

## مقایسه دقت پیش‌بینی و برآورد رواناب با استفاده از مدل‌های SWAT و هوش مصنوعی در رودخانه میناب

محمد غلامپور<sup>\*</sup>، عبدالحلیم غزالی<sup>۲</sup>، احمد رودزی<sup>۲</sup> و شهاب عراقی‌نژاد<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، هرمزگان، ایران، <sup>۲</sup> استادیار، دانشگاه UPM مالزی و <sup>۴</sup> دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۲

### چکیده

در مناطق خشک همانند سطح عظیمی از ایران، انسان همواره با کمبود آب مواجه بوده و هست. جمع‌آوری آب به‌ویژه در بهره‌برداری صحیح از آب‌های موجود در مناطق خشک، می‌تواند موثر باشد. تنوع اقلیم در ایران با وجود میانگین بارندگی کمتر از یک سوم جهانی، بالا است، حتی در مناطق جنوبی کشور و در مقیاس کوچک، از جمله میناب و محل سد احداثی استقلال هم، که بارندگی به یک سوم میانگین کشوری می‌رسد، این تنوع اقلیمی به خوبی مشاهده می‌شود. در شرایط کنونی، روند بارندگی‌ها در میناب نیز تغییر کرده، طول دوره خشکسالی‌ها افزایش یافته است. سامانه‌های بهره‌برداری استاندارد طراحی شده قبلی برای برآورد آب ورودی به مخازن سدها همانند سد استقلال میناب، پاسخگوی مصارف نیست. لذا، استفاده از روش‌های جدید در افزایش دقت و همچنین، پیش‌بینی رواناب حوضه رودخانه میناب امری کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. برای رسیدن به این هدف، استفاده از مدل‌های فیزیکی و عددی در برآورد و پیش‌بینی دقیق‌تر از اهمیت خاصی برخوردار است. در این تحقیق، از دو مدل SWAT و هوش مصنوعی FTDNN برای برآورد و پیش‌بینی رواناب استفاده شده است. واسنجی، اعتبارسنجی و پیش‌بینی رواناب با استفاده از لایه‌های خاک، کاربری اراضی، توپوگرافی و داده‌های هیدروکلیماتولوژی در مقیاس سالانه و ماهانه انجام شد. مقادیر معیارهای ارزیابی همچون میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) برای دو مدل در مرحله واسنجی در دوره سالانه برای مدل SWAT به ترتیب برابر با ۶/۸۹ و ۸/۳۷ و در FTDNN برابر با ۵/۳۵ و ۷/۷۶ برآورد شدند. ضریب خطی رگرسیون  $R^2$  در مرحله واسنجی در مقیاس ماهانه به ترتیب معادل ۰/۹۶ و ۰/۸۹ برای SWAT و این شاخص در مقیاس سالانه معادل ۰/۸۹ و ۰/۴۹ برای FTDNN است. ضریب خطی رگرسیون در مرحله اعتبارسنجی دو روش مذکور به ترتیب در مقیاس ماهانه ۰/۹۸ و ۰/۶ و در مقیاس سالانه ۰/۹۴ و ۰/۹۷ در دو مدل را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسه معیارهای ارزیابی دو مدل حاکی از آن است که مدل هوش مصنوعی FTDNN از دقت و کارایی بیشتری نسبت به مدل SWAT برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سد استقلال، مناطق خشک، میانگین بارندگی، FTDNN

## مقدمه

در مناطق خشک همانند سطح عظیمی از کشور، برای مبارزه با کمبود آب، باید با مدیریتی صحیح، بیشتر به حفاظت و بهره‌برداری صحیح این ماده حیاتی توجه داشت. جمع‌آوری آب از جمله اقداماتی است که به‌ویژه در بهره‌برداری صحیح از آب‌های موجود در مناطق خشک می‌تواند موثر واقع شود (Kardavani, 2004). آب موجود در سطح کره زمین از نظر زمانی<sup>۱</sup> و مکانی<sup>۲</sup> دارای توزیع غیر یکنواختی می‌باشد (Luwich, 1973). این منابع آب سبب ایجاد چرخه آب، بارندگی، تبخیر و جریان ثقلی می‌شوند (Kowsar, 2009; Salami, 2006). ایران در منطقه‌ای از دنیا واقع شده است که متوسط بارندگی سالانه آن کمتر از یک سوم متوسط باران سالانه جهان است. علاوه بر کمبود باران، توزیع زمانی و مکانی آن نیز در ایران بسیار نامناسب است، حتی پرباران‌ترین نقاط کشور، در فصل تابستان نیاز به آبیاری دارند (Kardavani, 2004).

