مجله‌ی بررسی‌های آمار رسمی ایران
سال ۲۹، شماره‌ی ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷، صص ۲۱ –۳۷

مقایسه‌ی سه روش رگرسیونی در بازسازی داده‌های تراز آب زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی)

جواد بهنامیان* و مرضیه ذاکر

دانشگاه بوعلی سینا

چکیده: پایه و اساس مطالعات هیدرولوژی، داده‌های آماری مورد قبول بوده و این در حالی است که خلاهای پیوسته و گسسته در اغلب داده‌های هیدرولوژی مانند داده‌های تراز آب زیرزمینی که یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند، به دلیل عدم اندازه‌گیری و ثبت آمار، حذف آمار غلط، خرابی و ... اتفاق می‌افتد و در نتیجه براورد این داده‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش روش‌های بر پایه‌ی رگرسیون جهت بازسازی داده‌های گمشده‌ی مرتبط با تراز آب زیرزمینی ایستگاه‌های پیزومتری حوضه‌ی استان لرستان مورد استفاده قرار گرفته است. به این منظور پس از حذف عمدی حدود ۱۵ درصد داده‌های مشاهده‌ای ماهانه‌ی چهار سال متوالی از ۲۲ ایستگاه پیزومتری در محدوده‌ی الشتر، مقادیر آن‌ها براورد شده و با استفاده از شاخص ریشه‌ی مجذور میانگین مربعات خطا و درصد مدول میانگین انحراف نسبی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت نیز نتایج به‌دست آمده برتری رگرسیون ساده در مقایسه با سایر روش‌ها را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: بازسازی داده‌ها؛ رگرسیون خطی ساده؛ رگرسیون خطی فازی؛ رگرسیون خطی چند متغیره؛ تراز آب زیرزمینی.

۱- مقدمه

منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه‌ی پایدار فعالیت‌های

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۴، پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۸.

اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش به‌سزایی داشته باشد. عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع خسارت جبران ناپذیری مانند افت شدید و غیرقابل برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنوات تغییرات الگوی جریان آب زیرزمینی مانند پیشروی جبهه‌های آب شور و تداخل آب‌های شور و شیرین به دنبال خواهد داشت [۱۳]. در دو دهه‌ی اخیر، با توجه به رشد جمعیت، تقاضای روزافزونی برای استحصال آب در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت به‌وجود آمده است. از این‌رو ارایه‌ی مدل برای پیش‌بینی و بازسازی مناسب داده‌های این پدیده‌ی هیدرولوژیکی برای برنامه‌ریزی توسعه در هر سه بخش بسیار حائز اهمیت است. ولی بیش‌تر تحقیقات انجام‌شده در زمینه‌ی ساخت و ارایه‌ی مدل برای پیش‌بینی سطح آب‌های زیرزمینی بوده‌اند و مطالعاتی در زمینه‌ی بازسازی داده‌های گمشده[1] برای سطح آب‌های زیرزمینی به چشم نمی‌خورد.

مدل‌های آب زیرزمینی در واقع عبارات و یا الگوریتم‌های ریاضی برای بیان جریان آب و انتقال محلول‌های موجود در آبخوان‌های تحت‌الارضی هستند. تاکنون مدل‌های مختلفی در پیش‌بینی آب‌های زیرزمینی ارایه شده‌اند، که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. گتاردی و ونوتلی [۱۲] معادله‌ی حاکم بر جریان آب زیرزمینی را با روش اجزای محدود تخمین زده و یک مدل معین برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی ارایه نمودند. کولیبالی و همکاران [۱۰] عملکرد سه نوع مدل‌های مختلف شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب‌زیرزمینی با استفاده از داده‌های هواشناسی مانند سطح آب زیرزمینی در گذشته، بارش، سطح رودخانه و درجه‌ی حرارت ارزیابی کردند. کوپولا و همکاران [۸] و کوپولا و همکاران [۹] شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده برای ساخت یک مدل پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی تحت پمپاژ متغیر و شرایط آب و هوایی را بررسی کردند.

روش‌های کلاسیک سری‌های زمانی نیز کم و بیش در مدل‌سازی فرایندهای هیدرولیکی خصوصاً پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی مورد استفاده واقع شده‌اند. به‌عنوان مثال رگانتات و همکاران [۱۴] با استفاده از روش میانگین متحرک سعی در مدل‌سازی رفتار منابع آب نموده‌اند. گیل و همکاران [۱۱] عملکرد شبکه‌ی عصبی و ماشین بردار پشتیبانی را برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی تحت شرایط داده‌های ناقص که فرض شده بود به‌طور تصادفی از دست رفته‌اند، مقایسه کردند. یون و همکاران [۱۶] دو مدل سری زمانی غیر

خطی برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی[۲] و ماشین بردار پشتیبانی[۳] را توسعه دادند.

در پژوهش [۴] به‌منظور ارایه‌ی مدل آماری از وضع آینده، از داده‌های ماهانه‌ی سطح مطلق آب زیرزمینی دشت رفسنجان از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ استفاده شده است. سپس با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های غیر رگرسیونی مقدار سطح آب زیرزمینی در انتهای سال ۱۳۹۳ براورد شده و در نهایت نتایج حاصل از روش‌های مختلف مقایسه شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که مدل رگرسیونی دارای کم‌ترین خطا در بین روش‌های مختلف بوده و لذا برای براورد دوره‌های آینده مناسب هستند. در مطالعه‌ی [۵] که در دشت ساری – نکا انجام شده است، از روش رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی نوسانات آب زیرزمینی استفاده شده است. در این مطالعه مدل‌سازی با استفاده از روش حداقل مربعات انجام گرفته است. در تحقیق [۳] از اطلاعات ماهانه‌ی ۱۸ چاه مشاهده‌ای در دشت شهرکرد طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی با مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره، شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه و دو مدل رگرسیونی ماشین بردار پشتیبان و خطی استفاده شده است. با توجه به معیارهای خطای ضریب راندمان و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه در ۵۶ درصد و مدل رگرسیونی ماشین بردار پشتیبان نیز در ۴۴ درصد موارد عملکرد بهتری نسبت به نتایج کل سایر مدل‌ها داشته‌اند. در پژوهش [۱] برای پیش‌بینی رفتار سطح آب زیرزمینی در دشت نیشابور از مدل داده‌های ترکیبی استفاده شده است. این مدل‌ها، مدل‌های رگرسیونی هستند که به دلیل در نظر گرفتن چندین پیزومتر در طول یک دوره‌ی زمانی، دارای توانایی پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی را در پیزومترهای مختلف به صورت توأم هست. دشت نیشابور به دلیل داشتن بیش از ۵۰ پیزومتر که اکثراً دارای بیش از ۱۲ سال آمار هستند، برای این پژوهش انتخاب شده است. به این منظور ابتدا پیزومترهای موجود در سطح دشت به روش «وارد» خوشه‌بندی شده و برای هر خوشه یک پیزومتر به‌عنوان نماینده انتخاب شد. سپس، برای محدوده‌ی تحت پوشش پیزومترهای معرف هر خوشه، مقادیر متغیرهای مستقل محاسبه و در نهایت عملکرد مدل‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

