع زمانی ۶ نسبت به ۶ مقطع زمانی دیگر در شرایط بهتر قرار دارد. ایستگاه هیدرومتری گیلانده نیز در مقطع زمانی ۶ نسبت به ۶ مقطع دیگر در شرایط بد قرار دارد و مقطع زمانی ۳ نسبت به ۶ مقطع زمانی دیگر در وضعیت بهتر قرار دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت که بر اساس دیاگرام شولر (آب آشامیدنی) وضعیت ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس در شرایط بدتری نسبت به ایستگاه هیدرومتری گیلانده قرار دارد. در رابطه با دیاگرام ویلکاکس برای ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس در هفت مقطع زمانی، مقطع زمانی ۳ در محدوده C_1S_1 قرار دارد و ۶ مقطع زمانی دیگر در محدوده C_2S_1 قرار دارد. برای ایستگاه هیدرومتری گیلانده تمامی مقاطع در محدوده C_2S_1 قرار دارند. رده C_1S_1 جز آب‌های با کیفیت خیلی خوب بوده و EC آن برابر ۲۵۰ میکروموس می‌باشد. رده C_2S_1 جز آب‌های با کیفیت خوب می‌باشد و برای مقاطع زمانی ایستگاه

هیدرومتری گیلانده این شرایط یعنی دارای آبی با کیفیت خوب است.

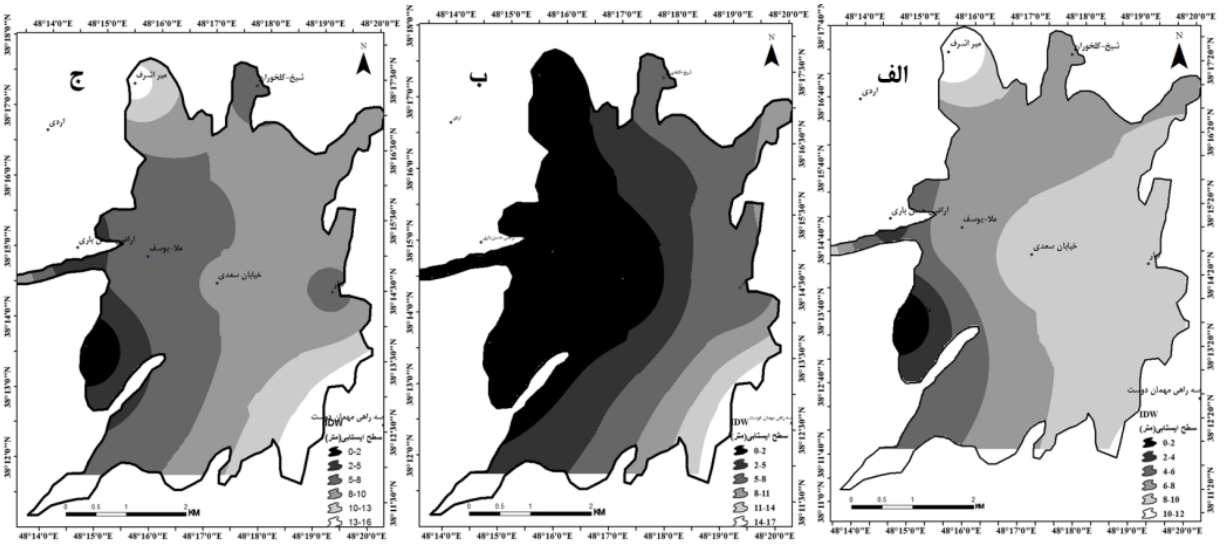
ارزیابی کمیت آب زیرزمینی

مقادیر پارامترهای تغییرنما و مدل‌های مناسب برازش داده شده همراه با مقادیر ضریب تبیین و مجموع مربعات خطا برای هر یک از سال آبی مختلف بیان‌گر این است که مدل مناسب برای سال آبی ۷۵-۷۰، نمایی است. برای سال آبی ۸۵-۸۰، کروی و برای سال آبی ۹۵-۹۰، مدل مناسب نمایی است. هم‌چنین ضریب همبستگی برای سال‌های آبی ۸۵-۸۰، ۰/۵ و ۹۵-۹۰، ۰/۹ بوده و برای سال آبی ۷۵-۷۰، برابر ۰/۲ می‌باشد که ضریب همبستگی برای سال ۹۵-۹۰ از دقت بالایی نسبت به دو مقطع زمانی دیگر برخوردار است (جدول ۱).

