

## پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی دشت نیشابور با معرفی مدل رگرسیون فازی امکانی

سپیده زراعتی نیشابوری<sup>۱\*</sup>، محسن پوررضا بیلندی<sup>۲</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۳</sup> و علی شهیدی<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

\* نویسنده مسئول: [sepide\\_zeraati@yahoo.com](mailto:sepide_zeraati@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰

### چکیده

منابع آب زیرزمینی پس از یخچال‌های قطبی، دومین منبع آب شیرین موجود در جهان به شمار می‌رود. بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب از اهمیت فراوانی برخوردار است. کاهش پیوسته سطح آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق دنیا مشاهده شده است. دشت نیشابور از لحاظ ذخیره منابع آب و حاصلخیزی اراضی، یکی از مهم‌ترین دشت‌های خراسان رضوی و شرق کشور محسوب می‌شود. کاهش میزان تغذیه‌کننده بارش از یک‌سو و برداشت‌های مکرر از چاه‌های بهره‌برداری از طرف دیگر سبب افت سطح آب شده، به‌طوری‌که آبخوان نیشابور با افت سالانه ۷۴ سانتی‌متر مواجه است. لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی و معرفی کارایی مدل رگرسیون فازی امکانی جهت پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه می‌باشد. در این پژوهش پارامترهای مؤثر بر تراز آبخوان شامل بارندگی و تخلیه به‌صورت ماهانه تعیین شد. با استفاده از روش‌های زمین‌آماري، نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه بارندگی و تخلیه به دست آمد. در نهایت با طراحی مدل رگرسیون فازی امکانی با ۶ پارامتر ورودی، سعی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی شد. نتایج پژوهش نشان داد؛ بهترین دقت در ماه خرداد با ضریب تبیین ۹۳ درصد، میانگین مجذور خطای ۶/۰۵ و میانگین مطلق خطای ۶/۰۱ حاصل شد. همچنین نتایج نشان داد که علی‌رغم کاهش شدید باران در فصل تابستان، اعمال ورودی‌های با تأخیر یک تا دو ماهه نتایج مناسبی در پیش‌بینی سطح آب داشت. در نهایت می‌توان بیان کرد مدل رگرسیون فازی تهیه‌شده در این مطالعه، امکان برآورد تراز سطح آبخوان را با اعتبار مناسب فراهم می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، تراز آبخوان، رگرسیون فازی امکانی، دشت نیشابور.

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی از مهمترین منابع آب شیرین موجود در جهان بشمار می‌روند و منبع اصلی تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و صنعتی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند ( Todd and Mays, 2005). لزوم بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی از آنجا ناشی می‌گردد که این منابع ۹۹٪ کل آب‌های شیرین قابل‌استفاده را تشکیل می‌دهند ( Mahdavi et al., 2004). آب‌های زیرزمینی برای مقاصد مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند، برای مثال آب آشامیدنی بیش از ۹۰٪ شهرها و حدوداً ۴۰٪ نیاز بخش کشاورزی در سراسر جهان از این منبع تأمین می‌شود (Erfanimanesh and Afyouni, 2006).

بهره‌برداری نامناسب و استحصال غیرمجاز از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. آمارهای ارائه‌شده در منابع جهانی وضع دشوار روند افت سالانه آب زیرزمینی را نشان می‌دهد، کسری حجم مخزن آب زیرزمینی جهان، سالانه بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلیارد مترمکعب تخمین زده شده که ۱٪ آن متعلق به کشور ایران است (Khosrowshahi, 2007).

با توجه به قرار گرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، اصلی‌ترین منبع تأمین آب در اکثر مناطق آن، استفاده از منابع آب زیرزمینی است. امروزه به دلایل گوناگون بسیاری از آبخوان‌های کشور در معرض خطر افت ذخیره قرار دارند؛ به‌طوری‌که سطح آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های کشت آبی ایران در حدود ۰/۵ تا ۱ متر در سال افت دارد (Shiati, 1999). همچنین پژوهشگران اظهار کردند بیش از ۲۵ درصد از سفره‌های آب زیرزمینی کشور به دلیل برداشت غیرمجاز در شرایط بحرانی قرار دارند و تعداد آن‌ها در حال افزایش است ( Abbaspour and Fanayi, 2009). در چنین وضعیتی برنامه‌ریزی متعدد کارشناسی همگام و به موازات پیشرفت روش‌های مطالعاتی در مسائل آبی، جزء پیش‌شرط‌های توسعه پایدار به حساب می‌آید ( Philip Plumb et al., 2005). بررسی یک سیستم آب زیرزمینی به‌منظور شناخت رفتار آن، نیازمند انجام یک سری پژوهش‌های طولانی‌مدت، با صرف هزینه‌های فراوان بوده، به همین جهت، امروزه شبیه‌سازی آب زیرزمینی توسط مدل‌های

ریاضی به عنوان یک روش غیرمستقیم مطالعه آب زیرزمینی، با صرف هزینه کمتر صورت می‌گیرد (Nourani and Salehi, 2008). از آنجا که تشخیص رفتار آبخوان به ازای تغییر در پارامترهای متأثر آن مانند بارندگی، دما، تبخیر و تعرق و برداشت آب امکان اخذ تصمیمات مدیریتی مناسب را فراهم می‌آورد، تاکنون مدل‌های زیادی برای پیش‌بینی تراز سطح آب‌های زیرزمینی توسط پژوهشگران مختلف پیشنهاد شده‌اند (Dillip et al., 2010). کاربرد مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی تراز آب‌های زیرزمینی به‌سرعت رو به افزایش است که دلیل این امر، به سهولت کاربرد و دقت بالای این مدل‌ها در تقریب معادلات پیچیده ریاضی بر می‌گردد (Paruelo and Tomassel, 1997). پژوهش‌های متعددی به‌منظور مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی جهت پیش‌بینی تراز آبخوان انجام شده است. Sun et al. (2013)، سطح آب زیرزمینی جنگل‌های باتلاقی سنگاپور با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی را مدل‌سازی نموده و نتیجه گرفتند که می‌توان از این تکنیک با دقت قابل قبولی در برآورد تراز آب زیرزمینی استفاده نمود. Taormina et al. (2012) با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، نوسانات تراز آب زیرزمینی آبخوان ساحلی تالاب ونیز ایتالیا را مدل‌سازی نمودند. بر اساس نتایج پژوهش دیگری، هر دو تکنیک شبکه عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی (آریمای) از دقت و کارایی بالایی در پیش‌بینی سطح ایستابی ۳۵ چاه مشاهده‌ای یکی از زیر حوضه‌های بختگان برخوردار بودند ( Pourmohannadi et al., 2013). در پژوهش به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی مناطق آمریتسار و گورداسپور<sup>۲</sup> ایالت پنجاب هند، انواع معماری‌ها و الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی را مورد بررسی و مقایسه قرار دادند (Lohani and Krishan, 2015).

