جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۱ ، زمستان۹۵
وصول مقاله : ۹۵/۱/۲۲
تأیید نهایی : ۹۵/۸/۹
صفحات : ۴۶- ۳۳

بررسی تأثیر گسترش مناطق شهری بر کمّیت و کیفیت آب رودخانهٔ بالوخلوچای اردبیل

رسول ایمانی[۱]، دکتر رضا قضاوی[۲]

چکیده

تغییر کاربری اراضی غیر شهری به اراضی شهری و ورود پساب‌های خام شهری و روستایی به داخل رودخانه‌ها به‌ویژه در مناطقی که رودخانه از میان شهرها می‌گذرد، کیفیت آب را به‌شدت کاهش داده و کمّیت آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و در مواردی می‌تواند شیوع بیماری‌ها و یا کاهش کیفیت محصولات کشاورزی را به همراه داشته باشد؛ بنابراین، باتوجه به اهمیت این تغییرات در مدیریت منابع آب سطحی و تأثیر شهرسازی بر هردو پارامتر مذکور، به‌ویژه در رودخانه‌های شهری؛ هدف اصلی این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی و مکانی کمّیت و کیفیت رواناب رودخانهٔ بالوخلوچای و تأثیر توسعهٔ شهری اردبیل بر آن است. نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست منطقه به روش نظارت‌شده با الگوریتم بیشترین شباهت در محیط نرم‌افزار ENVI نشان داد که مساحت منطقهٔ شهری در طول ۱۵ سال اخیر ۱۵۶۸ هکتار افزایش داشته است. همچنین، نتایج تحلیل داده‌های دبی روزانه و پارامترهای کیفیت آب ماهانه ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری ورودی جریان (پل الماس) و خروجی جریان (گیلانده) نشان داد که شیب کاهشی دبی متوسط روزانه در خروجی کمتر از ورودی و شیب کاهشی کیفیت آب در خروجی بیشتر از ورودی است. این می‌تواند ناشی از افزایش تولید و تخلیهٔ رواناب‌های سطحی آلوده آلودهٔ شهری به رودخانه در اثر افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری و تولید آلاینده‌ها باشد.

کلید واژگان: توسعهٔ شهری، کمّیت جریان، کیفیت آب، سنجش از دور، شهر اردبیل.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان rasool.imani@grad.kashanu.ac.ir
۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان (نویسنده مسئول) ghazavi@kashanu.ac.ir

مقدمه

رشد شدید جمعیت جهان طی ۱۵۰ سال گذشته و تداوم این روند افزایشی تا به امروز (دوو و دیگران،۲۰۱۲: ۱۲۷)، افزایش کیفیت زندگی، بهداشت و آگاهی‌های عمومی، موجب هجوم افراد به‌سوی شهرها و رواج هر چه بیشتر شهرنشینی شده است؛ به‌طوری که در سال ۲۰۱۴ میلادی، ۵۴ درصد جمعیت جهان در شهرها سکونت داشته‌اند (سازمان ملل،۲۰۱۴: ۲) و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ میلادی این رقم به ۷۰ درصد برسد (میلر و دیگران،۲۰۱۴: ۵۹)؛ بنابراین، واضح است که افزایش شهرنشینی تأثیر زیادی در توسعه و گسترش شهرها خواهد داشت (اشنایدر و دیگران،۲۰۱۰: ۱۷۳۳ و شلوم و دیگران، ۲۰۱۱: ۵۵). این درحالی است که مساحت اشغال شده توسط جمعیت شهری هر کشور کمتر از ۵ درصد مساحت کل آن کشور است (زوپو،۲۰۰۱: ۱۹۵). شهرسازی یا گسترش عرصه‌های شهری در اصل مهمترین نوع تغییر کاربری اراضی یا پوشش سطح زمین است که در آن پوشش‌های مصنوعی و نفوذناپذیر ساختمانی؛ مانند پشت‌بام‌ها، خیابان‌ها، پیاده‌روها، پارکینگ‌ها و جاده‌ها، جایگزین پوشش‌های طبیعی و نفوذپذیر جنگلی، مرتعی، زراعی و یا بایر می‌شوند (وربرین و دیگران،۲۰۱۳: ۹۳)؛ در نتیجه، مناطق شهری با دو ویژگی بسیار مهم تمرکز بالای جمعیت و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ مشخص می‌شوند. این دو ویژگی مناطق شهری، جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی زندگی شهری بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. چرخهٔ هیدرولوژیکی، از جمله مهمترین اجزاء زیست‌محیطی است که از جنبه‌های فیزیکی و بیوشیمیایی در هر دو مقیاس محلی و جهانی به شدت تحت تأثیر شهرسازی قرار می‌گیرد؛ به همین دلیل، مناطق شهری محیط‌های بسیار پیچیده‌ای از نظر زیست‌محیطی‌اند که رفتارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی متفاوتی نسبت به سایر مناطق غیرشهری دارند. از جمله مهمترین تأثیرات شهرسازی و گسترش شهری می‌توان به تغییرات الگو و مقدار بارش و تبخیر و تعرّق (ریم،۲۰۰۹: ۴۸۵)، کاهش گیرش گیاهی و ذخیرهٔ چالابی، افزایش سطوح غیرقابل‌نفوذ و کاهش میزان نفوذ آب در خاک (مجیا و موقلن،۲۰۱۰: ۳۳۶۴)، افزایش سرعت و مقدار رواناب تولید شده (هوانگ و دیگران، ۲۰۰۸: ۲۰۷۵)، تغییر آبراهه‌ها و مسیرهای طبیعی زهکشی و انتقال آب (میلر و دیگران،۲۰۱۴: ۶۰)، افزایش جریان در رودخانه‌ها (برود و دیگران،۲۰۱۳: ۲۱) و کاهش آب پایه و تغذیه آب زیرزمینی (سیمونس و رینولد،۱۹۸۲: ۷۹۷) اشاره کرد. تأثیرات شهرسازی تنها بر کمّیت منابع آبی نبوده؛ بلکه کیفیت آن را نیز متأثر ساخته (دوقرتی و دیگران،۲۰۰۴: ۱۲۷۵) و در اثر افزایش فعالیت‌های مختلف انسانی به‌طور عمده باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها در منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود. بررسی اثرات توسعه و گسترش شهری بر چرخهٔ هیدرولوژیکی و رفتار اجزاء آن، موضوع مهم تحقیقاتی دههٔ اخیر و لازمهٔ برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های توسعهٔ شهری و پروژه‌های مدیریت منابع آبی است. پیش‌نیاز بررسی این اثرات، شناخت و تعیین میزان و چگونگی تغییرات کاربری اراضی در طول زمان است که تعیین این تغییرات با مطالعات زمینی قطعاً بسیار دشوار و هزینه‌بر و حتی در مقیاس‌های بزرگ غیرممکن خواهد بود. مطالعات اخیر نشان داده است که داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور به‌منظور مانیتورینگ تغییرات مکانی و زمانی پدیده‌های مختلف فیزیکی زمین از جمله کاربری اراضی و توسعهٔ شهری از نظر زمان و هزینهٔ بسیار مقرون‌به‌صرفه هستند (چورمانسکی و دیگران،۲۰۰۸: ۹۱۱ و کانترز و دیگران،۲۰۱۱: ۲۵۶) و به یک ابزار با کاربرد و کارایی بالا تبدیل شده است. با توجه به اهمیت موضوع، مطالعات متعددی در رابطه با تأثیر گسترش شهری بر کمّیت و کیفیت منابع آبی در خارج و داخل کشور انجام شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