جدول ۱- پارامترهای مربوط به مدل‌های مناسب برازش داده شده در تغییرنما

سال آبی	مدل	Nugget	Sill	Range	R^2
۷۵-۷۰	نمایی	۱۲	۲۴/۱	۳۱۱۰۰	۰/۲
۸۵-۸۰	کروی	۳	۹۷	۱۸۸۷۰	۰/۵
۹۵-۹۰	نمایی	۰/۱	۱۹۲/۹	۱۱۰۷۰	۰/۹

با توجه به آمار و داده‌های پیزومتریک مشاهده‌ای نقشه سطح آب زیرزمینی شهر اردبیل با استفاده از روش IDW ترسیم شده است (شکل ۴). نتایج ارائه شده در شکل ۴ قسمت (الف)، نشان می‌دهد که حداکثر عمق سطح آب ۱۲ متر است و حداقل عمق سطح آب برابر با صفر است. سطح آب زیرزمینی شهر اردبیل بین صفر تا ۱۲ متر در حال نوسان است. همان‌طور که از نقشه درون‌یابی مشخص است کم‌ترین مقدار سطح آب در قسمت شرق و شمال‌غربی شهر اردبیل قرار دارد که به‌تدریج در نواحی شرقی و جنوب‌غربی شهر اردبیل به حداکثر مقدار خود می‌رسد. بر اساس شکل ۴ قسمت (ب)، می‌توان گفت که سطح آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی از ۱۲ متر افزایش یافته است که افت شدید سطح آب زیرزمینی را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ارائه شده، سطح آب در نواحی مرکزی و غرب منطقه مطالعاتی طی سال‌های آبی ۸۵-۸۰، به‌طور متوسط برابر ۲ متر است و در نواحی جنوب‌شرق دارای حداکثر مقدار است. هم‌چنین با توجه به قسمت (ج) شکل ۴ بررسی برای سال آبی ۹۵-۹۰ و با مقایسه نتایج به‌دست آمده در سال آبی ۷۵-۷۰ می‌توان گفت که طی ۲۵ سال اخیر منابع آب زیرزمینی شهر اردبیل کاهش چشم‌گیری داشته است. به طوری‌که طی ۲۵ سال گذشته سطح منابع آب زیرزمینی شهر اردبیل تقریبا ۶ متر افت داشته است. با توجه به شکل ۴ قسمت (ج)، کم‌ترین سطح آب زیرزمینی در نواحی جنوب‌غربی و نواحی غرب واقع شده و به‌تدریج به‌سمت نواحی شمال‌شرقی و شرق میزان سطح ایستابی در منطقه افزایش یافته است و حداقل سطح آب ۲ متر و حداکثر سطح آب ۱۶ متر است که با مقایسه مقطع زمانی اول سطح ایستابی ۴ متر افزایش یافته است.