یکی از روش‌های پیش‌بینی و کنترل تراز ایستابی، استفاده از معادلات رگرسیونی است. تحلیل رگرسیون، یکی از مهم‌ترین ابزار آماری مورد استفاده توسط هیدرولوژیست‌ها می‌باشد. اساس تمام آن‌ها، ساختن یک مدل (معادله پیش‌بینی) بر اساس داده‌های مشاهده‌ای است (Merritt et al., 2003). در سال‌های اخیر،

<sup>۱</sup> ARIMA<sup>۲</sup> Amritsar and Gurdaspur

درجه ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه ۳۹ دقیقه واقع شده و از شمال به خط‌الرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلاجوق و یال پلنگ، از جنوب به تپه‌ماهورهای نیزه‌بلند، سیاه‌کوه و کوه‌نمک و از غرب به حوضه آبریز دشت سبزوار محدود می‌شود (شکل ۱).

دشت نیشابور پس از دشت مشهد، هم از لحاظ ذخیره آب زیرزمینی و هم از جنبه حاصلخیزی اراضی، مهم‌ترین دشت استان خراسان رضوی به شمار می‌رود. با توجه به تقسیمات زمین‌شناسی ایران، محدوده مورد مطالعه در گستره یال جنوبی ساختار زمین‌شناسی بینالود و حد شمال شرقی زون مثلثی شکل ایران مرکزی قرار گرفته است. بلندترین نقطه منطقه در ارتفاعات بینالود بوده که از سطح دریا ۳۳۰۰ متر ارتفاع دارد، پایین‌ترین نقطه در منطقه خروجی دشت قرار گرفته که حدود ۱۰۵۰ متر از سطح دریا بلندتر است. آب و هوای منطقه، نیمه‌خشک تا خشک بوده و میانگین دمای ماهانه در ایستگاه بار (معرف مناطق کوهستانی) ۱۳ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه محمدآباد-فدیشه (معرف مناطق دشتی) ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. متوسط دبی روزانه برای دوره زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۹ در محل ایستگاه هیدرومتری حسین‌آباد جنگل ۰/۳۶ مترمکعب می‌باشد. متوسط بارندگی در کل حوضه معادل ۲۳۴ میلی‌متر است، هرچند میزان بارندگی در نقاط مختلف آن متفاوت بوده، به طوری که در ارتفاعات بلند بینالود میزان آن به حداکثر ۶۰۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. متوسط تبخیر برای کل حوضه، حدود ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال گزارش شده است (Velayati, 2000). منابع آبی دشت نیشابور شامل آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی است که آب‌های سطحی شامل رواناب رودخانه‌های دشت که توسط کال شور زهکش می‌شوند، می‌باشند. در قسمت‌های شمالی دشت (ارتفاعات بینالود) رودخانه‌ها بعضاً دارای دبی پایه بوده ولی در حاشیه جنوبی دشت، رودخانه‌ها عموماً فصلی می‌باشند، لذا تأمین نیاز آبی در دشت، عمدتاً از منابع آب زیرزمینی که دائماً در دسترس است؛ صورت می‌گیرد.

آبخوان دشت نیشابور بخش نسبتاً هموار حوضه آبریز کال شور نیشابور است که شهر نیشابور در شمال شرق این دشت قرار دارد. این دشت در دامنه جنوبی ارتفاعات بلند بینالود (البرز شرقی) واقع شده و از اطراف توسط

مباحث فازی وارد علوم هیدرولوژی گردیده و در زمینه‌های مختلف به کار گرفته شده است. در مطالعه‌ای کاربرد روش رگرسیون خطی فازی در برآورد داده‌های ناقص دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش مذکور حاکی از آن بود؛ رگرسیون خطی فازی کارایی مناسبی جهت بازسازی داده‌های دبی دارد (Sadatinezhad et al., 2010). مدل‌های رگرسیون فازی به منظور تخمین سرعت رسوب ذرات با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی استفاده شده که کاهش میزان خطا و افزایش بازده پیش‌بینی‌ها در تخمین سرعت رسوب ذرات واقعی را در پی داشته است (SadatHelbar et al., 2008). در زمینه استفاده از مدل‌های رگرسیون فازی می‌توان مطالعاتی از جمله برازش توابع انتقالی خاک با استفاده از رگرسیون فازی، برآورد رسوب حوضه‌های آبریز با استفاده از رگرسیون خطی فازی و تخمین پتانسیل تبخیر و تعرق با استفاده از رگرسیون فازی اشاره کرد (Shayannejad et al., 2008; Mohammadi and Taheri, 2006; Farahi et al., 2011).

از آنجاکه مبحث رگرسیون فازی، روش نوینی در علم هیدرولوژی محسوب می‌شود، تاکنون مطالعات اندکی از مدل‌های رگرسیون فازی در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی بهره جسته‌اند. دشت نیشابور نیز جزء مناطقی می‌باشد که دارای رژیم آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک بوده و به طبع، آگاهی از روند تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان کمک شایان توجهی به برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در این بخش می‌کند. لذا در پژوهش حاضر سعی بر آن است که با طراحی مدل رگرسیون فازی و اعمال پارامترهای بارندگی و برداشت ماهانه از آبخوان با تأخیر زمانی یک تا دو ماهه در مدل، تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت نیشابور را برآورد کند.