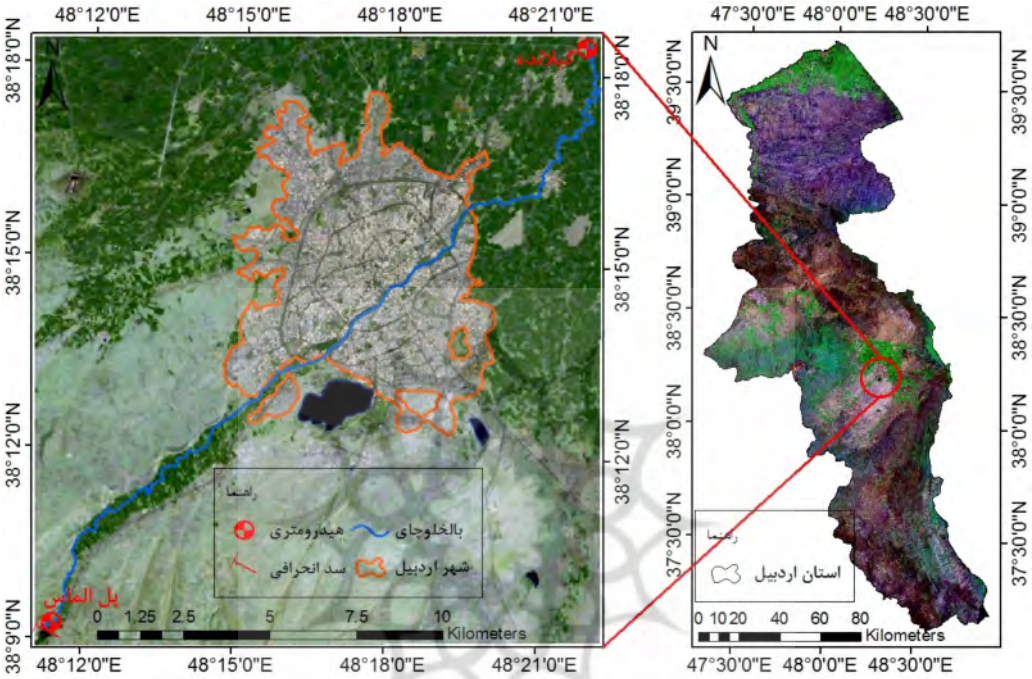
سان و کالدول (۲۰۱۵) به بررسی اثرات توسعهٔ شهری بر کمّیت و کیفیت آب رودخانه‌ها در ایالت متحده آمریکا پرداختند و نتایج آنها نشان داد که شهرسازی با افزایش شدت بارندگی‌های تابستانه و کاهش پوشش گیاهی و نفوذپذیری باعث افزایش میزان تولید رواناب و همچنین با افزایش تولید آلاینده‌ها و کاهش ظرفیت نگه‌داری رواناب در شهرها باعث کاهش کیفیت رواناب رودخانه‌ها می‌شود.

سیلانپا و کویوسالو (۲۰۱۵) به بررسی تأثیرات توسعهٔ شهری بر رواناب در بخش جنوبی فنلاند پرداختند. نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در منطقهٔ مورد مطالعه سطوح غیرقابل نفوذ از ۱۵ درصد در سال ۲۰۰۱، به ۳۷ درصد در سال ۲۰۰۶ افزایش یافته که باعث افزایش قابل توجهی در مقدار و دبی اوج رواناب تولیدی شده است. والتانن و دیگران (۲۰۱۴) اثرات شهرسازی بر غلظت آلاینده‌های رواناب را در شهر لاهتی فنلاند مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که با افزایش سطوح غیرقابل نفوذ شهری افزایش قابل توجهی نیز در مقادیر کل جامدات معلّق، نیتروژن کل، منگنز، کبالت، نیکل و مس موجود در رواناب شهری ایجاد می‌شود. وربرین و دیگران (۲۰۱۳) تأثیر گسترش محدودهٔ شهری بر میزان رواناب رودخانهٔ تولکا در ایرلند را با استفاده از سنجش از دور و مدل هیدرولوژیکی WetSpa بررسی کردند. نتایج نشان داد که از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۶ که مساحت محدودهٔ شهری از ۱۶ کیلومترمربع به ۳۴ کیلومترمربع رسیده، ضریب رواناب و دبی اوج و حجم رواناب رودخانه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. یاری (۱۳۹۳) اثرات توسعهٔ شهر کرمانشاه بر کمّیت و کیفیت رواناب تولید شده در سطح شهر را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که در فاصلهٔ بین سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۰ با افزایش محسوس مساحت شهری، حجم رواناب تولید شده، افزایش ۱۲۶ درصدی و غلظت فلزات سنگین رواناب شهری افزایش قابل توجهی داشته است. اقبالی و دیگران (۱۳۹۲) اثرات زیست‌محیطی توسعهٔ شهر قزوین بر رودخانهٔ بازار قزوین را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش مساحت شهری و فعالیت‌های انسانی با افزایش ورود آلاینده‌ها و فاضلاب‌ها در رودخانه باعث کاهش قابل ملاحظه کیفیت آب رودخانه در خروجی نسبت به ورودی شهر شده است. آشوری و دیگران (۱۳۸۶) در پژوهشی به بررسی تأثیر توسعهٔ شهر تهران بر رواناب رودخانه دارآباد پرداختند. نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان داده که در فاصلهٔ بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۱ مساحت شهر تهران افزایش ۸ درصدی داشته است که با افزایش سطوح نفوذناپذیر و تولید رواناب شهری منجر به افزایش ۱۰ درصدی در حجم رواناب رودخانهٔ مورد مطالعه شده است. با توجه به گسترش چشم‌گیر امروزی در اکثر مناطق شهری، تأثیر بالای مناطق شهری و توسعهٔ آن بر کمّیت و کیفیت منابع آبی منطقه و اهمیت شناخت این تأثیرات در برنامه‌های نوین شهرسازی و پروژه‌های مدیریتی منابع آب، اهداف اصلی این پژوهش، بررسی و تعیین گسترش شهر اردبیل، تعیین تأثیر گسترش شهری بر میزان جریان آب و همچنین کیفیت آب رودخانه بالوخلوچای با استفاده از داده‌های سنجش از دور و داده‌های ثبت شدهٔ زمینی خواهد بود.

معرفی محدودهٔ مورد مطالعه

شهر اردبیل در بخش مرکزی استان اردبیل و شمال غرب ایران قرار دارد. این شهر از نظر توپوگرافی بین دامنهٔ شرقی کوه سبلان و حاشیهٔ غربی دریای خزر و از نظر جغرافیایی بین ″۰۸ ′۱۲ °۳۸ تا ″۳۶ ′۱۷ °۳۸ عرض شمالی و ″۱۴ ′۱۴ °۴۸ تا ″۱۱ ′۲۰ °۴۸ طول شرقی واقع شده است. میانگین بارندگی سالانهٔ منطقه ۲۹۰ میلی‌متر است. بخش اعظم بارش‌ها از اواخر پاییز تا اواخر بهار بوده و عمدتاً به شکل برف نازل می‌شود. رودخانهٔ بالوخلوچای از جمله مهمترین رودخانه‌های دائمی استان است که از حدفاصل دامنه‌های جنوبی سبلان و دامنه‌های غربی کوه‌های بزقوش سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه در مسیر خود اراضی زراعی شهرستان نیر در جنوب غربی اردبیل را سیراب کرده و در مخزن سد ذخیره‌ای خاکی یامچی تخلیه می‌شود. جریان خروجی از مخزن سد یامچی در مسیر خود پس از طی مسافت ۱۴ کیلومتری در مخزن سد انحرافی الماس در فاصلهٔ ۱۰ کیلومتری شهر اردبیل تخلیه شده و جریان خروجی از آن به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول وارد کانال آبیاری و زهکشی پل‌الماس-دریاچه شورابیل شده و بخش دوم از ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس گذشته، اراضی زراعی اردبیل را سیراب کرده و از جنوب شرقی وارد شهر اردبیل می‌شود. این رودخانه تقریباً از وسط شهر اردبیل عبور کرده و علاوه بر ایجاد چشم‌انداز طبیعی شهر، محیط آبی پذیرنده برای بخش قابل توجهی