جهت بازسازی داده، روش‌های متعددی وجود دارد که به‌دلیل وجود عدم قطعیت در پارامترهای موجود در برنامه و در جهت واقعی شدن پیش‌بینی‌ها همواره استفاده از

برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت به‌خصوص منطق فازی همواره مورد اقبال پژوهشگران عرصه‌ی مطالعات هیدرولوژی داده‌های آماری بوده است ([۲]، [۷] و [۶])، که در آن‌ها برای برقراری ارتباط بین اجزای کمی و کیفی به‌خصوص در مواجهه با مشکلات زیست‌محیطی که وابستگی درونی پیچیده‌ای بین پارامترهای آن برقرار است از مفهوم توابع عضویت به جای منطق عددی استفاده شده است. در این تحقیق سه نوع روش رگرسیون برای بازسازی داده‌های سطح آب زیرزمینی ایستگاه‌های پیزومتری محدوده‌ی الشتر استان لرستان مورد مقایسه قرار گرفته است.

مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، منطقه‌ی مورد مطالعه معرفی شده و نحوه‌ی جمع‌اوری داده‌ها و روش‌های مورد مطالعه‌ی بازسازی داده‌ها توضیح داده شده است. بخش سوم، به معرفی روش‌های ارزیابی و تجزیه و تحلیل اختصاص یافته و نهایتاً در بخش چهارم، نتیجه‌گیری و تحقیقات آینده آمده است.

۲- روش‌شناسی

استان لرستان سرزمینی کوهستانی در غرب ایران و در حد فاصل مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته است. محدوده‌ی الشتر که موضوع این پژوهش است در محدوده‌ی طول جغرافیایی از ۴۸ درجه تا ۴۸٫۳ درجه و عرض جغرافیایی ۳۳٫۵ درجه تا ۳۴ درجه و در شمال استان واقع شده است (شکل ۱).

شکل ۱- موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه

۲-۱- جمع‌اوری داده‌ها

در ابتدا داده‌های تراز آب زیرزمینی ماهانه‌ی ایستگاه‌های پیزومتری محدوده‌ی الشتر استان لرستان از مراجع ذی‌صلاح (دفتر پژوهش‌های مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو) از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۸۷ جمع‌اوری گردید. داده‌های جمع‌اوری شده فاقد هر گونه بازسازی یا دخل و تصرف کارشناسی بوده و به همین دلیل دارای نواقص آماری زیادی است. بنا بر این در ابتدا بیش‌ترین ایستگاه‌های پیزومتری در محدوده‌ی الشتر که دارای طولانی‌ترین دوره‌ی مشترک فاقد خلأ آماری هستند تعیین شدند که شامل ۲۲ ایستگاه پیزومتری با داده‌های ماهانه در چهار سال متوالی است.

۲-۲- روش‌های مورد مطالعه

در این تحقیق از سه نوع روش رگرسیون برای بازسازی داده‌ها استفاده شده که در زیر تشریح شده است: در حقیقت تحلیل رگرسیونی فن و تکنیکی آماری برای بررسی و مدل‌سازی ارتباط بین متغیرها است. رگرسیون تقریباً در هر زمینه‌ای از جمله مهندسی، فیزیک، اقتصاد، مدیریت، علوم زیستی، بیولوژی و علوم اجتماعی برای براورد و پیش‌بینی مورد نیاز است. می‌توان گفت تحلیل رگرسیونی، پر کاربردترین روش در بین تکنیک‌های آماری است.

از رگرسیون در همبستگی استفاده می‌شود به این ترتیب که ما در رگرسیون یک رابطه‌ی ریاضی را مشخص کرده به‌طوری که با آن به‌توان کمیت متغیری مجهول را با استفاده از متغیرهای معلوم تعیین کرد و سپس در همبستگی به دنبال تعیین نوع رابطه و میزان ارتباطی هستیم که متغیرها را به هم ربط می‌دهد. یکی از پر کاربردترین روش‌های آماری در علوم مختلف، اجرای انواع روش‌های رگرسیون برای تعیین رابطه‌ی بین یک متغیر وابسته با یک یا چند متغیر مستقل است.

۲-۲-۱- رگرسیون ساده و چند متغیره

رگرسیون یکی از پر کاربردترین روش‌های آماری در علوم مختلف بوده که برای تعیین رابطه‌ی بین یک متغیر وابسته با یک یا چند متغیر مستقل است. اجرای یک مدل رگرسیونی با تعریف مدل رگرسیون امکان‌پذیر است.

مدل رگرسیون ساده با متغیر وابسته Y و $k-1$ متغیر مستقل $X_2, \dots, X_k$ به صورت $Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \cdots + \beta_k X_{ki}$ تعریف می‌شود. با این تعریف می‌توان گفت تحلیل رگرسیون، روشی است جهت مطالعه‌ی روابط بین متغیرها به ویژه برای فهم نحوه‌ی وابستگی یک متغیر با سایر متغیرهای دیگر و در نتیجه می‌توان گفت این تحلیل روشی است برای کمی نمودن ارتباط بین یک متغیر ملاک (متغیر وابسته) و یک یا چند متغیر پیش‌بینی کننده (متغیر مستقل). تکنیک‌های زیادی برای انجام تحلیل رگرسیون توسعه داده شده است که در همه‌ی آن‌ها هدف اصلی تخمین پارامترهای مدل رگرسیونی است به گونه‌ای که مقدار خطای حاصل از برازش کمینه شود. یکی از روش‌های آشنا حداقل مربعات است که در آن تابع رگرسیون تحت تعدادی پارامترهای ناشناخته از داده‌ها تخمین زده می‌شود.

