



بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی و افت آبخوان در دشت اردبیل

سینا ضیایی^۱، ابادر اسمعیلی^{۲*}، رئوف مصطفی‌زاده^۳، اردوان قربانی^۴

۱- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

چکیده

محدودیت پتانسیل آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت اردبیل و عدم توجه به میزان برداشت مجاز و توسعه‌ی روز افزون مصارف کشاورزی، شرب، صنعت، بهره‌برداری ناموزون و نامتناسج، عدم جایگزینی آن از طریق ریزش‌های جوی به دلیل مواجه شدن با سال‌های کم‌آبی و خشک، موجب گردیده که آبخوان دشت اردبیل با افت سطح و در نتیجه کاهش حجم مخزن مواجه شود. این پژوهش با هدف بررسی عوامل مؤثر بر افت و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل در دو مقطع زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ انجام گرفت. برای انجام پژوهش حاضر، از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی اردبیل، نیارق، نمین، آبی بیگلو، هیر، سامیان واقع در داخل دشت اردبیل در طول آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۵) و داده‌های ماهانه ارتفاع سطح ایستابی تعداد ۲۴ حلقه چاه پیژومتری برای دشت انتخاب شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی در دو دوره‌ی زمانی، تصاویر سنجنده‌های OLI و TM ماهواره لندست مربوط به خرداد ماه ۱۹۹۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ استفاده شد. نتایج بررسی تغییرات سطح کاربری اراضی در طول سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ در دشت اردبیل نشان داد کاربری‌های زراعت آبی به ترتیب با ۴۸۱۵۶/۲۶، ۵۰۶۷۸/۶۶ و ۵۸۳۵۶/۶۸ هکتار بیشترین سطح و پهنه‌ی آبی به ترتیب با ۱۶۸/۷۵، ۸۸/۶۵ و ۳۸۰/۹۵ هکتار کمترین سطح را داشتند که نشان از دخالت بالای اراضی کشاورزی در افت سطح ایستابی اراضی کشاورزی در دشت اردبیل می‌باشد. در نهایت بررسی روند تغییرات چاه‌های پیژومتری نشان داد در دشت اردبیل حداکثر تراز سطح ایستابی (۱۴۳۷ متر) مربوط به قسمت‌های جنوب دشت اطراف اراضی-نوشهر-کرگان و حداقل تراز (۱۳۰۰ متر) مربوط به اطراف روستای خلیفه‌لو شیخ می‌باشد. مطابق با نقشه‌ی پراکنش چاه‌ها، بیشترین تراکم چاه‌ها در منطقه‌ی شرقی و مرکزی دشت بوده است.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، کاربری اراضی، چاه‌های پیژومتری، سطح ایستابی، دشت اردبیل، استان اردبیل

۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت جهان و توسعه‌ی کشاورزی در دهه‌های گذشته و جوابگو نبودن میزان آب‌های سطحی به نیازهای بشر منجر به افزایش روند پمپاژ آب و در نتیجه افت سطح آب زیرزمینی و تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی شده است. تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی و پیامدهای آن از جمله افزایش هزینه‌های استحصال آب، نشست زمین و کاهش کیفیت آب، امروزه به یک مشکل جدی و جهانی تبدیل شده و در مناطق مختلف دنیا گزارش شده است (راوات و کومار^۱، ۲۰۱۵: ۷۷). محدودیت پتانسیل آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت اردبیل و عدم توجه به میزان برداشت مجاز و توسعه‌ی روزافزون مصارف کشاورزی، شرب، صنعت، بهره‌برداری ناموزون و نامتجانس، عدم جایگزینی آن از طریق ریزش‌های جوی به دلیل مواجه شدن با سال‌های کم‌آبی و خشک، موجب گردیده که آبخوان دشت اردبیل با افت سطح و در نتیجه کاهش حجم مخزن مواجه شود (غفاری، ۲۰۱۳: ۹۷). دشت اردبیل در زمینه‌ی توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی با بحران منابع آب مواجه بوده و در مقیاس راهبردی دارای مشکلات است به‌منظور تعادل بخشی و احیای آبخوان‌های دشت اردبیل نیاز به اعمال مدیریت بهینه بهره‌برداری دارد (شرکت آب منطقه‌ای اردبیل، ۲۰۰۸: ۲۱۳). در آبخوان‌هایی که با بهره‌برداری بیش از حد مواجه‌اند، تخمین جامع، دقیق و قابل اعتماد از سطح آب زیرزمینی به‌شدت مورد نیاز است. انتخاب و دقت روش‌های مناسب پهنه‌بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کمی و کیفیت آب زیرزمینی به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی در آن بستگی دارد و انتخاب صحیح آن‌ها گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود (شعبانی، ۲۰۰۹: ۵۸). روش‌های زمین‌آمار مانند کریجینگ از تعدادی از ابزارهای آماری برای تحلیل تغییرپذیری مکانی و تولید سطوح به‌وسیله درون‌یابی استفاده می‌کند (گوندوغدو^۲ و گونی، ۲۰۰۷: ۶۸). کاربری اراضی می‌تواند در اثر ایجاد تغییر در عوامل هیدرولوژیکی نظیر نفوذپذیری، برگاب و تبخیر، بر تولید و تمرکز رواناب تأثیرگذار باشد و به این ترتیب باعث تغییر درشتد و فراوانی وقوع سیل شود. همچنین کاربری اراضی به‌وسیله‌ی تغییر در فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند تغذیه‌ی آب زیرزمینی، رواناب سطحی و جریان پایه، بر ذخیره‌ی آب موجود در حوضه تأثیرگذار است (چو و همکاران^۳، ۲۰۰۹: ۱). نیان و همکاران^۴ (۲۰۱۴) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر تخصیص منابع آب بیان داشتند که در طی دوره‌ی مطالعاتی در حاشیه‌ی آبادی‌ها، سطح زیر کشت افزایش یافته و مقدار سطح تبخیر در نتیجه آبیاری دو برابر شده بود. به این ترتیب، سطح آب زیرزمینی به‌طور پیوسته کاهش یافته و در نتیجه پوشش علفزار در روی مخروط افکنه‌ها کاهش یافته است. همچنین نتایج ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر آبخوان آب زیرزمینی

1- Rawat & Kumar
 2- Gundogdu et al.