از رواناب‌های ناشی از بارندگی در سطح شهر را تشکیل می‌دهد و در نهایت، از شمال شرقی شهر خارج می‌شود. این جریان از ایستگاه هیدرومتری گیلانده گذشته، به رودخانهٔ قره‌سو پیوسته و وارد مخزن سد ذخیره‌ای سبلان می‌شود. متوسط جریان روزانه در ایستگاه هیدرومتری پل‌الماس حدود ۲ مترمکعب بر ثانیه به صورت دائمی و در ایستگاه گیلانده حدود ۱/۳ مترمکعب بر ثانیه به صورت فصلی و در بهار و زمستان است. محدودهٔ اصلی مورد مطالعهٔ این پژوهش بازه‌ای از این رودخانه در حدفاصل دو ایستگاه هیدرومتری مذکور به طول ۳۰ کیلومتر است که ۱۰ کیلومتر آن در داخل منطقهٔ شهری اردبیل قرار گرفته و تحت تأثیر اثرات شهری و گسترش آن است. شکل ۱ نمایی از موقعیت استانی منطقهٔ مورد مطالعه و برخی اطلاعات مربوطه را نشان می‌دهد (نویسندگان، ۱۳۹۴).



شکل ۱. موقعیت استانی منطقهٔ مورد مطالعه (سد انحرافی پل‌الماس، رودخانهٔ بالوخلوچای، ایستگاه‌های هیدورمتری ورودی و خروجی و شهر اردبیل) *(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)*

مواد و روش‌ها

الف- بررسی میزان توسعهٔ شهری

طبق آمار ارائه شده به‌وسیلهٔ مرکز آمار ایران، جمعیت شهر اردبیل از حدود ۴۱۸۰۰۰ نفر در سرشماری سال ۱۳۸۵ به ۴۸۳۰۰۰ نفر در سال ۱۳۹۰ رسیده است. همچنین طبق آمار ارائه شده توسط استانداری اردبیل کل مساحت زمینی که پروانه ساخت برای آن صادر شده، در دهه اخیر عدد قابل توجهی بوده و در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ به‌ترتیب برابر با ۴۷۸۹۷۹، ۷۰۰۲۱۵ و ۵۸۴۱۸۱ مترمربع بوده است؛ لذا واضح است که شهر اردبیل نیز مانند اکثر شهرهای کشور طی چند دههٔ اخیر گسترش چشم‌گیری داشته باشد که ایجاد شهرک‌های متعدد مسکونی و صنعتی در حواشی شهر دلیلی واضح بر این ادعاست. تعیین گسترهٔ شهری با استفاده از نقشه‌های شهری در صورت وجود یا نقشه‌برداری‌های مستقیم زمینی بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و برای سال‌های گذشته حتی غیرممکن خواهد بود. این در حالی است که ماهواره‌های سنجش از دور، طیف وسیعی از داده‌های مکانی و زمانی را با هزینهٔ بسیار کم در اختیار کاربران قرار می‌دهند و به یک ابزار پرکاربرد در شناسایی و همچنین بررسی تغییرات مکانی و زمانی عوارض سطح زمین تبدیل شده‌اند. به همین دلیل، باتوجه به کارایی بالا و کاربرد گستردهٔ تکنیک‌های سنجش از دور در بررسی عوارض مختلف سطح زمین (هرماس و دیگران،۲۰۱۲: ۵۱ و لوین و دیگران،۲۰۰۴: ۳۵۱)، در این

مطالعه نیز تکنیک مذکور جهت تعیین روند و میزان گسترش و توسعهٔ شهری اردبیل در طول یک دورهٔ ۱۵ ساله (۱۳۷۷ تا ۱۳۹۲) مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به هدف اصلی تکنولوژی سنجش از دور، فرایند طبقه‌بندی[1] تصاویر، مهمترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای به حساب می‌آید و در میان روش‌های مختلف رایج برای طبقه‌بندی، روش نظارت شده[2] با الگوریتم بیشترین شباهت[3]، بالاترین دقت و بیشترین کاربرد را در شناسایی عوارض و کاربری‌های زمین از روی تصاویر ماهواره‌ای دارد (صبحزاهدی،۱۳۹۱: ۱؛ ایمانی و دیگران،۱۳۹۲: ۱۳۳؛ ریچاردز،۲۰۰۰: ۱۹۴)؛ بنابراین، فرایند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به روش نظارت شده، با الگوریتم بیشترین شباهت در محیط نرم‌افزار ENVI4.7 به‌منظور تعیین منطقهٔ شهری اردبیل در سال‌های مختلف، مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور ۴ مقطع زمانی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۳ میلادی با فواصل ۴ ساله از هم انتخاب شدند و تصویر ماهوارهٔ لندست ۷ با سنجنده TM[4] گرفته شده در ژوئن ۱۹۹۸ میلادی برای سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ و همچنین تصاویر ماهوارهٔ لندست ۷ با سنجنده ETM^{+}[5] گرفته شده در می ۲۰۰۳، ژوئن ۲۰۰۸ و جولای ۲۰۱۳ به ترتیب برای سال‌های آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۱، ۱۳۸۷-۱۱۳۸۶ و ۱۳۹۲-۱۳۹۱ از وب‌سایت زمین‌کاوی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (http://earthexplorer.usgs.gov/) دریافت شدند. تمامی تصاویر مورد استفاده در این مطالعه، تصحیح شده و ژئورفرنس شده بوده و نیازی به تصحیح نداشتند؛ اما تصاویر مربوط به سنجنده ETM^{+} به‌دلیل بروز مشکلی در سنجنده از سال ۲۰۰۳ میلادی به بعد، دارای شکاف[6] در حاشیهٔ راست و چپ بودند. به‌منظور پر کردن این شکاف‌ها از ابزار Landsat Gap fill استفاده شد و شکاف تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI 4.7 برطرف گردید. در مرحلهٔ بعد، تصاویر آماده شده متناسب با محدودهٔ شهری برش داده شدند و به روش ذکر شده مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. به این ترتیب که در هر تصویر امضاهای طیفی (ROI) از کلاس‌های کاربری موجود (شهری، زراعی، مرتعی و ...) تهیه شد و نرم‌افزار ENVI 4.7 براساس بیشترین شباهت بین محدودهٔ طیفی تصویر و محدودهٔ طیفی امضاها، تصاویر را مورد طبقه‌بندی قرار داد. درنهایت، با تطابق تصاویر طبقه‌بندی شده و تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار Google Earth 7.0.3، محدودهٔ شهر اردبیل در سال‌های مختلف به‌طور دقیق مشخص گردید.