به منظور نزدیک‌تر شدن به دنیای واقعی، نیاز به تعمیم و گسترش مدل رگرسیون دو متغیره ساده وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت که دو نوع رگرسیون وجود دارد، ساده و چند متغیره (مرکب)، که در رگرسیون ساده (دو متغیره) تنها یک متغیر توضیحی وجود داشته حال آن‌که در رگرسیون مرکب چند متغیر توضیحی در آن وجود دارد. ما در این مطالعه از هر دو این روش‌ها استفاده نموده‌ایم. با توجه به وجود کتاب‌ها و مقالات متعدد در مورد این روش‌ها و مشابهت مفهومی که این روش با نوع فازی آن دارد از بیان جزییات خوددای کرده و در بخش بعد با جزییات کامل در مورد روش رگرسیون خطی فازی بحث نموده‌ایم.

۲-۲-۲- روش رگرسیون خطی فازی

رگرسیون فازی به عنوان یک ابزار انعطاف‌پذیر که قابلیت استفاده در بسیاری از سامانه‌ها را دارد، جهت ارایه و توسعه‌ی یک روش جدید برای تخمین و بازسازی داده‌ها به‌کار گرفته شده است. در رگرسیون خطی کلاسیک به ازای هر سری از متغیرهای ورودی، یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می‌شود، درحالی که رگرسیون فازی بازه‌ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می‌زند. توزیع این مقادیر به صورت تابع عضویت مشخص می‌شود. به‌طور کلی برای برازش یک معادله‌ی رگرسیون خطی فازی سه دسته مدل وجود دارد:

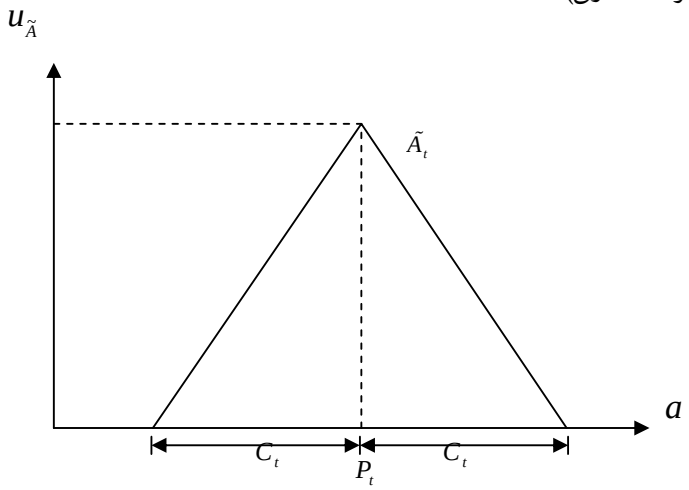
۱. مدل‌های رگرسیون امکانی فازی،
۲. مدل‌های رگرسیون کم‌ترین مربعات،
۳. مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای.

مدل‌های رگرسیون امکانی فازی اولین بار توسط تاناکا و همکاران [۱۵] ارایه شد. این مدل‌ها بهترین معادله‌ی رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به دست می‌دهند. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله‌ی رگرسیون انجام می‌شود. یکی از مدل‌های رگرسیون فازی امکانی مدلی است که در آن ضرائب فازی، و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیرفازی است [۱۵]. در این تحقیق از این مدل استفاده شده است و با معادله‌ی زیر بیان می‌شود:

$$\tilde{y} = \tilde{A}_{\circ} + \tilde{A}_{1} z_{1} + \cdots + \tilde{A}_{T} z_{T} \cdot \qquad (1)$$

در معادله‌ی (۱) $\tilde{A}_t$ها ضرایب معادله و اعداد فازی، z_tها متغیرهای ورودی مشاهده‌ای و اعداد قطعی هستند و $\tilde{y}$ متغیر خروجی محاسبه‌ای و اندیس t شمارنده‌ی متغیرهای مستقل در پیش‌بینی است.

فرض کنید عدد فازی به صورت مثلثی متقارن به شکل (۲) باشد، (C_t: پهنای عدد و P_t : مرکز عدد فازی)



شکل ۲- تابع عضویت ضرایب فازی

در این صورت تابع عضویت را می‌توان به صورت رابطه‌ی (۶) نوشت:

$$u_{\tilde{A}}(a_t) = max\left\{۱ - \frac{|p_t - a_t|}{c_t}\right\}, ۰ \qquad t = ۱, \dots, T \tag{۲}$$

$$p_t - c_t \le a_t \le p_t + c_t$$

عدد فازی $\tilde{A}$ در شکل ۲ برای نشان دادن مقدار «تقریباً برابر p_t» و c_t نشانگر میزان فازی بودن آن است که این مفهوم را می‌توان به شکل $\tilde{A}_t = (p_t, c_t)$ نمایش داد بنا بر این رابطه‌ی رگرسیون فازی به صورت معادله‌ی (۳) می‌باشد:

$$\tilde{y} = \left(p_۰, c_۰\right) + \left(p_۱, c_۱\right) z_۱ + \cdots + (p_T, c_T) z_T. \tag{۳}$$

تابع عضویت متغیر فازی خروجی $\tilde{y}$ به صورت رابطه‌ی زیر ارایه می‌شود:

$$u_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} \max(min\left[\mu_{\tilde{A}_h}(a_h)\right]) & a|y = f(z,a) \neq \emptyset \\ ۰ \end{cases} \tag{۴}$$