3- Cho et al.
 4- Nian et al.

منطقه‌ای در مصر با رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور نشان داد که بیشترین تغییر کاربری مربوط به تبدیل اراضی بایر به زراعی و همچنین گسترش اراضی مسکونی بوده است (آمیش و همکاران^۱، ۲۰۱۶: ۶۲). همچنین در ارزیابی شاخص‌های آسیب‌پذیری دشت اردبیل نتایج گویایی آن است مدل SICM نسبت به مدل DRASTIC بیشترین قابلیت را برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در این دشت دارد (نادری و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۳). از طرفی تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت و جنگل در استان خراسان نشان داد که کیفیت آب‌های زیرزمینی این منطقه در حد ضعیف و نامناسب قرار دارد (شهیدی و همکاران، ۲۰۲۰: ۲۰) همچنین توسعه‌ی فعالیت‌های انسانی در دره‌ی کاتماندو نیپال طی دهه گذشته منجر به کاهش نفوذ ۶ درصدی تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی و به دنبال آن بحران آبی در این منطقه گردیده است (لامیچهن و شکیا^۲، ۲۰۱۹: ۲۶). با توجه به مطالعات صورت گرفته نتایج محققان مختلف حاکی از آن است که عوامل مختلفی بر روی افت آب زیرزمینی موثر است در این بین تغییر کاربری در راستای توسعه‌ی مناطق مسکونی و یا توسعه‌ی اراضی کشاورزی می‌تواند سبب کاهش تغذیه‌ی آبخوان و یا بهره‌برداری بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی گردد که به دنبال آن تبعات نشست، افت آبخوان، گرد و غبار و ... گردد. از طرفی دشت اردبیل که به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی و گردشگری ایران شناخته می‌شود لذا می‌توان با بررسی اثرات تغییرات کاربری بر روی منابع آب زیرزمینی کمک شایایی را به مدیران در راستای دستیابی به توسعه‌ی پایدار نمود. لذا هدف از انجام این مطالعه بررسی عوامل مؤثر بر افت و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل در دو بازه‌ی زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ می‌باشد.

۲- مواد و روش

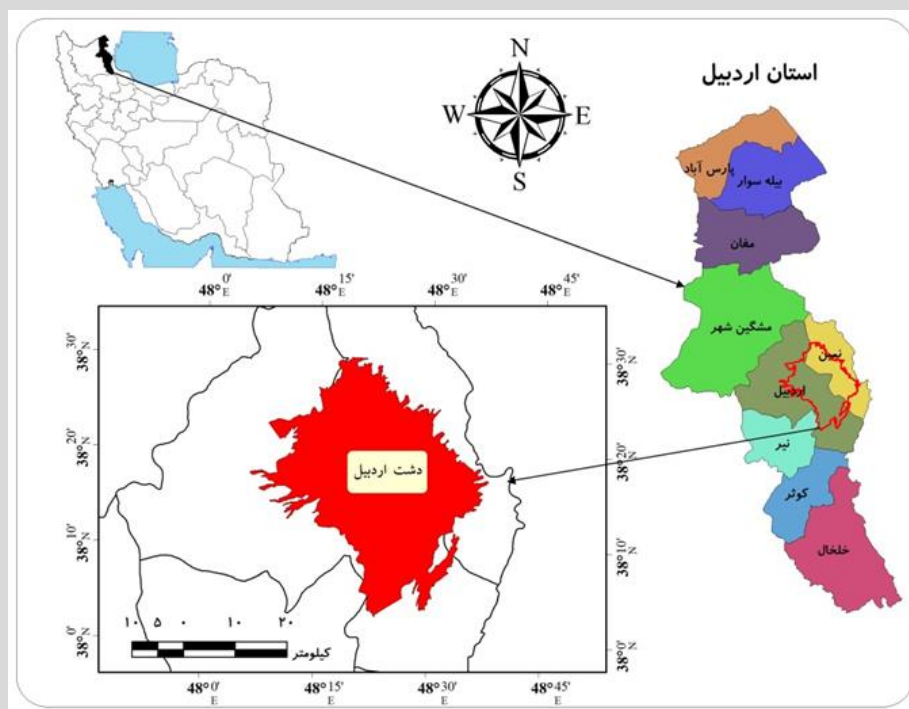
۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت اردبیل واقع در شمال غرب ایران و در استان اردبیل با وسعت ۱۰۹۷/۲۳ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۱۳۶۰ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. این منطقه از نظر آب و هوایی جزء نواحی سردسیر کوهستانی بوده و متوسط بارندگی سالانه آن بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین این دشت دارای سه رودخانه‌ی اصلی قره‌سو، بالقلی چای و قوری چای می‌باشد. از نظر منابع آبی در محدوده‌ی دشت اردبیل ۲۲۴۳ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق، ۲۰ دهنه چشمه و ۱۸ رشته قنات وجود دارد که به مصارف کشاورزی اختصاص دارند

1- Ammeish et al.

2- Lamichhane & Hakya

(جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۶۸؛ صفریان زنگیر و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۲۷؛ مصطفی‌زاد و مهری، ۱۳۹۷: ۳۹)
(شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل

Fig (1): The study area in Iran and the Province of Ardabil

۲-۲- مشخصات چاه‌های پیزومتری

داده‌های ماهانه ارتفاع سطح ایستابی به تعداد ۲۴ حلقه چاه پیزومتری برای دشت تهیه شده از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل انتخاب شد. مشخصات این چاه‌ها در (جدول ۱) ارائه شده است. با کم کردن داده‌های عمق سطح آب زیرزمینی هر یک از چاه‌ها از تراز (ارتفاع) نقطه نشانه آن‌ها نسبت به سطح دریا، تراز سطح آب زیرزمینی (ارتفاع پیزومتری) هر یک از چاه‌ها به دست آمد.