شکل ٤: نقشه افت سطح آب زیرزمینی شهر اردبیل در ۲۵ سال اخیر

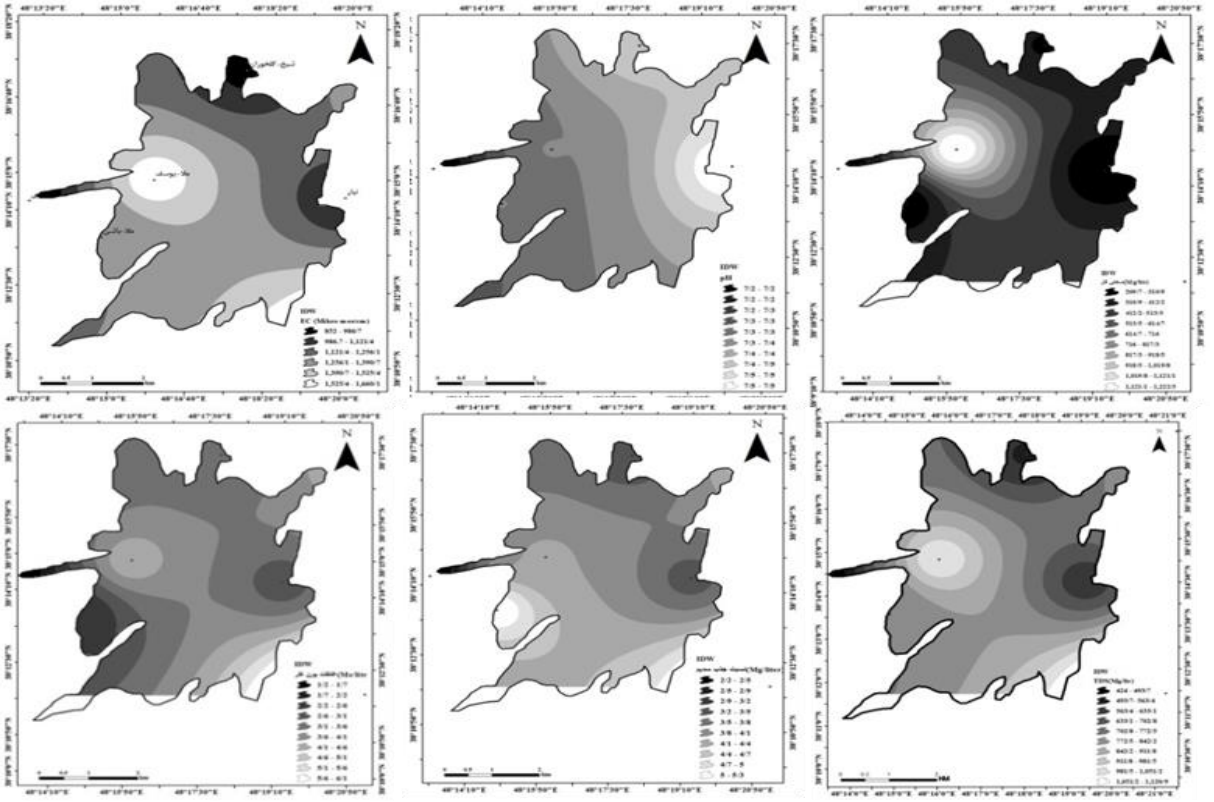
تحلیل کیفیت آب زیرزمینی

بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر اردبیل بر اساس مدل مناسب برازش داده شده در تغییرنما بیان‌گر این است که مدل مناسب برازش داده شده در تغییرنما برای پارامتر TH و EC خطی بوده و برای پارامتر PH، Cl، TDS و SAR کروی می‌باشد (جدول ۲).

جدول۲- پارامترهای مربوط به مدل‌های مناسب برازش داده شده در تغییرنما

پارامترهای کیفیت آب	مدل مناسب	Nugget	sill	Range	R^2
TH	خطی	۶۰۱۹/۵	۲۱۸۲۴/۲	۲۰۱۵۹/۹	۰/۲
pH	کروی	۰/۰۱	۰/۰۳	۱۳۶۳۰	۰/۳
EC	خطی	۱۴/۹	۱۴/۹	۲۰۳۲۱/۹	۰/۹
TDS	کروی	۱۰۰	۱۹۶۷۰۰	۱۵۰۰۰	۰/۲
SAR	کروی	۰/۱	۳/۱	۱۵۰۶۰	۰/۴
CL	کروی	۰/۰۱	۱۰/۹	۱۳۸۳۰	۰/۳

پس از ترسیم مدل برازش مدل مناسب روی هر یک از پارامترها درون‌یابی با استفاده از روش IDW صورت گرفت (شکل ۵). براساس شکل ۵ در منطقه شرق و جنوب‌غربی شهر اردبیل مشاهده می‌شود که سختی کل بین ۲۰۹ و ۱۱۲۱ میلی‌گرم در لیتر در نوسان است. آب‌های زیرزمینی بخش جنوب‌شرقی شهر اردبیل از نظر سختی کل در دیاگرام شولر در رده قابل‌قبول است. با توجه به نقشه تغییرات سختی کل در منطقه مورد مطالعه، طبق دیاگرام شولر و ویلکاکس، شهر اردبیل در شرایط مطلوب است و کم‌ترین مقدار سختی کل در نواحی شرقی قرار دارد. میزان pH آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نیز بین ۷/۲ تا ۷/۵ در نوسان است و از نظر اسیدیته منابع آب زیرزمینی شهر اردبیل در شرایط مطلوب است و کم‌ترین مقدار غلظت pH در نواحی غربی منطقه و بیش‌ترین مقدار آن در نواحی شرقی می‌باشد. در رابطه با EC نیز کم‌ترین مقدار آن در نواحی مرکزی و جنوب و بیش‌ترین مقدار آن در نواحی شرق و شمال است. غلظت EC نیز در منطقه مورد مطالعه بین ۸۵۲ الی ۱۶۶۰ میکروموس در نوسان است. میزان غلظت مواد محلول در منطقه مورد مطالعه به‌طور متوسط بین ۴۲۴ تا ۱۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر دارای نوسان است. این مقدار در نواحی شمالی منطقه کم‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و نشان می‌دهد که میزان TDS در نواحی شمالی در رده قابل‌قبول و خوب (طبق دیاگرام شولر از نظر شرب) است. بر اساس دیاگرام شولر در نواحی جنوب و جنوب‌شرقی نامطلوب بوده اما نتایج دیاگرام ویلکاکس (کشاورزی و صنعت) نشان‌دهنده سطح مطلوب است. هم‌چنین پارامتر نسبت جذب سدیم (SAR) که بیش‌ترین مقدار SAR در سطح شهر ۵/۳ و کم‌ترین مقدار آن ۲/۲ می‌باشد. مقدار سدیم آب‌های زیرزمینی شهر اردبیل در بخش‌های شمال و شمال‌غرب دشت نسبت به سایر مناطق کم‌تر بوده ولی در کل میزان نسبت جذب سدیم در سطح دشت کم‌تر از ۱۰ بوده و برای کشاورزی مطلوب است. بیش‌ترین مقدار SAR شهر اردبیل در بخش‌های جنوب وجنوب‌شرقی شهر دیده می‌شود. بررسی تغییرات غلظت کلر نشان می‌دهد که با توجه به دامنه غلظت یون کلر در شهر اردبیل (۱/۲ تا ۶/۱ میلی‌گرم بر لیتر) در نوسان است. این مقدار در حد مطلوب خود قرار دارد، زیرا حداکثر مطلوب غلظت یون کلر در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. کم‌ترین مقدار این یون در بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی و بیش‌ترین مقدار آن در شرق و شمال‌شرقی شهر گسترش یافته است.