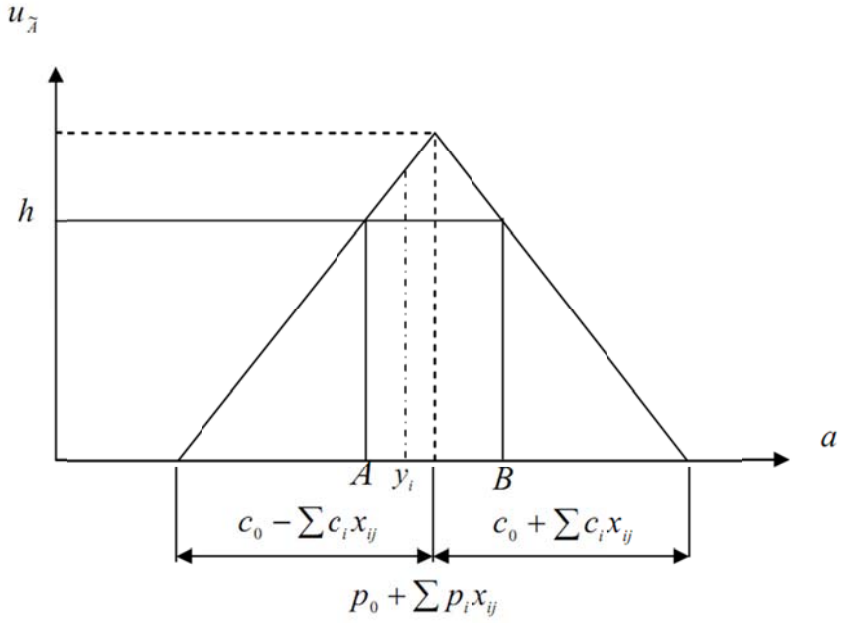
$$u_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} ۱ - \frac{y - p_۰ - \sum_{t=۱}^{T} p_t z_t}{c_۰ + \sum_{t=۱}^{T} c_t |x_t|} & z_t \neq ۰ \\ ۱ & z_t = ۰, y = ۰ \\ ۰ & z_t = ۰, y \neq ۰ \end{cases} \tag{۵}$$

برای حل مسأله‌ی رگرسیون خطی فازی، الگوریتم‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها تبدیل مسأله رگرسیون خطی فازی به یک مسأله‌ی برنامه‌ریزی خطی است. در این حالت که داده‌ها، غیرفازی هستند، هدف مدل رگرسیون، تعیین مقادیر بهینه‌ی $\tilde{A}$ است به‌گونه‌ای که درجه‌ی عضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معین مانند h که توسط کاربر تعیین می‌شود، بزرگ‌تر باشد.

فرض کنید m سطر داده مشاهده‌ای وجود دارد و در هر سطر n متغیر ورودی (x_{ij}) و یک متغیر خروجی است، برای m سطر داده $\left(i = ۱, \dots, m\right)$، باید نامساوی زیر صادق باشد:

$$u_{\tilde{y}j}(y_i) \ge h \tag{۶}$$

با افزایش مقدار h میزان فازی بودن خروجی‌ها نیز افزایش می‌یابد. رابطه‌ی ۵ بیان می‌کند که خروجی فازی باید بین دو مقدار A و B که در شکل ۳ مشخص شده‌اند، قرار بگیرد.



شکل ۳- تابع عضویت خروجی

در روش رگرسیون فازی امکانی ضرائب به گونه‌ای تعیین می‌شود که پهنای خروجی فازی برای تمام مجموعه‌های داده‌ها حداقل شود. بنا بر این با توجه به مطالب مذکور تابع هدف و قیدهای مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به صورت زیر ارایه نمود.

$$Minimize : mc_{\circ} + \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_i \left| x_{ij} \right| \quad (۷)$$

$$Subject\ to$$

$$p_{\circ} + \sum p_i x_{ij} - \left(1 - h\right)\left[c_{\circ} + \sum c_i\, x_{ij}\right] \le y_i - \left(1 - h\right) e_i \quad (۸)$$

$$p_{\circ} + \sum p_i x_{ij} + \left(1 - h\right)\left[c_{\circ} + \sum c_i\, x_{ij}\right] \ge y_i + \left(1 - h\right) e_i \quad (۹)$$

در این مدل e_i نشان‌دهنده‌ی میزان فازی بودن متغیر وابسته (y) است و از آن‌جایی که در روش مورد نظر فقط ضرایب فازی است، مقدار آن صفر در نظر گرفته شده است.
بنا بر این برای حل یک مسئله‌ی رگرسیون خطی با ضرائب فازی و داده‌های غیرفازی، کافی است یک مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس روابط بالا حل شود. این روابط برای هر کدام از زوج داده‌های مشاهده‌ای به‌طور جداگانه نوشته می‌شود، به این ترتیب بر اساس روابط مذکور تعداد $2m$ معادله تشکیل می‌شود که این مدل برنامه‌ریزی خطی توسط نرم‌افزار Matlab نوشته و محاسبه شده است.

۲-۲-۳- ارزیابی مدل

ارزیابی این سه روش بازسازی، توسط دو آماره‌ی ریشه میانگین مربعات خطا[۴] (RMSE) و درصد مدول میانگین انحراف نسبی $(P\%)$ صورت گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}(X_i - Y_i)^2/N} \qquad (10)$$

$$P\% = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{X_i - Y_i}{X_i} \qquad (11)$$

X: مقادیر مشاهده‌ای، Y : مقادیر محاسبه شده و N: تعداد داده‌ها.

۳- بحث و تحلیل داده‌ها

دو جدول زیر مقادیر محاسبه‌شده‌ی دو آماره‌ی ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و درصد مدول میانگین انحراف نسبی $(P\%)$ را نشان می‌دهند. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از محاسبه‌ی $RMSE$ می‌توان اولویت هر یک از سه روش بازسازی را در ایستگاه‌های مختلف بازسازی مشخص کرد. به این منظور هر روشی که دارای مقدار $RMSE$ کم‌تری باشد به عنوان روش برتر جهت بازسازی هر ایستگاه معرفی می‌شود.
بر اساس نتایج جدول ۱ می‌توان بهترین روش بازسازی را در هر یک از ایستگاه‌ها به‌دست آورد. هر گاه مقادیر $RMSE$ در دو روش بازسازی اعمال شده در یک ایستگاه برابر شود با کمک مقادیر $P\%$ جدول ۲ روش برتر تشخیص داده شده است.