استان هرمزگان در نواحی گرم و خشک جنوب ایران با میانگین بارندگی ۱۷۰ میلی‌متر کمتر از یک سوم میانگین کشوری را داشته، به طوری که ۱۰ الی ۱۲ روز از سال بارندگی به وقوع می‌پیوندد. بارندگی‌ها در این استان دارای شدت بالا در مدت کوتاهی و با پراکنش نامناسب رخ می‌دهد. در ۱۴ سال اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی همین مقدار کم بارندگی نیز رخ نداده است. به همین دلیل، طراحی‌های قبلی که به منظور برآورد رواناب ورودی به مخازن سدها برای شرایط بهره‌برداری استاندارد طراحی شده است، پاسخگوی نیاز فعلی نیست. لذا، تعیین آب ورودی و پیش‌بینی میزان آن در رودخانه همواره از چالش‌های پیش رو برای همه پروژه‌های آبی در جهان و مناطق خشک کشور از قبیل میناب است. در اثر وقوع خشکسالی‌های اخیر، مخزن سد میناب که در سال ۱۹۸۰ ساخته شده تا ۳۵۰ میلیون مترمکعب آب را ذخیره کرده تا بتواند علاوه بر تامین آب شرب بندرعباس به میزان ۳۵ میلیون مترمکعب در سال نیز آب آبیاری برای ۱۴۰۱۳ هکتار از اراضی زیر

دست شبکه سد را که شامل ۷۷۳۵ هکتار باغ میوه و ۶۲۷۸ هکتار از محصولات زارعی فصلی است را فراهم کند. از طرفی، شرکت آب منطقه‌ای برنامه‌ریزی تخصیص آب کشاورزی را هر ساله در اول اردیبهشت ماه به دلیل فقدان مدل بهره‌برداری که دارای مدل پیش‌بینی جریان آب باشد، انجام می‌دهد. کشاورزان در این منطقه نیاز دارند که در اسفند ماه هر سال کشت خود را انجام دهند تا از مزیت آب و هوایی خارج از فصل استفاده و محصول تولیدی را با قیمت مناسبی در عید به فروش برسانند. لذا با هدف پیش‌بینی مقدار آب ورودی به سد و تامین آب آبیاری در ماه‌های آتی نیاز به مدلی برای پیش‌بینی تامین و تخصیص و بهره‌برداری از آب سد در شرایط خشکسالی است. تاثیرگذاری پارامترهای متفاوتی در فرایند برآورد و پیش‌بینی رواناب ورودی، نیاز به استفاده از مدل‌های عددی و هوش مصنوعی، با دقت و اطمینان بالا را در پیش‌بینی رفتار درازمدت سامانه را امری اجتناب‌ناپذیر کرده است.