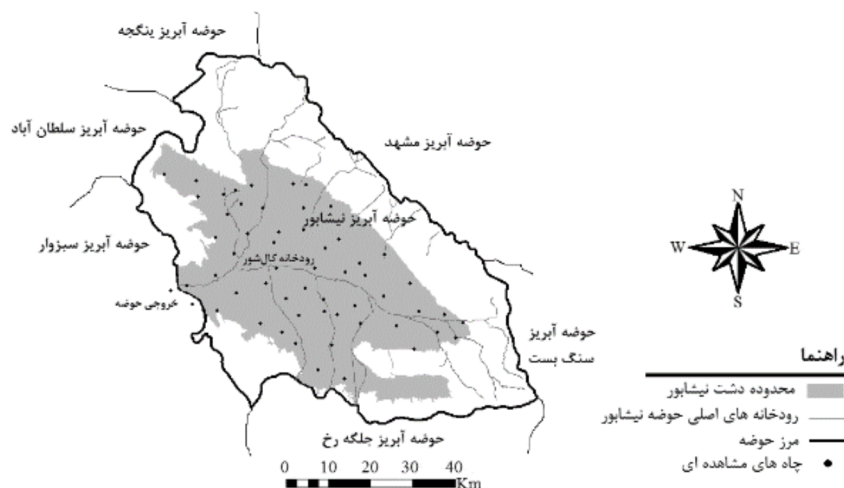
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی نیشابور در مرکز استان خراسان رضوی قرار داشته و یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز کویر مرکزی می‌باشد. مساحت کل این محدوده ۷۳۵۰ کیلومتر مربع است که در طول جغرافیایی ۵۸ درجه ۱۳ دقیقه تا ۵۹ درجه ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵

می‌شود. منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور شامل ۲۳۹۶ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۹۰۸ دهنه چشمه و ۸۳۲ رشته قنات با مصارف مختلف کشاورزی، شرب، صنعتی و بهداشت می‌باشد (Shirzadi and Sabouhi, 2014).

تپه‌ماهورهای مختلف احاطه می‌گردد و جریان‌های سطحی حوضه که از ارتفاعات اطراف نشأت می‌گیرند پس از رسیدن به دشت نیشابور در زمین نفوذ نموده و از خلل و فرج رسوبات آبرفتی به صورت جریان زیرزمینی از شرق به غرب حرکت و از حسین‌آباد (خروجی حوضه) خارج



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و حوضه‌های آبریز مجاور آن

Fig 1- Location of study area and its adjacent basins

شد. جهت تعیین سطح ایستابی از روش‌های زمین‌آماری استفاده شده که در آن میزان تخلیه در هر فصل و تراز سطح ایستابی تعیین گردید. با توجه به پارامترهای تأثیرگذار بر سطح آب مانند داده‌های تغذیه و تخلیه سفره، تأخیر زمانی پارامترهای فوق، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش انتخاب شدند، این پارامترها شامل حجم آب تخلیه‌شده استحصالی برحسب هزار مترمکعب، مجموع بارندگی در ماه قبل (میلی‌متر)، مجموع بارندگی در دو ماه قبل (میلی‌متر)، مجموع بارندگی در ماه (میلی‌متر) و همچنین تراز سطح آب در ماه حاضر، یک و دو ماه قبل برحسب متر می‌باشد. جدول (۱) خصوصیات آماری پارامترهای مورد استفاده در مدل رگرسیون فازی امکانی را نشان می‌دهد.

### رگرسیون فازی

روش رگرسیون آماری بر اساس قوانین احتمالات و روش رگرسیون فازی بر اساس تلفیق تئوری احتمالات و تئوری مجموعه‌های فازی است. در تحلیل رگرسیون آماری، خطای محاسباتی بین داده‌های مشاهداتی و مدل

### جمع‌آوری داده‌ها

در پژوهش حاضر به منظور مطالعه وضعیت هیدرولیکی آب زیرزمینی دشت نیشابور با استفاده از داده‌های ماهیانه اندازه‌گیری و ثبت‌شده در تمامی ایستگاه‌های منطقه نسبت به استخراج مقادیر فصلی و ماهانه آن اقدام شد. دو عامل اصلی تغییر تراز آبخوان شامل بارش ماهانه و تخلیه که در بحران آب تأثیرگذارند در این مطالعه مدنظر قرار گرفت و مقادیر آن با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی به صورت جداگانه برای محدوده مطالعاتی محاسبه شده و ارقام حاصل در محاسبه بیلان هیدرولوژی مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مربوط به جریان سطحی و زیرزمینی ورودی و خروجی به محدوده مورد مطالعه و همچنین حجم تخلیه از طریق چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها از آمار وزارت نیرو مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از اطلاعات ۵۷ چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۷، تراز آب زیرزمینی دشت نیشابور مورد بررسی قرار گرفت (Anonymous, 2009). با توجه به آماربرداری چاه‌های دشت نیشابور، داده‌های بارندگی و تخلیه از سفره، ثبت

### مدل رگرسیون امکانی فازی<sup>۱</sup>

مدل‌های رگرسیون امکانی فازی اولین بار توسط *Tanaka et al. (1982)* ارائه گردید. این مدل‌ها بهترین معادله رگرسیون را با کمینه‌کردن میزان فازی بودن به دست می‌دهد. این کار با کمینه‌کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌شود. یکی از مدل‌های رگرسیون فازی امکانی، مدلی است که در آن ضرایب فازی بوده و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیرفازی می‌باشد که در پژوهش حاضر از این مدل بهره گرفته شده است. یافتن مدل‌های رگرسیون بر پایه این روش غالباً مبتنی بر حل مسائل برنامه‌ریزی خطی یا غیرخطی است. در این مدل‌ها، خطای پیش‌بینی متغیر وابسته تحلیل امکانی دارد، به عبارت دیگر بر پایه مدل رگرسیون و به ازای مقادیری از متغیرهای مستقل، مقدار متغیر وابسته را می‌توان پیش‌بینی کرد. در این نوع رگرسیون فازی ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + \tilde{A}_3 X_3 + \dots + \tilde{A}_n X_n \quad (1)$$