جدول ۱- مقادیر ریشه‌ی مجذور مربعات خطا در روش‌های مختلف بازسازی آمار ایستگاه‌های پیزومتری تراز آب - زیرزمینی

ایستگاه	۱۳۸۲			۱۳۸۳			۱۳۸۴			۱۳۸۵		
پیزومتری	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR
عادل‌آباد	۴۹/۰	۴۵/۰	۰۵۴/۰	۵۸/۰	۸۷/۰	۸۴/۰	۲۴/۰	۲۴/۰	۴۶/۰	۵۱/۰	۵۱/۰	۴۷/۰
کبودبان	۱۰/۰	۱۵/۰	۰۲۷/۰	۱۳/۰	۳۹/۰	۴۵/۰	۱۵/۰	۲۰/۰	۲۵/۰	۲۲/۰	۱۸/۰	۱۵/۰
مؤمن‌آباد	۰۵/۰	۲۹/۰	۳۱/۰	۱۱/۰	۲۹/۰	۱۰/۰	۱۳/۰	۱۹/۰	۲۱/۰	۲۷/۰	۰۲۶/۰	۲۳/۰
میان والان	۰۶/۰	۲۴/۰	۰۸/۰	۳۹/۰	۰۳/۱	۷۳/۱	۲۴/۰	۴۰/۰	۱۵/۰	۲۴/۰	۳۸/۰	۵۵/۰
کلاکچ	۱۶/۰	۰۹/۰	۰۳/۰	۷۸/۰	۷۸/۰	۲۱/۰	۱۵/۰	۰۴/۰	۳۳/۰	۲۵/۰	۲۱/۰	۲۵/۰
موسی‌آباد	۰۶/۰	۲۷/۰	۰۷/۰	۰۲۴/۰	۲۲/۰	۳۲/۰	۴۰/۰	۳۹/۰	۶۲/۰	۲۰/۰	۸۱/۰	۴۳/۰
رحمت‌آباد	۰۵/۰	۲۵/۰	۳۰/۰	۰۱/۰	۳۳/۰	۲۴/۰	۳۵/۰	۴۰/۰	۳۹/۰	۷۲/۰	۷۹/۰	۷۱/۰
دهرحم	۰۹/۰	۱۰/۰	۰۴/۰	۱۴/۰	۱۴/۰	۱۵/۰	۲۷/۰	۱۲/۰	۳۲/۰	۲۹/۰	۲۷/۰	۴۰/۰
چناره	۱۳/۰	۱۸/۰	۱۱/۰	۱۰/۰	۱۰/۰	۱۳/۰	۱۹/۰	۲۲/۰	۱۹/۰	۲۴/۰	۱۰/۰	۲۴/۰
بتکی	۶۵/۰	۸۰/۱	۷۳/۰	۴۸/۱	۳۶/۴	۶۷/۳	۴۶/۰	۴۴/۰	۲۲/۰	۰۲/۰	۴۸/۰	۴۹/۰
ده‌آقا	۲۰/۰	۱۳/۰	۱۳/۰	۳۶/۰	۳۶/۰	۲۲/۰	۲۰/۰	۲۲/۰	۲۲/۰	۰۵/۰	۱۹/۰	۳۴/۰
جهان‌آباد	۲۳/۰	۵۳/۰	۵۵/۰	۰۲/۱	۵۹/۱	۰۰/۱	۴۴/۰	۵۳/۰	۴۲/۰	۴۰/۰	۴۴/۰	۳۸/۰
علم‌آباد	۰۵/۰	۱۲/۰	۱۸/۰	۰۲/۰	۳۶/۰	۱۷/۰	۱۸/۰	۰۹/۰	۱۲/۰	۲۴/۰	۲۲/۰	۵۶/۰
ططرآباد	۸۷/۱	۳۹/۴	۴۲/۲	۳۷/۰	۵۹/۰	۸۴/۰	۰۸/۱	۲۹/۱	۱۱/۱	۳۴/۱	۸۶/۳	۶۸/۳
نیازآباد	۹۶/۰	۱۴/۱	۴۹/۱	۱۳/۰	۴۱/۰	۴۶/۰	۳۷/۰	۴۲/۰	۳۹/۰	۹۶/۰	۵۱/۱	۴۸/۱
تیمور سوری علیا	۷۳/۰	۸۷/۳	۷۰/۱	۶۵/۰	۶۸/۱	۸۸/۰	۹۵/۱	۵۲/۱	۸۵/۲	۲۲/۰	۶۲/۰	۷۴/۰
اصلانشاه	۱۵/۲	۰۱/۲	۰۴/۲	۵۰/۰	۱۳/۰	۴۸/۰	۰۸/۱	۶۲/۱	۰۹/۱	۳۶/۰	۱۶/۰	۲۶/۰
پیرمحمدشاه	۳۱/۱	۱۰/۴	۸۱/۲	۹۷/۰	۸۴/۲	۴۱/۲	۷۱/۲	۳۰/۱	۰۰/۱	۴۰/۰	۵۹/۰	۳۳/۰
محمدآباد	۷۸/۲	۰۵/۴	۵۵/۳	۴۹/۰	۳۹/۰	۵۱/۰	۳۰/۰	۰۹/۰	۱۳/۰	۴۷/۰	۸۲/۰	۶۲/۰
زیرگر	۴۵/۰	۱۷/۱	۵۱/۰	۲۴/۰	۳۱/۰	۷۳/۰	۶۰/۰	۷۰/۰	۳۴/۰	۲۵/۰	۴۲/۰	۳۴/۰
هندی	۱۱/۰	۲۹/۰	۱۲/۰	۱۷/۰	۶۱/۰	۴۲/۰	۳۷/۰	۶۳/۰	۳۹/۰	۲۱/۰	۸۰/۰	۴۸/۰
فیض‌آباد	۲۱/۰	۱۰/۲	۶۶/۰	۰۸/۰	۱۱/۰	۱۰/۰	۱۲/۰	۲۷/۰	۱۲/۰	۳۸/۰	۴۲/۰	۳۹/۰

SLR[5] : روش رگرسیون خطی ساده، FLR [6]: روش رگرسیون خطی فازی، MLR[7]: روش رگرسیون چندمتغیره

جدول ۲ - درصد مدول میانگین انحراف نسبی در روش‌های مختلف بازسازی آمار ایستگاه‌های پیزومتری تراز آب - زیرزمینی