ب- بررسی کمّیت آب رودخانه

کمّیت و یا به عبارت دیگر میزان جریان آب عبوری از رودخانه‌ها در ایستگاه‌های آب سنجی (هیدرومتری) احداث شده توسط وزارت نیرو بر روی رودخانه‌ها، در گام زمانی روزانه توسط شرکت‌های آب منطقه‌ای بومی، اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند؛ در نتیجه، بررسی تغییرات زمانی و مکانی مقدار آب رودخانه‌ها با استفاده از داده‌های مذکور ممکن خواهد. از این‌رو به‌منظور بررسی این تغییرات در محدودهٔ مورد مطالعه از رودخانهٔ بالوخلوچای، داده‌های دبی جریان روزانه از ایستگاه‌های هیدرومتری پل‌الماس واقع در ورودی رودخانه به شهر و گیلانده واقع در خروجی رودخانه از شهر (شکل ۱)، از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل وابسته به وزارت نیرو تهیه شد. داده‌های دبی روزانه سال‌های آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۱ از دو ایستگاه مذکور مشخص شد و پس از بررسی صحت و همگنی داده‌ها، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند و میانگین جریان سالانه در هر ایستگاه و برای سال‌های آبی مورد مطالعه محاسبه گردید. به‌منظور تعیین تغییرات مکانی، نمودار مربوط به دبی‌های متوسط سالانهٔ جریان دو ایستگاه نسبت به هم رسم گردید و جهت بررسی تغییرات زمانی جریان در طول ۱۵ سال مورد مطالعه، معادله و شیب خط رگرسیونی برای دبی‌های سالانه هر ایستگاه محاسبه گردید.

---

[1]: Classification
[2]: Supervised
[3]: Maximum Likelihood
[4]: Thematic Mapper
[5]: Enhanced Thematic Mapper Plus
[6]: Gap

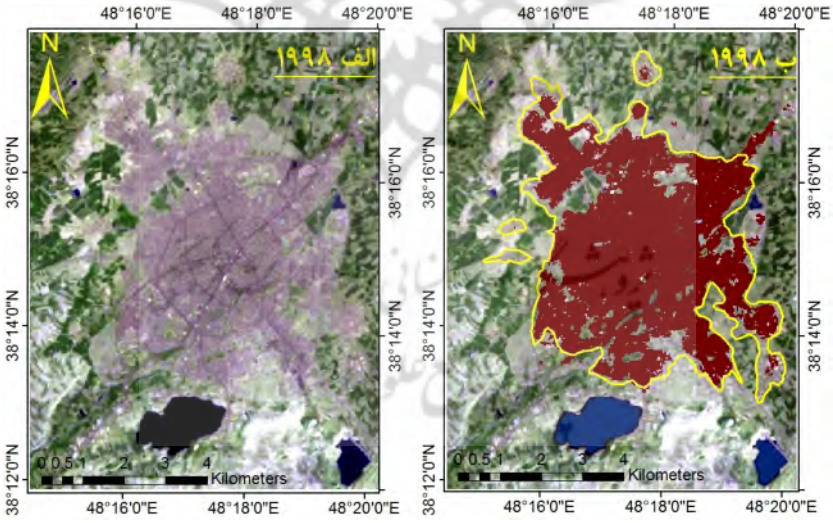
ج- بررسی کیفیت آب رودخانه

در اغلب ایستگاه‌های هیدرومتری وزارت نیرو علاوه بر اندازه‌گیری مقدار جریان رودخانه، پارامترهای شیمیایی آب نیز به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند؛ لذا همانند مقدار جریان، تغییرات مکانی و زمانی کیفیت شیمیایی آب رودخانه‌ها نیز قابل بررسی خواهد بود؛ از این‌رو، داده‌های ماهانهٔ مربوط به کیفیت شیمیایی آب ایستگاه‌های هیدرومتری پل‌الماس و گیلانده در دورهٔ ۱۵ ساله مورد مطالعه (سال‌های آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۱) نیز از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل تهیه شدند. از آنجا که جریان آب در ایستگاه گیلانده به صورت غیردائمی بوده و دارای نقص آمار کیفی در برخی ماه‌های سال بود؛ به همین دلیل، داده‌های کیفی آب شامل پارامترهای کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلرید، کربنات، بی‌کربنات، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم برای ماه‌های فروردین که کمترین نقص آماری را در سال‌های آماری مورد بررسی در دو ایستگاه هیدرومتری مذکور داشتند، جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب در محدودهٔ مورد مطالعه از رودخانهٔ بالوخلوچای انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. همانند بخش کمّی نمودار تغییرات سالانهٔ پارامترها در دو ایستگاه برای بررسی تغییرات مکانی و معادله و شیب خط رگرسیونی نمودار هر یک از پارامترها به‌منظور بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌های تحقیق

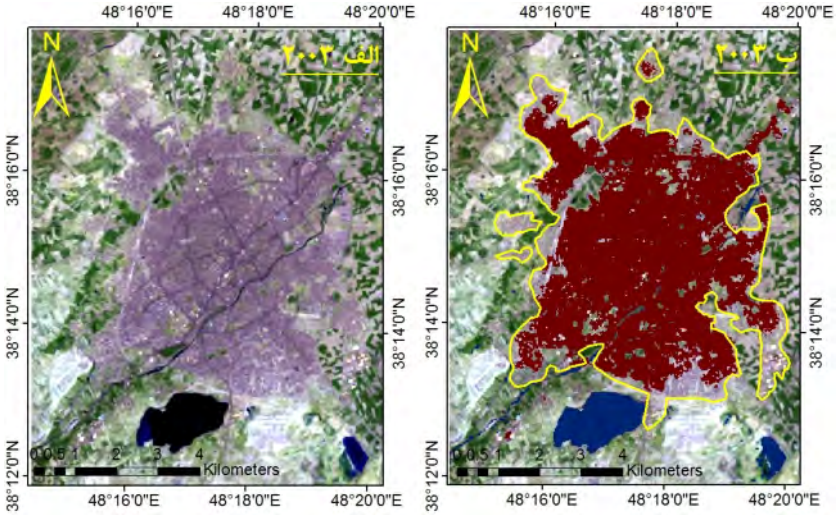
الف- یافته‌های مربوط به توسعهٔ شهری

نتایج مربوط به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تعیین محدودهٔ شهر اردبیل در سال‌های آبی ۷۷-۷۶، ۸۲-۸۱، ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۱ به‌ترتیب مطابق شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ است.



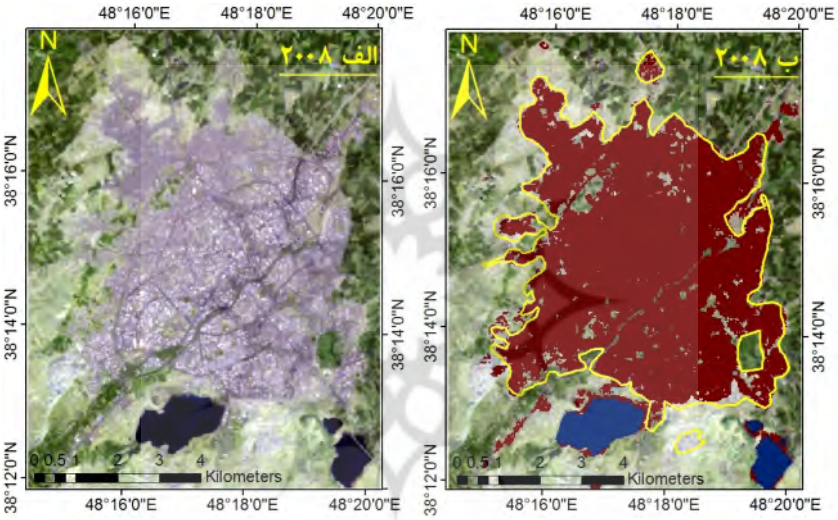
شکل ۲. تصویر ماهواره‌ای شهر اردبیل در سال ۱۳۷۷ (الف) و محدودهٔ شهری تعیین شده (ب)

