

Investigating the Interrelationships between Hydro-Social Parameters in the Asian Continent Using Data Mining Methods

MOHAMMAD ANSARI GHOJGHAR^{1*}, SARVIN ZMANZAD-GHAVIDEL¹, FARIBA KHODABAKHSHI², MASOUD

POURGHOLAM-AMIJI¹, SHAHAB ARAGHINEJAD¹, ALI SALAJEGHEH³

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
3. Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Oct. 13, 2020- Revised: Dec. 11, 2020- Accepted: Jan. 9, 2021)

ABSTRACT

Water scarcity and subsequent social and economic crises have doubled the need to use new interdisciplinary knowledge-based approaches in reforming water resources management structures and policies and implementing water resources plans and projects. In the meantime, recognizing the interrelationships of the social sciences and their water resources systems has become a problem that its solution help us to correct existing dysfunctional structures. Therefore, the main purpose of this study is to prove the interrelationship of some social parameters and water resources on a continental scale with the use of software modeling tools. In this study, per capita data on renewable water resources and social parameters including the ratio of rural population to urban population, population density, number of Internet users and education index on an annual scale are considered. The statistical period of the data was 13 years (2005-2007) and this study was performed for 42 countries in Asia whose per capita water resources were declining. Then, using soft computing methods such as Artificial Neural Network (ANN), Decision Tree (M5) and Adaptive Fuzzy-neural Inference System (ANFIS), the interrelationship between per capita water resources and social parameters was modeled. Modeling results were evaluated by the criteria of Determination Coefficient (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) values. Finally, the results indicate the superior performance of ANFIS method compared to the other two models in evaluating the interaction of per capita water resources and social parameters. Also, after the ANFIS model, the M5 and ANN models had better performance, respectively.

Keywords: Social Parameters, ANFIS, Integrated Water Resource Management.

* Corresponding Author's Email: M.ansari2014m@gmail.com

بررسی ارتباط متقابل بین پارامترهای هیدرو-اجتماعی در قاره آسیا با استفاده از روش‌های داده‌کاوی

محمد انصاری قوجقار^{۱*}، سروین زمان‌زاد قوبدل^۱، فریبا خدابخشی^۲، مسعود پورغلام آمیجی^۱، شهاب عراقی نژاد^۱، علی سلاجقه^۲

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۳. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰)

چکیده

کمبود آب و به دنبال آن بحران‌های اجتماعی و اقتصادی، ضرورت استفاده از رویکردهای جدید مبتنی بر دانش بین‌رشته‌ای در اصلاح ساختارها و سیاست‌های مدیریت منابع آب و اجرای طرح‌ها و پروژه‌های منابع آب را دوچندان کرده است. در این میان شناخت ارتباط متقابل علوم اجتماعی و سامانه‌های منابع آب خود به مسئله‌ای تبدیل شده است که حل آن، ما را در اصلاح ساختارهای ناکارآمد کنونی یاری می‌رساند. لذا هدف اصلی در این مطالعه اثبات ارتباط متقابل برخی پارامترهای اجتماعی و منابع آب در مقیاس قاره‌ای با به‌کارگیری ابزار مدل‌سازی نرم‌افزاری است. در این پژوهش داده‌های سرانه منابع آب تجدیدپذیر و پارامترهای اجتماعی شامل نسبت جمعیت روستایی به جمعیت شهری، تراکم جمعیت، تعداد کاربران اینترنت و شاخص تحصیلات در مقیاس سالانه در نظر گرفته شدند. طول دوره آماری داده‌ها ۱۳ سال (۲۰۰۵-۲۰۱۷) بود و برای ۴۲ کشور از قاره آسیا که سرانه منابع آب آن‌ها روند نزولی داشت، این مطالعه انجام شد. سپس با به‌کارگیری روش‌های محاسبات نرم از جمله شبکه عصبی (ANN)، درخت تصمیم (M5) و سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)، ارتباط متقابل بین سرانه منابع آب و پارامترهای اجتماعی مدل‌سازی شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی با معیارهای ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) ارزیابی شدند. در نهایت، نتایج حاکی از عملکرد برتر روش ANFIS نسبت به دو مدل دیگر در بررسی ارتباط متقابل سرانه منابع آب و پارامترهای اجتماعی بود. همچنین پس از مدل ANFIS به ترتیب مدل‌های M5 و ANN عملکرد بهتری داشتند و صحت ارتباط متقابل بین پارامترهای اجتماعی و منابع آب در سطح بسیار بالایی مورد تأیید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای اجتماعی، سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی، مدیریت یکپارچه منابع آب.

مقدمه

جهان است (Kuylenstierna *et al.*, 1997; Vorosmarty *et al.*, 2010).

پایه و اساس همه طرح‌های اجرایی و مدیریتی به بستر مناسب پذیرش اجتماعی آن جامعه وابسته است. لذا در مدیریت یکپارچه منابع آب نیز مبحثی با نام هیدرولوژی اجتماعی که تمام جنبه‌های مدیریتی را تحت تأثیر قرار دهد، حائز اهمیت است.

روش‌های محاسبات نرم و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱، سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)^۲، برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)^۳، مدل درخت تصمیم^۴ (M5)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۵ و جنگل‌های تصادفی (RF)^۶ در مدل‌سازی کمی و کیفیت آب با

آب منبعی حیاتی است که نه تنها برای زندگی، بلکه در روابط انسان‌ها اهمیت بسزایی دارد، اما دسترسی به آن به صورتی نابرابر بین جوامع مختلف در جهان است (Gehrig & Rogers, 2009; Kennedy *et al.*, 2010). تغییرات آب و هوایی و کمبود^۱ منابع آب، بسیاری از مردم را در سرتاسر جهان، با مشکل مواجه کرده است (Ortega-Reig *et al.*, 2014). از طرفی دیگر ادامه تخریب آب و بوم‌سامانه‌های مرتبط با آن، همراه با افزایش آگاهی از اثرات منفی اجتماعی و اقتصادی آن، تأییدی بر چالش مداوم و پایدار در مدیریت منابع آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک

* نویسنده مسئول: M.ansari2014m@gmail.com

1 Shortage

2 Artificial Neural Network

3 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

4 Gene Expression Programming

5 Decision Tree

6 Support Vector Machines

Y Random Forest

این، مطالعات مختلفی در خصوص بحران‌ها و تنش‌های ایجاد شده در قرن بیستم میلادی در سه منطقه مختلف دنیا شامل آمریکا (آمریکای مرکزی، آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی و حوزه کارائیب)، آسیای غربی (خاورمیانه) و اروپای غربی انجام شده است. این مطالعات نشان می‌دهد که ریشه اصلی بحران‌های آبی در این مناطق سوء مدیریت و عدم سازماندهی مناسب در حکمرانی منابع آب بوده است و کمبود منابع آب مسأله بحران آب را تشدید نموده است (Hensel et al., 2006). به منظور بررسی وضعیت روند امنیت آبی در کشورهای آسیایی، مطالعات جداگانه-ای در خصوص چشم‌انداز توسعه آب در آسیا توسط بانک توسعه آسیا (ADB^۴) صورت گرفته است (Biswas & Seetharam, 2008). این مطالعات نشان می‌دهد که کشورهای آسیایی با بحران آب ناشی از کمبود منابع آب مواجه نیستند، بلکه بحران آبی ایجاد شده در این کشورها به دلیل ضعف در مدیریت منابع آب است.

بررسی اندرکنش سیستم‌های آب و اجتماع، علاوه بر اینکه وضعیت فرهنگی-اجتماعی روی سیستم‌های آبی را ارزیابی می‌کند، نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری در سیستم‌های آبی، جامعه را به سمت پاسخ‌ها و جنبش‌های اجتماعی هدایت می‌کند. اهمیت و ارتباط قوی، بین پارامترهای اجتماعی و مدیریت جامع منابع آب، به وضوح قابل درک است. با آگاهی از ارتباط متقابل بین پارامترهای اجتماعی و سرانه منابع آب و مدل‌سازی آن‌ها می‌توان برای پیش‌بینی و اطلاع از وضعیت اجتماعی کشورها، در آینده بهره گرفت. مسئله اصلی در این مطالعه شناسایی وجود ارتباط متقابل بین پارامترهای اجتماعی منتخب با جنبه‌های منحصربه‌فرد خود و سیستم‌های منابع آب است. مدل‌سازی در این زمینه میزان اثرپذیری این دو مقوله از یکدیگر را به صورت کمی بیان می‌کند. نوآوری این تحقیق در کاربرد روش‌های کارگرفته شده جهت برقراری و اثبات رابط متقابل بین پارامترهای اجتماعی-اقتصادی و منابع آب است. لذا، هدف اصلی، بررسی ارتباط متقابل بین پارامترهای اجتماعی و سرانه منابع آب، با استفاده از روش‌های محاسبات نرم سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)، درخت تصمیم (M5) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) است، که تاکنون پژوهشی در این زمینه انجام نشده است. بدین منظور مقادیر سالانه پارامترهای اجتماعی شامل: نسبت جمعیت روستایی به جمعیت شهری، تراکم جمعیت، تعداد

موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در همین راستا Talebizadeh & Moridnejad (2011) مدل‌های ANN و ANFIS را برای پیش‌بینی تغییرات سطح دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران به کار گرفتند. نتایج ایشان حاکی از عملکرد برتر مدل ANFIS نسبت به مدل ANN است. Nabezadeh et al. (2012) میزان جریان در رودخانه ليقوان را با استفاده از روش ANFIS و در مقیاس روزانه پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل ANFIS دبی‌های اوج را به خوبی برآورد می‌کند و عملکرد قابل قبولی دارد. Anusree & Varghese (2016) برای پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه کاروانور واقع در منطقه تریسور، با استفاده از داده‌های بارش از ۹ ایستگاه باران‌سنجی، از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) و رگرسیون غیرخطی چندگانه (MNL) استفاده کردند. نتایج حاکی از عملکرد برتر مدل ANFIS نسبت به دو مدل دیگر است. Radfard et al. (2019) شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی را با استفاده از مدل ANFIS تخمین زدند. نتایج این مطالعه نشان داد که سختی آب، هدایت الکتریکی، سدیم و سولفات در ۶۶، ۱۳، ۴۵ و ۱۲/۵ درصد از روستاهای مورد مطالعه بالاتر از استانداردهای آب آشامیدنی ایران است.

به کارگیری روش درخت تصمیم را می‌توان در تحقیقات Moret (1982)، Murthy (1998) و Safavian & Landgrebe (1991) مشاهده نمود. Londhe & Dixit (2011) به پیش‌بینی جریان رودخانه‌های کریشنا و نارمادا^۱ از طریق روش M5 پرداختند و بعد از آن‌ها Sattari et al. (2013) از طریق دو روش ماشین بردار پشتیبان و مدل درختی M5 به پیش‌بینی جریان رودخانه سوهو^۲ در ترکیه پرداختند و اظهار داشتند نتایج هر دو مدل به هم نزدیک بود و از آنجاکه روش M5 روابط خطی ارائه می‌دهد و زمان محاسبات هم کم‌تر است، روش بهتری محسوب می‌شود. Esmaeilzadeh et al. (2017) با استفاده از داده‌های باران، تبخیر و جریان روز قبل به پیش‌بینی جریان در مخزن ستارخان^۳ از طریق روش‌های محاسبات نرم شبکه عصبی، رگرسیون بردار پشتیبان، شبکه عصبی موجک و مدل M5 پرداختند. نتایج ایشان حاکی از عملکرد برتر شبکه عصبی-موجک است.

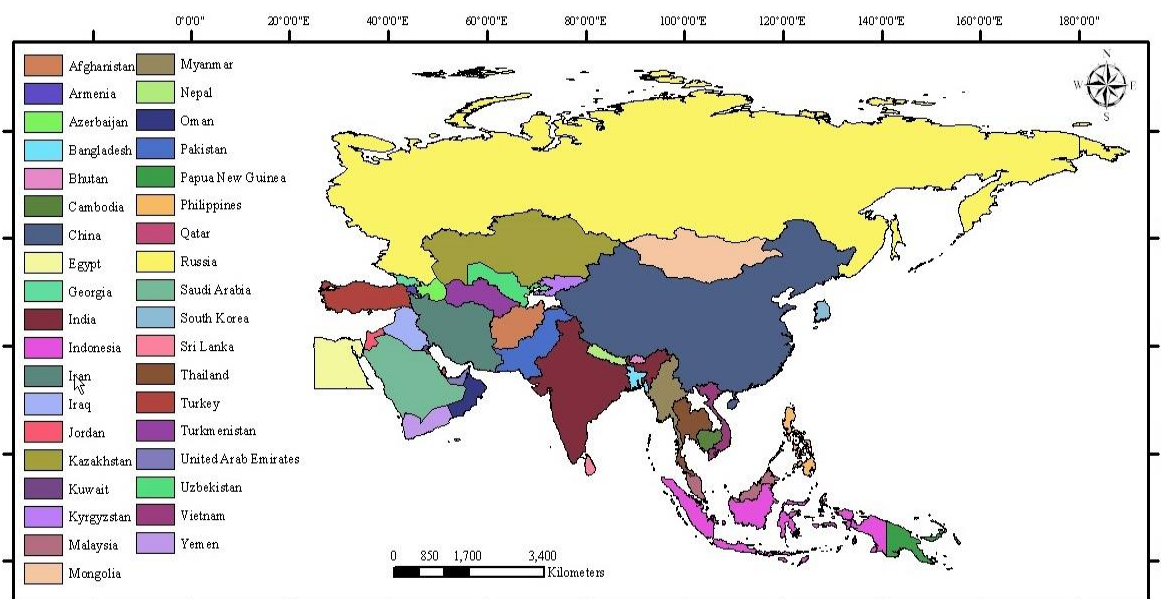
در زمینه ارتباط بین کمبود منابع آب و بحران‌های اجتماعی و اقتصادی، مطالعات مختلفی صورت گرفته است و بر این مسأله تأکید شده است که بحران موجود در مسأله منابع آب، بحران کمبود آب نیست، بلکه بحران مدیریت آب است. علاوه بر

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه، شامل کشورهایی از قاره آسیا است که سرانه منابع آب تجدیدپذیرشان روند نزولی دارد. موقعیت کشورهای مطالعاتی در شکل (۱) آورده شده است.

کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات، همچنین سرانه منابع آب در ۴۲ کشور از قاره آسیا که در دوره آماری ۱۳ ساله روند نزولی دارند، در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)، درخت تصمیم (M5) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، مدل‌سازی انجام و ارتباط متقابل بین پارامترهای هیدرو-اجتماعی بررسی شد.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی - قاره آسیا

مقادیر سالانه پارامترهای اجتماعی شامل: نسبت جمعیت روستایی به جمعیت شهری، تراکم جمعیت، تعداد کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات، همچنین سرانه منابع آب در ۴۲ کشور از قاره آسیا که در دوره آماری ۱۳ ساله روند نزولی دارند، به عنوان شاخص‌های هیدرو-اجتماعی در این تحقیق در نظر گرفته شد. در ادامه به صورت مختصر این شاخص‌ها معرفی شدند. نسبت جمعیت روستایی به شهری: این شاخص تعداد افراد ساکن در روستاها را به افرادی که در مناطق شهری زندگی می‌کنند نسبت می‌دهد (تقسیم تعداد جمعیت روستایی به جمعیت شهری). اگر ارزش برابر با یک داشته باشد به معنای برابری جمعیت روستایی و شهری است. نسبت روستایی-شهری در برآورد تغییرات فرایند شهرنشینی و به تبع آن تغییرات سرانه منابع آب تجدیدپذیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تراکم جمعیت: تراکم جمعیت راهی است برای سنجش جمعیت در واحد مساحت یا واحد حجم که تاکنون بارها در مورد موجودات زنده به کار رفته است. واحد این پارامتر، نفر بر کیلومتر مربع است. بدیهی است که افزایش سرانه منابع آب

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل پارامترهای اجتماعی از جمله نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات است و همچنین سرانه منابع آب، در مقیاس سالانه، برای ۴۲ کشور از قاره آسیا در نظر گرفته شده است. داده‌های مربوط به هر کشور با طول دوره آماری ۱۳ سال (۲۰۰۵-۲۰۱۷) از منبع اطلاعاتی <https://knoema.com> که یکی از کامل‌ترین منابع اطلاعاتی در جهان است، اخذ شد. در این پژوهش ابتدا، داده‌های سرانه منابع آب به عنوان ورودی و مقادیر پارامترهای اجتماعی به عنوان خروجی در نظر گرفته شدند. سپس، جهت بررسی ارتباط متقابل، پارامترهای اجتماعی به عنوان ورودی و پارامتر سرانه منابع آب به عنوان خروجی لحاظ گردید. برای نرمال‌سازی داده‌ها رابطه (۱) به کار گرفته شد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad X_N = \frac{(X - X_{\min})(X_{\max} - X)}{(X_{\max} - X_{\min})}$$

که در این رابطه X_n داده نرمال شده، X_{\min} کمترین مقدار داده، X_{\max} بیشترین مقدار داده X داده مورد نظر برای نرمال شدن

سالیانه توانایی بازیابی آن را دارد. در تعیین مقدار آب تجدیدپذیر بایستی هدف و فشارهای وارد شده در نظر گرفته شود. سرانه آب تجدید پذیر: مقدار حجم آب تجدیدپذیری است که به ازای هر نفر وجود دارد و واحد آن میلیون مترمکعب بر نفر می‌باشد.

در این مطالعه، انتخاب کشورها برای مراحل آموزش و آزمون به صورت تصادفی بوده و درصدهای متفاوت در مدل‌سازی به کار گرفته شده است و جواب بهینه برای نسبت ۷۰ درصد و ۳۰ درصد برای بخش آموزش و آزمون به دست آمد. مشخصات و ویژگی‌های آماری مانند میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای هیدرو-اجتماعی در جدول (۱) آورده شده است. کاربران اینترنت با مقدار ۰/۷۶۲، بیشترین مقدار ضریب تغییرات را دارد.

تجدیدپذیر، باعث افزایش تراکم جمعیت می‌شود. استفاده‌کنندگان از اینترنت: تعداد افرادی که به اینترنت دسترسی دارند و برای کارهای روزمره از آن بهره‌مند می‌شوند. این شاخص در اطلاع‌رسانی‌های جمعی در ارتباط با مصرف منابع آب مؤثر است. واحد این پارامتر، درصد نسبت به جمعیت کل است.

شاخص تحصیلات: سطح تحصیلات افراد با توجه به میزان آگاهی و اطلاعات عمومی آنها در ارتباط با مصرف منابع آب حائز اهمیت است. لازم به ذکر است که تحصیلات مدنظر در این تحقیق صرفاً مختص به تحصیلات مرتبط با منابع آب نیست، بلکه به صورت عمومی در نظر گرفته شده است (Zamanzad, Ghavidel, 2020).
آب تجدیدپذیر: مقدار آبی است که حوضه، طی چرخه آبی

جدول ۱- مشخصات و ویژگی‌های آماری پارامترهای هیدرو-اجتماعی مورد استفاده در مطالعه حاضر

پارامترها	نسبت جمعیت روستایی به شهری	تراکم جمعیت	کاربران اینترنت	شاخص تحصیلات	سرانه آب تجدیدپذیر
جنبه هر پارامتر	اجتماعی	اجتماعی	فناوری	دانش	(-)
میانگین	۰/۵۰۴	۰/۴۸۶	۰/۴۶۲	۰/۵۵۹	۰/۴۷۴
انحراف معیار	۰/۳۳۸	۰/۳۲۸	۰/۳۵۲	۰/۳۵۱	۰/۳۲۴
ضریب تغییرات	۰/۶۷۰	۰/۶۷۵	۰/۷۶۲	۰/۶۲۸	۰/۶۸۳

روش‌های محاسبات نرم

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه پرسپترون چند لایه^۱ نوعی از شبکه‌های عصبی مصنوعی است که بر مبنای یک واحد محاسباتی به نام پرسپترون، ساخته شده است. یک پرسپترون، برداری از ورودی‌ها با مقادیر حقیقی را گرفته و یک ترکیب خطی از این ورودی‌ها را محاسبه می‌کند. این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. برای آموزش این شبکه، معمولاً از الگوریتم پس انتشار استفاده می‌شود (Khanna, 1990).

سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی از الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند و همچنین با توجه به توانایی در ترکیب قدرت زبانی یک سیستم فازی با قدرت عددی یک شبکه عصبی، در مدل‌سازی فرایندهایی همچون هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، مدیریت مخازن و برآورد بار رسوب معلق بسیار قدرتمند است (Kişi, 2009). به منظور ساده‌سازی، فرض می‌شود که سیستم استنتاجی موردنظر دو ورودی x و y و

یک خروجی z دارد. برای یک مدل فازی تاکاگی-سوگنو^۲ درجه اول، می‌توان یک مجموعه قانون نمونه را با دو قانون اگر-آنگاه فازی به صورت زیر بیان کرد:

قانون اول: اگر x برابر A_1 و y برابر B_1 باشد آنگاه z_1 باشد $p_1x + q_1y + r_1z_1$
قانون دوم: اگر x برابر A_2 و y برابر B_2 باشد آنگاه z_2 باشد $p_2x + q_2y + r_2z_2$
که p_i, q_i, r_i پارامترهای خطی در بخش تالی

مدل فازی تاکاگی-سوگنو درجه اول هستند (Nourani et al., 2009). ویژگی متمایزکننده ANFIS، فراهم کردن الگوریتم یادگیری پیوندی روش شیب پس انتشار و روش حداقل مربعات، به منظور اصلاح پارامترها است. جزئیات بیشتر این روش در منبع Jang et al. (1997) در دسترس است.

مدل درخت تصمیم (M5)

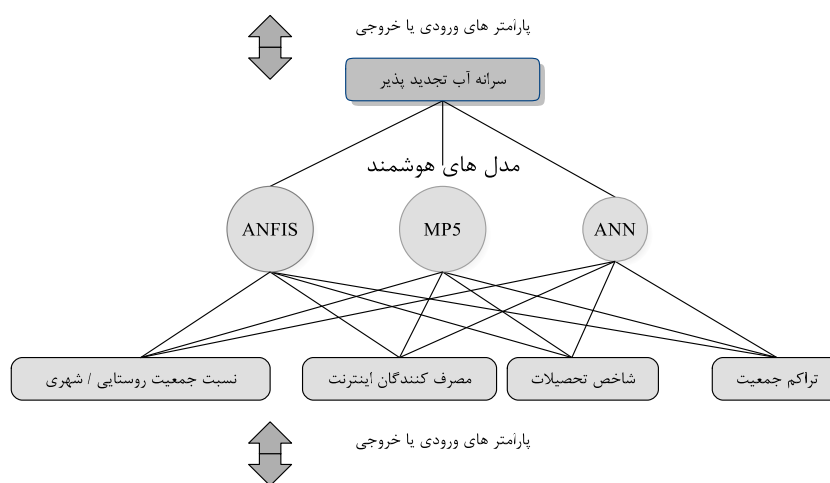
مدل درختی M5 توسعه‌ی ایده و مفهوم درختان رگرسیونی است که با یک ساختار درختی وارونه که شامل یک گره ریشه در بالا-ترین قسمت درخت، که به گره‌های دیگر و برگ‌ها منشعب می‌شود به صورت نمایشی و در غالب قوانین اگر-آنگاه نشان داده می‌شود. این مدل قادر به استخراج دانش به شکل روابط ریاضی از مجموعه داده‌ها است. اساس مدل درختی روش تقسیم و غلبه

$$SDR = sd(T) - \sum_i \frac{T_i}{T} \times sd(T_i) \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه، T ، T_i و Sd به ترتیب معرف نمونه‌های به گره رسیده، مجموعه‌های حاصل از تقسیم گره بر اساس صفت انتخابی و انحراف معیار داده‌ها می‌باشند.

در این مطالعه مدل‌های ANFIS و ANN در محیط متلب کدنویسی شده است. همچنین برای مدل‌سازی بر اساس مدل M5 از نرم‌افزار Weka3.9 استفاده شده است. این نرم‌افزارها پشتیبانی ارزشمندی را برای کل فرآیند محاسبات نرم‌های تجربی فراهم می‌نماید. پارامترها و مدل‌های به کار گرفته شده در مطالعه در شکل (۲) نشان داده است.

صفات برای نمونه‌هایی است که به یک گره می‌رسند. در ابتدا مدل درختی با تقسیم کردن فضای مساله به صورت برگشتی یک درخت رگرسیونی می‌سازد. در این الگوریتم برای ایجاد شاخه در یک گره تقسیم از پارامتر انحراف معیار مقادیر متغیر هدف به عنوان یک معیار اندازه‌گیری خطا در آن گره استفاده می‌شود و آزمونی برای انجام عملیات تقسیم در گره مذکور انجام شده، سپس صفتی که موجب کاهش بیش‌تر انحراف معیار گردد، به‌عنوان صفتی که روی آن شاخه زده شود، انتخاب می‌شود. کاهش انحراف معیار استاندارد با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. (Breiman et al, 1984)



شکل ۲- پارامترها و مدل‌های به کار گرفته شده در مطالعه

میانگین خطای مطلق داده‌های تخمینی و مشاهداتی را بیان می‌کند. واضح است که هر چه این مقادیر کمتر و نزدیک به صفر باشند، نشان‌دهنده این است که آموزش و مدل‌سازی داده‌ها بهتر صورت گرفته است.

نتایج و بحث

بستر اجرای همه طرح‌ها، زیست‌بوم اجتماعی-فرهنگی جامعه است. اتخاذ بهترین روش مدیریت، مستلزم شناخت شاخص‌هایی مانند نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، استفاده‌کنندگان از اینترنت و شاخص تحصیلات است تا موفقیت در اجرا و بهره‌برداری از پروژه‌های مدنظر را تضمین نماید. در این تحقیق با استفاده از ابزار مدل‌سازی تلاش شد تا به شناخت بهتری از این شاخص‌ها و روابط بین آن‌ها پرداخته شود و بهترین مدل که در روابط معرفی شود. در ادامه نتایج حاصل از هر یک از این مدل‌ها ارائه می‌گردد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

به‌منظور مدل‌سازی با روش ANN مدلی با انواع مختلف توابع

معیارهای ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی مدل‌ها از سه معیار، ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) طبق روابط (۳) تا (۵) استفاده شده است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (HS_{IO} - HS_{IE})^2}{\sum_{i=1}^N (HS_{IO} - \overline{HS}_O)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

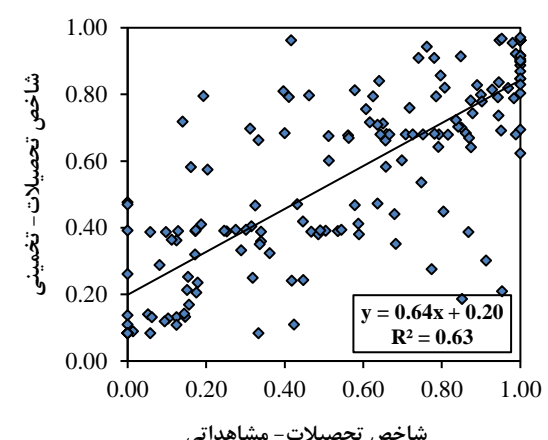
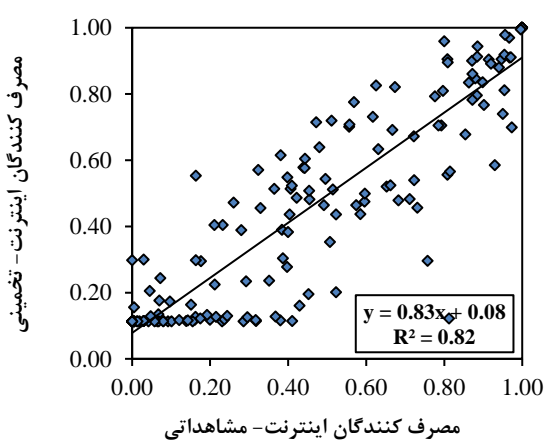
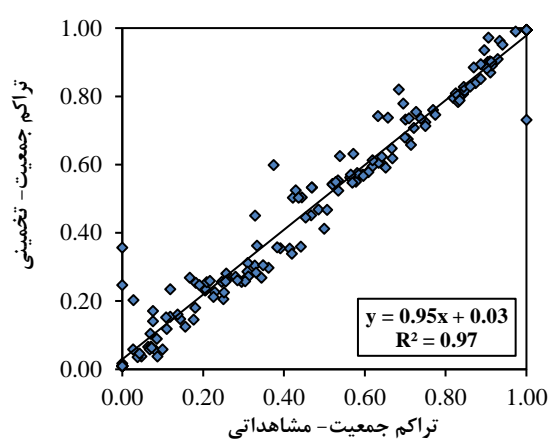
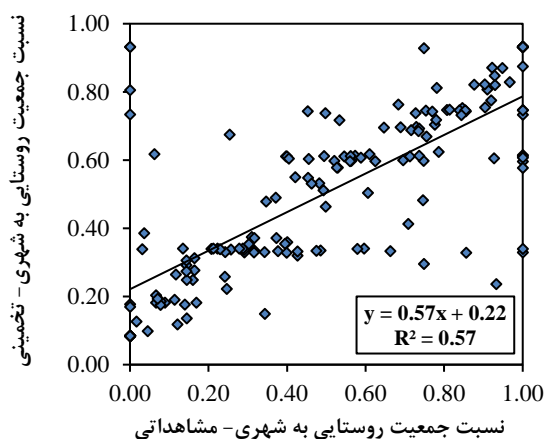
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (HS_{IO} - HS_{IE})^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |HS_{IO} - HS_{IE}| \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این روابط، n تعداد داده‌ها، HS_{IO} پارامترهای هیدرو-اجتماعی مشاهداتی، \overline{HS}_O میانگین پارامترهای هیدرو-اجتماعی مشاهداتی، HS_{IE} پارامترهای هیدرو-اجتماعی تخمینی، است. ضریب R^2 نیز میزان همبستگی داده‌های مشاهداتی و تخمینی است. RMSE و MAE به ترتیب جذر میانگین مربعات خطا و

ترتیب ۳، ۵، ۴ و ۲ به دست آمد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های بهینه برای دوره آزمون در جدول (۳) ارائه شده است. شکل (۳) پارامترهای هیدرو-اجتماعی مشاهداتی و تخمینی مدل ANN در دوره آزمایش را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه سرانه منابع آب بیشترین ارتباط را با پارامتر تراکم جمعیت در قاره آسیا داشته است، ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا در مدل مربوط به آن در مرحله آزمون به ترتیب ۰/۹۶۶۱ و ۰/۰۶۰۶ است.

محرک در لایه خروجی و لایه پنهان و تعداد مختلف نرون برای تخمین پارامترهای هیدرو-اجتماعی شامل نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات، مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات مدل شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌های بهینه در جدول (۲) آورده شده است. تعداد نرون در مدل‌سازی پارامترهای نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات به



شکل ۳- پارامترهای هیدرو-اجتماعی مشاهداتی و تخمینی مدل ANN در دوره آزمایش

۰/۹۸۴۷، ۰/۸۷۴۱، ۰/۶۵۴۶) و (۰/۱۸۳۹، ۰/۰۳۹۷، ۰/۱۲۲۵، ۰/۲۱۰۳) به دست آمد.

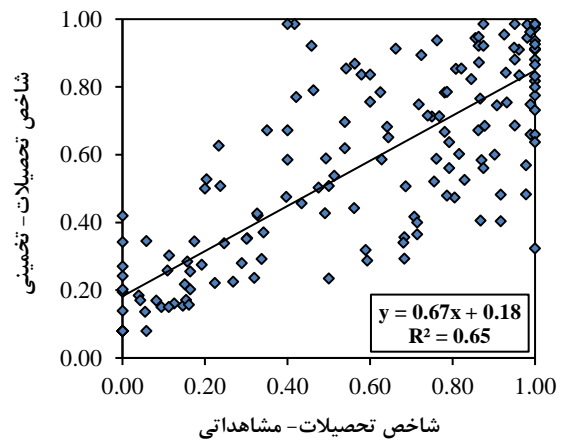
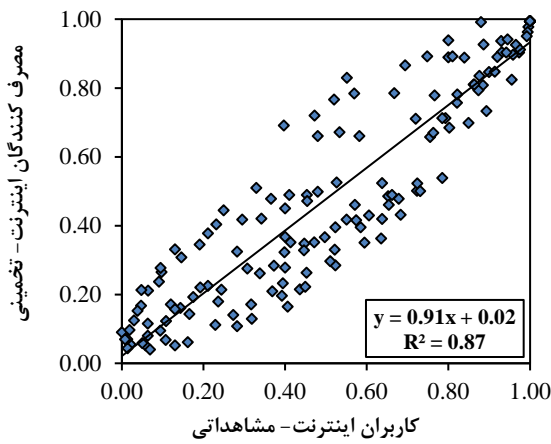
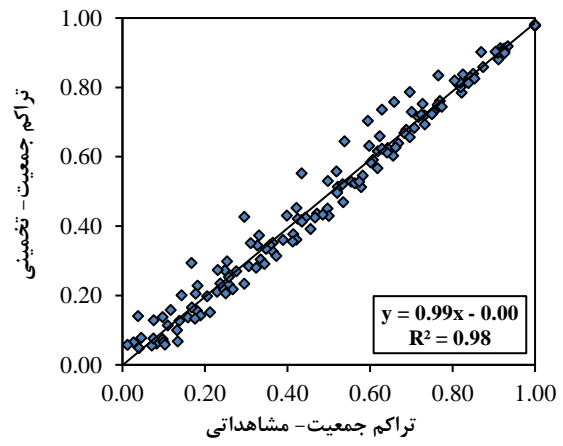
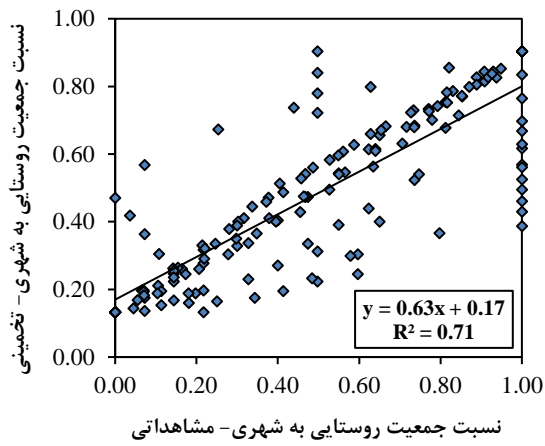
سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) در این مرحله به منظور مدل‌سازی ANFIS ترکیب‌های مختلفی، با انواع توابع عضویت ورودی و خروجی به صورت سعی و خطا مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات و نتایج مدل‌های بهینه برای برآورد پارامترهای اجتماعی مذکور به ترتیب در جدول (۲) و (۳) ارائه شده است. مقادیر شاخص‌های آماری R و RMSE پارامترهای نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات به ترتیب (۰/۷۱۷۰،

مدل درخت تصمیم (M5)

برای بررسی پارامترهای هیدرو-اجتماعی شامل نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات، چهار مدل M5 بررسی شده است. شکل (۴) پارامترهای هیدرو-اجتماعی مشاهداتی و تخمینی مدل M5 در طول دوره آزمایش را نشان می‌دهد. مشخصات مدل‌های بهینه و نتایج شاخص‌های آماری مدل‌های بهینه M5 به ترتیب در جداول (۲) و (۳) آورده شده است. مقادیر شاخص‌های آماری R و RMSE پارامترهای نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات به ترتیب (۰/۷۰۸۸،

قاره آسیا با بیشترین مقدار R و کمترین مقدار RMSE بهترین عملکرد را در میان سایر پارامترها داشته است.

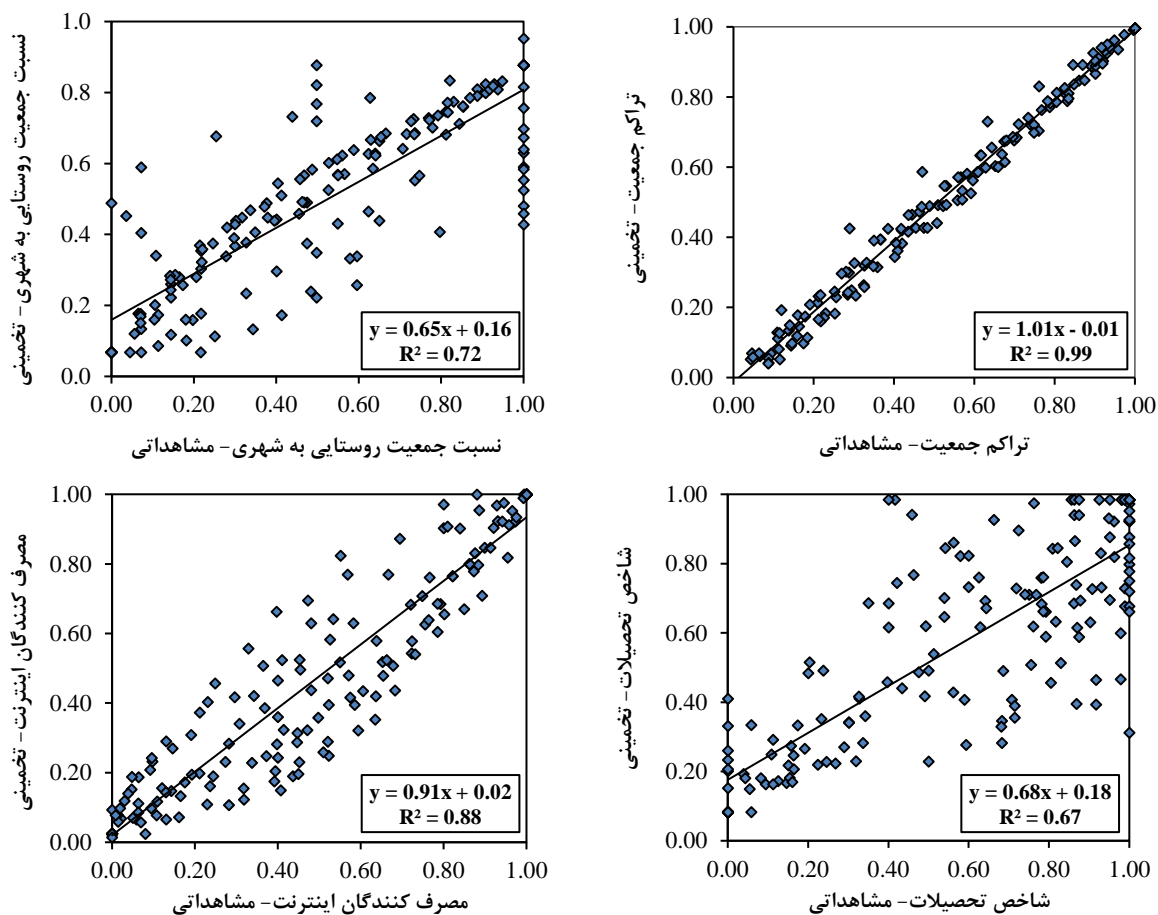
۰/۹۸۹۸، ۰/۸۷۸۶، ۰/۶۶۵۲) و (۰/۱۸۱۰، ۰/۰۳۴۳، ۰/۱۲۰۱) به دست آمد. در این میان پارامتر تراکم جمعیت در



شکل ۴- پارامترهای هیدرو-اجتماعی مشاهداتی و تخمینی مدل M5 در طول دوره آزمایش

جدول ۲- مشخصات مدل‌های بهینه ANN، M5 و ANFIS برای برآورد پارامترهای هیدرو-اجتماعی

مشخصات مدل				روش	مدل	شاخص هیدرو-اجتماعی
تعداد نرون	نوع تابع محرک در لایه خروجی	نوع تابع محرک در لایه پنهان	تعداد نرون			
۳	tansig	tansig	۳	ANN	۱	نسبت جمعیت روستایی به شهری
۵	tansig	pureline	۵		۲	تراکم جمعیت
۴	tansig	tansig	۴		۳	کاربران اینترنت
۲	tansig	logsig	۲		۴	شاخص تحصیلات
مشخصات مدل				روش	مدل	شاخص هیدرو-اجتماعی
معادلات	پارامتر	شماره طبقه‌بندی تابع	تعداد نرون			
$0.7706 * W + 0.1335 B =$	B, W	LM num: 1	۳	M5	۱	نسبت جمعیت روستایی به شهری
$C = -1.1201 * W + 0.9803$	C, W	LM num: 1	۵		۲	تراکم جمعیت
$C = -0.8878 * W + 0.8704$	C, W	LM num: 2	۴		۳	کاربران اینترنت
$D = -1.2761 * W + 0.9942$	D, W	LM num: 1	۲		۴	شاخص تحصیلات
$D = -0.759 * W + 0.7513$	D, W	LM num: 2				
$E = -0.9065 * W + 0.9852$	E, W	LM num: 1				
مشخصات مدل				روش	مدل	شاخص هیدرو-اجتماعی
تعداد تابع عضویت	نوع تابع عضویت خروجی	نوع تابع عضویت ورودی	تعداد نرون			
۳	constant	Trimf مثلثی	۳	ANFIS	۱	نسبت جمعیت روستایی به شهری
۳	constant	Trimf مثلثی	۳		۲	تراکم جمعیت
۳	constant	Trimf مثلثی	۳		۳	کاربران اینترنت
۳	constant	Trapmf دوزنقه	۳		۴	شاخص تحصیلات



شکل ۵- پارامترهای هیدرو-اجتماعی مشاهداتی و تخمینی مدل ANFIS در طول دوره آزمایش

جدول ۳- نتایج مدل‌های بهینه ANN، M5 و ANFIS برای برآورد پارامترهای هیدرو-اجتماعی

MAE		RMSE		R ²		روش	پارامترهای هیدرو-اجتماعی (تخمینی)
آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش		
۰/۰۵۰۲	۰/۱۴۱۸	۰/۲۲۴۰	۰/۲۱۴۰	۰/۵۶۷۲	۰/۵۹۴۰	ANN	نسبت جمعیت روستایی به شهری
۰/۰۵۸۴	۰/۱۴۸۴	۰/۱۸۳۹	۰/۲۳۰۲	۰/۷۰۸۸	۰/۵۳۸۶	M5	
۰/۰۵۵۰	۰/۰۱۵۲	۰/۱۸۱۰	۰/۲۲۲۷	۰/۷۱۷۰	۰/۵۴۷۱	ANFIS	
۰/۰۳۷۳	۰/۰۳۴۸	۰/۰۶۰۶	۰/۰۶۲۰	۰/۹۶۶۱	۰/۹۶۴۲	ANN	تراکم جمعیت
۰/۰۱۱۵	۰/۰۳۶۴	۰/۰۳۹۷	۰/۰۶۶۷	۰/۹۸۴۷	۰/۹۵۸۸	M5	
۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۵۲	۰/۰۳۴۶	۰/۰۶۶۰	۰/۹۸۹۸	۰/۹۵۹۸	ANFIS	
۰/۰۲۵۹	۰/۱۰۸۷	۰/۱۴۷۸	۰/۱۴۵۸	۰/۸۱۸۴	۰/۸۳۰۱	ANN	کاربران اینترنت
۰/۰۲۷۱	۰/۱۰۲۷	۰/۱۲۲۵	۰/۱۴۸۵	۰/۸۷۴۱	۰/۸۲۷۰	M5	
۰/۰۲۵۲	۰/۰۱۰۳	۰/۱۲۰۱	۰/۱۴۷۹	۰/۸۷۸۶	۰/۸۲۸۴	ANFIS	
۰/۰۴۶۰	۰/۱۴۰۸	۰/۲۱۱۹	۰/۱۹۴۴	۰/۶۳۳۴	۰/۶۹۱۵	ANN	شاخص تحصیلات
۰/۰۴۸۱	۰/۱۳۳۲	۰/۲۱۰۳	۰/۱۸۶۹	۰/۶۵۴۶	۰/۷۰۹۹	M5	
۰/۰۴۶۰	۰/۰۱۹۲	۰/۲۰۷۱	۰/۱۸۵۹	۰/۶۶۵۲	۰/۷۱۲۸	ANFIS	

نشان داده شده است. مقادیر R² برای مدل‌های بهینه نزدیک به ۱ است: $R^2_{ANN} > R^2_{M5} > R^2_{ANFIS}$. عملکرد پایین‌تر سه مدل در برآورد شاخص نسبت جمعیت روستایی به شهری نشان‌دهنده ارتباط متقابل پایین‌تر این شاخص و سرانه منابع آب در این مطالعه است. لذا عملکرد مدل‌ها این چنین به تحلیل ارتباط متقابل پارامترهای اجتماعی و سرانه منابع آب می‌پردازند.

نتایج حاکی از این است که دقت و عملکرد مدل ANFIS نسبت به دو مدل دیگر بهتر است و پس از آن به ترتیب مدل M5 و ANN عملکرد بهتری به منظور برآورد پارامترهای اجتماعی شامل نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و میزان تحصیلات داشته‌اند. همچنین مقادیر RMSE، R² و MAE مدل‌های به کارگرفته شده در این پژوهش در شکل (۶)

فرهنگی و اجتماعی است. نتایج این مطالعه در رابطه با ارتباط متقابل پارامترهای هیدرو-اجتماعی، با نتایج پژوهش Sobhani *et al.* (2019) مطابقت داشت که در آن ابتدا به بررسی چگونگی ارتباط بین پارامترهای اجتماعی-اقتصادی و سرانه منابع آب تجدیدپذیر در کشورهای آسیایی و سپس به مدل‌سازی میزان سرانه منابع آب تجدیدپذیر با به‌کارگیری پارامترهای اجتماعی-اقتصادی پرداخته شده است. همچنین Zamanzad Ghavidel (2020) وضعیت شاخص‌های هیدرو-اجتماعی مبتنی بر در دسترس بودن منابع آب را با تکیه بر تجزیه و تحلیل دانش هیدرو-اجتماعی در کشورهای مختلفی از قاره‌های آفریقا، آمریکا، آسیا، اروپا و اقیانوسیه که طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۷ در سرانه آب تجدیدپذیر آن‌ها روند کاهشی وجود داشته است، ارزیابی کردند، و Rezaei *et al.* (2019) که وجود ارتباط بین روند تغییرات منابع آب سطحی و روند تغییرات ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و فرهنگی در استان اصفهان بررسی کردند، که نتایج هر دو تحقیق با تحقیق حاضر در همبستگی متقابل پارامترهای هیدرو-اجتماعی مطابقت دارد. به همین ترتیب با یافته‌های Carey *et al.* (2013)، Forouzani *et al.* (2014)، Lima *et al.* (2016)، Pande & Sivapalan (2017)، Diep (2018) و Diaz *et al.* (2018) مطابقت دارد.

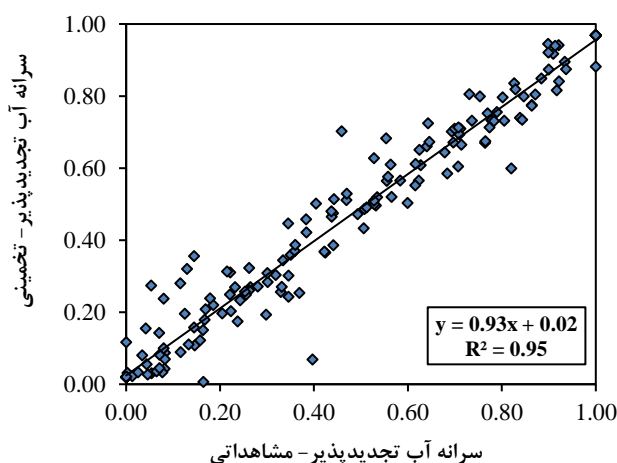
با توجه به نتایج به نظر می‌رسد رابطه بین پارامترهای اجتماعی و منابع آب متقابل است. مجموعه پارامترهای اجتماعی می‌تواند وضعیت منابع آب در آن جامعه را نشان دهد. برای این منظور، سرانه منابع آب تجدیدپذیر با استفاده از مجموعه پارامترهای اجتماعی شامل نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصیلات بر اساس روش برتر (ANFIS) در این مطالعه برآورد شد. مشخصات و نتایج مدل ANFIS برای برآورد سرانه منابع آب تجدیدپذیر (RWPC) مربوط به دوره آزمایش در قاره آسیا به ترتیب در جداول (۴) و (۵) آمده است. به‌منظور تخمین میزان سرانه آب تجدیدپذیر در قاره آسیا، مقادیر R^2 ، RMSE و MAE مدل بهینه ANFIS به ترتیب برابر ۰/۹۵۰۰، ۰/۰۷۳۲ و ۰/۰۱۶۲ است. بر اساس رابطه متقابل اثبات‌شده، وضعیت منابع آب در قاره آسیا تحت تأثیر پارامترهای نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصیلات است (شکل ۷). بر اساس نتایج، قطعاً رابطه بین پارامترهای اجتماعی و منابع آب با درجات مختلفی از تأثیر متقابل است. اولویت پیوند این پارامترهای اجتماعی با سرانه آب تجدیدپذیر تابعی از وضعیت فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی کشورها است. بنابراین، مدیریت و سیاست‌گذاری آینده منابع آب در قاره آسیا در گرو تقویت وضعیت

جدول ۴- مشخصات مدل بهینه ANFIS برای برآورد سرانه آب تجدیدپذیر

مدل	پارامتر تخمینی	نوع تابع عضویت ورودی	نوع تابع عضویت خروجی	تعداد تابع عضویت
ANFIS	سرانه آب تجدیدپذیر	Dsgmf (اختلاف بین دو تابع Sigmoidal)	constant	۳

جدول ۵- نتایج مدل بهینه ANFIS برای برآورد سرانه آب تجدیدپذیر

مدل	پارامتر تخمینی	R^2		RMSE		MAE	
		آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
ANFIS	سرانه آب تجدیدپذیر	۰/۹۸۰۷	۰/۹۵۰۰	۰/۰۴۴۸	۰/۰۷۳۲	۰/۰۳۲	۰/۰۱۶۲



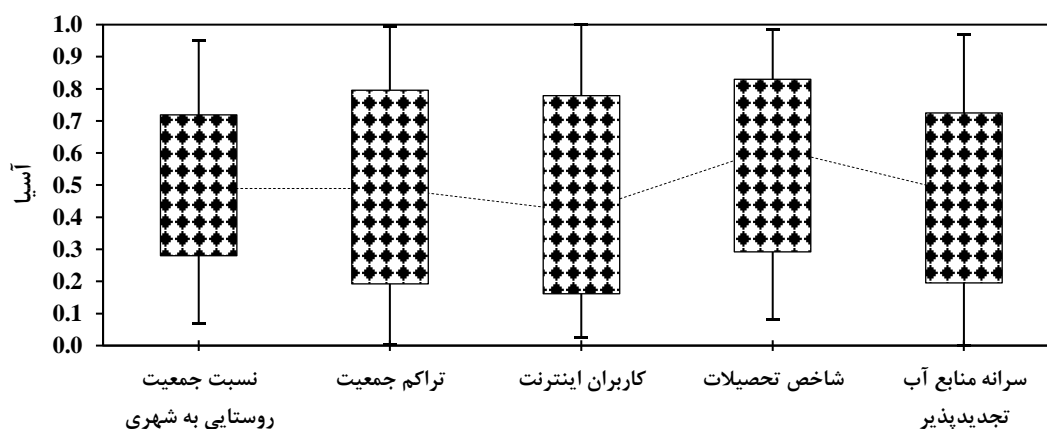
شکل ۷- پارامتر سرانه آب تجدیدپذیر مشاهداتی و تخمینی در طول دوره آزمون در قاره آسیا با به‌کارگیری مدل ANFIS

مقادیر تخمینی پارامترهای هیدرو-اجتماعی و مقایسه آن‌ها در قاره آسیا را نشان می‌دهد. نمودار جعبه‌ای یک نمایش‌گر گرافیکی است که روابط عددی چندگانه را در هم می‌آمیزد. یک رویکرد برای درک توزیع یا پراکندگی داده‌ها از طریق نمودار جعبه است که مبتنی بر "حداقل"، "چارک اول (۰/۲۵ درصد)"، "میانه (۰/۵۰ درصد)"، "چارک سوم" (۰/۷۵ درصد) و حداکثر شاخص‌های آماری است. شکل (۸) نشان می‌دهد که توزیع پارامتر اجتماعی کاربران اینترنت نسبت به سایر پارامترها، پراکندگی بیشتری دارد، همچنین توزیع کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات تخمینی به ترتیب کمترین و بیشترین میانه را دارا می‌باشند.

با توجه به اینکه مدل ANFIS به عنوان مدل برتر در این مطالعه انتخاب شد، عملکرد آن در برآورد پارامترهای اجتماعی و میزان سرانه منابع آب تجدیدپذیر در سه بازه مختلف، ۳۰ درصد حداکثر مقادیر تخمینی، ۴۰ درصد مقادیر تخمینی میانی و ۳۰ درصد حداقل مقادیر تخمینی، در طول دوره آزمون برای نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و میزان تحصيلات در جدول (۶) نشان داده شده است. شاخص میزان تحصيلات و تراکم جمعیت به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر R^2 را در بین سایر پارامترها در سه بازه مختلف در قاره آسیا را دارد. بنابراین، نتایج حاکی از رابطه قوی بین پارامتر تراکم جمعیت و وضعیت منابع آب در قاره آسیا است. شکل (۸) توزیع

جدول ۶- عملکرد مدل ANFIS در بازه‌های (۳۰ درصد حداکثر، ۴۰ درصد میانی و ۳۰ درصد حداقل)

پارامترهای هیدرو-اجتماعی تخمینی	محدوده	R^2	RMSE	MAE
نسبت جمعیت روستایی به شهری	۳۰٪ حداقل	۰/۵۸۶۶	۰/۲۵۲۰	۰/۱۸۰۶
	۴۰٪ میانی	۰/۸۸۵۶	۰/۱۱۳۱	۰/۰۶۰۹
	۳۰٪ حداکثر	۰/۸۰۶۸	۰/۱۸۸۲	۰/۱۱۵۶
تراکم جمعیت	۳۰٪ حداقل	۰/۹۹۶۱	۰/۰۲۵۶	۰/۰۱۹۳
	۴۰٪ میانی	۰/۹۸۶۳	۰/۰۴۰۳	۰/۰۱۴۹
	۳۰٪ حداکثر	۰/۹۸۹۶	۰/۰۳۴۳	۰/۰۲۶۸
کاربران اینترنت	۳۰٪ حداقل	۰/۸۹۷۹	۰/۱۱۶۰	۰/۰۸۲۲
	۴۰٪ میانی	۰/۸۸۴۴	۰/۱۲۸۱	۰/۰۷۸۷
	۳۰٪ حداکثر	۰/۹۲۸۴	۱۱۳۴	۰/۰۸۴۸
شاخص تحصيلات	۳۰٪ حداقل	۰/۵۵۸۰	۰/۲۳۸۶	۰/۱۵۱۱
	۴۰٪ میانی	۰/۶۷۴۲	۰/۲۱۴۵	۰/۱۲۱۰
	۳۰٪ حداکثر	۰/۸۰۳۲	۰/۱۵۵۸	۰/۱۱۸۱
سرانه منابع آب تجدیدپذیر	۳۰٪ حداقل	۰/۹۳۱۷	۰/۰۸۴۹	۰/۰۵۳۷
	۴۰٪ میانی	۰/۹۴۷۶	۰/۰۷۷۶	۰/۰۳۱۶
	۳۰٪ حداکثر	۰/۹۷۷۴	۰/۰۵۰۵	۰/۰۳۸۶



شکل ۸- توزیع مقادیر تخمینی پارامترهای هیدرو-اجتماعی در دوره آزمون در قاره آسیا

نتیجه‌گیری

نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت و شاخص تحصيلات و سرانه منابع آب در قاره آسیا مورد

در این مطالعه، ارتباط متقابل چندین پارامتر اجتماعی شامل

مدل‌سازی و تخمین میزان سرانه آب تجدیدپذیر با مدل برتر ANFIS، در این مطالعه نشان داده شد که می‌تواند بین پارامترهای هیدرو-اجتماعی و میزان سرانه آب تجدیدپذیر، ارتباط متقابل وجود داشته باشد. بنابراین، اگر از وضعیت اجتماعی جامعه‌ای اطلاعاتی وجود نداشته باشد، می‌توان با داشتن اطلاعات سرانه منابع آب در ارتباط با پارامترهای اجتماعی آن جامعه اظهار نظر کرد (و برعکس) و برای آینده آن کشور برنامه‌ریزی انجام داد. لذا استفاده از مدل ANFIS به منظور پیش‌بینی پارامترهای اجتماعی و با در نظر گرفتن سناریوهای آینده‌نگاری به عنوان ابزاری در مدیریت اجتماعی آب توصیه می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

بررسی قرار گرفت. با توجه به معیارهای ارزیابی، عملکرد مدل ANFIS در مرحله آزمون، با مقادیر ضریب تبیین (R^2) ۰/۷۱۷۰، ۰/۹۸۹۸، ۰/۸۷۸۶، ۰/۶۵۵۲ و ۰/۹۵۰۰، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۱۱۸۱۰، ۰/۰۳۴۶، ۰/۱۲۰۱، ۰/۲۰۷۱ و ۰/۰۷۳۲، و میانگین خطای مطلق (MAE) ۰/۰۵۵۰، ۰/۰۰۶۱، ۰/۰۲۵۲، ۰/۰۴۶۰ و ۰/۰۱۶۲، به ترتیب برای تخمین پارامترهای هیدرو-اجتماعی، نسبت جمعیت روستایی به شهری، تراکم جمعیت، کاربران اینترنت، شاخص تحصیلات و سرانه منابع آب، نسبت به مدل‌های M5 و ANN از عملکرد بالاتری برخوردار است. بر اساس نتایج مدل برتر، پارامتر تراکم جمعیت، کاربران اینترنت، میزان تحصیلات و نسبت جمعیت روستایی به شهری به ترتیب بیشترین مقادیر همبستگی را با سرانه آب تجدیدپذیر دارند. همچنین با

REFERENCES

- Anusree, K. & Varghese, K. O. (2016). "Streamflow prediction of Karuvannur River Basin using ANFIS, ANN and MNL models." *Procedia Technology*, 24, 101-108.
- Biswas, A. K., & Seetharam, K. E. (2008). "Achieving Water Security for Asia: Asian water development outlook, 2007." *International Journal of Water Resources Development*, 24(1), 145-176.
- Breiman L, Friedman J, Olshen R, Stone C, (1984) Classification and Regression Trees, Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL. Development of a decision tree modeling approach. *Geoderma* 139, Pp. 277-287.
- Carey, M., Baraer, M., Mark, B. G., French, A., Bury, J., Young, K. R., & McKenzie, J. M. (2014). "Toward hydro-social modeling: Merging human variables and the social sciences with climate-glacier runoff models (Santa River, Peru)." *Journal of Hydrology*, 518, 60-70.
- Diaz, M. E., Figueroa, R., Alonso, M. L. S., & Vidal-Abarca, M. R. (2018). "Exploring the complex relations between water resources and social indicators: The Biobío Basin (Chile)." *Ecosystem Services*, 31, 84-92.
- Diep, L. (2018). "The liquid politics of an urban age." *Palgrave Communications*, 4(1), 76.
- Esmailzadeh, B., Sattari, M.T., & Samadianfard, S. (2017). Performance evaluation of ANNs and an M5 model tree in Sattarkhan Reservoir inflow prediction. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 23(3), 283-292.
- Forouzani, M., Karami, E., Zamani, G. H., & Moghaddam, K. R. (2013). "Agricultural water poverty: Using Q-methodology to understand stakeholders' perceptions." *Journal of arid environments*, 97, 190-204.
- Gehrig, J. & Rogers, M. M. (2009). "Water and conflict: incorporating peacebuilding into water development." PQ Publication, United States.
- Hensel, P. R., Mitchell, S. M., & Sowers II, T. E. (2006). "Conflict management of riparian disputes." *Political Geography*, 25(4), 383-411.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997). "Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence." *IEEE Transactions on automatic control*, 42(10), 1482-1484.
- Kennedy, W. G., Hailegiorgis, A. B., Rouleau, M., Bassett, J. K., Coletti, M., Balan, G. C., & Gulden, T. (2010). "An Agent-Based Model of Conflict in East Africa and the Effect of Watering Holes." Proceedings of the 19th Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation, Charleston, SC, 21 - 24 March 2010
- Khanna, T. (1990). Foundation of neural networks. Addison-Wesley Publishing Company. U.S.A. 327 pp.
- Kişı, Ö. (2009). "Evolutionary fuzzy models for river suspended sediment concentration estimation." *Journal of Hydrology*, 372(1-4), 68-79.
- Kuylensstierna, J. L., Bjorklund, G., & Najlis, P. (1997). "Sustainable water future with global implications: Everyone's responsibility." *Natural Resources Forum*, 21(3), 181-190.
- Lima, J. M. T., Valle, D., Moretto, E. M., Pulice, S. M. P., Zuca, N. L., Roquetti, D. R., ... & Branco, E. A. (2016). "A social-ecological database to advance research on infrastructure development impacts in the Brazilian Amazon." *Scientific data*, 3, 160071.
- Londhe, S.N. & Dixit, P.R. (2011). Forecasting stream flow using model trees. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6), 282-285.
- Moret, B.M. (1982). Decision trees and diagrams. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 14(4), 593-623.
- Murthy, S.K. (1998). Automatic construction of decision trees from data: A multi-disciplinary survey. *Data mining and knowledge discovery*, 2(4), 345-389.
- Nabzadeh, M., Mosaedi, A., Hessam, M., Dehghani, A. A., Zakerneya, M., & Holghi, M. (2012). "Investigating efficiency fuzzy logic to predict

- daily river flow." *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 5(17), 7-14.
- Nourani, V., Komasi, M., and Mano, A. (2009). "A multivariate ANN-wavelet approach for rainfall-runoff modeling." *Water resources management*, 23(14), 2877.
- Ortega-Reig, M., Palau-Salvador, G., Sempere, M. J. C., Benitez-Buelga, J., Badiella, D., & Trawick, P. (2014). "The integrated use of surface ground and recycled wastewater in adapting to drought in the traditional irrigation system of Valencia." *Agricultural Water Management*, 133, 55-64.
- Pande, S. & Sivapalan, M. (2017). "Progress in sociohydrology: a metaanalysis of challenges and opportunities." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(4), e1193.
- Radfard, M., Seif, M., Hashemi, A. H. G., Zarei, A., Saghi, M. H., Shalyari, N., & Samaei, M. R. (2019). "Protocol for the estimation of drinking water quality index (DWQI) in water resources: Artificial neural network (ANFIS) and Arc-Gis." *MethodsX*, 6, 1021-1029.
- Rezaei, A., Bozorg Haddad, O., & Zamanzad Ghavidel, S. (2019). A study of the trend and impact of changes in water resources on socio-economic parameters, the 6th National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management and the 5th Specialized Exhibition of Mass Housing Builders And Tehran Province Building, Tehran.
- Safavian, S.R. & Landgrebe, D. (1991). A survey of decision tree classifier methodology. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 21(3), 660-674.
- Sattari, M. T., Pal, M., Apaydin, H., & Ozturk, F. (2013). M5 model tree application in daily river flow forecasting in Sohu Stream, Turkey. *Water Resources*, 40(3), 233-242.
- Sobhani, R., Zamanzad Ghavidel, S., Rezaei, A., & Bozorg Haddad, O. (2019). Modeling and evaluation of socio-economic parameters in water resources, 14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, Urmia.
- Talebizadeh, M. & Moridnejad, A. (2011). "Uncertainty analysis for the forecast of lake level fluctuations using ensembles of ANN and ANFIS models." *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4126-4135.
- Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., & Davies, P. M. (2010). "Global threats to human water security and river biodiversity." *Nature*, 467(7315), 555-561.
- Zamanzad-Ghavidel, S. (2020). Interaction of Hydro-Socio-Knowledge Indicators in Integrated Water Resources Management, International Conference on Civil Engineering, Architecture, Development and Reconstruction of Urban Infrastructure in Iran, Tehran.