ایستگاه پیزومتری	۱۳۸۲			۱۳۸۳			۱۳۸۴			۱۳۸۵		
	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR
عادل‌آباد	۳۲/۲	۷۵/۱	۰۷/۲	۰۲/۳	۱۵/۴	۰۹/۴	۱۶/۱	۱۶/۱	۹۴/۱	۷۳/۲	۸۴/۲	۴۹/۲
کبودبان	۴۴/۴	۷۶/۶	۱۷/۱۴	۹۸/۳	۶۲/۱۵	۲۸/۱۸	۸۶/۴	۵۸/۸	۵۰/۱۱	۸۹/۷	۹۲/۶	۹۹/۴
مؤمن‌آباد	۶۵/۱	۸۰/۱۰	۷۴/۱۱	۲۹/۳	۰۶/۹	۰۳/۳	۸۴/۳	۷۴/۶	۷۵/۷	۳۳/۷	۵۱/۸	۷۵/۶
میان‌والان	۱۶/۱	۰۷/۴	۵۲/۱	۰۸/۸	۹۹/۲۰	۴۸/۳۵	۵۶/۵	۵۴/۸	۴۰/۳	۴۰/۵	۲۷/۹	۷۲/۱۲
کلاکچ	۴۳/۱۴	۲۳/۷	۷۱/۲	۳۵/۷	۸۶/۵۴	۲۱/۱۴	۴۴/۱۱	۸۵/۲	۷۷/۲۴	۶۰/۳۵	۲۱/۳۱	۲۱/۳۵
موسی‌آباد	۱۲/۱	۸۰/۴	۳۷/۱	۸۲/۳	۵۱/۳	۵۸/۵	۲۸/۹	۴۹/۷	۲۸/۱۴	۶۱/۳	۲۰/۱۶	۰۷/۹
رحمت‌آباد	۴۲/۰	۱۳/۲	۶۲/۲	۰۶/۰	۴۶/۲	۸۶/۱	۵۸/۲	۷۰/۳	۹۲/۳	۷۴/۷	۶۱/۷	۸۸/۵
دهرحم	۳۷/۲	۵۰/۲	۸۷/۰	۰۳/۳	۴۰/۳	۸۲/۳	۸۷/۶	۲۲/۳	۰۱/۸	۱۹/۷	۴۴/۶	۵۷/۹
چناره	۱۸/۱	۴۸/۱	۲۴/۱	۹۰/۰	۹۳/۹	۴۲/۱	۱۵/۲	۴۸/۲	۹۱/۱	۶۰/۲	۱۰/۱	۷۰/۲
بتکی	۲۲/۱۲	۹۵/۳۵	۳۷/۱۴	۲۷/۳۶	۷۳/۱۱۷	۶۷/۱۰۰	۲۳/۱۸	۹۶/۱۹	۸۳/۱۹	۶۷/۰	۵۰/۷	۴۶/۱۳
ده‌آقا	۸۴/۳	۱۱/۳	۲۳/۳	۳۱/۷	۰۹/۷	۳۵/۳	۳۷/۵	۴۳/۶	۳۱/۵	۹۹/۰	۷۲/۳	۰۷/۱۰

جدول ۲ - (ادامه)

ایستگاه پیزومتری	۱۳۸۲		۱۳۸۳			۱۳۸۴			۱۳۸۵		
	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR	SLR	MLR	FLR
جهان‌آباد	۱۰٫۶	۸۶٫۱۱	۱۶٫۱۵	۵۵٫۱۴	۶۹٫۱۱	۹۳٫۱۲	۱۳٫۱۳	۸۶٫۱۷	۶۶٫۱۴	۱۹٫۱۱	۵۶٫۱۴	۵۷٫۹
علم‌آباد	۷۳٫۰	۸۸٫۱	۴۵٫۳	۳۸٫۰	۴۵٫۶	۰۶٫۳	۳۷٫۳	۴۰٫۱	۳۶٫۲	۷۶٫۳	۵۴٫۳	۰۷٫۱۰
طط‌آباد	۵۴٫۸	۲۷٫۴۶	۲۵٫۳۹	۹۷٫۵	۴۹٫۹	۴۱٫۱۶	۳۷٫۱۳	۶۷٫۱۸	۵۰٫۲۴	۷۱٫۳۰	۰۵٫۹۶	۴۶٫۹۱
نیازآباد	۷۵٫۴	۲۰٫۷	۸۹٫۹	۸۱٫۰	۶۱٫۲	۰۲٫۳	۹۸٫۱	۷۶٫۲	۶۰٫۲	۵۲٫۸	۸۷٫۱۶	۹۵٫۱۲
تیمور سوری علیا	۳۲٫۴	۰۰٫۲۶	۶۲٫۱۱	۸۸٫۳	۳۱٫۱۱	۰۳٫۶	۲۳٫۱۵	۸۴٫۱۱	۰۱٫۲۲	۰۲٫۲	۵۷٫۵	۷۸٫۶
اصلانشاه	۰۸٫۶	۱۱٫۶	۱۶٫۶	۵۸٫۱	۳۷٫۰	۵۶٫۱	۰۸٫۳	۴۴٫۵	۷۷٫۳	۹۷٫۰	۵۱٫۰	۹۸٫۰
پیرمحمدشاه	۳۳٫۴	۳۹٫۱۰	۶۳٫۷	۴۹٫۳	۷۸٫۸	۲۳٫۸	۴۷٫۲	۹۶٫۳	۸۲٫۳	۵۳٫۱	۳۰٫۲	۳۱٫۱
محمدآباد	۲۳٫۹	۴۴٫۹	۹۹٫۱۰	۳۳٫۱	۱۱٫۱	۲۴٫۱	۹۴٫۰	۲۹٫۰	۲۹٫۰	۳۸٫۱	۵۶٫۲	۸۷٫۱
زیرگر	۷۸٫۳	۱۳٫۸	۴۴٫۳	۲۰٫۲	۵۵٫۲	۳۴٫۶	۹۱٫۴	۹۶٫۵	۸۰٫۲	۵۲٫۲	۲۲٫۴	۳۳٫۳
هندی	۱۰٫۱	۵۷٫۲	۱۲٫۱	۵۷٫۱	۳۷٫۵	۳۹٫۳	۳۶٫۴	۳۴٫۵	۶۹٫۳	۱۲٫۲	۱۰٫۹	۶۷٫۵
فیض‌آباد	۶۲٫۶	۱۶٫۵۴	۶۶٫۱۷	۳۲٫۲	۹۰٫۲	۶۶٫۲	۷۶٫۳	۷۵٫۷	۶۶٫۳	۷۸٫۱۰	۷۶٫۱۱	۱۶٫۱۱

SLR: روش رگرسیون خطی ساده، FLR: روش رگرسیون خطی فازی، MLR :روش رگرسیون چندمتغیره.

با توجه به توضیحات فوق و بررسی‌های انجام شده اولویت روش‌های بازسازی داده‌های سطح آب زیرزمینی هر یک از ایستگاه‌های پیزومتری محدوده‌ی الشتر استان لرستان در هر سال تعیین شد که نتایج آن در جدول ۳ ارایه شده است.