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



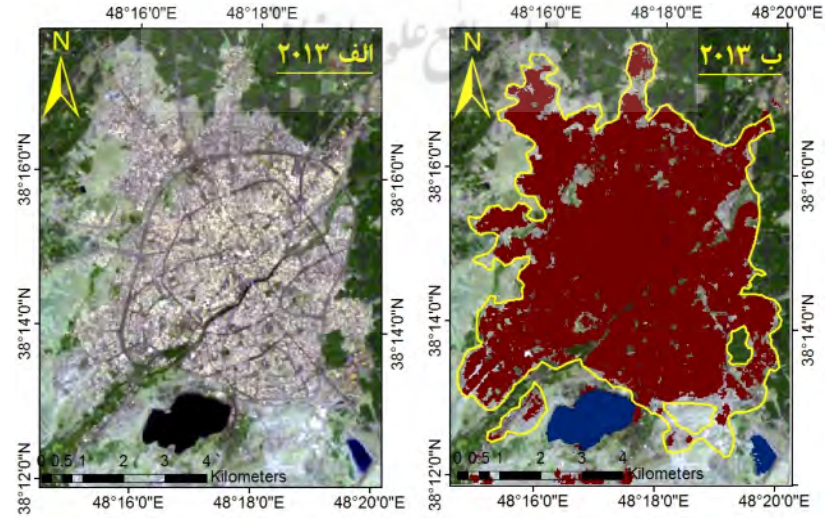
شکل ۳. تصویر ماهواره‌ای شهر اردبیل در سال ۱۳۸۲ (الف) و محدودهٔ شهری تعیین شده (ب)

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۴. تصویر ماهواره‌ای شهر اردبیل در سال ۱۳۸۷ (الف) و محدودهٔ شهری تعیین شده (ب)

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



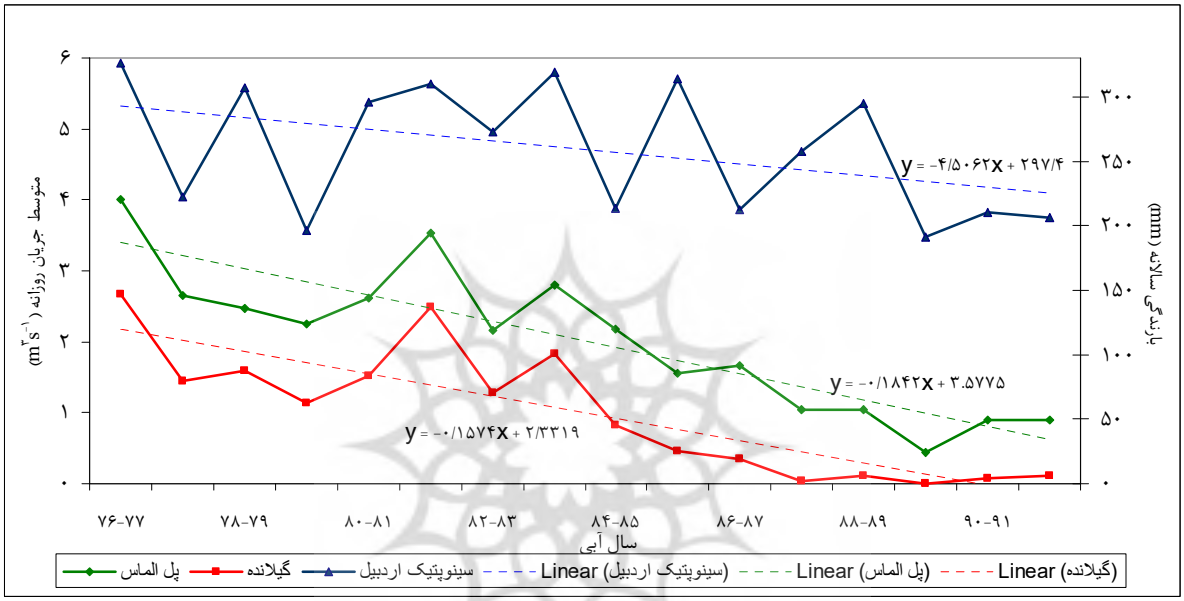
شکل ۵. تصویر ماهواره‌ای شهر اردبیل در سال ۱۳۹۲ (الف) و محدودهٔ شهری تعیین شده (ب)

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

بررسی نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که مساحت شهر اردبیل در سال‌های آبی ۷۷-۷۶، ۸۲-۸۱، ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۱ به‌ترتیب برابر با ۲۹۸۷، ۳۵۲۳، ۳۸۰۲ و ۴۵۵۵ هکتار بوده و در فواصل ۵ ساله مورد بررسی به‌ترتیب ۵۳۶، ۲۷۹ و ۷۵۳ هکتار افزایش داشته است؛ لذا در فاصلهٔ ۱۵ سالهٔ اخیر، مساحت شهر افزایش چشمگیر ۱۵۶۸ هکتاری داشته است و این افزایش به‌طور عمده در بخش جنوب غربی شهر و به‌دلیل ایجاد شهرک‌های جدید مسکونی از جمله کشاورزی، کوثر، کارشناسان و نادری بوده است. علاوه بر گسترش محدودهٔ شهر، تراکم ساختمانی نیز به‌دلیل رواج بالای ساخت‌وساز و نوسازی بافت‌های فرسوده بیشتر شده است.

ب- یافته‌های مربوط به تغییرات کمیت آب رودخانه

نتایج مربوط به تغییرات زمانی و مکانی دبی جریان رودخانهٔ بالوخلوچای در محدودهٔ مورد مطالعه و همچنین تغییرات زمانی بارندگی سالانه در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اردبیل مطابق شکل ۶ است.



شکل ۶. تغییرات زمانی و مکانی دبی جریان رودخانهٔ بالوخلوچای و تغییرات زمانی بارندگی سالانهٔ ایستگاه سینوپتیک اردبیل

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

میزان دبی متوسط روزانه در سال‌های آبی ۷۷-۷۶، ۸۲-۸۱، ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۱ به‌ترتیب برابر با ۴، ۳/۵، ۱/۶ و ۰/۹ متر مکعب بر ثانیه در ایستگاه پل‌الماس و ۲/۷، ۲/۴، ۰/۳ و ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه در ایستگاه گیلانده بوده است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط جریان روزانه در بازهٔ مورد نظر از رودخانه و در هر دو ایستگاه هیدرومتری در طول ۱۵ سال مورد مطالعه رو به کاهش بوده است؛ به‌طوری که شیب خط رگرسیونی جریان ایستگاه‌های هیدرومتری پل‌الماس و گیلانده به‌ترتیب ۰/۱۸-، ۰/۱۵- است. این کاهش زمانی در جریان رودخانه با خشکسالی‌های اخیر و کاهش زمانی بارندگی ایستگاه سینوپتیک اردبیل قابل توجیه است. به‌طوری که میزان بارندگی در ایستگاه سینوپتیک مذکور در سال‌های آبی ۷۷-۷۶، ۸۲-۸۱، ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۱، به‌ترتیب برابر با ۳۲۵، ۳۰۹، ۲۱۲ و ۲۰۶ میلی‌متر بوده و با شیب ۴/۵- در طول ۱۵ سال مورد مطالعه کاهش یافته است.