جدول (۱) مشخصات چاه‌های پیزومتری مورداستفاده دشت اردبیل (سال آبی ۹۳-۹۴)

Table (1): Specifications of piezometric wells used in Ardabil plain (water year 93-94)

شماره	نام چاه	علامت	طول جغرافیایی عرض جغرافیایی	ارتفاع چاه (متر)	ارتفاع پیزومتری (متر)
۱	اراضی نوشهر کرکان	p1	۲۷۸۰۴۷	۱۴۴۷/۴۵	۱۴۳۲/۷۳
۲	انزاب پایین	p2	۲۶۷۱۹۴	۱۳۰۸/۴۱	۱۳۰۴/۳۱
۳	آقا زمانکندی	p3	۲۶۵۰۱۹	۱۴۲۳/۳۴	۱۴۱۴/۶۸
۴	پیراقوم	p4	۲۷۰۶۲۴	۱۳۵۶/۲۷	۱۳۰۷/۷۲
۵	خلیفه‌لو شیخ	p5	۲۸۰۸۹۲	۱۳۳۲/۹۵	۱۲۹۷/۴۹
۶	روبروی فرودگاه	p6	۲۷۳۵۸۸	۱۳۱۲/۱۵	۱۳۰۵/۵۳
۷	سعیدآباد	p7	۲۸۴۴۹۹	۱۳۱۹/۵۲	۱۳۱۱/۶۱
۸	سلطان‌آباد	p8	۲۶۸۵۶۶	۱۳۲۰/۹۴	۱۳۱۱/۳۷
۹	سه‌راهی مهماندوست	p9	۲۶۶۸۸۸	۱۳۴۸/۳۲	۱۳۲۵/۴۵
۱۰	اراضی قره‌حسنلو آقا باقر	p10	۲۷۴۳۷۸	۱۳۳۳/۰۵	۱۳۰۵/۱۵
۱۱	اراضی کرکوق	p11	۲۶۷۴۸۴	۱۳۱۸/۹۳	۱۳۱۱/۴۵
۱۲	صومعه روبروی مرغداری	p12	۲۵۸۴۷۲	۱۳۴۹/۳۹	۱۳۳۷/۰۵
۱۳	قره‌حسنلو	p13	۲۷۷۳۰۲	۱۳۳۲/۲۳	۱۳۰۴/۱۲
۱۴	نوشنق	p14	۲۷۱۶۵۳	۱۳۸۵/۵۸	۱۳۸۲/۲۱
۱۵	نیار مدرسه	p15	۲۶۶۶۳۸	۱۳۴۴/۱۹	۱۳۳۷/۷۴
۱۶	اراضی رضی‌آباد	p16	۲۷۲۹۶۴	۱۳۶۱/۶۶	۱۳۳۰/۳۲
۱۷	اراضی جبه‌دار	p17	۲۵۸۳۵۸	۱۳۰۸/۹۲	۱۳۰۴/۴۵
۱۸	اراضی حسن باری	p18	۲۵۷۵۸۶	۱۳۷۳/۳۶	۱۳۷۰/۲۵
۱۹	اراضی خلیل‌آباد	p19	۲۸۱۲۰۱	۱۳۹۱/۸۸	۱۳۴۵/۶۰
۲۰	کلخوران شیخ	p20	۲۶۳۵۲۱	۱۳۲۹/۸۶	۱۳۲۲/۹۸
۲۱	کنازق	p21	۲۷۷۴۳۰	۱۳۲۲/۰۷	۱۳۱۷/۴۷
۲۲	یاجلو	p22	۲۶۷۶۰۶	۱۳۶۸/۵	۱۳۶۲/۱۶
۲۳	اراضی آرالوی بزرگ	p23	۲۶۷۶۰۶	۱۳۸۹/۵۳	۱۳۶۰/۷۲
۲۴	دروازه آستارا	p24	۲۶۵۰۱۹	۱۳۳۸/۳۲	۱۳۳۰/۸۶

۳-۲- بررسی آمار بارش طولانی‌مدت

با رسم میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله بارش، روند بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بررسی گردید.

۴-۲- پهنه‌بندی مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی

به این منظور ابتدا مختصات مربوط به هر چاه به صورت UTM در قالب جدول وارد نرم‌افزار ArcGIS شد. پس از تهیه‌ی رقوم‌ی شده مربوط به چاه‌های پیزومتری با استفاده از روش زمین‌آماري کریجینگ، اقدام به پهنه‌بندی

داده‌ها شد. به این ترتیب تغییرات مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی در منطقه ترسیم گردید.

۲-۵- کریجینگ

روش کریجینگ معمولی از مهم‌ترین و مرسوم‌ترین روش‌های تخمین زمین‌آماری می‌باشد. این روش متکی بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار و بهترین تخمین‌گر خطی نااریب می‌باشد که علاوه بر مقادیر تخمین، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌کند (گوارتز^۱، ۱۹۹۷: ۴۸۳). در روش کریجینگ معمولی مقدار متغیر در هر نقطه نمونه‌برداری نشده با استفاده از یک متوسط‌گیری متحرک وزنی خطی و بر اساس رابطه‌ی ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده در همسایگی نقطه مورد نظر تخمین زده می‌شود.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

۲-۶- اعتبارسنجی متقابل

برای ارزیابی دقت مدل مورد استفاده در درون‌یابی، از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. معیارهای ارزیابی شامل میانگین مطلق خطا (MAE)^۲، میانگین خطای انحراف (MBE)^۳ و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)^۴ می‌باشند. معیارهای مذکور به ترتیب با استفاده از روابط (۲) تا (۴) محاسبه گردید.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z * (x_i) - Z(x_i)] \quad (2)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z * (x_i) - Z(x_i)) \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z * (x_i) - Z(x_i))^2} \quad (4)$$

۲-۷- تصحیح هندسی و رادیومتریکی

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در ایستگاه گیرنده تصحیح‌شده و زمین مرجع می‌باشند (بنی و عبدالقادر^۵، ۲۰۱۰: ۱). در تصاویر بسیاری از خطاهای دستگاهی و زمین مرجع کردن قبل از فروش تصویر مورد توجه و برطرف می‌گردد، لذا در این بررسی به اصلاح خطاهای دستگاهی نیاز نبوده، اما با وجود این که تصاویر زمین مرجع شده بود (UTM/WGS84)، ولی با در نظر لایه‌های اطلاعاتی نظیر نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر تصحیح شده موجود، مورد کنترل قرار گرفت.