جدول ۳- اولویت‌های بازسازی آمار ایستگاه‌های پیزومتری تراز آب زیرزمینی به تفکیک سال

	۱۳۸۲			۱۳۸۳			۱۳۸۴			۱۳۸۵		
	اولویت ۱	اولویت ۲	اولویت ۳	اولویت ۱	اولویت ۲	اولویت ۳	اولویت ۱	اولویت ۲	اولویت ۳	اولویت ۱	اولویت ۲	اولویت ۳
عادل‌آباد	M	S	F	S	F	M	S	M	F	F	S	M
کبودبان	S	M	F	S	M	F	S	M	F	F	M	S
مؤمن‌آباد	S	M	F	F	S	M	S	M	F	F	M	S
میان والان	S	F	M	S	M	F	S	F	M	S	M	F
کلاکج	F	M	S	S	F	M	M	S	F	F	S	M
موسی‌آباد	S	F	M	M	F	S	M	F	S	F	S	M
رحمت‌آباد	S	M	F	S	F	M	S	F	M	F	S	M
دهرحم	F	S	M	S	M	F	S	M	F	F	S	M
چناره	F	S	M	S	M	F	S	M	F	M	S	F
بتکی	S	F	M	S	M	F	S	M	F	S	M	F
ده‌آقا	M	F	S	S	M	F	S	M	F	S	M	F
جهان‌آباد	S	M	F	M	F	S	M	F	S	M	S	F
علم‌آباد	S	M	F	S	F	M	M	F	S	M	S	F
طط‌آباد	S	F	M	S	F	M	F	M	S	M	F	S
نیازآباد	S	M	F	S	F	M	F	M	S	M	F	S
تیمورسوری علیا	S	F	M	F	S	M	M	F	S	F	M	S
اصلانشاه	M	F	S	M	F	S	S	F	M	M	F	S
پیرمحمدشاه	S	F	M	S	F	M	M	F	S	M	S	F
محمدآباد	S	F	M	M	F	S	F	S	M	S	F	M
زیرگر	S	F	M	S	F	M	F	M	S	M	F	S
هندی	S	F	M	S	F	M	M	F	S	M	F	S
فیض‌آباد	S	F	M	S	F	M	M	F	S	M	S	F

S: روش رگرسیون خطی ساده، F : روش رگرسیون خطی فازی، M : روش رگرسیون چندمتغیره.

در این جدول اولویت ۱ به معنای بهترین روش بازسازی داده‌ها است. با توجه به جدول ۳ می‌توان درصد فراوانی هریک از روش‌های بازسازی داده‌های گمشده را که در اولویت ۱ هر ایستگاه محدوده‌ی الشتر قرار دارد تعیین کرد. در جدول ۴ براساس آن روش‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۴- درصد فراوانی روش‌های بازسازی در الویت اول ایستگاه‌های پیزومتری تراز آب زیرزمینی

	اولویت اول					اولویت اول	
	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	روش بازسازی	درصد فراوانی
عادل‌آباد	M	S	S	F	S	۵۰
کبودبان	S	S	S	F	S	۷۵
مؤمن‌آباد	S	F	S	F	S	۵۰
میان والان	S	S	F	S	S	۷۵
کلاکج	F	S	M	M	M	۵۰
موسی‌آباد	S	M	M	S	S	۵۰
رحمت‌آباد	S	S	S	F	S	۵۰
دهرحم	F	S	M	M	M	۷۵
چناره	F	S	F	M	F	۵۰
بتکی	S	S	F	S	S	۵۰
ده‌آقا	M	F	S	S	S	۷۵
جهان‌آباد	S	M	F	F	F	۵۰
علم‌آباد	S	S	M	M	S	۵۰
ططرآباد	S	S	S	S	S	۵۰
نیازآباد	S	S	S	S	S	۱۰۰
تیمور سوری علیا	S	S	M	S	S	۱۰۰
اصلانشاه	M	M	S	M	M	۷۵
پیرمحمدشاه	S	S	S	F	S	۷۵
محمدآباد	S	M	M	S	S	۵۰
زیرگر	S	S	F	S	S	۷۵
هندی	S	S	S	S	S	۱۰۰
فیض‌آباد	S	S	F	S	S	۷۵

در جدول ۴ در صورت وجود دو روش بازسازی دارای درصد فراوانی برابر (دو روش با درصد فراوانی۵۰)، برای قرار گرفتن یک روش در اولویت اول بازسازی داده‌ها، با توجه با اولویت دوم تصمیم‌گیری و روش مورد نظر انتخاب شده است. این بررسی نشان می‌دهد که در ۱۷ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه روش رگرسیون خطی ساده با درصد فراوانی ۷۷٫۲۷ بهترین روش برای بازسازی داده‌ها بوده است و با بررسی نتایج دو الویت دیگر روش‌های رگرسیون خطی فازی و رگرسیون چندمتغیره به ترتیب در اولویت دوم و سوم قرار گرفتند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق و در راستای ارایه‌س یک روش مطلوب برای بازسازی داده‌های سطح آب زیرزمینی در محدوده‌ی الشتر استان لرستان روش رگرسیون خطی ساده و فازی به‌کار رفت و نتایج حاکی از آن است که رگرسیون خطی ساده براورد مناسبی در بازسازی داده‌های گمشده‌ی سطح آب زیرزمینی دارند. این بررسی نشان داد که در ۱۷ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه روش رگرسیون خطی ساده با درصد فراوانی ۷۷٫۲۷ بهترین روش برای بازسازی داده‌ها بوده است و با بررسی نتایج دو الویت دیگر روش‌های رگرسیون خطی فازی و رگرسیون چند متغیره به ترتیب در اولویت دوم و سوم قرار گرفتند. دلیل این برتری را می‌توان از دو جهت تحلیل نمود: برتری رگرسیون خطی ساده بر رگرسیون چندمتغیره و برتری رگرسیون خطی ساده بر رگرسیون فازی. در رابطه با برتری رگرسیون خطی ساده بر رگرسیون چندمتغیره می‌توان چنین گفت که در این‌جا وابستگی متغیر وابسته به تک متغیر و تجمیع سایر عوامل اثرگذار با تأثیرگذاری به هم آمیخته در غالب عبارت خطا نتایج واقعی‌تری را نسبت به حالتی داشته که در آن محققین تلاش نموده‌اند این اثرات را از هم جدا کرده و در غالب متغیرهای جداگانه‌ی اثرگذار بر متغییر مستقل اندازه‌گیری و در معادله‌ی رگرسیون جای دهند. در رابطه با برتری رگرسیون خطی ساده بر رگرسیون فازی نیز می‌توان چنین استدلال کرد که سعی محققین در استفاده از مفاهیم خاکستری در مقابل منطق عددی صفر و یک برای توضیح متغیر وابسته بر اساس مفهوم فازی منجر به کاهش اعتبار مدل شده است به این معنی که تلاش برای یافتن معادله‌ی رگرسیون با هدف کمینه کردن میزان فازی بودن که از طریق یافتن کم‌ترین مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله‌ی رگرسیون انجام می‌شود سبب شده که درصد کم‌تری از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیر مستقل توضیح داده شود. به‌عنوان مطالعات آتی و با توجه به این‌که پژوهش‌هایی در زمینه‌ی تراز آب زیرزمینی انجام نشده است، پیشنهاد می‌شود در سایر مناطق کشور نیز مدنظر قرار گیرد. بدیهی است نتایج حاضر برای کاربرد در محدوده‌ی الشتر استان لرستان توصیه می‌شود و کاربرد آن در سایر مناطق همراه با احتیاط و تطابق شرایط امکان‌پذیر است.