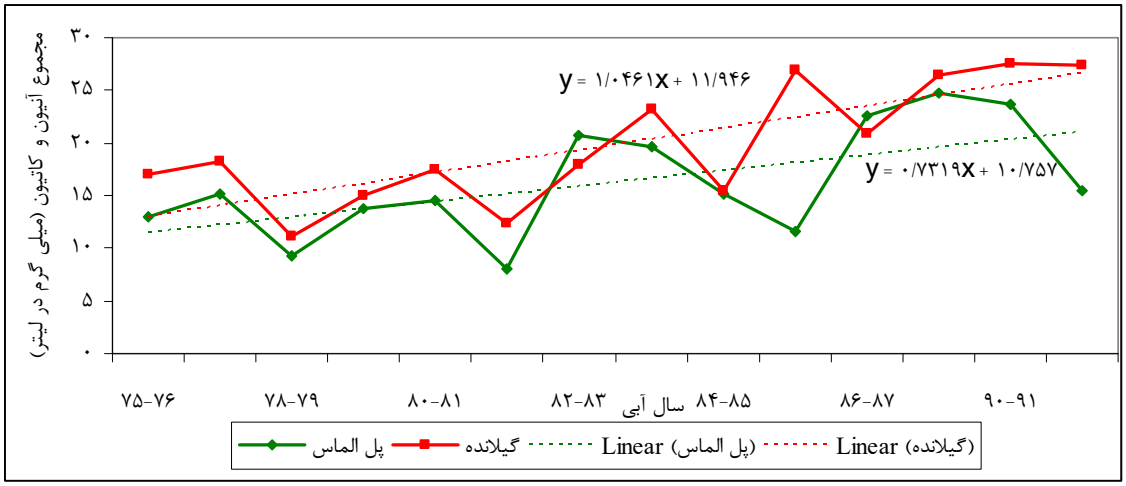
علاوه بر تغییرات زمانی، جریان رودخانه دارای تغییرات مکانی چشمگیری بوده و دبی جریان خروجی (گیلانده) به‌طور متوسط ۱/۰۱ متر مکعب بر ثانیه کمتر از جریان ورودی (پل‌الماس) است. دلیل اصلی این امر ورود بخشی از جریان در شبکه‌های زهکشی و آبیاری اراضی کشاورزی در مقاطع مختلف از رودخانه در قبل و بعد از محدودهٔ شهری اردبیل است.

با بروز خشکسالی‌ها و کاهش بارندگی منطقه و در نتیجه افزایش نیاز آبی گیاهان، میزان برداشت از آب رودخانه در طول زمانی مورد مطالعه افزایش یافته و انتظار می‌رود که شیب کاهشی دبی جریان خروجی (گیلانده) بیشتر از شیب کاهشی ورودی (پل‌الماس) باشد. در حالی‌که نتایج شکل ۶ برخلاف انتظار بوده و علی‌رغم برداشت‌های بیشتر، شیب کاهشی جریان خروجی (۰/۱۵-) کمتر از جریان ورودی (۰/۱۸-) است، به‌طوری اختلاف بین متوسط دبی روزانهٔ ورودی و خروجی از ۱/۳ متر مکعب بر ثانیه در سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ به ۰/۸ متر مکعب بر ثانیه در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ رسیده است. این امر مربوط به توسعهٔ شهری و افزایش سطوح نفوذناپذیر و ورود بخش اعظم رواناب‌های تولید شده از سطوح شهری در رودخانه است. شکل ۷ نمونهٔ تصویر ورود رواناب شهری در رودخانه را نشان می‌دهد. سهم ورود فاضلاب‌های خانگی به‌دلیل وجود سیستم فاضلاب شهری بسیار ناچیز است. همچنین طرح ساماندهی بستر که از سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ در بخش‌های مختلفی از رودخانه در داخل شهر اجرا شده، با کاهش نفوذپذیری بستر و کناره‌های رودخانه نقش مؤثری در کاهش شیب افت جریان خروجی داشته است.

شکل ۷. تخلیهٔ رواناب تولید شده از سطوح نفوذناپذیر شهر اردبیل در رودخانهٔ بالوخلوچای
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

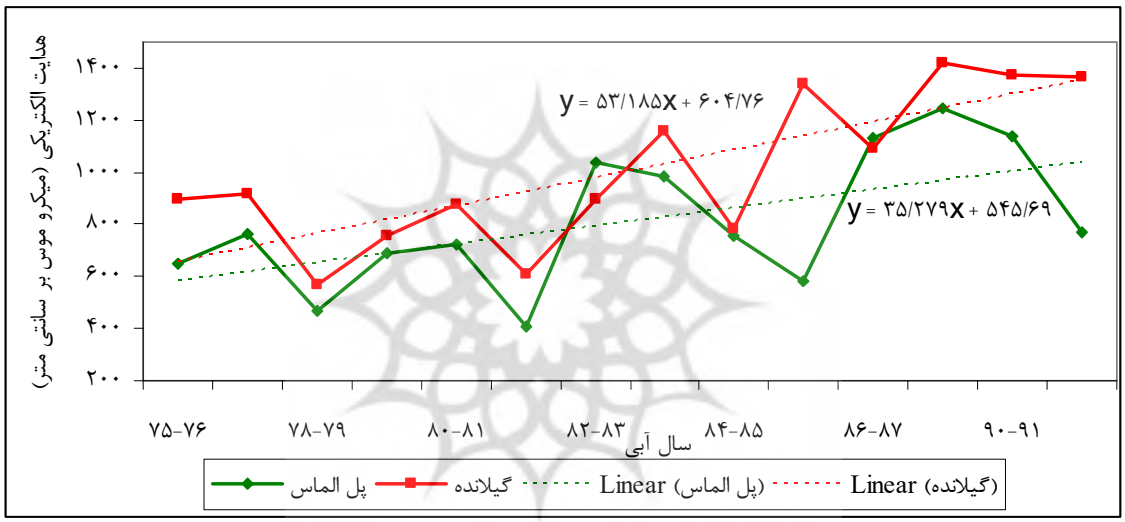
ج- یافته‌های مربوط به تغییرات کیفیت آب رودخانه

نتایج مربوط به تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی مهم آب شامل: مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های آب، میزان هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم، به‌ترتیب مطابق شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ است.



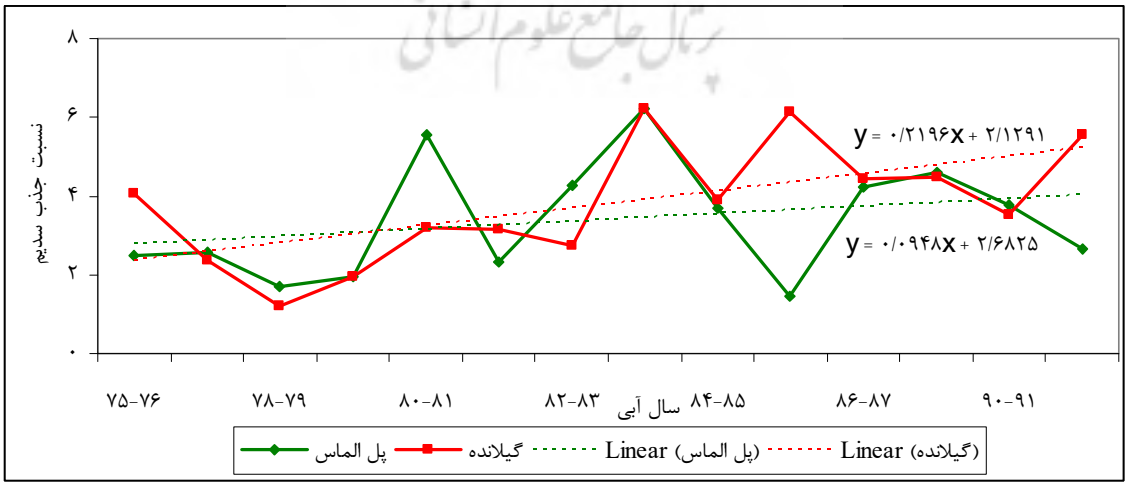
شکل۸. تغییرات زمانی و مکانی مجموع آنیون ها و کاتیون‌های رودخانهٔ بالوخلوچای