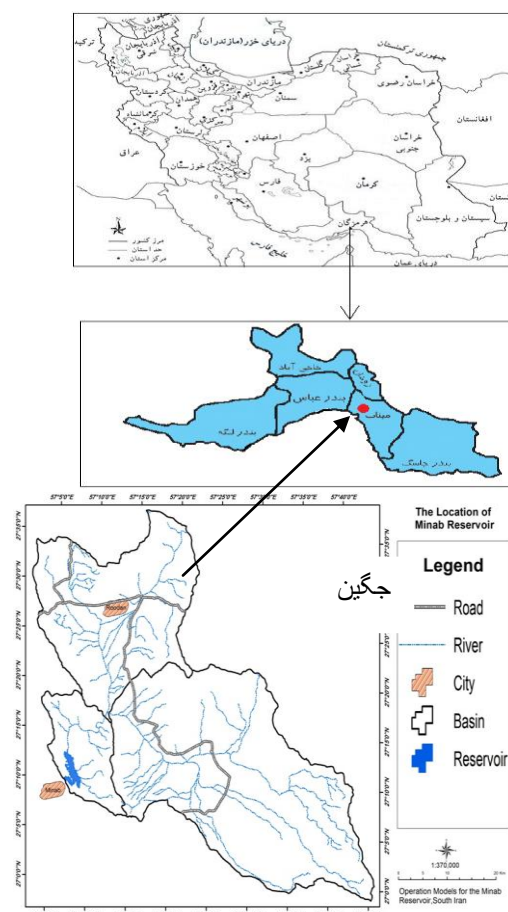
پیش‌بینی جریان آب به مخزن با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک SWAT که یک مدل فیزیکی نیمه‌توزیعی در مقیاس حوضه است و به وسیله سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط اقلیمی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است (Jha و Gassman, 2006). اجرای این مدل در محیط ArcGIS، کاربرد و قابلیت آن را در برآورد مولفه‌های بیلان آبی آسان کرده است (Akbari, 2011). نقشه‌های پایه مورد نیاز شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع DEM، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک هستند. سایر اطلاعات مربوط به داده‌های جامع هواشناسی، کیفیت آب، عوامل موثر بر جریان سطحی و کانال، آب زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت اراضی، مخازن و برخی زمینه‌های دیگر با توجه به هدف باید در مدل وارد شوند. Murty و همکاران، (2013) در مطالعه‌ای به کاربرد مدل هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی SWAT برای پیش‌بینی تعادل آب حوزه آبخیز Ken در هند پرداختند. این مطالعه نشان داد

<sup>1</sup> Temporal<sup>2</sup> Spatial

که تثبیت شده است. یک شبکه زمان دارای یک اپراتور زمان تاخیر و یک جعبه حافظه بوده که شامل سیگنال‌های ورودی در هر دوره زمانی بوده و در طول هر مرحله زمانی ذخیره می‌شود.

### مواد و روش‌ها

**موقعیت عمومی منطقه:** حوضه میناب در شرق بندرعباس در استان هرمزگان در جنوب ایران (نزدیک به خلیج فارس و دریای عمان) واقع شده است. مساحت حوضه آن حدود ۷۵۹۱۳۹ هکتار می‌باشد که در عرض جغرافیایی ۵۶° تا ۵۴° ۵۷° شرقی و طول جغرافیایی ۵۲° تا ۳۰° ۲۸° شمالی واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت مخزن و زیرحوضه‌های منطقه میناب در استان هرمزگان (Army Geographic Agency, ۲۰۰۷)

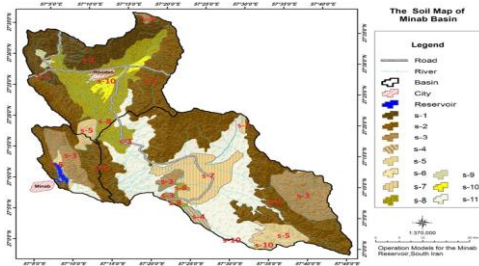
حوزه آبخیز منطقه مورد مطالعه از دو زیرحوضه جغین و رودان تشکیل شده است. رودخانه‌های اصلی منطقه شامل زیارتعلی در شمال و جغین در شرق

که SWAT مدلی مناسب برای ارزیابی هیدرولوژیکی این حوضه می‌باشد. Goudarzi و همکاران (۲۰۰۹) دبی جریان را با استفاده از مدل SWAT در حوزه آبخیز قره‌سو شبیه‌سازی کردند. Hossieni (۲۰۱۰) به مطالعه تأثیرات تغییر کاربری روی بیلان آبی و رسوبات معلق در حوزه آبخیز طالقان پرداخت و به این نتیجه رسید که تلفات تبخیر و تعرق ۳۸ تا ۴۹ درصد بارش حوضه و رواناب ۲۱ درصد بارندگی بخش بالایی حوضه و ۳۳ درصد بخش پایینی حوضه را تشکیل می‌دهد. Selajegheh و همکاران (۲۰۰۹)، فرایند بارش-رواناب را از پیچیده‌ترین فرایندهای هیدرولوژیکی دانسته‌اند که در آن پارامترهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی تأثیر می‌پذیرد. Gholampoor در سال ۱۳۹۱ با بهره‌گیری از روش‌های آماری خطی (ARIMA) در شبکه عصبی و عصبی-فازی (ANFIS) با جداسازی روش خوشه‌ای و شبکه‌ای و ترکیب آن‌ها به منظور مدل‌سازی فرایند بارش-رواناب و پیش‌بینی جریان رودخانه استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های ترکیبی هوش مصنوعی عملکرد بهتری نسبت به دیگر مدل‌های خطی مورد آزمون به صورت جداگانه داشته و به علت غیر خطی بودن فرایند بارش-رواناب عملکرد، مدل‌های هوش مصنوعی بهتر از مدل‌های خطی ARIMA است.

Babaei و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی یک شبکه چند لایه از شبکه پیش‌خور را به وسیله خطای پس انتشار به منظور آموختن الگوریتم یادگیری پیشرفته برای آموزش مدل در رودخانه زاینده‌رود (قسمت مرکزی ایران) استفاده کرد. در این پژوهش تابع خطا با معرفی نمونه‌های مختلف ورودی و خروجی خطای شبکه را به کمینه رساند.

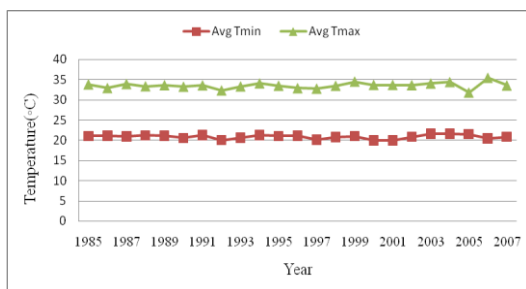
شبکه‌های عصبی با زمان تاخیر متمرکز ساده‌ترین شبکه پویا هستند که شامل یک شبکه تغذیه به جلو با یک خط تاخیر شوند ورودی می‌باشند (Karamouz و همکاران، ۲۰۰۸). آموزش زمان تاخیر و اتصالات بازخورد از دو بخش با اجزاء مختلف هستند که می‌توانند همانند سامانه چند لایه پرسپترون به شبکه استاتیک نزدیک‌تر شوند. یک شبکه تاخیری شامل تعدادی اپراتور زمان تاخیر است

نقشه خاکشناسی: نقشه خاکشناسی با استفاده از نقشه‌های پایه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های کاربری اراضی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. به‌منظور صحت‌سنجی، اقدام به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین، بازدید میدانی و انطباق اطلاعات شد و نهایتاً نقشه خاکشناسی با فرمت رستری تهیه و همانند شکل ۴ به مدل معرفی شد.



شکل ۴- نقشه خاک حوضه میناب

درجه حرارت: در داده‌های هواشناسی برای مدل SWAT نیاز به بیشینه و کمینه درجه حرارت می‌باشد. ایستگاه میناب برای ۲۵ سال و رودان برای هشت سال میزان بیشینه و کمینه درجه حرارت را ثبت کرده‌اند. شکل ۵ بیشینه و کمینه درجه حرارت در ایستگاه میناب را نشان می‌دهد.



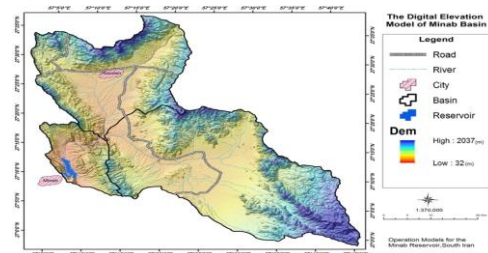
شکل ۵- بیشینه و کمینه درجه حرارت سالانه ایستگاه میناب (Hormozgan Province Meteorological Organization, ۲۰۰۷)

متوسط بیشینه ماهانه و کمینه درجه حرارت در شکل ۶ نشان داده شده است.

حوضه واقع شده است. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مورد مطالعه، رودخانه‌ها و مخزن سد در شکل ۱ نشان داده شده است.

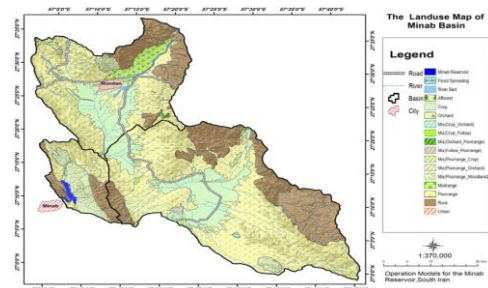
در تحقیق حاضر، از دو روش مدل SWAT<sup>۱</sup> و هوش مصنوعی FTDNN<sup>۲</sup> به‌منظور پیش‌بینی رواناب استفاده شده است.

**الف: روش مدل SWAT:** در این روش، ابتدا داده‌های ورودی شامل داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی شامل آمار بارندگی و دمای بیشینه و کمینه روزانه ایستگاه‌های داخل و خارج نزدیک به حوضه و آمار دبی روزانه خروجی از ادارات آب منطقه‌ای و هواشناسی و نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (شکل ۲)، کاربری اراضی، خاکشناسی از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه و آماده‌سازی شده است.



شکل ۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه مطالعه (DEM)

نقشه کاربری اراضی: تیپ‌های اراضی مختلف، بر اساس مطالعات موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، بر اساس نشریه‌های ۲۱۲ و ۲۰۵ تهیه شد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی

<sup>1</sup> Soil and Water Assessment Tools

<sup>2</sup> Focused Time Delay Neural Network

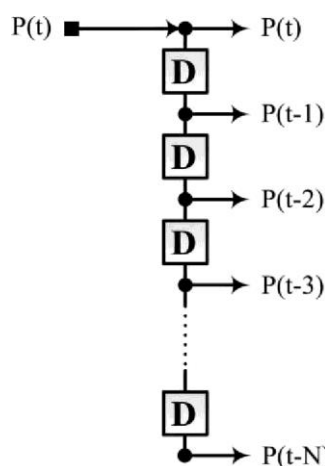
می‌شود. پیش‌بینی برای چهار ماه آینده نیز با استفاده از سه و چهار دبی در ماه‌های قبلی آن توسعه یافته است. برای پیش‌بینی جریان آب در رودخانه از همان داده‌های مشاهده‌ای آبدهی ایستگاه برنظین استفاده شده است. در این روش، با استفاده از مقادیر روزانه رواناب اول و دوم رواناب جدید را پیش‌بینی می‌کند که شماتیک آن در شکل ۹ نشان داده شده است. به‌منظور پیش‌بینی رواناب روزها و ماه‌های بعد از نرم‌افزار MATLAB، ویرایش ۲۰۱۲ استفاده شده است.

روش شبکه عصبی زمان تاخیری از رابطه‌های زیر برای آموزش و امتحان یک مرحله پیش‌بینی استفاده می‌شود.

$$y = \text{laser\_dataset} : \quad (1)$$

$$y = y(1:600) : \quad (2)$$

روش شبکه FTDNN با استفاده از شبکه زمان تاخیر با دستور زیر تولید می‌شود که این دستور شبیه خوراک رو به جلو در شبکه است.



شکل ۹- روش FTDNN (Karamouz و همکاران، ۲۰۰۸)

تعاریف داده‌های زمانی به شرح ذیل است که  $p$  مقدار پیش‌بینی و  $t$  زمان می‌باشد.

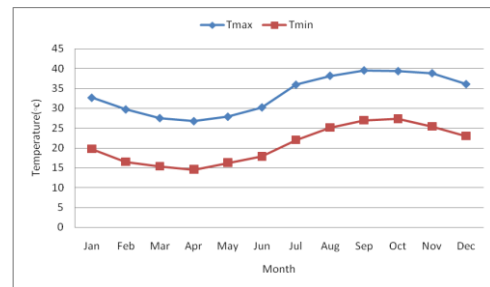
$$p = y(3:end)$$

$$t = y(3:end)$$

$$p_i = y(i,2)$$

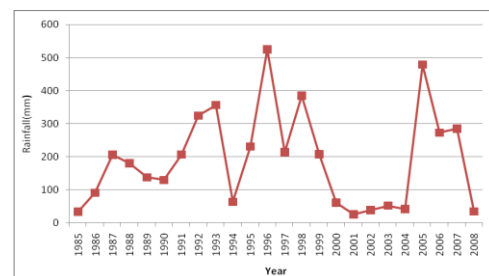
$$Ftdnn_{net} = \text{train}(fcdnn_{net}, p, t, p_i)$$

همان‌طور که شبکه دارای کمینه تاخیر از یک مرحله زمانی، به‌عنوان انجام یک پیش‌بینی برای یک گام به جلوتر استفاده کرده است.