1- Goovaerts
2- Mean Absolute Error
3- Mean Bias Error

4- Root Mean Square Error
5- Abdul-Qadir & Benni

۲-۸- آشکارسازی تغییرات دشت

برای آشکارسازی تغییرات و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، پس از تعیین طبقه‌های کاربری اراضی اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی گردید. در این پژوهش نمونه‌های آموزشی با استفاده از Google Earth و با توجه به شناخت مفسر از منطقه صورت گرفت. مشخصات نمونه‌های تعلیمی انتخاب شده در (جدول ۲) ارائه شده است.

جدول (۲): تعداد نمونه‌های آموزشی برای هر طبقه کاربری اراضی

Table (2): Number of educational samples for each land use category

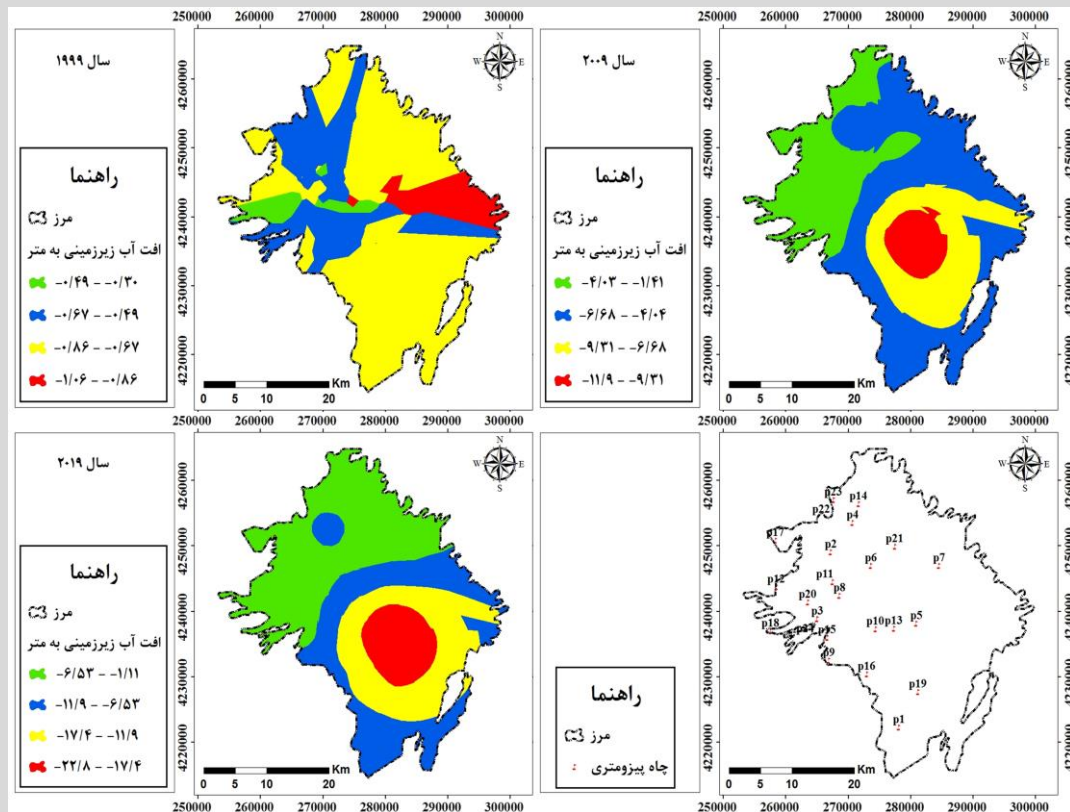
کشت دیم	کشت آبی	مرتع	مسکونی و جاده	پهنه آب
۴۰	۴۰	۲۰	۲۰	۵

۲-۹- نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این پژوهش از نرم‌افزار Excel 2013 برای بررسی روند بارش و میانگین متحرک استفاده شد. به‌منظور بررسی ساختار فضایی داده‌های سطح آب زیرزمینی، نرم‌افزار GS+5 به‌کار گرفته شد. نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به‌منظور پهنه‌بندی داده‌های سطح آب زیرزمینی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تعیین مؤثرترین عوامل در ایجاد تغییرات سطح سفره و افت آن استفاده شد. همچنین از نرم‌افزار SPSS22 برای محاسبات آماری مربوط به بررسی رابطه بین عوامل هیدروژئولوژیکی با تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی استفاده گردید.

۳- یافته‌ها و بحث

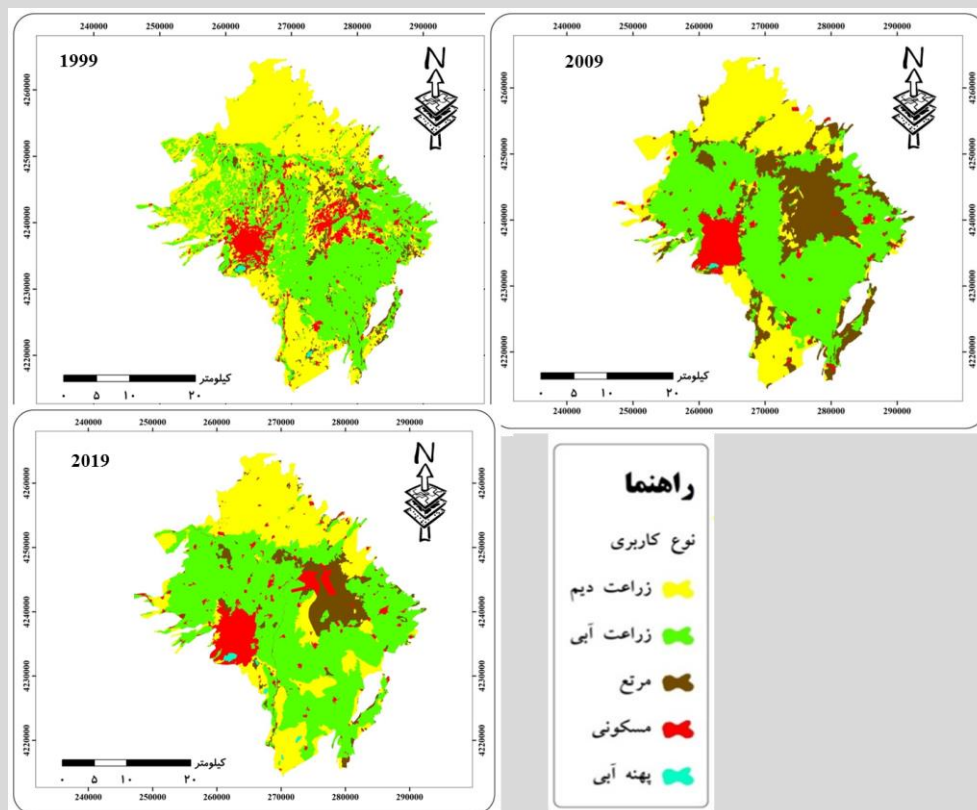
پس از برآزش واریوگرام و تعیین مناسب‌ترین مدل برای سال‌های مختلف، پهنه‌بندی افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی انجام شده و برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در (شکل ۲) به همراه پراکنش پیژومترها در سطح دشت ارائه شده است.



شکل (۲): نقشه پهنه‌بندی افت سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل در سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹

Fig (2): Zoning map of groundwater level drop in Ardabil plain in 1999-2019

نتایج بررسی تغییرات سطح کاربری اراضی (شکل ۳) در طول سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ در دشت اردبیل نشان داد کاربری‌های زراعت آبی به ترتیب با ۴۸۱۵۶/۲۶، ۵۰۶۷۸/۶۶ و ۵۸۳۵۶/۶۸ هکتار بیشترین سطح و پهنه آبی به ترتیب با ۱۶۸/۷۵، ۸۸/۶۵ و ۳۸۰/۹۵ هکتار کمترین سطح را داشتند که نشان از دخالت بالای اراضی کشاورزی در افت سطح ایستابی اراضی کشاورزی در دشت اردبیل می‌باشد (جدول ۳).



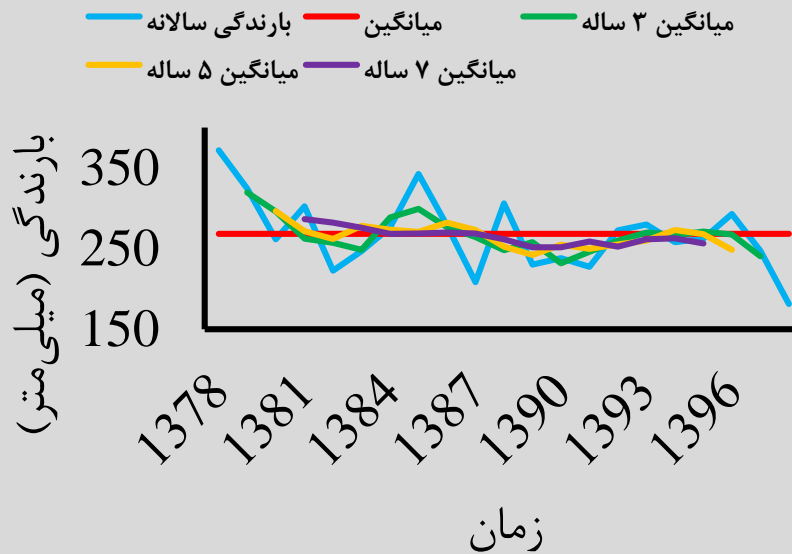
شکل (۳): نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹
Fig (2): Land use map of 1999-2019

جدول (۳): تغییرات مساحت کاربری اراضی سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹
Table (3): Land use area changes from 1999 to 2019

سال ۲۰۱۹		سال ۲۰۰۹		سال ۱۹۹۹		نوع کاربری
مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	
۲۹/۸۱	۳۲۵۱۵/۰۷	۲۷/۸۲	۳۰۳۴۳/۷۲	۴۲/۲۴	۴۶۰۷۳/۸۳	زراعت دیم
۵۳/۵۰	۵۸۳۵۶/۶۸	۴۶/۴۶	۵۰۶۷۸/۶۶	۴۴/۱۵	۴۸۱۵۶/۲۶	زراعت آبی
۸/۳۷	۹۱۳۰/۸۸	۱۹/۷۰	۲۱۴۸۴/۲۴	۷/۹۰	۸۶۱۹/۵۰	مرتع
۷/۹۶	۸۶۸۶/۲۶	۵/۹۳	۶۴۶۸/۸۶	۵/۵۵	۶۰۵۰/۶۵	مسکونی
۰/۳۵	۳۸۰/۹۵	۰/۰۸	۸۸/۶۵	۰/۱۵	۱۶۸/۷۵	پهنه آبی
۱۰۰	۱۰۹۰۶۹/۸۴	۱۰۰	۱۰۹۰۶۹/۸۴	۱۰۰	۱۰۹۰۶۹/۸۸	مجموع

نمودارهای متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله و میانگین بارش سالانه مربوط به ایستگاه‌های بررسی شده در دشت اردبیل به منظور بررسی وضعیت خشکسالی و ترسالی در طول دوره‌ی آماری مورد نظر ارائه شده است. در ایستگاه

اردبیل در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ دوره‌های ترسالی حاکم بوده و در سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۹، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ دوره‌های خشکسالی با شدت بیشتر حاکم بوده است. در این میان با توجه به میانگین‌های متحرک سایر سال‌ها دارای بارندگی متوسط می‌باشند (شکل ۴). از مشاهده‌ی میانگین متحرک در ایستگاه نیارق در می‌یابیم در طی طول آماری مورد بررسی (۲۰ ساله) در سال ۱۹۹۶ و ۲۰۱۲ دوره‌ی ترسالی شاخص حاکم بوده بین این دو دوره‌ی مقدار بارندگی نزدیک متوسط بوده و در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ دوره‌ی خشکسالی مشاهده می‌شود. در ایستگاه باران‌سنجی هیر در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۱ که سال‌های اولیه‌ی دوره مورد مطالعه هستند، خشکسالی غالب است ولی در سال‌های بعد دوره‌های خشکسالی و ترسالی به‌طور متناوب اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار ایستگاه نمین در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۴ دو دوره‌ی ترسالی برجسته بوده و بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ دوره‌ی خشکسالی بر منطقه حاکم بوده است. اما بین این دوره‌ها، سال‌های با بارندگی متوسط وجود داشته است. با توجه به نمودار ایستگاه آبی‌بیگلو، روند بارندگی در طول دوره‌ی آماری ۲۰ ساله مورد مطالعه نشان می‌دهد، در این منطقه بیشتر حالت خشکسالی حاکم بوده و به غیر از سال ۲۰۱۴ که یک دوره ترسالی کوتاه مدت حاکم بوده باقی سال‌ها، منطقه نزدیک متوسط یا خشکسالی را داشته است. با توجه به نمودار میانگین متحرک ایستگاه سامیان، در این منطقه با توجه به روند طولانی مدت بارندگی سالانه، وضعیت منطقه از لحاظ خشکسالی و ترسالی بیشتر نزدیک بارندگی متوسط بوده و فقط در سال ۲۰۱۴ یک دوره‌ی کوتاه مدت ترسالی حاکم شده است.

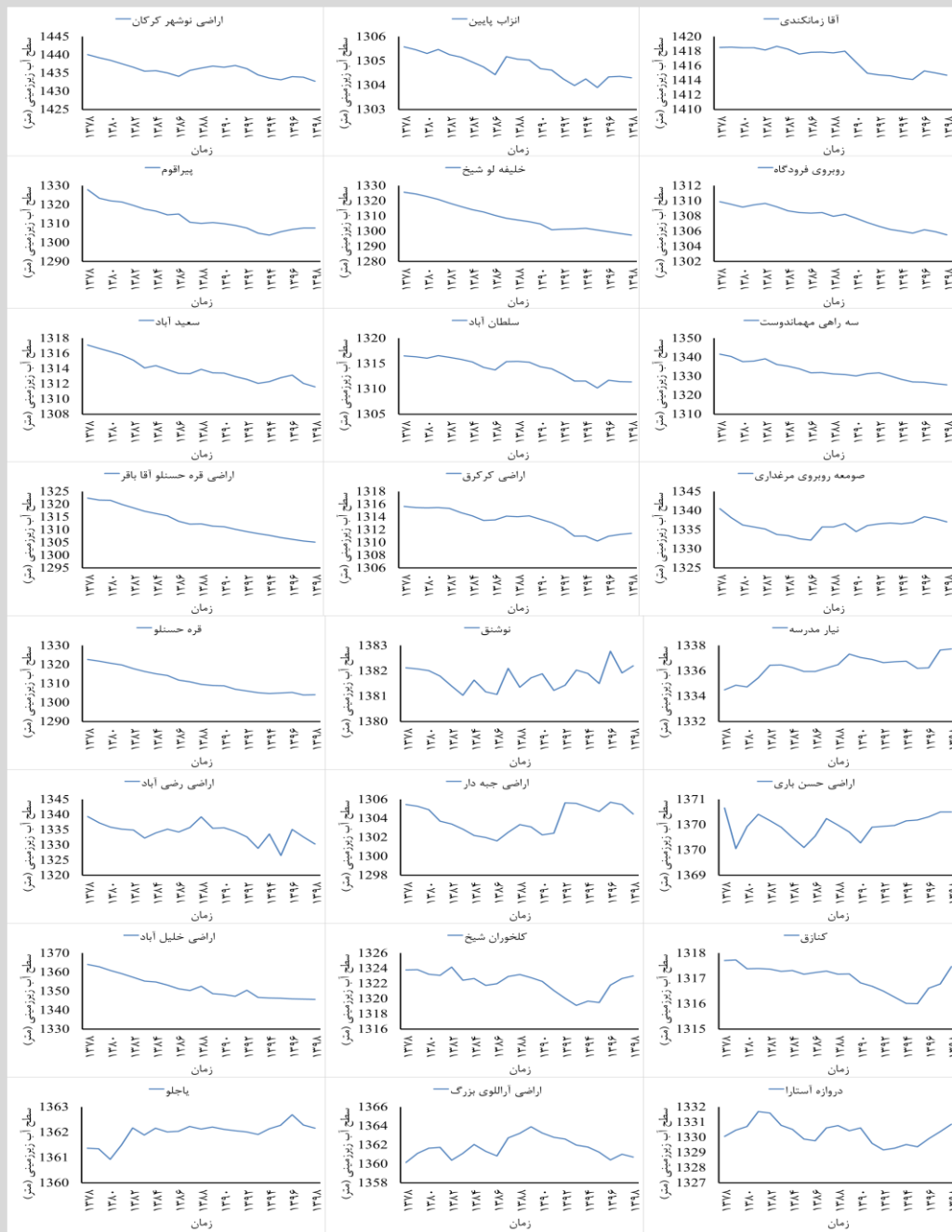


شکل (۴): نمودار میانگین متحرک ایستگاه اردبیل

Fig (4): Moving average chart of Ardabil station

۳-۱- بررسی روند پیژومترها

برای بررسی رفتار پیژومترها از داده‌های ۲۴ چاه انتخابی مورد مطالعه در دشت اردبیل برای دوره‌های زمانی ۱۹۹ تا ۲۰۰۹ و ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ استفاده شد (شکل ۵). در اکثر پیژومترها یک روند تقریباً ثابت در طی دوره‌ی آماری مشاهده می‌شود. یعنی برداشتی که در فصل گرم صورت گرفته است با تغذیه در فصل مرطوب تا حدودی جبران شده است. به جز چاه نیار مدرسه در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳ و قره‌حسنلو در سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۰ که نشان‌دهنده‌ی تغذیه‌ی کم در اطراف این منطقه و یا برداشت بیشتر صورت گرفته است. در دشت اردبیل حداکثر ارتفاع سطح ایستابی (۱۴۳۷ متر) مربوط به قسمت‌های جنوب دشت اطراف اراضی نوشهر و کرگان می‌باشد و حداقل ارتفاع سطح ایستابی نیز (۱۳۰۰ متر) مربوط به اطراف روستای خلیفه‌لو شیخ می‌باشد.



شکل (۵): روند تغییرات چاه‌های پیزومتری در محدوده مطالعاتی دشت اردبیل

Fig (5): The trend of changes in piezometric wells in the study area of Ardabil

مهم‌ترین عوامل طبیعی تغذیه‌کننده‌ی آبخوان دشت اردبیل شامل جریان‌های ورودی آب زیرزمینی، نفوذ باران سیلاب‌ها در بستر مسیل‌ها و اطراف آبراهه و رودخانه‌ها عوامل مصنوعی تغذیه‌کننده، آب برگشتی از شرب صنعت و کشاورزی می‌باشد. حجم آب ورودی سالانه به طور متوسط از کلیه‌ی مقاطع ورودی به حدود ۶۲ میلیون مترمکعب می‌رسد. حجم آب ورودی سالانه به طور متوسط از مجموع جریان‌های سطحی و مسیل‌ها و رودخانه‌ها محدوده بیلان برابر ۳۴۲ میلیون مترمکعب است که از این مقدار، ۳۴/۲ میلیون مترمکعب آن را می‌توان نفوذ آبخوان در نظر گرفت است. مقدار تغذیه ناشی از بارندگی از کل ۳۵۵/۵ میلیون مترمکعب (حجم بارش سالانه)، مقدار ۱۵ درصد معادل ۳۸/۳ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. میزان تغذیه از آب برگشتی ناشی از کشاورزی شرب و صنعت تابعی از میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری و همچنین نفوذ می‌باشد. تغذیه‌ی ناشی از نفوذ آب شهری و صنعتی از میزان کل ۲۱/۵ میلیون مترمکعب بهره‌برداری، با در نظر گرفتن ۷۰ درصد مقدار ۱۵ میلیون مترمکعب منظور شده است. ضمن اینکه باتوجه به دانه‌بندی درشت آبرفت در اغلب نقاط دشت نفوذ از مزارع زیاد بوده و از مجموع ۲۴۷/۵ میلیون مترمکعب آب مصرفی در بخش کشاورزی (۴۹/۵ میلیون مترمکعب جریان سطحی و ۲۱۹ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی) به‌طور متوسط میزان تغذیه از آب کشاورزی ۳۰ درصد و معادل ۷۴/۴ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است که با نتایج (مهندسی مشاور قدس نیرو، ۲۰۱۵) بیلان را ۳۰/۹- میلیون مترمکعب محاسبه نمودند، مطابقت دارد.

به‌طور کلی عوامل تخلیه‌کننده‌ی محدوده‌ی بیلان آبخوان اردبیل شامل خروجی طبیعی آب زیرزمینی، تخلیه توسط چاه و قنات و همچنین تخلیه ناشی از تبخیر و زهکش‌ها می‌باشد میزان تخلیه طبیعی باتوجه به مقاطع خروجی آب زیرزمینی حدود ۱۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. تخلیه آبخوان از طریق چاه‌ها و قنات در محدوده بیلان در سال برابر ۲۱۹ میلیون مترمکعب است. در بخشی از محدوده‌ی بیلان در طول رودخانه‌ی قره‌سو به‌علت بالا بودن سطح آب زیرزمینی (در عمق ۲ تا ۵ متر) از سفره آب زیرزمینی تبخیر صورت می‌گیرد که طبق محاسبات انجام شده میزان آن به ۱/۶ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. مقدار تخلیه‌ی آبخوان از طریق زهکشی توسط رودخانه (بخشی از حواشی رودخانه‌ی قره‌سو) برابر ۷/۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. جمع‌بندی عوامل تغذیه و تخلیه‌کننده‌ی سفره‌ی آب زیرزمینی اردبیل نشان می‌دهد که مقدار تغذیه‌ی سالانه معادل ۲۲۳/۹ و حجم تخلیه‌ی سالانه برابر ۲۳۹/۴ میلیون مترمکعب است که تخلیه‌ی آن ۳۰/۹ میلیون مترمکعب در سال بیش از تغذیه می‌باشد. جدول ۴ عوامل بیلان آب زیرزمینی دشت اردبیل را نشان می‌دهد.

همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد باتوجه به محاسبات انجام شده در بخش هیدروژئولوژی، سفره‌ی آب زیرزمینی دشت اردبیل دارای بیلان منفی سالانه‌ای برابر ۳۰/۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. بنابراین هرگونه

تصمیم‌گیری در جهت توسعه‌ی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی باید با در نظر گرفتن اثرات این طرح‌ها بر آبخوان منطقه صورت گیرد.

جدول (۴): عوامل محاسبات بیلان متوسط سالانه آب زیرزمینی دشت اردبیل (میلیون متر مکعب)

Table (4): Factors for calculating the annual groundwater balance of Ardabil plain (million cubic meters)

مقدار (MM ³)	عوامل
	تغذیه‌کننده
۵۱	- ورودی آب زیرزمینی
۳۹	- تغذیه از بارندگی
۴۲/۷	- تغذیه از سیلاب‌ها و جریان‌ات سطحی
۲۳	- آب برگشتی شرب و صنعت
۶۵/۸	- آب برگشتی کشاورزی
۲۲۱/۵	جمع
	تخلیه‌کننده‌ها
-۱۵	- خروجی آب زیرزمینی
-۲۳۱	- تخلیه از طریق منابع بهره‌برداری
-۱/۴	- تبخیر از سطح آب زیرزمینی
-۵	- زهکشی
-۲۵۲/۴	جمع
-۳۰/۹	بیلان نهایی

۴- نتیجه‌گیری

یکی از عوامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی، بهره‌برداری غیراصولی از چاه‌های حفر شده می‌باشد. چنانچه برداشت بی‌رویه‌ی آب به همین ترتیب ادامه یابد بدون شک در آینده بحران‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاسی در منطقه اتفاق خواهد افتاد. از جمله عواملی که باعث افت معنی‌دار تراز آب زیرزمینی در این سال‌ها برای دشت اردبیل شده علاوه بر خشکسالی، افزایش معنی‌دار درجه حرارت و نیاز آبی گیاهان همچنین برداشت بی‌رویه‌ی آب از چاه‌های عمیق، نیمه عمیق و دستی می‌باشد. مطابق با نقشه‌ی پراکنش چاه‌ها، بیشترین تراکم چاه‌ها در منطقه شرقی و مرکزی دشت بوده است، به تبع وجود این عوامل، میزان برداشت از آب زیرزمینی را به شدت بالا می‌برد که خود یکی از عوامل دخیل در وخامت اوضاع این قسمت از آبخوان دشت است که با نتایج کار رستم زاده و همکاران (۲۰۱۵) افت سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت اردبیل را بررسی کرده بودند مطابقت دارد.