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۹. تغییرات زمانی و مکانی هدایت الکتریکی رودخانهٔ بالوخلوچای

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۱۰. تغییرات زمانی و مکانی نسبت جذب سدیم رودخانهٔ بالوخلوچای

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴)

نتایج بررسی کیفی آب نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانهٔ مورد مطالعه همانند کمّیت آن دارای تغییرات زمانی و مکانی است. در بازهٔ زمانی مورد مطالعه، کیفیت آب در ایستگاه‌های ورودی و خروجی شهر کاهش یافته است؛ به‌طوری که در سال‌های آبی ۷۶-۷۵، ۸۲-۸۱، ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۱ مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های آب به‌ترتیب برابر با ۱۲/۹۴، ۸/۱، ۲۲/۶ و ۱۵/۵ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پل‌الماس و ۱۷/۰۶، ۱۲/۴۱، ۲۰/۹۲ و ۲۷/۴ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه گیلانده، هدایت الکتریکی به‌ترتیب برابر با ۶۵۰، ۴۰۶، ۱۱۳۰ و ۷۷۰ میکروموس بر سانتی‌متر در ایستگاه پل‌الماس و ۸۹۶، ۶۱۱، ۱۰۹۰ و ۱۳۶۷ میکروموس بر سانتی‌متر در ایستگاه گیلانده و نسبت جذب سدیم ۴۷/۸۴، ۵۶/۴۱، ۵۸/۰۴ و ۴۸/۶۸ در ایستگاه پل‌الماس و ۷۸/۴، ۵۹/۰۸، ۶۰/۱۹ و ۶۳/۹۷ در ایستگاه گیلانده بوده است؛ لذا بررسی نتایج کیفی آب در طول ۱۵ سال مورد بررسی نشان داد که تمامی پارامترهای ضدکیفی آب، از جمله مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در هر دو ایستگاه پایش افزایش یافته است، به‌طوری که شیب افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم به‌ترتیب برابر با ۰/۷۳، ۳۵/۲۷ و ۰/۰۹ واحد در ایستگاه پل‌الماس و ۱/۰۴، ۵۳/۱۸ و ۰/۲۱ است. اگرچه با گذشت زمان میزان فعالیت‌ها و تولید آلاینده‌ها افزایش یافته است؛ ولی با فرض ثابت بودن تولید و ورود آلاینده‌ها در رودخانه، این افزایش در غلظت آلاینده‌ها با کاهش میزان جریان در محدودهٔ زمانی مورد مطالعه قابل توجیه است.

رودخانه‌ها دارای خاصیت خودپالایی هستند؛ بنابراین، انتظار میرود تا کیفیت آب رودخانه در پایین دست (گیلانده) به مراتب بهتر از بالادست (پل‌الماس) باشد، اما نتایج عکس این عملکرد را نشان داده و کیفیت آب در خروجی به مراتب پایین‌تر از ورودی است؛ به‌طوری که شیب افزایش مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در ایستگاه گیلانده به‌ترتیب ۰/۳۱، ۱۷/۹ و ۰/۱۲ بیشتر از شیب افزایشی ایستگاه پل‌الماس بوده است که نشان‌دهندهٔ ورود آلاینده‌ها در مسیر رودخانه است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، بخشی از این آلاینده‌ها از سطح شهر جمع آوری شده و در رودخانه وارد می‌شود و بخش دیگری نیز ناشی از برگشت زه‌آب‌های اراضی کشاورزی است؛ ولی واضح است که سهم آلاینده‌های شهری بیشتر باشد، چرا که زه‌آب‌های کشاورزی منابع آب زیرمینی را بیشتر از منابع آب سطحی تحت تأثیر قرار می‌دهند.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این پژوهش، نحوهٔ تغییرات مکانی و زمانی کمّیت و کیفیت آب رودخانهٔ دائمی بالوخلوچای در شهر اردبیل و همچنین تأثیر توسعه و گسترش محدودهٔ شهری بر این دو پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه نشان داد که مساحت شهرستان اردبیل در مدت زمان ۱۵ ساله از ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۲ افزایش ۵۲/۵ درصدی از ۲۹۸۷ هکتار به ۴۵۵۵ هکتار داشته است که همواره با افزایش سطوح نفوذناپذیر شامل پشت‌بام‌ها و سطوح آسفالتی همراه بوده و نقش مؤثری در افزایش رواناب تولید شده از گسترهٔ شهر داشته است. نتایج بررسی تغییرات زمانی کمّیت جریان رودخانه در گذر از شهر نشان داد که به دلایلی از جمله کاهش متوسط بارندگی سالانه، احداث سدهای ذخیره‌ای و کانال‌های زهکشی و آبیاری در بخش‌های بالادست رودخانهٔ دبی جریان در طول ۱۵ سال مورد مطالعه همواره رو به کاهش بوده است؛ اما کمتر بودن شیب کاهش زمانی جریان در خروجی (گیلانده) نسبت به ورودی (پل‌الماس) به‌ویژه در ۵ سال اخیر، دلیلی بر افزایش تولید و ورود رواناب شهری در رودخانه بوده (شکل ۷) و مطابق با یافته‌های تحقیقات دوو و دیگران (۲۰۱۲)، وربرین و دیگران (۲۰۱۳) و میلر و دیگران (۲۰۱۴) است. نتایج بررسی کیفیت آب رودخانه نیز نشان داد که علی‌رغم کاهش کیفی آب رودخانه در طول ۱۵ سال مطالعه شده، شیب کاهش کیفیت در خروجی رودخانه به‌مراتب بیشتر از شیب ورودی است و گسترش شهری و افزایش ورود رواناب‌های با غلظت بالای آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی و خودروها، در رودخانه دلیل مهمی بر این ادعا بوده و با

نتایج تحقیقات رن و دیگران (۲۰۰۳)، ای پترس (۲۰۰۹) و آستارایی ایمانی و دیگران (۲۰۱۲) تطابق دارد؛ لذا با گسترش شهری با وجود احداث و بهره‌برداری از سیستم فاضلاب شهری، سهم رواناب‌های سطحی و آلودهٔ شهری ورودی در رودخانه افزایش یافته است. متأسفانه فرهنگ غلط مردم در رابطه با نگرش به کانال‌های زهکشی شهری به‌عنوان محل دفع زباله‌های خانگی تأثیر ویژه‌ای بر این امر داشته و از طرف دیگر احداث دیوارهای عمود بر جهت جریان رودخانه جهت ساماندهی و حفظ آب در روخانه و منظرسازی شهری در چند سال اخیر از سوی شهرداری، مسائل زیست محیطی متعددی پیش آورده است؛ چرا که در مواقع کاهش جریان پایهٔ رودخانه در فصول خشک، این آب راکد بوی نامطبوعی تولید می‌کند.