به طوری که ضرایب این معادله یعنی  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \dots, \tilde{A}_n$  و  $\tilde{A}_0$  اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده‌ای یعنی  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  اعداد معمولی می‌باشند. با توجه به رابطه ذکر شده برای هر  $n$  متغیر ورودی، یک عدد فازی مانند  $\tilde{Y}$  به عنوان خروجی به دست آورده می‌شود. هدف این است که بر اساس یک مجموعه از داده‌های مشاهده‌ای، ضرایب فازی مربوط به رابطه مذکور یعنی  $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \dots, \tilde{A}_n$  به گونه‌ای به دست آورده شود که معادله بهترین برازش را بر روی داده‌های مشاهداتی داشته باشد. برای حل مسائل رگرسیون خطی فازی، الگوریتم‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها تبدیل مسئله رگرسیون خطی فازی به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی است. در روش رگرسیون فازی امکانی ضرایب به گونه‌ای تعیین می‌شود که پهنای خروجی فازی برای تمام مجموعه داده‌ها حداقل گردد؛ بنابراین برای حل یک مسئله رگرسیون فازی، طبق مطالب بیان‌شده، کافی است که یک مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس معادله‌های ارائه شده توسط *Tanaka et al. (1982)* حل شود، که این کار توسط نسخه ۱۱ نرم‌افزار *Lingo*

رگرسیونی متغیری تصادفی با توزیع نرمال است ولی در رگرسیون فازی خطا به صورت میزان فازی بودن ساختار مدل می‌باشد (*Chang and Ayyub, 2001*). برای اولین بار *Lotfizadeh (1956)* مفاهیم مجموعه‌های فازی را بیان کرد و کاربردهایی از داده‌های فازی در مدل‌های رگرسیونی را پیشنهاد داد. در اوایل رگرسیون فازی با در نظر گرفتن کمینه‌کردن میزان شاخص فازی بودن (عدم قطعیت) مورد توجه قرار گرفت (*Tanaka et al., 1982*). همچنین مقایسه‌ای بین مدل‌های مختلف رگرسیون فازی انجام و به تفاوت‌های رگرسیون فازی و معمولی نیز اشاره شده است (*Radden and Woodall, 1994*). سه روش رگرسیون فازی مورد استفاده در پژوهش مذکور شامل حداقل کردن میزان فازی بودن به عنوان یک معیار بهینه‌سازی، حداقل مربعات به عنوان معیار برازش و تحلیل رگرسیون فاصله‌ای با رگرسیون آماری بوده است.

در رگرسیون خطی کلاسیک به ازای هر سری از متغیرهای ورودی، تنها یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می‌گردد در حالی که رگرسیون فازی، بازه‌ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می‌زند. این مقادیر به وسیله یک توزیع امکانی که به صورت تابع عضویت نشان داده می‌شود، مشخص می‌گردند؛ بنابراین برخلاف رگرسیون کلاسیک که مبتنی بر تئوری احتمال می‌باشد، رگرسیون فازی بر اساس تئوری امکان و تئوری مجموعه‌های فازی پایه‌گذاری شده است. به طور کلی برای برازش یک معادله رگرسیون خطی فازی، سه دسته مدل وجود دارد: ۱- مدل‌های رگرسیون امکانی فازی، ۲- مدل‌های رگرسیون کمترین مربعات و ۳- مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای. هدف اصلی در رگرسیون فازی، پیدا کردن مدل ریاضی مناسب و تعیین ضرایب مدل با هدف بهترین برازش نتایج مدل رگرسیون با مقادیر مشاهداتی می‌باشد. اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی ناشی از خطای مشاهداتی است ولی این تفاوت در رگرسیون فازی ناشی از ابهام در ساختار سیستم است (*Yen et al., 1999*).

<sup>1</sup> Fuzzy Possibilistic Regression

استحصالی برحسب هزار مترمکعب و میانگین بارندگی برحسب میلی‌متر، با اعمال تأخیر زمانی یک تا دو ماهه برای برآورد تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان نیشابور استفاده شده است.

صورت پذیرفت. باتوجه به مطالب ارائه شده، در این پژوهش، از مدل رگرسیون فازی امکانی که در آن ضرایب فازی بوده و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیر فازی می‌باشد و اعمال پارامترهای تأثیرگذار بر سطح آب شامل: تراز سطح آب برحسب متر، حجم آب تخلیه‌شده

جدول ۱- خصوصیات آماری پارامترهای مورد استفاده در مدل رگرسیون فازی امکانی

Table 1- Statistical Characteristics of the Parameters Used in the Fuzzy Regression Model

ماه	پارامتر	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۲۲/۶۷	۶۷۶/۵۲	۰/۰۰۱۴	۱۳۵/۸۲	۱/۱۰
مهر	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۱/۰۷۶	۱۶/۰۲	۰	۲/۱۳	۰/۰۱
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۲/۸۶	۱۲۶۹/۱۲	۱۰۴۸/۷۸	۳۲/۵۹	۰/۲۰
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۲۳/۹۰	۶۷۶/۵۲	۰	۱۳۵/۸۲	۱/۱۰
آبان	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۱۵/۱۹	۳۲/۹۷	۰	۷/۵۸	۰/۴۹
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۲/۹۳	۱۲۶۸/۷۰	۱۰۴۸/۷۷	۳۲/۶۴	۰/۰۲
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۲۲/۶۷	۶۷۶/۵۲	۰/۰۰۱۴	۱۳۸/۸۲	۱/۱۰
آذر	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۱۹/۶۵	۵۲/۱۴	۰	۱۳/۸۹	۰/۷۱
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۳/۰۴	۱۲۶۸/۷۰	۱۰۴۸/۶۷	۳۲/۶۳	۰/۰۳
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۵۵/۲۵	۵۳۸/۲۵	۰/۰۰۷	۶۹/۳۴	۱/۲۱
دی	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۳۰/۱۰	۶۹/۳۵	۱۲۵۹/۵۶	۱۵/۶۹	۰/۵۲
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۶/۹۹	۲/۲۴	۱۰۴۹/۷۲	۲۹/۶۶	۰/۰۲۶
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۵۵/۲۵	۵۳۸/۲۸	۰/۰۰۷	۶۹/۳۴	۱/۲۵
بهمن	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۴۱/۲۲	۶۹/۳۵	۲/۲۴	۲۹/۶۷	۰/۷۲
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۶/۴۳	۱۲۵۹/۶۳	۱۰۴۹/۷۷	۲۹/۴۶	۰/۰۲۵
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۵۲/۲۶	۵۳۸/۲۸	۰/۰۰۷	۶۹/۳۴	۱/۲۵
اسفند	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۴۵/۶۹	۱۲۷/۸۴	۱۰/۹۲	۲۶/۰۷	۰/۵۷
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۶/۳۲	۱۲۵۹/۷۵	۱۰۴۹/۶۱	۲۹/۴۰	۰/۰۲۵
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۱۵/۴۰	۶۹۹/۵۰	۰/۰۰۷	۱۳۱/۸۰	۱/۱۴
فروردین	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۶۹/۶۴	۱۶۷/۷۳	۱۶/۴۸	۲۷/۷۷	۰/۳۹
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۶/۱۵	۱۲۵۹/۴۹	۱۰۴۹/۷۷	۲۹/۳۱	۰/۰۲۵
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۱۵/۴۸	۶۹۹	۰/۰۷۲	۱۳۱/۸	۱/۱۴
اردیبهشت	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۴۵/۴۹	۱۱۲/۰۵	۱۹/۳۵	۱۹/۵۰	۰/۴۲
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۶/۰۸	۱۲۵۹/۴۰	۱۰۴۹/۵۰	۲۹/۳۰	۰/۰۲۵
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۱۵/۴۸	۶۹۹	۰/۰۰۷	۱۳۱/۸۰	۱/۱۴
خرداد	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۱۶/۹۱	۵۸/۸۴	۰/۱۰	۱۱/۱۵	۰/۶۵
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۳/۵۶	۱۲۶۷/۶۶	۱۰۴۸/۸۷	۳۲/۳۲	۰/۰۲۸
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۲۶/۶۷	۶۹۹	۰/۰۰۷	۱۳۹/۵۶	۱/۱
تیر	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۰/۲۴	۲/۶۳	۰	۰/۴۶	۱/۹۳
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۳/۴۰	۱۲۶۷/۶۰	۱۰۴۸/۹۰	۳۲/۳۰	۰/۰۲۰
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۲۶/۶۷	۶۹۹	۰/۰۰۷	۱۳۹/۵۶	۱/۱
مرداد	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۰/۲۴	۲/۲۶	۰	۰/۴۶	۱/۰۱
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۳/۱۱	۱۲۶۷/۶۰	۱۰۴۸/۸۰	۳۲/۳۲	۰/۰۲۸
	تخلیه (هزار مترمکعب)	۱۲۶/۶۷	۶۹۹	۰/۰۰۷	۱۳۹/۶۵	۱/۱
شهریور	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	۱/۴۹	۱۰/۱۲	۰	۲/۰۷	۱/۰۱
	تراز سطح آب (متر)	۱۱۵۳/۱۱	۱۲۶۷/۶۰	۰/۰۰۷	۱۳۹/۵۶	۰/۰۲۸

آبخوان نیشابور، از سه آماره میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، متوسط مطلق خطا ( $MAE$ ) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد.

### ارزیابی مدل

جهت ارزیابی دقت و توانایی مدل رگرسیون فازی استفاده‌شده به‌منظور پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی

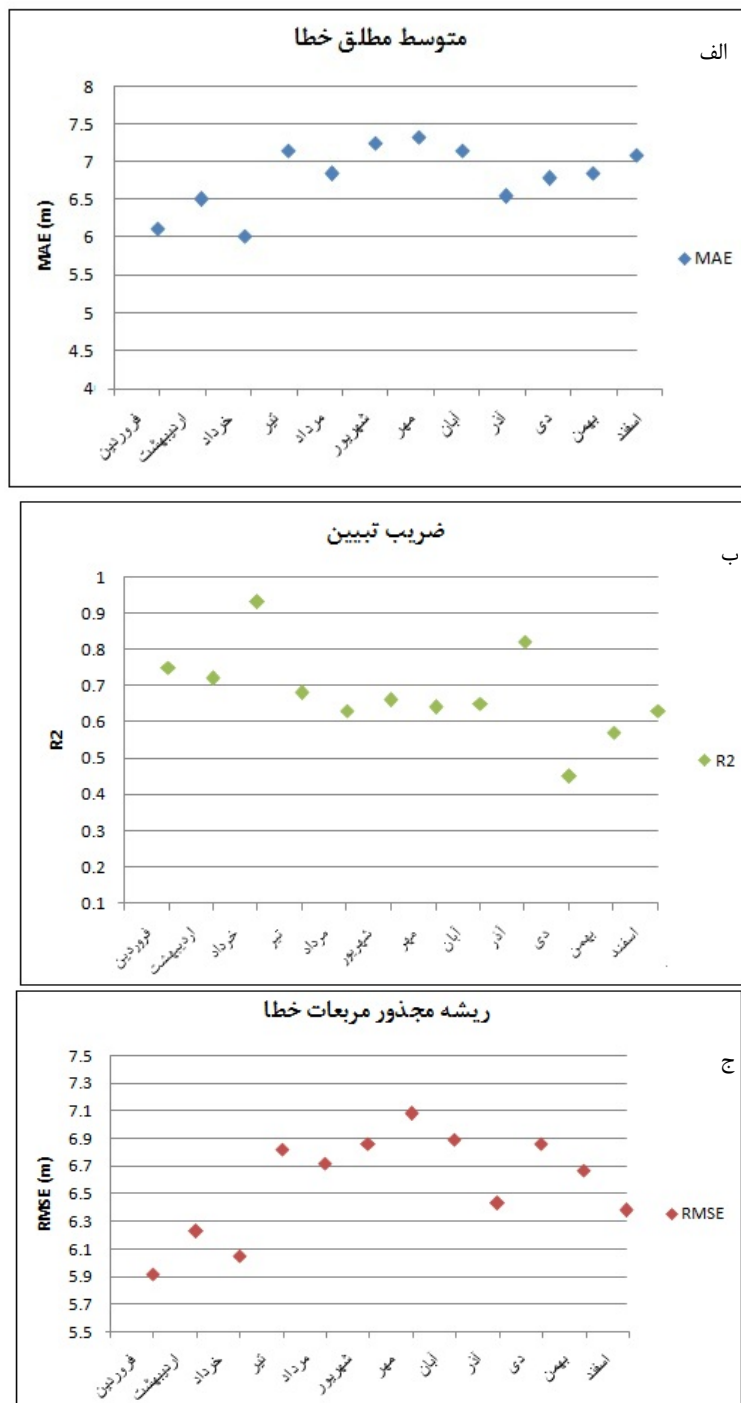
### نتایج و بحث

مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل رگرسیون فازی امکانی در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی آبخوان نیشابور در شکل (۲) نشان داده شده است.

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=0}^n (p_i - \bar{p})(o_i - \bar{o}) \right]^2}{\sum_{i=0}^n (p_i - \bar{p})^2 \sum_{i=0}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (p_i - o_i)^2}{N}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n (p_i - o_i) \quad (4)$$



شکل ۲- تغییرات شاخص‌های ارزیابی مدل رگرسیون فازی امکانی در ماه‌های مختلف سال

Fig 2- Goodness of fit statistics of fuzzy regression model in different months

بیشتری در بهبود کارایی مدل‌های پیش‌بینی تراز آب دارد  
(Khashei-siuki et al., 2013).

Izadi et al. (2007) گزارش کردند در صورتی که تراز ایستابی در ورودی‌ها، استفاده نشود، مدل بکار گرفته شده، نمی‌تواند دقت مناسبی در برآورد سطح ایستابی داشته باشد. در پژوهش حاضر بالاترین ضریب تبیین و کمترین مقادیر آماره‌های متوسط مطلق خطا و ریشه مجذور مربعات خطا در ماه‌های فصل بهار مشاهده شد، با توجه اعمال تأخیر دوماهه بارش به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل رگرسیون فازی، افزایش دقت مدل با توجه به افزایش نزولات جوی در این دو ماه گذشته و تأثیر مستقیم آن در بالا آمدن سطح آب است. بررسی نتایج ارزیابی مدل رگرسیون فازی در فصل تابستان نشان داد که علی‌رغم کاهش شدید باران در این فصل، اعمال ورودی‌های با تأخیر یک تا دو ماهه نتایج مناسبی در پیش‌بینی سطح آب داشته است. بیشترین افت سطح آب زیرزمینی به‌طور معمول در اوایل فصل پاییز اتفاق می‌افتد که تخلیه کم شده و بارندگی به‌صورت جدی شروع نشده است تا بتواند روی تغذیه آبخوان تأثیر بگذارد و تأثیر بارندگی‌های بهاره نیز تا حدودی کاهش یافته است. استفاده از پیش‌بینی‌های ماهانه به مدیران کمک می‌کند به‌منظور کنترل میزان برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی تصمیمات مؤثرتری اخذ نمایند. از آنجاکه امکان کاهش برداشت آب در تعدادی ماه‌های سال امکان‌پذیر است لذا عکس‌العمل آبخوان در تغییر سطح آب به‌صورت ماهانه، مؤثرتر از سالیانه یا روزانه می‌باشد. با توجه به شاخص‌های ارزیابی مدل در ماه‌های مختلف سال، مدل رگرسیون فازی امکانی مورد استفاده با ۶ پارامتر ورودی (شامل: تراز سطح آب برحسب متر، حجم آب تخلیه‌شده استحصالی برحسب هزار مترمکعب و میانگین بارندگی برحسب میلی‌متر، با اعمال تأخیر زمانی یک تا دوماهه) توانست کارایی قابل قبولی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه ارائه دهد.

### نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی و تخمین تراز آب زیرزمینی یکی از مؤلفه‌های مهم و قابل توجه در برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های منابع آب است. در پژوهش حاضر کارایی استفاده از رویکرد رگرسیون فازی امکانی در برآورد تراز آبخوان دشت نیشابور مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور پارامترهای

یافته‌های صحت‌سنجی مدل‌ها نشان داد که بالاترین دقت برآورد تراز سطح ایستابی در ماه خرداد و پایین‌ترین دقت برآورد سطح آب در دی ماه می‌باشد. همسو با نتایج پژوهش حاضر (Khashei-siuki et al., 2013) گزارش کردند کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و استنتاج تطبیقی عصبی-فازی نیز در ماه‌های زمستان کاهش یافته و بالاترین ضریب تبیین و کمترین مقادیر آماره‌های متوسط مطلق خطا و ریشه مجذور مربعات خطا در ماه‌های بهار مشاهده شده است. ارزیابی شاخص‌های اعتبارسنجی برای مدل رگرسیون فازی امکانی طراحی شده به‌منظور پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی، نشان‌دهنده دقت مناسب مدل ارزیابی‌شده و کارایی مناسب مدل در برآورد تراز آب زیرزمینی دشت نیشابور می‌باشد. در همین راستا (Matinzadeh et al., 2011) برتری معنی‌دار مدل رگرسیون فازی نسبت به سایر روش‌های متداول در تخمین و بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته را گزارش کردند. همچنین کارایی مناسب رویکرد رگرسیون فازی در پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه در مقایسه با مدل‌سازی سری زمانی نیز مشخص شده است (Parviz et al., 2010).

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده، دقت برآورد مدل در ماه‌های مختلف باهم متفاوت است که این امر ناشی از تغییر در پارامترهای ورودی ماه‌های مختلف و نوسانات سطح آب در فصول مختلف می‌باشد. (Mirarabi and Nakhaei (2008) بر اساس اطلاعات پیرومتری در دشت بیرجند به پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل سری زمانی پرداختند. نتایج نشان داد با وارد کردن میزان بارندگی و برداشت با تأخیر دوماهه دقت مدل پیش‌بینی افزایش می‌یابد، پژوهش مذکور نوسانات را برای ماه‌ها و فصول مختلف در نظر نگرفته است. در اکثر پژوهش‌ها داده‌های مورد استفاده در مقیاس روزانه یا سالانه بوده درحالی‌که تغییرات سطح آب به‌صورت ماهانه جدی بوده به‌طوری‌که در ماه‌های زمستان روند صعودی و در ماه‌های تابستان روند نزولی دارد. از این‌رو در پژوهش حاضر پارامترهای حجم آب تخلیه‌شده، بارندگی در دو ماه قبل، بارندگی ماه قبل، بارندگی ماه و همچنین تراز سطح آب دو ماه و ماه گذشته، به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر تغییر سطح آبخوان در نظر گرفته شد. مشخص شده که استفاده از داده‌های بارندگی با دو ماه تأخیر زمانی اثربخشی



محاسبات انجام‌یافته، روش رگرسیون فازی توانایی قابل‌توجهی در تخمین میزان سطح ایستابی دارد، لذا با اطمینان کافی می‌توان از آن در برآورد تراز سطح ایستابی بهره برد. از این رو به‌کارگیری مدل‌هایی بر اساس سایر روش‌های رگرسیون فازی مانند روش کمترین مربعات فازی، تحلیل بازه‌ای و غیره، همچنین فازی‌سازی متغیرهای مستقل علاوه بر متغیر وابسته و بررسی تأثیر آن‌ها در برآورد تراز سطح آبخوان، می‌تواند از چالش‌های تحقیقاتی پیشروی پژوهشگران باشد، لذا انجام پژوهش‌های مشابه در سایر حوضه‌های آبریز کشور به‌منظور جمع‌بندی نهایی در تهیه مدل‌های رگرسیون فازی از پیشنهادات منتج از پژوهش حاضر می‌باشد.

تراز آب، حجم آب تخلیه‌شده استحصال‌ی و میانگین بارندگی ماهیانه، با اعمال تأخیر یک و دوم‌ماهه در یک مدل رگرسیون امکانی فازی گنجانده شد. نتایج نشان داد دقت مدل رگرسیون فازی در برآورد سطح آب در ماه‌های زمستان، پایین‌تر از سایر فصول بود. شاخص‌های ارزیابی مدل، حاکی از دقت مناسب مدل رگرسیون فازی در پیش‌بینی سطح آبخوان بود. خروجی مدل در ماه‌های مختلف باهم تفاوت داشت که این امر به علت وجود نوسانات سطح آب در ماه‌های مختلف بود. از این رو بهترین دقت در ماه خرداد با  $MAE=6/01$ ،  $RMSE=6/05$  و  $R^2=0/93$  مشاهده شد. علی‌رغم کاهش شدید باران در فصل تابستان، اعمال ورودی‌های با تأخیر یک و دوم‌ماهه نتایج مناسبی در پیش‌بینی سطح آب داشت. بر پایه

## منابع

- Abbaspour, M., and Fanaei, F., 2010. *Environmental Crises and Planning for Sustainable Development in Iran. first National Conference on Environmental Crises and its solutions. Science and Research branch, Islamic Azad University. Science and Research of Khuzestan. 202-215 (In Persian)*
- Anonymus, 2009. *Management Studies for Water Resources Reconciliation in Neyshabour Plain. Khorasan Razavi Regional Water Company (In Persian)*
- Araghinejad, S., 2014. *Data-Driven Modeling: Using MATLAB® in Water Resources and Environmental Engineering. Springer Netherlands. Pp: 292.*
- Chang, Y.H., and B.M. Ayyub., 2001. *Hybrid Fuzzy Least-Square Regression Analysis. Journal of Mechanical Design, 109(3), 688-701*
- Dillip, K.G., S.P. Sudhansu and C.S. Prakash., 2010. *Prediction of water table depth in western region, Orissa interpolation of groundwater head series. Journal of Hydrology. 192, 65-80*
- Erfanimanesh, M., and Afyouni, M., 2006). *Environmental pollution of water, soil and air. Ardakan Publishing House, Isfahan. 318 p (In Persian)*
- Farahi, G., Kodashenas, S., and Alizadeh, A., 2011). *Estimation of sediment of watersheds in northern Khorasan province using fuzzy regression model. Iran-Watershed Management Science & Engineering. 5(15), 11-24 (In Persian)*
- Izadi, A., Davari, K., Alizadeh, A. and Ghahreman, B., 2008. *Application of Panel Data Model in Predicting Groundwater Level. Iranian Journal of Irrigation & Drainage (In Persian)*
- Khashi-Siuki, A., Ghahraman, B. and Kochakzadeh, M., 2013. *Comparison of ANN, ANFIS and Regression Models to Estimate Groundwater level of Neyshaboor Aquifer. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 1 (7): 10-22. (In Persian)*
- Khosrowshahi, M., 2007. *Important Indices of desertification as sight of water and introduce related research bases. seasonal magazine, Forest, Range and Watershed Organization.*
- Lohani, A.K., and G. Krishan., 2015. *Application of artificial neural network for groundwater level simulation in Amritsar and Gurdaspur Districts of Punjab, India. Journal of Earth Science and Climatic Change. 6(4), 1-5.*
- Lotfizadeh, L.A., 1965. *Fuzzy sets and information. Control. 8, 338-353.*
- Mahdavi, R., Abedi, J., Rezaei, J. and Abdul Husseini, M. 2004. *Locating Proper Artificial Feeding Groundwater Resources Through RS and GIS. 2nd National Student Conference on Soil and Water*

- Resources. 23 and 24 May of the month. University of Shiraz. 233-240. (In Persian)
- Matinzadeh, M.M., Fattahi, R., ShayanNejad, M. and Abdollahi, Kh., 2011. Estimation and reconstruction of maximum 24-hour rainfall data in Chaharmahal and Bakhtiari province using fuzzy regression. *Iranian Journal of Water Research*. 5(8), 179-186 (In Persian)
- Merritt, W.S., R.A. Letcher RA and A.J. Jakeman., 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*. 18(9), 761-799.
- MirArabi, M. And Nakhaei, A. 2008. Estimation of ground water level fluctuations in Birjand plain using artificial neural network. *Proceedings of the 12th Iranian Geological Society Conference, Ahvaz, National Iranian Oil Company of the South*. Pp: 1-8. (In Persian)
- Mohammadi J., and S.M. Taheri., 2006. Pedo transfer function fitting with fuzzy regression. *J. Sci. and Tech. Agric. and Natur. Resour.* 9(2), 51-60.
- Mohammadi, J. and Taheri, S.M., 2006. Pedo transfer function fitting with fuzzy regression. *J. Sci. and Tech. Agric. and Natur. Resour.* 9(2), 51-60 (In Persian)
- Nourani, V. and Salehi, K., 2008). Rainfall-runoff modeling using comparative fuzzy neural network and its comparison with neural network and fuzzy inference method. *4th National Congress on Civil Engineering, 13-14 November, University of Tehran*. (In Persian)
- Paruelo, J.M. and F. Tomasel., 1997. Prediction of functional characteristics of ecosystems: a comparison of artificial neural networks and regression models. *Ecolog. Model.* 98, 173-18.
- Parviz, L., Kholghi, M. and Fakhorifard, A., 2010). Forecasting annual streamflow using autoregressive integrated moving average model and fuzzy regression. *J. Soil and Water Sci.* 19(1), 66-82 (In Persian)
- Philip Plumb A., R.C. Rowe, P. York and M. Brown., 2005. Optimisation of the predictive ability of artificial neural network (ANN) models: A comparison of three ANN programs and four classes of training algorithm. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 25(5):, 395-405.
- Poormohammadi, S., H. Malekinezhad and R. Poorshareyati., 2013. Comparison of ANN and time series appropriately in prediction of ground water table (Case Study: Bakhtegan basin). *Journal of Water and Soil Conservation*. 20(4):, 251-261.
- Poormohammadi, S., Malekinezhad, H. and Poorshareyati, R., 2013. Comparison of ANN and time series appropriately in prediction of ground water table (Case Study: Bakhtegan basin). *Journal of Water and Soil Conservation*. 20(4), 251-261 (In Persian)
- Radden, D.T. and W.H. Woodall., 1994. Properties of certain fuzzy linear regression methods. *Fuzzy Sets and Systems*. 64, 361-375
- Sadat-Helbar, S.M., M.H. Niksokhan and E. Amiri-Tokaldany., 2008. Fuzzy regression approach to estimating the settling velocity of sediment particles. *Fourth International Conference on Scour and Erosion*. 590- 586
- Sadatinezhad, S.J., Hasanshahi, R., Shayanfar, M. and Abdollahi, K.H., 2011. Evaluation of Fuzzy Regression Efficiency for Reconstructing Missing Annual Precipitation Data in Karoon Basin. *Environmental Sciences*. 8(3), 109-116 (In Persian)
- Savic, D.A. and W. Pedrycz., 1991. Evaluation of fuzzy linear regression models. *Fuzzy Sets and Systems*. 39, 51-63.
- Shayannejad, M., Sadatinejad, S.J. and Fahmi, H., 2008. Determination of potential evapotranspiration using the fuzzy regression method. *J. Water Resour. Res.* 3, 76-86 (In Persian)
- Shiati, K., 1999. *World Water Vision for Food: Country Case Study Iran*. Paper presented at the MENA Consultation Meeting, May 1999, Bari, Italy.
- Shizeradi, S. and Saboi Saboni, M., 2014. Investigating the stability and equilibrium of groundwater table in order to achieve sustainable management (Case study: Neyshabour basin). *Journal of Agricultural Economics Researches*. 6(4), 107-128. (In Persian)
- Sun, Y., D. Wendi, D.E. Kim and S.Y. Liang., 2015. Application of artificial neural networks in groundwater table forecasting—a case study in Singapore swamp forest. *Hydrology and Earth System Science*. 12, 9317-9336
- Tanaka, H. and S. Uejima., 1982. Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE Trans. Systems, Man, Cybernet.* 12, 903-907.

- Taormina, R., K. Chau and R. Sethi., 2012. Artificial neural network simulation of hourly groundwater levels in a coastal aquifer system of the Venice lagoon. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 25(8), 1670–1676.*
- Todd, D.K. and L.W. Mays., 2005. Groundwater hydrology. Third Edition. John Wiley & Sons, New York, 636p. Wahlin, K.*
- Velayati, S., 2000. The most important factors affecting the quality changes of the Neyshabour plain. Quarterly journal of geographic research. No. 15. (In Persian)*
- Yen, K.K., S. Ghoshary and G. Roig., 1999. A linear model using triangular fuzzy number coefficients. Fuzzy sets and systems. 106, 167-177*



## ***Estimating The Groundwater Table Of Neyshabour Plain With Introducing Fuzzy Possibilistic Regression Model***

***Sepide Zeraati Neyshabouri<sup>1\*</sup>, Mohsen Pourreza Bilondi<sup>2</sup>, Abbas Kashei-Siuki<sup>3</sup>, Ali Shahidi<sup>4</sup>***

*1- MSc Graduate, Department of Water science and Engineering, University of Birjand, Iran*

*2- Associate Professor, Department of Water science and Engineering, University of Birjand, Iran,*

*3- Associate Professor, Department of Water science and Engineering, University of Birjand, Iran,*

*4- Associate Professor, Department of Water science and Engineering, University of Birjand, Iran,*

*\*Corresponding Author E-mail: [sepide\\_zeraati@yahoo.com](mailto:sepide_zeraati@yahoo.com)*

*Received: 09-07-2018; Accepted: 01-08-2018*

### ***Abstract***

*Groundwater resources are the second largest freshwater source in the world after polar glaciers. Due to the importance of this resource in arid and semiarid regions, investigating changes in groundwater levels has an important role in planning and sustainable water resources management. The steady decline in groundwater levels has been observed in many parts of the world. For optimal use of available water resources comprehensive planning is necessary to make informed and accurate understanding of this important component of water resources. Neyshabour plain is one of the most plains of Khorasan Razavi province, which has an important role in agricultural production. Due to the reduction of the Groundwater recharge factors and Unallowable discharges of the resources, annually 74 cm decline in groundwater table in Neyshabour plain were observed. Hence the objective current study was forecasting the monthly groundwater changes in Neyshabour aquifer using fuzzy regression model. For this propose, the parameters affecting aquifer level including monthly precipitation and discharge detected and fuzzy linear regression approach is employed for to estimate groundwater level of Neyshabour Aquifer. The results represent that the most accuracy predicts was in august with  $R^2$ , RMSE and MAE of applied model was 0.93, 6.05 and 6.01 respectively. In conclusion the results obtained from this study, based on  $R^2$ , MAE and RMSE measures, showed the efficiency of newly developed formulas based on fuzzy regression method in estimate the groundwater table with proper accuracy.*

***Key words:*** *Aquifer Table, Fuzzy Regression, Groundwater, Neyshabour Plain*