شکل ۵: نقشه تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شهر اردبیل

٤- نتیجه‌گیری

تغییر مساحت شهری در ۶ دوره زمانی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ به میزان ۳۲۹۱ هکتار بوده است که اثرات خود را روی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه گذاشته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده با افزایش منطقه شهری عمق تا رسیدن به سطح ایستابی افزایش یافته و سطح آب زیرزمینی طی ۳۰ سال اخیر کاهش یافته است. دلیل این افزایش برداشت غیرمجاز آب‌های زیرزمینی و احداث سد یامچی در بالادست جریان دائمی رودخانه بالیخلوچای از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰ است. با افزایش مساحت شهری، فضای سبز نیز افزایش یافته است. بنابراین برداشت آب برای آبیاری فضای سبز نیز زیاد شده است. هم‌چنین چون منطقه شهری دارای ضریب رواناب زیادی حدود ۸۰ درصد دارد و نفوذپذیری در آن کم است پس با افزایش منطقه شهری میزان نفوذ هم کم‌تر شده و سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل ۵ متر کاهش یافته است. هم‌چنین با توجه به نقشه‌های شکل (۴) بیش‌ترین تغییرات در نواحی شمال و مرکزی طی سال‌های ۸۵-۸۰ در منطقه اتفاق افتاده است. نتایج حاصل نشان‌دهنده اهمیت مدیریت و پایش آبخوان شهر اردبیل به‌منظور حفظ ظرفیت و شرایط آبخوان در آینده است. در رابطه با کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل منطقی است که با کاهش حجم آب زیرزمینی غلظت آلاینده‌ها در آن افزایش یابد و با کاهش سطح آب زیرزمینی احتمال نفوذ آب‌های شور در لایه‌های پایین در آب‌های شیرین بالایی افزایش می‌یابد. طی سالیان اخیر به‌سبب بهره‌برداری بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، طبق نقشه‌های تهیه شده جهت پهنه‌بندی پارامترهای هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی شهر اردبیل، وضعیت پارامترهای مختلف، شامل سختی کل، pH، هدایت الکتریکی، غلظت املاح محلول، غلظت یون کلر و نسبت جذب سدیم، در سطح دشت اردبیل مشخص شد. بدین ترتیب، با حرکت از شمال، شمال‌شرق و شرق به‌طرف مرکز، جنوب و جنوب‌شرقی غلظت و تراکم پارامترهای سختی کل، هدایت الکتریکی، یون کلر و نسبت جذب سدیم افزایش می‌یابد که این امر خود حاکی از کاهش کیفیت آب در منطقه جنوب، جنوب‌شرقی شهر اردبیل نسبت به مناطق دیگر شهر است. بیش‌تر نواحی سطح شهر اردبیل دارای آب‌هایی با pH مطلوب است، اما با این وجود میزان متوسط pH در سطح شهر از مقدار مجاز آن تجاوز نکرده و جهت شرب قابل استفاده می‌باشد. هم‌چنین با مقایسه نقشه‌های تهیه شده برای پارامترهای سختی کل، هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم مشاهده می‌شود که پهنه‌های مشخص شده برای این پارامترها تقریباً از یک الگوی خاص پیروی کرده و میزان حداقل و حداکثر تمامی پارامترها در نواحی مشترکی از دشت واقع شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر اردبیل در حال حاضر در شرایط مطلوبی است و در آینده نزدیک اگر مدیریت و برنامه‌ریزی همه‌جانبه در دستور کار عوامل زیربط صورت نگیرد، منابع آب زیرزمینی شهر اردبیل شرایط نامطلوبی را تجربه خواهد کرد. مهم‌ترین دلیل آن این است که توسعه شبکه فاضلاب ورود و نفوذ آلاینده‌ها در آب زیرزمینی از طریق چاه‌های جذبی کاهش یافته است، اما مهم‌ترین پیشنهاد این است که از تکنیک‌های نوین مدیریت رواناب‌های شهری استفاده شود، زیرا منجر به افزایش نفوذپذیری و افزایش تغذیه آب زیرزمینی می‌شود، در نتیجه باعث بهبود کیفیت رواناب شهری می‌شود. هم‌چنین می‌توان رواناب‌های شهری را ذخیره کرد که این‌کار نیز سیلاب شهری را کاهش می‌دهد و یک منبع آبی جدید ایجاد می‌کند که می‌تواند در مصارف غیرشرب مانند شست و شوی فضاها و ادوات شهری یا آبیاری فضاهای سبز مورد استفاده قرار بگیرد، یا رواناب‌های شهری را از طریق چاه‌های جذبی وارد آبخوان کرده و آب زیرزمینی را تغذیه کرد. قابل ذکر است که نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق Imani and Ghazavi (2016)، Şener et al (2017)، Das and Nayak (2018) و Tam et al (2018) که اثرات توسعه شهری را روی کمیت و کیفیت آب سطحی و زیرزمینی نشان داده‌اند، مطابقت دارد.

- منابع

- اسفندیاری، ف.، م. عالی‌جهان و م. رحیمی، ۱۳۹۳. ارزیابی مدل‌های جبری و زمین‌آماری در تخمین توزیع مکانی سطح ایستابی دشت اردبیل، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۲، شماره ۲، ص ۴۵-۶۲.
- اسکندری دامنه، ح.، زهتابیان، غ.، سلاجقه، ع.، قربانی، م.، خسروی، ح. ۱۳۹۷. تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی حوضهٔ غرب تالاب جازموریان. نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۷۱، شماره ۳، ص ۵۶۳-۵۷۸
- ایمانی، ر.، قضاوی، ر. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر گسترش مناطق شهری بر کمیت و کیفیت آب رودخانه بالوخلوچای اردبیل. جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، شماره ۲۱، ص ۳۳-۴۶.
- صابری، ن.، سلمان ماهینی، ع.، عبدی، ا. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی شهر گرگان جهت مصرف آب شرب با استفاده از زمین‌آمار، سیزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، کرمان، ۱۰-۱.
- صداقت، م. ۱۳۸۷. زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی). انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۷۶ ص.

- فرامرزی، م.، ث. یعقوبی، کریمی، ک. ۱۳۹۳. اثر تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی دشت دهلران. استان ایلام. دو فصلنامه مدیریت آب در مناطق خشک، دوره ۱، شماره ۲، ۵۶-۶۳.
- محمدی، م.، م. محمدی قلعه نی و ک. ابراهیمی ۱۳۹۱. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین. پژوهش آب ایران. دوره ۵، شماره ۸، ص ۴۱-۵۲.
- Ahmad, W., Iqbal, j., Nasir, M.J., Ahma, B., Tasleem Khan, M., Navaz Khan, Sh., Adnan, S., (2021). Impact of land use/land cover changes on water quality and human health in district Peshawar Pakistan. Scientific Reports, 11: 16526.
- Canat, B., Robinson, C.E., Hinton, M.J., Russell, H.A.J., (2019). A framework for conceptualizing groundwater-surface water interactions and identifying potential impacts on water quality, water quantity, and ecosystems. Journal of Hydrology, 25: 1-60.
- Das, M., Nayak, A.K., (2018). Groundwater quality assessment and mapping using multivariate statistics and analytic hierarchy process in Bhubaneswar city, Odisha, India. International Journal Water, 12 (3): 195-204.
- Finke, P.A., Brus, D.J., Bierkens, M.F.P., Hoogland, T., Knotters, M., Vrise, F., (2004). Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. Geoderma, 123(1-2):23-39.
- Huang, J., Xu, J., Liu, X., Liu, J., Ramsarkaran, R., Wang, L., Su, W., (2012). Geospatial Based Assessment of Spatial Variation of Groundwater Nitrate Nitrogen in Shandong Intensive Farming Regions of China. Journal of Sensor Letters, 10 (1-2): 491-500.
- Machiwal, D., Madan, K.J., (2015). Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. Journal of Hydrology, Regional Studies,4: 1-31.
- Maithani, S., (2009). A neural network based urban growth model of an Indian city. Journal of Indian Socsity. Remote Sensing, 37: 363–376.
- Pun, Y., Gong, H., Zhou, D., Li, X., Nakagoshi, N., (2011). Impact of land use change on groundwater recharge in Guishui River Basin, China, Chin. Geogra. Scientific, 21 (6): 734-743.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). Science of the Total Environment, 584, 131-144.
- Serra, P., Pons, X., Saur, D., (2008). Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. Applied Geography 28: 189–209.
- Tam, V.T., Nga, T.T.V., (2018). Assessment of urbanization impact on groundwater resources in Hanoi, Vietnam. Journal of Environmental Management, 227, 107-116.
- Tewolde, M.G., Cabral, P., (2011). Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara, Eritrea. Remote Sensing, 3: 2148-2165.
- Verbeiren, B., Van De Voorde, T., Canters, F., Binard, M., Cornet, Y., Batelaan, O., (2013), Assessing urbanization effects on rainfall-runoff using a remote sensing supported modeling strategy. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 92-102.

Evaluation of the effects of urban development on the quantity and quality of surface and groundwater in Ardabil plain

Yousef Hassanalipour[1]; Raoof Mostafazadeh[2*], Abazar Esmali Ouri [3], Mohammad Ahmadi[4], Rasool Imani[5]

1- M.Sc. in Watershed Management Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2* -Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

3- Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

4- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

5 - Ph.D in Watershed Management Sciences and Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

*Email Address: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Considering the different hydrological, hydraulic and environmental behaviors of the urban area compared to other natural areas, the effects of urban expansion on the response of the natural hydrologic cycle components, and available water resources in particular are among the most important research topics of the last decade. Limited water resources have made water an economical and valuable commodity. Groundwater is at risk of pollution as the population grows and urban, industrial and agricultural activities increase. In Iran, groundwater has a 60% portion in drinking water supply in most cities. Using conventional methods to assess the quality of groundwater aquifers is time consuming and costly, so geostatistical methods can be used due to their good capabilities and acceptable accuracy of estimates. Urban sprawl is the most important type of land use change or land cover in which artificial and impermeable pavements, such as roofs, streets, sidewalks, roads, replace natural and permeable pastures, forest, and agricultural lands. Therefore, it is necessary to plan and implement various urban development projects as well as management strategies for water resources in urban areas. In this regard, and according to the importance of the issue, the effects of urban development on the quantity and quality of surface water and underground water resources were examined in this study. The main objective of this research is to investigate the effects of physical and demographic development of the Ardabil city in recent decades on the quantity and quality of surface-groundwater resources.