توضیحات

1. Missing Values
2. Artificial Neural Networks (ANNs)
3. Support Vector Machines (SVMs)
4. Root-Mean-Square Error (RMSE)
5. Simple Linear Regression (SLR)
6. Fuzzy Linear Regression (FLR)
7. Multivariate Linear Regression (MLR)

مرجع‌ها

[۱] ایزدی، عزیزالله؛ داوری، کامران؛ علی‌زاده، امین؛ قهرمان، بیژن (۱۳۸۷). کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی. مجله آبیاری و زهکشی. صص ۱۴۳-۱۳۳.

[۲] حسنی، قاسم؛ محوی، امیرحسین؛ ناصری، سیمین؛ عرب‌علی بیک، حسین؛ یونسیان، مسعود؛ قریبی، حامد (۱۳۹۱). طراحی شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی. مجله سلامت و بهداشت، صص ۱۸-۳۱

[۳] رمضانی چرمهینه، عبداله؛ ذونعمت کرمانی، محمد (۱۳۹۶). بررسی کارایی روش‌های رگرسیون بردار پشتیبان، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و رگرسیون خطی چندمتغیره به منظور پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت شهرکرد). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. صص ۱-۱۲.

[٤] زارع مهرجردی، محمدرضا؛ واثقی، الهه؛ محسنی، سیمین (۱۳۹۴). پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت رفسنجان با مدل‌های رگرسیونی و غیررگرسیونی. سیزدهمین همایش سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

[۵] مرادی فرح‌آبادی، معصومه؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ قنبرپور، محمدرضا؛ وهاب‌زاده، قربان (۱۳۸۹). شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره (مطالعه موردی: دشت ساری-نکا). پایان‌نامه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.

[۶] نـادری، کیـوان؛ اصـغری مقـدم، اصـغر؛ نـدیری، عطاءالـه (۱۳۹۳). پیش‌بینـی سـطح آب‌هـای زیرزمینـی بـا اسـتفاده از روش‌هـای هـوش مصـنوعی (مطالعـه مـوردی: دشـت دوزدوزان)، پایان‌نامه، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم.

[۷] نخعی، محمد؛ ودیعتی، میثم (۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل فازی آب زیرزمینی استان تهران به لحاظ شرب. فصلنامه زمین‌شناسی ایران. صص ۳۷-۴۶.

[8] Coppola, E., Rana, A.J., Poulton, M.M., Szidarovszky, F., Uhl, V.V. (2005). A Neural Network Model for Predicting Aquifer Water Level Elevations. Ground Water, **43**, 231–241.

[9] Coppola, E., Szidarovszky, F., Poulton, M. and Charles, E. (2003). Artificial Neural Network Approach for Predicting Transient Water Levels in a Multilayered Groundwater System under Variable State, Pumping, and Climate Conditions. J. Hydrol. Eng., **8**, 348–360.

[10] Coulibaly, P., Anctil, F., Aravena, R. and Bobee, B. (2001). Artificial Neural Network Modeling of Water Table Depth Fluctuations. Water Resour. Res., **37**, 885–896.

[11] Gill, M.K., Asefa, T., Kaheil, Y. and McKee, M. (2007). Effect of Missing Data on Performance of Learning Algorithms for Hydrologic Predictions: Implications to an Imputation Technique. Water Resour. Res., **43**, W07416.

[12] Gottardi, G. and Venutelli, M. (2001). UPF: Two-dimensional Finiteelement Groundwater Flow Model for Saturated–unsaturated Soils, Computers & Geosciences, **27**, 179-189.

[13] Nayak, P., Satyaji Rao, Y.R. and Sudheer, K.P. (2006). Groundwater Level Forecasting in a Shallow Aquifer using Artificial Neural Network Approach. Water Resources Management, **2**, 77-99.

[14] Reghunath, R., Murthy, T.R.S.Urthy and Raghavan, B.R. (2005). Time Series Analysis to Monitor and Assess Water Resources: a

Moving Average Approach. Environmental Monitoring and Assessment, **109**, 65–72;

[15] Tanaka, H., Uejima, S. and Asai, K. (1982). Linear Regression Analysis with Fuzzy Model. IEEE trans. Systems Man Cybernetic, **12**, 903–907.

[16] Yoon, H., Jun, S.C., Hyun, Y., Bae, G.O. and Lee, K.K. (2011). A Comparative Study of Artificial Neural Networks and Support Vector Machines for Predicting Groundwater Levels in a Coastal Aquifer. Journal of Hydrology, **396**, 128–138.

جواد بهنامیان
دکتری صنایع
همدان، دانشگاه بوعلی سینا، گروه مهندسی صنایع.
رایانشانی: behnamian@basu.ac.ir

مرضیه ذاکر
فوق‌لیسانس مهندسی صنایع
همدان، دانشگاه بوعلی سینا، گروه مهندسی صنایع.
رایانشانی: m_zaker69@yahoo.com