بررسی داده‌های طولانی مدت بارش در ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در سطح دشت اردبیل نشان داد که در هر منطقه دوره‌های ترسالی و خشکسالی که از میانگین‌های متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله برای نشان دادن آن استفاده شد، به‌طور متناوب تکرار شده و نتایج این بخش در تلفیق با بخش تغییرات کاربری اراضی در دو دوره حاکی همبستگی مثبت بین افزایش اراضی دیم و اراضی آبی با افت سطح ایستابی است که نتایج این بخش با یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۸) و همچنین فرامرزی و همکاران (۲۰۱۴) که ارتباط بین تغییر کاربری اراضی با افت تراز آب را بررسی کردند همسو می‌باشد. اما با توجه به بررسی نفوذپذیری دشت اردبیل و بیلان آبی در این دشت، بیشترین میزان تغذیه‌ی دشت اردبیل از بخش‌های جنوبی دشت که دارای پادگانه‌های آبرفتی درشت دانه است، مسیر ورود رودخانه به دشت، خروجی فاضلاب شهر اردبیل و بخش‌هایی از دشت به‌دلیل وجود سد خاکی، کانال آبیاری اراضی روستایی نیار رخ داده است همچنین سفره آب زیرزمینی دشت اردبیل دارای بیلان منفی سالانه‌ای برابر با ۳۰/۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. بنابراین هرگونه تصمیم‌گیری در جهت توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی باید با در نظر گرفتن اثرات این طرح‌ها بر آبخوان منطقه صورت گیرد، که با مطالعات انجام شده توسط سلیمانی مقدم و قادری (۲۰۱۵) که با استفاده از مدل MODFLOW بیلان آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل را بررسی کرده بودند و همچنین نتیجه پژوهش غفاری (۲۰۱۳) که برآورد تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل را انجام دادند، هم‌خوانی دارد.

۵-منابع

- Abdul-Qadir, A.m., and Th.J Benni, (2010). Monitoring and Evaluation of Soil Salinity in Term of Spectral Response Using Landsat Images and GIS in Mesopotamian Plain/ Iraq. *Journal of Iraqi Desert Studies*, 2(2):19-32.
- Cho, J., V.A. Barone, and S. Mostaghimi, 2009. Simulation of Land Use Impacts on Groundwater Levels and Streamflow in a Virginia Watershed. *Agricultural Water Management*, 96(1), 1-11.
- Ammeish, E.S., B.M. Mabrouk, and W.S. Morsy, (2016). RS and GIS Based Approach for Detecting Landuse Changes and its Impact on the Groundwater Aquifer. *Life Science Journal*, 13(4): 62-74.
- Ardabil Regional Water Company, 2008. Comprehensive study plan and implementation of balancing and artificial nutrition of Ardabil plain, *groundwater studies report*.
- Cho, J., V.A. Barone, and S. Mostaghimi, 2009. Simulation of Land Use Impacts on Groundwater Levels and Streamflow in a Virginia Watershed. *Agricultural Water Management*, 96(1), 1-11.
- Faramarzi, M., S. Yaqubi, and K. Karimi, (2014). The effect of land use change on groundwater level drop (Case study: Dehloran plain, Ilam province). *Journal of Water Management in Arid Areas*, 1 (2): 64-55.
- Ghaffari, H., 2013. *Estimation of groundwater recharge using CRD and WTF model in Ardabil plain*, Master Thesis, Watershed Management, Mohaghegh Ardabili University.
- Goovaerts, P., (1997). *Geostatistics for Natura Resources Evaluation*, NewYork: *Oxford University Press*, 483 p.
- Gundogdu, K.S., and I. Guney, (2007). Spatial Analyses of Groundwater Levels Using Universal Kriging. *J Earth Syst Sci*, 116(1):49-55.
- Jafarzadeh, J., Rostamzadeh, H., Nikjoo, M., Asadi, A. (2017). Evaluation of water resources potential of Ardabil plain using fuzzy network analysis process (FANP) in GIS environment. *Geography and Planning*, 21 (61), 168-146.
- Lamichhane, S., & Shakya, N. M. (2019). Alteration of groundwater recharge areas due to land use/cover change in Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 26, 100635.
- Mostafa Zadeh, R., Mehri, S. (2017). Determining the status and changes of seasonal precipitation index in the central part of Ardabil province. *Watershed Management Research (Research and Construction)*, 31 (120), 39-28.
- Naderi, M., Ildoromi, A., Nouri, H., Aghabeigi Amin, S., & Zeinivand, H. (2018). The Impact of Land Use and Climate Change on Watershed Runoff Model SWAT (Case Study: Watershed Garin). *Journal of Hydrogeomorphology*, 4(14), 23-42.

- Nian, Y., X. Li, J. Zhou, and X. Hu, (2014). Impact of land use change on water resource allocation in the middle reaches of the Heihe River Basin in northwestern China. *Journal of Arid Land*, 6(3): 273-286.
- Rawat, J. S., and M. Kumar, (2015). Monitoring land uses/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1). 77-84.
- Rostamzadeh, H., A. Asadi, and c. Jafarzadeh, (2015). Investigation of groundwater level in Ardabil plain. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*. 2 (1): 42-31.
- Safarian Zangir, W., Sobhani, B., Ramezani, F. (2018). Investigation of temporal changes in rainfall in Ardabil plain using statistical analysis with emphasis on Man Kendall method. *Sustainability, Development and the Environment*, 5 (2), 127-112.
- Shabani, M., (2009). Determining the most appropriate geostatistical method in preparing a map of pH and TDS changes in groundwater (Arsanjan plain), *Quarterly Journal of Water Resources Engineering*. 2 (3): 58-47.
- Shahidi, A. And F. Khadempour, (2020). Investigation of groundwater quality status of plains and forests of Khorasan Razavi province and its zoning with geographic information system (GIS). *Journal of Hydrogeomorphology*. (22) 6: 20-1.
- Sharifi, L., A.A. Rasooli, M.A. Hajjari, et al. Rostamzadeh, (2013). Detection of land use change / land cover by object-oriented processing of satellite images (Case study: Tabriz city), *Journal of Geography and Planning*, (44) 17: 214-203.
- Soleimani Moghadam, A. And S.J. Ghaderi, (2015). Investigation of water balance in Achievements Ardabil plain using Modflow model. International Conference on New in Civil Engineering, Architecture, Environment and Urban Management.