باتوجه به اینکه جریان خروجی این رودخانه آب قسمت عمده‌ای از اراضی زراعی پایین‌دست شهر و در نهایت، یکی از شاخه‌های اصلی زهکشی سد ذخیره‌ای سبلان را تشکیل می‌دهد و منطقهٔ شهری اردبیل در ورود آلاینده‌ها به رودخانه نقش مؤثری دارد، پیشنهاد می‌شود که ارگان‌های مربوط از جمله، آب منطقه‌ای و محیط زیست در رابطه با پایش کمّیت و به‌ویژه کیفیت آب رودخانه، حداقل در خروجی شهر و حفظ جریان بهینهٔ رودخانه به‌خصوص در فصول خشک اقدام نمایند؛ چرا که کمبود یا فقدان آمار و اطلاعات، از جمله اصلی‌ترین چالش‌های پیش رو در رابطه با تأثیرات زیست‌محیطی شهرسازی بر این رودخانهٔ مهم شهری است. همچنین، به توجه به دفع فاضلاب‌های خانگی و حتی صنعتی به‌وسیلهٔ چاه‌های جذبی پیشنهاد می‌شود تا تأثیر توسعهٔ شهری بر کیفیت و کمّیت آب زیرزمینی دشت اردبیل که در سال‌های اخیر با افت چشمگیری روبه‌رو شده است، مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

اقبالی، سیدرحمان؛ خزایی، لیلا؛ جهاندار لاشکلی، منصوره (۱۳۹۲). آسیب‌شناسی رودخانه‌های شهری با محوریت توسعهٔ پایدار (مطالعه موردی: رودخانهٔ بازار قزوین). اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعهٔ پایدار. انجمن محیط زیست کومش. دانشگاه صنعت هوایی. تهران. صص ۱-۱۲.

ایمانی، رسول؛ عبدالهی، مهدی؛ ولی، عباسعلی؛ آلبوعلی، علی (۱۳۹۳). بررسی تغییرات مورفومتری تپه ماسه‌ای با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعهٔ موردی: جنوب شرقی عشق‌آباد). مجلهٔ پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. سال دوم. شمارهٔ ۳. صص ۱۴۰-۱۲۹.

آشوری، مریم؛ بهادری‌خسروشاهی، فیروز؛ ارحمی، محمود (۱۳۸۶). بررسی اثرات توسعهٔ شهری بر افزایش رواناب (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز رودخانهٔ دارآباد- شمال شهر تهران). ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳ تا ۱۵ شهریور ماه ۱۳۸۶. شهرکرد- انجمن هیدرولیک ایران. دانشگاه شهرکرد. چهارمحال بختیاری. صص ۳۷-۴۷.

صبح‌زاهدی، شهریار(۱۳۹۱). مقایسهٔ ۴ روش طبقه‌بندی نقشه‌های اراضی و پوشش با استفاده از داده‌های سنجش از دور. طرح پژوهشی پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

یاری، طیبه (۱۳۹۳). بررسی اثرات توسعهٔ شهر کرمانشاه بر کمّیت و کیفیت رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی L-THIA. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Astaraie-Imani, M., Kapelan, Z., Fu, G., and Butler, D. (2012). Assessing the combined effects of urbanisation and climate change on the river water quality in an integrated urban wastewater system in the UK. Journal of Environmental Management, 112: 1-9.

Braud, I., Breil, P., Thollet, F., Lagouy, M., Branger, F., Jacqueminet, C., Kermadi, S. and Michel, K. (2013). Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France. Journal of Hydrology, 485: 5–23.

Canters, F., Batelaan, O., de Voorde, T.V., Chormanski, J. and Verbeiren, B. (2011). Use of impervious surface data obtained from remote sensing in distributed hydrological modeling of urban areas. In: Yang, X. (Ed.), Urban Remote Sensing: Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment. John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 255–273.

Chormanski, J., Van de Voorde, T., De Roeck, T., Batelaan, O. and Canters, F. (2008). Improving distributed runoff prediction in urbanized catchments with remote sensing based estimates of impervious surface cover. Sensors, 8: 910–932.

Dougherty, M., Dymond, R.L., Goetz, S., Jantz, C.A. and Goulet, N. (2004). Evaluation of impervious surface estimates in a rapidly urbanizing watershed. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70 (11): 1275–1284.

reference evapotranspiration. Climatic Change, 97 (3–4): 483–514.

Schneider, A., Friedl, M.A. and Potere, D. (2010). Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on 'urban ecoregions'. Remote Sensing of Environment, 114 (8): 1733–1746.

Shlomo, A., Parent, J., Civco, D.L., Blei, A. and Potere, D. (2011). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000-2050. Progress in Planning 75 (2): 53–107.

Sillanpa, N. and Koivusalo, H. (2015). Impacts of urban development on runoff event characteristics and unit hydrographs across warm and coldseasons in high latitudes. Journal of Hydrology, 521: 328-340.

Simmons, D.L. and Reynolds, R.J. (1982). Effects of urbanization on base flow of selected south-shore streams, Long Island, New York. Journal of the American Water Resources Association, 18: 797–805.

Sun, G. and Caldwell, P. (2015). Impacts of Urbanization on Stream Water Quantity and Quality in the United States. Water Resources IMPACT, 17 (1): 17-20.

United Nations. (2014). World Urbanization Prospects, 2014 Revision.

Valtanen, M., Sillanpaa, N. and Setala, H. (2014). The Effects of Urbanization on Runoff Pollutant Concentrations, Loadings and Their Seasonal Patterns Under Cold Climate. Journal of Water Air Soil Pollut, 225:1–16.

Verbeiren, B., Van De Voorde, T., Canters, F., Binard, M., Cornet, Y. and 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.

Zoppou, Ch. (2001). Review of Urban Storm Water Models. Journal of Environmental Modelling & Software, 16: 195–231.

Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., and Xu, C.Y. (2012). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. Journal of Hydrology, 464–465: 127–139.

E. Peters, N. (2009). Effects of urbanization on stream water quality in the city of Atlanta, Georgia, USA. Hydrology Process, 23: 2860– 2878.

Hermas, E., Leprince S., and El-Magd I.A. (2012). Retrieving sand dune movements using sub-pixel correlation of multi-temporal optical remote sensing imagery, northwest Sinai Peninsula, Egypt. Remote Sensing of Environment, 121: 51-60.

Huang, H.J., Cheng, S.J., Wen, J.C. and Lee, J.H. (2008). Effect of growing watershed imperviousness on hydrograph parameters and peak discharge. Hydrology Process, 22: 2075–2085.

Levin N., Ben-Dor E., and Karnieli A. (2004). Topographic information of sand dunes as extracted from shading effects using Landsat images. Remote Sensing of Environment, 90: 190-209.

Mejia, A.I. and Moglen, G.E. (2010). Impact of the spatial distribution of imperviousness on the hydrologic response of an urbanizing basin. Hydrological Processes, 24 (23): 3359–3373.

Miller, J.D., Kim, H., Kjeldsen, T.R., Packman, J., Grebby, S. and Dearden, R. (2014). Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. Journal of Hydrology, 515: 59–70.

Ren, W., Zhong, Y., Meligrana, J., Anderson, B., Watt, W.E., Chen, J. and Leung, H.L. (2003). Urbanization, land use, and water quality in Shanghai 1947–1996. Environment International, 29: 649 – 659.

Richardz, J.A. (2000). Remote Sensing Digital Image Analysis, 4rd ed, Springer-Verlag, Berlin, pp.453.

Rim, C.S. (2009). The effects of urbanisation, geographical and topographical conditions on

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی