

پیش بینی تراز سطح ایستابی با استفاده از سامانه‌های هوشمند

(مطالعه‌ی موردی: دشت شبستر)

علی اصغر میرزایی*^۱ و امیرحسین ناظمی^۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۱۸

چکیده

تخمین تراز سطح ایستابی از مسایل مهم و اساسی است که در برنامه‌ریزی کشاورزی، مدیریت منابع آب و تعیین نیاز آبی گیاهان بویژه در مواردی که از راهکارهای کم آبیاری بهره برده شود، دارای اهمیت فراوانی است. آگاهی از تراز سطح ایستابی می‌تواند در شوری و ماندابی شدن زمین وحتى زهکشی اراضی مفید باشد. در تحقیق حاضر از سامانه‌های هوشمند استنتاج عصبی - فازی تطبیقی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک برای تخمین تراز سطح ایستابی دشت شبستر در استان آذربایجان شرقی، واقع در شمال غرب ایران بهره‌وری گردیده است. در این تحقیق از اطلاعات ۲۰ پیزومتر که دارای آمار بالای ۱۷ سال بودند، استفاده شده است. نتایج حاصل حاکی از توانایی مطلوب برنامه‌ریزی ژنتیک در تحلیل پدیده‌ی غیر خطی تغییرات تراز سطح ایستابی است. با توجه به شاخص‌های آماری به کار گرفته شده در تحقیق حاضر، شبکه‌ی عصبی مصنوعی و نیز سامانه‌ی عصبی - فازی تطبیقی و برنامه‌ریزی ژنتیک قادر به تخمین دقیق تراز سطح ایستابی بوده و با وجود برخی تفاوت‌های جزئی در دقت حاصل از به کارگیری این سه روش، که روش برنامه‌ریزی ژنتیک را به عنوان بهترین روش پیشنهاد می‌نماید، هر سه روش از دقت قابل قبولی برخوردارند. نتایج نشان دادند که شبیه‌سازی عصبی - فازی به عنوان بهترین شبیه‌سازی در تخمین‌های مبتنی بر داده‌های ۳ ماه قبل بوده و شبیه‌سازی ژنتیک و عصبی مصنوعی به ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند. همچنین راه‌حل‌های صریحی که نشانگر ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی می‌باشند، بر مبنای برنامه‌ریزی ژنتیک ارائه گردیده‌اند که این امر بر ارجحیت شبیه‌سازی ژنتیک بر دو شبیه‌سازی دیگر می‌افزاید.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ژنتیک، تخمین، تراز سطح ایستابی، سامانه‌ی عصبی - فازی تطبیقی، شبکه‌های عصبی.

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز.

*نویسنده‌ی مسوول مقاله: a_mirzaie62@yahoo.com

مقدمه

آبهای زیرزمینی به عنوان تنها منبع مورد اعتماد مصرف آب در زمین، در زمینه های شرب، کشاورزی و صنعت در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند. با توجه به این که ریزشهای جوی در این مناطق بیشتر به گونه ای است که در زمانهای محدود اتفاق می‌افتد، لذا جریانهای سطحی عموماً به صورت سیلابی و پس از هر بارش مشاهده و قطع می‌گردند. بنابراین، در این مناطق مهارکردن و بهره وری از آبهای سطحی فقط به صورت طرحهای آبخیزداری و در جهت تغذیهی آبهای زیرزمینی انجام می‌گیرد، لذا کلیهی برنامه ریزی های کوتاه مدت و دراز مدت تأمین آب در این مناطق بر مبنای حجم آب زیرزمینی در دسترس می‌باشند. تاکنون از شبیه های زیادی برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی بهره برده شده است از جملهی اینها می‌توان به شبیه های سری زمانی تجربی و شبیه های فیزیکی اشاره کرد (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۶). از شبیه‌های سری زمانی تجربی، به طور گسترده ای برای شبیه سازی سطح آب زیرزمینی استفاده شده است، ولی هنگامی که رفتار پویایی یک سامانهی آبشناسی با گذشت زمان تغییر می‌کند، به دلیل تأثیر فراسنجهای مختلف، تعیین معادلات حاکم بر آن نیز مشکل بوده و در صورت تعیین شبیه ریاضی نیز دسترسی به اطلاعات پیچیدهی زمین شناسی، مشخصات لایه های آبخوان و غیره در اکثر موارد به آسانی میسر نمی‌باشد. ارزیابی تغییرات تراز آب زیرزمینی و پیش بینی آن با توجه به وجود فراسنجهای متنوع مرتبط با موضوع، نظیر متغیرهای آبشناسی، زمین شناسی، خاکشناسی و غیره مسئله ای غیرخطی و پیچیده است (دارلیاکوپولوس و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به اهمیت پیش بینی تراز آب زیرزمینی از نقطه نظرهای مختلف، یافتن روشی مناسب برای انجام آن حائز اهمیت است. شبکه های عصبی مصنوعی می‌توانند در پیش بینی سطح آب زیرزمینی موثر واقع شوند. ایزدی (۱۳۸۶) نشان داد که شبکه عصبی در پیش بینی سطح آب زیرزمینی طی ۶ ماه آینده نتایج نسبتاً خوبی را ارائه می‌نماید. درسالهای اخیر روشهای جدید رایانه ای از نوع الگوریتم های گردش و شبکه های عصبی مصنوعی بطور