Methodology

This research was carried out in main following stages. The urban development in Ardabil were assessd using Landsat Imagery and RS technique. In this study, determining the trend and extent of urban development in Ardabil over a period of 30 years (1986 to 2016) was evaluated. Classification of satellite images have been done using maximum likelihood method in ENVI software to determine the urban area of Ardabil in different years. In this regard, 7 time periods from 1985 to 2015 with 5-year intervals were selected and Landsat 7 images in June 1985. Images of Landsat 7 ETM+ in May 1990, May 1995, June 2000, June 2005, July 2010 and May 2015 were also obtained from the USGS site. The changes in surface water quality and quality were examined using the water quality diagrams. The quantity and quality of groundwater variations were determined using spatial interpolation methods. Finally, the effects of urban development and population growth were analysed on

the changes of surface and underground waters during the studied years. The GIS, GS^+, ENVI, EXCEL, AquaChem software were employed in the different steps of the study.

Result and Discussion

The results of the urban development showed that the urban area of Ardabil city had increased over the past 30 years with 3284 hectares and the population growth rate was 861705. The flow rate and volume of surface water resources had decreased and the trend of pollutants were increased. The results show that the average daily flow in the river over time for both hydrometric stations has been declining over the past 30 years. In general, it can be said that according to the Schuler diagram (drinking water), the condition of Pole-almas hydrometric station is in a unsuitable condition with respect to Gilande hydrometric station. The water quality of Gilande hydrometric station is in the C2S1 class at all time intervals. The amount of groundwater resources decreased by 46%. Meanwhile, the groundwater quality of piezometric stations was in a good condition based on the groundwater quality parameters. The pH of groundwater in the study area fluctuates between 7.2 to 7.5. In terms of acidity of groundwater resources in Ardabil is in good condition and the lowest pH amount is assigned to the western regions of the study area, and the highest is in the eastern parts. The highest value of EC is in the eastern and northern regions, and fluctuates between 852 and 1660 µm in the study area. The concentration of soluble substances in the study area fluctuates between 424 to 1120 mg / l on average. This value is less than 1000 mg / l in the northern regions of the region and shows that the level of TDS in the northern regions is in the acceptable and good category (according to Schuler diagram). The interpretation of the Wilcox diagram (agriculture and industry) show the desired level of water quality. Also the parameter of sodium absorption ratio (SAR) that the highest amount of SAR is 3.5 and the minimum is 2.2. The amount of sodium in groundwater in Ardabil in the northern and northwestern parts of the plain is less than other areas, but in general the ratio of sodium absorption in the plain is less than 10 and is desirable for agriculture. The highest amount of SAR in Ardabil can be seen in the southern and southeastern parts of the city.

Conclusion

The dramatic increase in urban expansion in the southwest and northwest areas of Ardebil city is due to the existence of a river, the presence of Shorabil lake, Mehr residential complex and university offices. In general, it can be said that the quality of groundwater resources in Ardabil is currently in good condition and in the near future, if comprehensive management and planning is not on the agenda of the relevant factors, groundwater resources in Ardabil will experience unfavorable conditions. The most important reason is that the development of the sewage network has reduced the entry and penetration of pollutants into groundwater through absorption wells, but the most important suggestion is to use new urban runoff management techniques, because it leads to increased permeability and increased groundwater recharge. As a result, the quality of urban runoff is improved. Urban runoff can also be stored, which reduces municipal runoff and can be used for non-drinking purposes such as washing, irrigation of green spaces. In conclusion, population growth along with the decrease in the quantity of surface water resources can be attributed to the influence of rainfall decrease, consecutive drought events, and rising exploitation of water resources, have affected surface water and underground water resources quality and quantity. Reducing the quality of surface and underground water resources in the studied area requires management and comprehensive planning to maintain and sustainable use of these resources.

Keywords

“Surface water”, “Streamflow discharge”, “Groundwater table”, “Interpolation”, “Trend analysis”