وسعی در تمامی زمینه های علوم و مهندسی، بویژه در مورد مسائل کشاورزی-آبشناسی به کار گرفته می‌شوند (فرانسل و پنی گراهی، ۱۹۹۷ و الیزوندو و همکاران، ۱۹۹۴). کاربرد سامانه های هوشمند برای پیش بینی تراز آبهای زیرزمینی به سرعت رو به افزایش است که دلیل این امر به سهولت کاربرد و دقت بالای این شبیه ها در تقریب معادلات غیر خطی و پیچیده ریاضی بر می‌گردد (پارولو و توماسل، ۱۹۹۷). در کاربرد های مهندسی، از برنامه ریزی ژنتیک نیز در شبیه سازی مسائل مربوط به تعیین ساختار پدیده ها استفاده گردد. این روش جزء روشهای الگوریتم فرا کاوشی محسوب می‌شود که مبنای تمامی آنها بر اساس نظریه تکامل داروین استوار است. الگوریتمهای یاد شده اقدام به تعریف یک تابع هدف در قالب معیار های کیفی نموده، و سپس تابع یاد شده را برای اندازه گیری و مقایسه روشهای مختلف حل، در یک فرآیند گام به گام تصحیح ساختار داده ها به کار گرفته و در نهایت، روش حل مناسب را ارائه می‌نمایند. برنامه ریزی ژنتیک جدیدترین شیوه الگوریتمهای فراکاوشی است، که به دلیل دارا بودن دقت کافی، از کاربرد بیشتری برخوردار است. خو و همکاران (۲۰۰۱) در یک تحقیق در مورد حوضه آبخیز اورگوال در فرانسه، از برنامه ریزی ژنتیک برای پیش بینی رواناب بهره برده و نتایج حاصل را با مقادیر مشاهداتی، و نیز مقادیر محاسبه شده با کاربرد روشهای کهن مورد مقایسه قرار دادند. حاصل تحقیق بیانگر دقت قابل قبول برنامه ریزی ژنتیک بود. لیونگ و همکاران (۲۰۰۲) با مطالعه رابطه بارش- رواناب بدین نتیجه دست یافتند که استفاده از برنامه ریزی ژنتیک در پیش بینی رفتار بارش - رواناب در حوضه های آبخیز سبب بروز خطای کمتری خواهد گردید آیتک وکیشی (۲۰۰۸) با مطالعه در مورد پدیده حمل رسوب در آبراهه ها روش برنامه ریزی ژنتیک را به عنوان یک رهیافت مناسب جهت شبیه سازی بار معلق معرفی نمودند. همچنین درکورت (۱۹۹۹)، بابویک و کیزر (۲۰۰۲) و ماتیل و لیونگ (۲۰۰۱) از برنامه ریزی ژنتیک برای شبیه سازی بارش- رواناب بهره بردند. سامانه استنتاج عصبی-فازی تطبیقی، از جمله روشهایی است که در تحلیل پدیده های غیر خطی و بررسی رابطه بین

تطبیقی و تخمین دقت آنها و انتخاب بهترین روش برای پیش بینی تراز سطح ایستابی است.

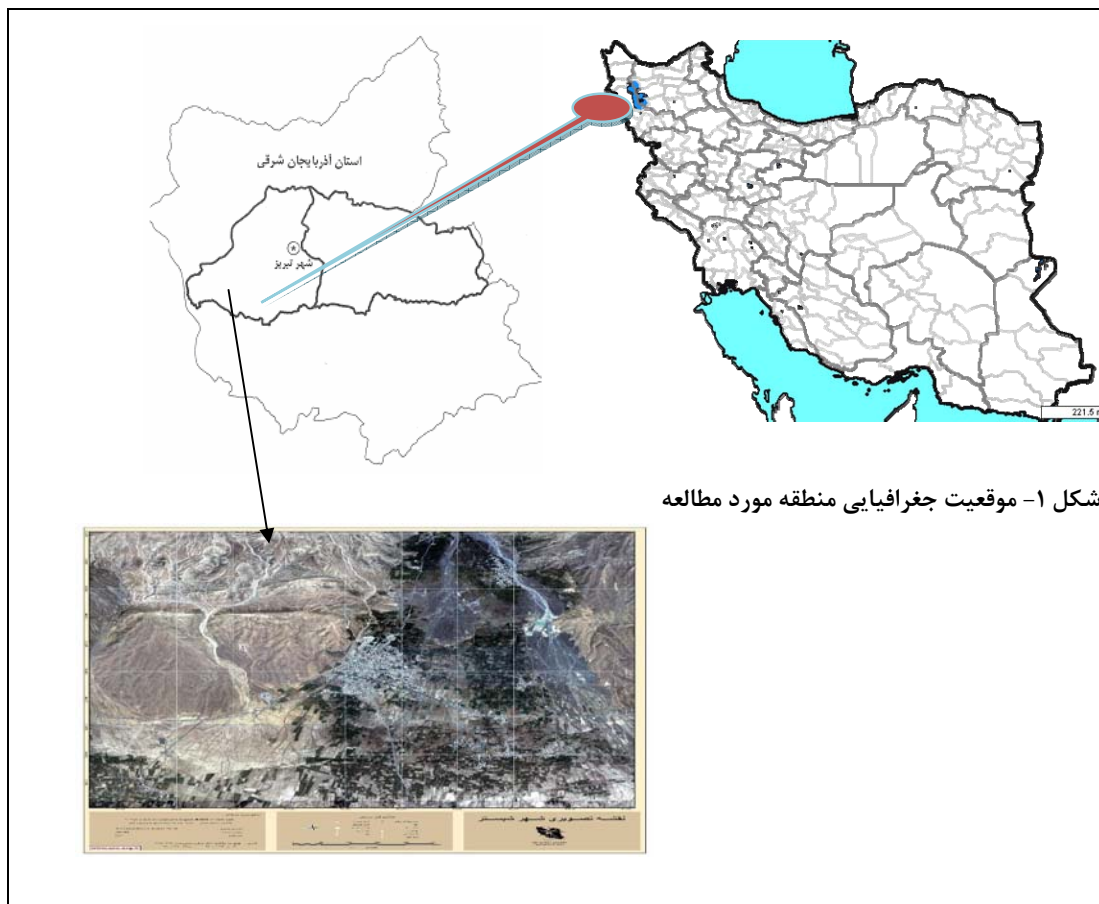
مواد و روشها

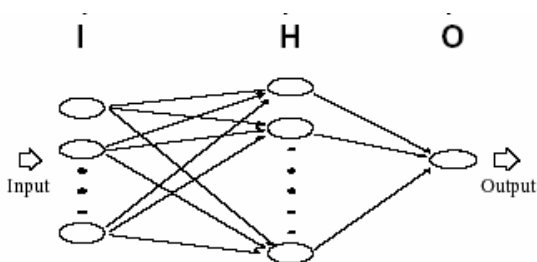
مشخصات منطقه مورد مطالعه

دشت شبستر واقع در شمال شرقی استان آذربایجان شرقی و شهر تبریز در موقعیت $38^{\circ} 4' 48''$ شمالی و $46^{\circ} 17' 31''$ شرقی در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. در این تحقیق از اطلاعات ۲۰ چاه مشاهده ای که دارای بیش از ۱۷ سال آمار بودند استفاده شده است.

ورودی - خروجی در سامانه های متشکل از فراسنجهای مختلف، به کار بسته می شود. تاکنون برخی مطالعات در زمینه های کشاورزی - آبشناسی با استفاده از سامانه یاد شده به انجام رسیده اند. مقدم نیا و همکاران (۲۰۰۹) از سامانه استنتاج عصبی - فازی تطبیقی برای تخمین اندازه تبخیر روزانه در سیستان بهره بردند. کیشی و اوزترک (۲۰۰۷) با استفاده از این سامانه به پیش بینی اندازه نیاز آبی گیاه مرجع پرداختند. کسکین و همکاران (۲۰۰۴) رهیافت منطق فازی را برای تخمین اندازه تبخیر روزانه در مناطق غربی ترکیه به کار بستند.

هدف از انجام این تحقیق پیش بینی تراز سطح ایستابی تا ۲۴ ماه آینده با استفاده از سامانه های هوشمند برنامه ریزی ژنتیک، شبکه عصبی و سامانه عصبی - فازی





شکل ۲- ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی

WIH و WHO نشانگر وزن های مربوط به اتصالات بین لایه ها است. تخمین اولیه وزنه‌های یاد شده با پیشرفت شبیه تصحیح می گردند، که این امر در مرحله آموزش (و مقایسه مقادیر خروجی مشاهداتی و شبیه سازی شده) برای تعیین مقادیر تصحیح لازم برای به حداقل رساندن خطا است.

برنامه ریزی ژنتیک

زمینه اصلی برنامه ریزی ژنتیک روش الگوریتم ژنتیک است (گلدبرگ، ۱۹۸۹). برنامه ریزی ژنتیک می تواند بطور موفقیت آمیزی در شرایط زیر به کار بسته شود (بنزهدف و همکاران، ۱۹۹۸): ۱. رابطه موجود بین متغیر های مسأله به خوبی شناخته نشده باشد (یا صحت و سقم شناخت فعلی از رابطه مذکور با تردید همراه باشد)، ۲. پیدا کردن اندازه و شکل روش حل نهایی بسیار سخت بوده و بخش عمده مسأله را تشکیل دهد، ۳. روشهای معمول تحلیل ریاضی قادر به ارائه روشهای حل تحلیل نباشند، ۴. راه حل تقریبی قابل قبول باشد، ۵. هر گونه بهبود جزئی در عملکرد به صورت منظم اندازه گیری شده و این بهبود از ارزش زیادی برخوردار باشد، ۶. تعداد داده هایی که بایستی به وسیله رایانه مورد آزمون، دسته بندی و جمع بندی قرار گیرند زیاد باشد (نظیر داده های مربوط به ستاره شناسی، داده های مشاهداتی ماهواره ها، داده های مالی و یا هرگونه داده دیگر). در تحقیق حاضر از برنامه GeneXproTools (فریرا، ۲۰۰۱) برای توسعه و اجرای شبیه های مبتنی بر برنامه ریزی ژنتیک استفاده به عمل آمده است. برنامه یاد شده بر اساس برنامه ریزی

سامانه استنتاج عصبی - فازی تطبیقی

سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی^۱ (ANFIS) شامل شبکه‌های چند لایه‌ای می‌باشند و از الگوریتمهای یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی و نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کنند. این سامانه با توجه به توانایی در ترکیب قدرت زبانی یک سامانه فازی با قدرت عددی یک شبکه عصبی، موفقیت‌های بسیاری را در شبیه‌سازی و اداره سامانه‌های پیچیده داشته است. سامانه ANFIS در ابتدا به وسیله جانگ (۱۹۹۳) معرفی گردید، و از آن پس به عنوان یکی از ابزارهای تقریب ساز توابع حقیقی پیوسته (و با هر مقدار دلخواه درجه دقت) در سطح جهانی مورد استفاده قرار گرفت این سامانه از نظر عملکرد مشابه سامانه های استنتاج فازی است سامانه استنتاج عصبی- فازی تطبیقی به کار گرفته شده در تحقیق حاضر، معادل شبیه فازی از مرتبه سوگنو است (جانگ و همکاران، ۱۹۹۷). در تحقیق حاضر از توابع عضویت گوسی استفاده به عمل آمد و در هر مرحله، پس از آزمون توابع عضویت متعدد، بهترین تابع با توجه به مقدار حداقل مربع خطاها انتخاب گردید. بر مبنای مراحل سعی و خطای انجام یافته در این تحقیق، تعداد توابع عضویت در هر مورد و برای هر یک از متغیرهای ورودی برابر با ۴ عدد در نظر گرفته شده است.

شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی مصنوعی بر اساس استنباط از سامانه عصبی زیستی استوار است. در میان نمونه های متعدد شبکه های عصبی، شبکه انتشار به عقب دارای کاربرد بیشتری است (لیپمن، ۱۹۸۷). شبکه یاد شده متشکل از لایه هایی است که دارای عناصری با عملکرد موازی هستند که به آنها نرون (عصب) گفته می شود. هر لایه با لایه قبل و بعد از خود در ارتباط است. شکل ۲ نمای کلی یک شبکه عصبی را نشان می دهد که از سه لایه تشکیل گردیده است.

¹- Adaptive Neural Network Fuzzy Inference System

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad [1]$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum y_i^2 - \frac{\sum \hat{y}_i^2}{N}} \quad [2]$$

در روابط اخیر، \hat{y}_i و y_i به ترتیب مقادیر تراز مشاهداتی و تخمینی در گام زمانی i ام می باشد. N نیز نشانگر تعداد داده هاست. داده های مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل مقادیر تراز سطح ایستابی دشت شبسترند که طی یک دوره آماری ۱۷ساله، و با اختصاص حدود ۱۰ سال برای دوره آموزش و حدود ۷ سال برای دوره آزمون، در ترکیبهای مختلف ورودی شبیه ها وارد گردیدند. به منظور بررسی دقت هریک از روشهای یاد شده، ترکیبهای مختلفی از مقادیر تراز سطح ایستابی تشکیل گردیده و به عنوان ورودیهای این شبیه ها مورد استفاده قرار گرفتند. در هر مورد، ابتدا مقادیر تراز سطح ایستابی با استفاده از تراز یک ماه قبل تعیین گردید و شبیه هایی با عناوین NNI^2 (شبیه شبکه عصبی)، NFI^3 (شبیه عصبی - فازی تطبیقی) و GPI^4 (شبیه برنامه ریزی ژنتیک) معرفی گردیدند. به همین ترتیب در مورد دو شبیه بعدی نیز مقادیر تراز سطح ایستابی در گامهای زمانی دو ماه و سه ماه قبل به عنوان ورودیهای شبیه به کار گرفته شده و شبیه های حاصل، به ترتیب با پسوند های ۲ و ۳ مشخص گردید. شبیه های به کار گرفته شده بر اساس مقادیر تراز سطح ایستابی در ماههای قبل تشکیل یافته و لذا در هر مورد، سه شبیه بر مبنای مقادیر تراز سطح در یک، دو و سه ماه قبل توسعه یافتند.

صریح ژنتیک^۱ (GEP) استوار است. GEP ویرایش جدیدی از برنامه ریزی ژنتیک است که به استنتاج برنامه های رایانه ای با اندازه ها و شکلهای مختلف می پردازد (فریرا، ۲۰۰۱).

استخراج شبیه های تراز سطح ایستابی بر اساس برنامه ریزی ژنتیک

گام اول، شامل انتخاب تابع برازش مناسب است. در مطالعه حاضر، تابع RMSE (جذر میانگین مربع خطاها) به عنوان تابع برازش انتخاب گردید. گام دوم، انتخاب مجموعه متغیر های ورودی و مجموعه توابع به منظور تولید کروموزومها است. در مسأله حاضر ورودی ها متشکل از مقادیر تراز سطح ایستابی در چاههای مشاهده ای است. مرحله سوم شامل انتخاب ساختار و معماری کروموزومها است. اندازه طول هر رأس برابر با ۸ و تعداد ژنها نیز برابر با ۳ در نظر گرفته شدند. مرحله چهارم انتخاب تابع پیوندی است که در این مطالعه تابع جمع کننده (مجموع) برای ایجاد پیوند بین زیر شاخه ها مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، در مرحله پنجم عملگر های ژنتیک و نرخ هر یک از آنها انتخاب می گردد. در مورد شبیه سازی تراز سطح ایستابی، ترکیبی از کلیه عملگرها نظیر جهش، برگشت، سه نوع مختلف ترانهش و سه نوع عملگر ترکیب مجدد مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر عددی این فراسنجهها به صورت خلاصه به شرح زیر است: تعداد کروموزوم=۳۰، تعداد ژن=۳، نرخ جهش=۰/۰۴۴، نرخ برگشت=۰/۱، نرخ ترکیب مجدد ژنی=۰/۳، نرخ ترکیب مجدد تک نقطه ای=۰/۳، نرخ ترکیب مجدد دو نقطه ای=۰/۳ و نرخ ترانهش=۰/۱.

شاخصهای تعیین دقت شبیه

شاخصهای آماری ضریب رگرسیون (وابازی)، جذر میانگین مربع خطاها به منظور بررسی و ارزیابی دقت شبیه ها مورد استفاده واقع شدند. شاخصهای یاد شده به ترتیب با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می باشند:

²-Neural Network

³-Neural Fuzzy

⁴-Genetic Programming

¹-Genetic Expression Programing

نتایج و بحث

دوره آموزش

جدول ۱ مقادیر مربوط به هر یک از شاخص‌ها را در دوره آموزش نشان می‌دهد. با توجه به این جدول

جدول ۱- مؤلفه‌های آماری مربوط به شبیه‌های مختلف تخمین تراز سطح ایستابی در دوره آموزش

نوع شبیه		R ²	RMSE
GP	1	۰/۹۵۶	۱/۹۳۴
	2	۰/۹۵۲	۱/۸۲
	3	۰/۹۶۹	۱/۹۸
ANN	1	۰/۹۵۶	۱/۹۳۷
	2	۰/۹۵۷	۱/۹۳۳
	3	۰/۹۵۷	۱/۹۱۶
ANFIS	1	۰/۹۵۷	۲/۰۰۹
	2	۰/۹۵۷	۱/۹۱۷
	3	۰/۹۶۹	۱/۸۷۲

است) مقدار شاخص RMSE نیز به مراتب بیشتر از مقدار این شاخص در شبیه شبکه عصبی است. این امر ارجحیت مطلق شبیه‌های مبتنی بر برنامه ریزی ژنتیک را در تخمین میزان تراز سطح ایستابی با تردید مواجه می‌سازد، لذا در این حالت می‌توان اظهار داشت که شبیه عصبی - فازی به عنوان بهترین شبیه در تخمین‌های مبتنی بر داده‌های ۳ ماه قبل بوده و شبیه ژنتیک و عصبی مصنوعی به ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند. در مورد شبیه‌های مبتنی بر تراز سطح ایستابی یک ماه و دو ماه قبل، شبیه‌های ژنتیک در مرتبه اول قرار داشته و شبیه‌های عصبی - فازی و عصبی مصنوعی (با دقت تقریبی یکسان) در مرتبه بعدی واقع می‌شوند.

دوره آزمون

جدول ۲ مقادیر مربوط به هر یک از شاخص‌ها را در دوره آزمون نشان می‌دهد.

از سوی دیگر، شبیه‌های برنامه ریزی ژنتیک و سامانه عصبی - فازی دارای چنین رفتاری نبوده و افزوده شدن مقادیر تراز سطح ایستابی مربوط به گام‌های زمانی مختلف به عنوان فراسنجهای ورودی، سبب تغییر و بهبود نسبی آنها می‌شود. همچنین، دقت شبیه‌های شبکه عصبی در هر سه مورد تقریباً یکسان است. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌شود که در این حالت مقادیر ضریب تبیین مربوط به برنامه ریزی ژنتیک، بیشتر از مقادیر مشابه مربوط به دو شبیه عصبی - فازی و شبیه‌های شبکه عصبی است و از این منظر می‌توان برنامه ریزی ژنتیک را به عنوان بهترین شبیه در این بخش معرفی نمود؛ لکن بررسی مقادیر شاخص آماری دیگر، حاکی از آن است که به رغم بیشتر بودن مقدار ضریب تبیین در شبیه‌های مبتنی بر برنامه ریزی ژنتیک، مقادیر خطا نیز در این شبیه‌ها بیشتر از مقادیر خطای مربوط به شبیه‌های شبکه عصبی در شرایط مشابه است، به نحوی که در شبیه GP3 که دارای ضریب تبیین برابر با ۰/۹۶۹ است (در مقایسه با شبیه NN3 که ضریب تبیین آن برابر با ۰/۹۵۷

جدول ۲- مؤلفه‌های آماری مربوط به شبیه‌های مختلف تخمین تراز سطح ایستابی در دوره آزمون

نوع شبیه	ورودی‌های شبیه	شاخصهای آماری	
		R ²	RMSE
برنامه ریزی ژنتیک	GP1 H _{i-1}	۰/۹۵۶	۱/۹۳۴
	GP2 H _{i-2} , H _{i-1}	۰/۹۵۷	۱/۵۴
	GP3 H _{i-3} , H _{i-2} , H _{i-1}	۰/۹۶۹	۲/۰۴۵
شبکه عصبی مصنوعی	NN1 H _{i-1}	۰/۹۵۵	۱/۹۳۷
	NN2 H _{i-2} , H _{i-1}	۰/۹۵۷	۱/۹۳۳
	NN3 H _{i-3} , H _{i-2} , H _{i-1}	۰/۹۵۷	۱/۹۱۷
عصبی - فازی	NF1 H _{i-1}	۰/۹۵۳	۲/۰۰۹
	NF2 H _{i-2} , H _{i-1}	۰/۹۵۷	۱/۹۱۷
	NF3 H _{i-3} , H _{i-2} , H _{i-1}	۰/۹۶۹	۱/۸۷۲

عصبی - فازی دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین ($R^2=0/969$) و کمترین مقادیر جذر میانگین مربع خطاها ($RMSE=1/872$) بوده، لذا به عنوان بهترین روش بر اساس داده‌های آماری سه ماه قبل است. معادله ارائه شده توسط برنامه ریزی ژنتیک برای تخمین میزان تراز سطح ایستابی در ماه i ام نیز بر بنای داده‌های تراز سطح ایستابی در طی سه ماه قبل به شکل زیر خواهد بود. که H_i تراز سطح ایستابی در ماه i است.

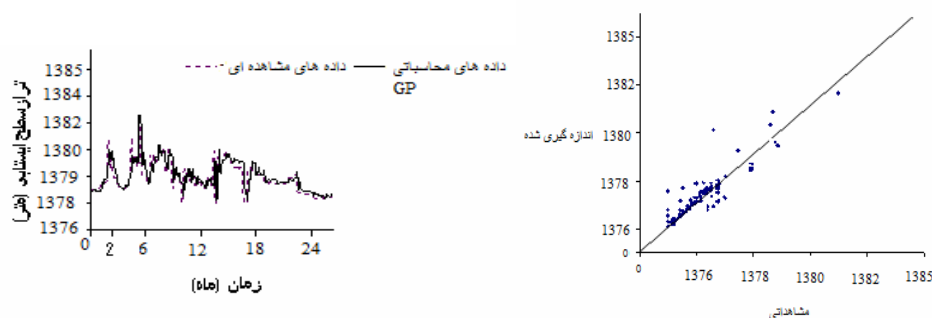
$$H_i = d(0) + \exp(G2C1 - d(1)) + (d(1) / \exp((\exp(\sqrt{G3C0} * G3C1))^2))$$

مقادیر ثابت موجود در این معادله عبارتند از: $G3C1 = -1.02$ و $G3C0 = 4.18$, $G2C1 = -1.45$ جا گذاری مقادیر یاد شده در معادله اخیر، رابطه زیر حاصل می‌شود:

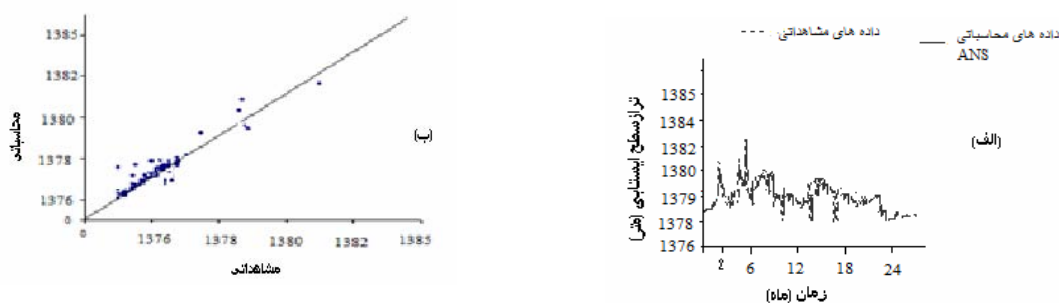
$$H_i = H_{i-1} + (0.083 - H_{i-2}) + H_{i-2} / (1.01)$$

شکلهای ۳ تا ۵ تراز سطح ایستابی مشاهده ای و محاسباتی برای هر سه شبیه ژنتیک، عصبی و عصبی - فازی را در ۲۴ ماه آینده نشان می‌دهد.

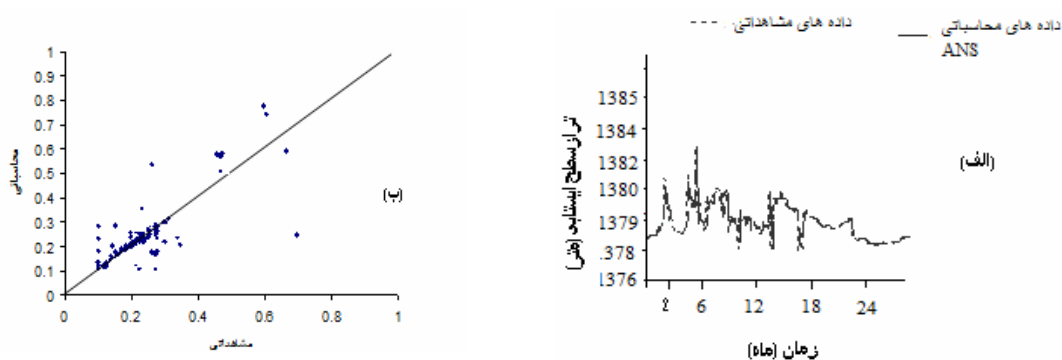
همان طور که از جدول معلوم است شبیه‌های GP1 و NN1 دارای مقادیر ضریب تبیین تقریباً یکسانی است، لذا دقت هر دو شبیه از نظر درجه همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و مقادیر تخمینی در حد یکسانی قرار دارد ($R^2=0/956$). از سوی دیگر، مقایسه مقادیر RMSE حاکی از دقت بیشتر شبیه‌های ژنتیک است که البته این اختلاف در حد کمی بوده و لذا می‌توان دقت هر دو شبیه را در حد یکسانی ارزیابی کرد. در مورد تخمین‌های مبتنی بر داده‌های دو ماه قبل، شبیه‌های NN2 و NF2 دارای درجه همبستگی بیشتری ($R^2=0/957$) نسبت به شبیه GP2 با درجه همبستگی ($R^2=0/952$) می‌باشند، لیکن مقدار شاخص RMSE مربوط به شبیه ژنتیک بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیر مربوط به شبیه‌های عصبی و عصبی - فازی است لذا در این حالت، شبیه ژنتیک به عنوان بهترین و شبیه‌های عصبی - فازی و شبکه‌های عصبی به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. در مورد حالت سوم که شبیه‌های مذکور بر اساس داده‌های آماری سه ماه قبل تشکیل شده‌اند، شبیه



شکل ۳ - الف- نمودار مقادیر مشاهداتی - محاسباتی تراز سطح ایستابی نسبت به زمان در بهینه ترین حالت شبیه برنامه ریزی ژنتیک ب- پراکندگی داده های مشاهداتی و محاسباتی حول نیمساز در بهینه ترین حالت شبیه برنامه ریزی ژنتیک



شکل ۴ - الف- نمودار مقادیر مشاهداتی - محاسباتی تراز سطح ایستابی نسبت به زمان در بهینه ترین حالت شبیه شبکه های عصبی مصنوعی و ب- پراکندگی داده های مشاهداتی و محاسباتی حول نیمساز در بهینه ترین حالت شبیه شبکه های عصبی مصنوعی



شکل ۵ - الف- نمودار مقادیر مشاهداتی - محاسباتی تراز سطح ایستابی نسبت به زمان در بهینه ترین حالت شبیه شبکه های عصبی - فازی تطبیقی و ب- پراکندگی داده های مشاهداتی و محاسباتی حول نیمساز در بهینه ترین حالت شبیه شبکه های عصبی - فازی تطبیقی

وجود اختلاف جزئی، به ترتیب در اولویتهای بعدی قرار می گیرند.

همان طور که ملاحظه می شود شبیه برنامه ریزی ژنتیک تخمین بهتری از تراز سطح ایستابی در ۲۴ ماه را نشان داده، شبیه های شبکه عصبی و عصبی-فازی تطبیقی، با

- runoff modeling. D2K Technical Rep. 0699-1-1. Danish Hydraulic Institute, Denmark.
- 7- Elizondo, D.A., R. W. McClendon, and G. Hoogenboom. 1994. Neural network models for predicting flowering and physiological maturity of soybean. *Trans. ASAE*. 37(3): 981-988.
- 8- Ferreira, C. 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *Complex Syst*. 13(2): 87-129.
- 9- Francl, L. J., and S. Panigrahi. 1997. Artificial neural network models of wheat leaf wetness. *Agric. Forest. Meteorol*. 88: 57-65.
- 10- Goldberg, D. E. 1989. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- 11- Jang, J. S. R. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Trans. Syst. Manage. Cyber*. 23(3): 665-685.
- 12- Jang, J. S. R., C. T. Sun, and E. Mizutani. 1997. Neurofuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence. Prentice-Hall, New Jersey.
- 13- Keskin, M. E., O. Terzi, and D. Taylan. 2004. Fuzzy logic model approaches to daily pan evaporation estimation in Western Turkey. *Hydrol. Sci. J*. 49(6): 1001-1010.
- 14- Khu, S. T., S. Y. Liong, V. Babovic, H. Madsen, and N. Muttill. 2001. Genetic programming and its application in real-time runoff forming. *J. Am. Water Resour. Assoc*. 37(2): 439-451.
- 15- Kisi, O., and O. Ozturk. 2007. Adaptive neurofuzzy computing technique for evapotranspiration estimation. *J. Irrig. Drain. Engin*. 133(4): 368-379.
- 16- Liong, S. Y., T. R. Gautam, S. T. Khu, V. Babovic, M. Keijzer, and N. Muttill. 2002. Genetic programming: A new paradigm in rainfall runoff modeling. *J. Am. Water Resour. Assoc*. 38(3): 705-718.
- 17- Lippman, R. 1987. An introduction to computing with neural nets. *IEEE ASSP Mag*. 4: 4-22.
- 18- Moghaddamnia, A., M. Ghafari Gousheh, J. Piri, S. Amin, and D. Han. 2009. Evaporatin estimation using artificial neural networks and adaptive neurofuzzy inference system techniques. *Advanc. water Resour*. 32: 88-97.
- 19- Muttill, N., and S. Y. Liong. 2001. Improving runoff forecasting by input variable

نتیجه گیری

شبیه سازی و تخمین تراز سطح ایستابی یکی از مؤلفه های مهم و قابل توجه در زمینه برنامه ریزی کشاورزی و نیز ، طراحی و مدیریت منابع آب است. در تحقیق حاضر از روش شبکه های عصبی مصنوعی، سامانه استنتاج عصبی - فازی تطبیقی و برنامه ریزی ژنتیک به منظور تخمین تراز سطح ایستابی متوسط بهره برده شد. بر پایه محاسبات انجام یافته، هر سه روش داری توانایی قابل توجهی در تخمین میزان تراز سطح ایستابی بوده، لذا با اطمینان کافی می توان از آنها در تراز سطح ایستابی بهره برد. شایان ذکر است که دقت برنامه ریزی ژنتیک در برخی موارد به طور جزئی بیشتر از دو روش دیگر است ولی این تفاوت چندان قابل ملاحظه نبوده و در حالت کلی می توان هر سه شبیه را به عنوان شبیه های قابل قبول تخمین تراز سطح ایستابی معرفی نمود. شبیه های مبتنی بر برنامه ریزی ژنتیک راه حل‌های صریحی ارائه می نمایند که بر مبنای آنها می توان رابطه بین متغیر های ورودی و خروجی را مشخص نمود. در این تحقیق رابطه ای صریح برای تخمین تراز سطح ایستابی ارائه گردید که بر مبنای آنها می توان شبیه های تجربی تخمین تراز سطح ایستابی را صحت سنجی نمود.

منابع

- ۱- ایزدی، ع، ک. داوری، ا. علیزاده، ب. قهرمان و س. ا. حقایقی مقدم، ۱۳۸۶. پیش بینی سطح ایستابی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. ۲(۱): ۵۹-۷۱.
- 2- Ayttek, A., and O. Kisi. 2008. A genetic programming approach to suspended sediment modeling. *J. Hydrol*. 351: 288-298.
- 3- Babovic, V., and M. Keijzer. 2002. Rainfall runoff modeling based on genetic programming. *Nordic Hydrol*. 33: 331-343.
- 4- Banzhaf, W., P. Nordin, R. E. Keller, and F. D. Francone. 1998. Genetic Programming. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
- 5- Daliakopoulos, N. I., P. Coulibaly, and I. K. Tsanis. 2005. Ground water level forecasting using artificial neural networks. *J. Hydrol*. 309: 229-240.
- 6- Drecourt, J. P. 1999. Application of neural networks and genetic programming to rainfall

selection in GP. In: Proceedings of world water congress, ASCE.

20- 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.