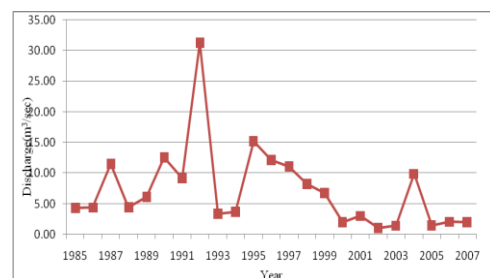
شکل ۶- متوسط بیشینه و کمینه درجه حرارت ماهانه در ایستگاه میناب (Hormozgan Province Meteorological Organization, ۲۰۰۷)

بارندگی: بارندگی سالانه میناب در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- بارش سالانه در ایستگاه میناب (Hormozgan Province Meteorological Organization, ۲۰۰۷)

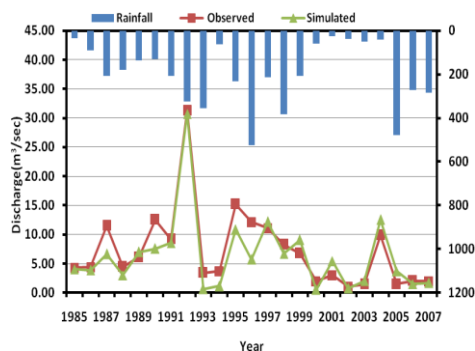
بارندگی روزانه ایستگاه‌های میناب، رودان، زهمکان و خراجی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷ از طریق سازمان هواشناسی استان هرمزگان تهیه شد. **رواناب خروجی:** رواناب خروجی از ایستگاه هیدرومتری برنظین از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۰۷ به‌صورت روزانه از طریق شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان تهیه شد که مقادیر رواناب ماهانه در شکل ۸ نشان داده شده است.



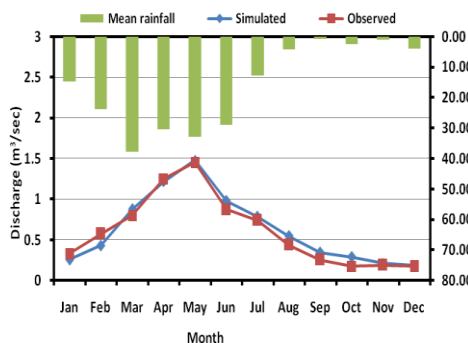
شکل ۸- جریان سالانه در ایستگاه برنظین

ب: روش مدل هوش مصنوعی FTDNN در این روش، پیش‌بینی دبی بر اساس دو ماه قبلی انجام

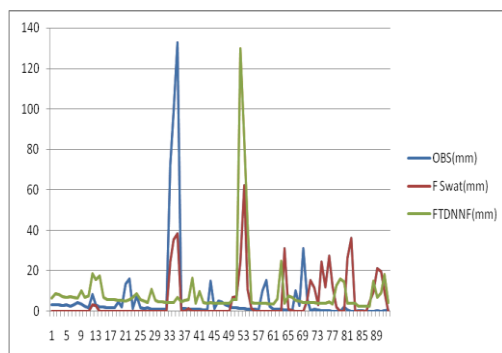
انجام شد. این فایل شامل اطلاعات بیشینه و کمینه درجه حرارت، انحراف خطای استاندارد درجه حرارت، خطای بارش استاندارد، منحنی چولگی بارش و احتمال یک یا دو روز بارندگی بعد از وقوع می‌باشد که برای مدل SWAT بارگذاری شد. مدل SWAT با استفاده از فایل‌های بارگذاری شده و داده‌های مشاهده شده پیش‌بینی جریان رودخانه را برای ماه‌های بعد انجام داد که نتایج پیش‌بینی در شکل ۱۲ آورده شده است.



شکل ۱۰- آبدهی مشاهده‌ای و برآورد شده سالانه میناب



شکل ۱۱- آبدهی مشاهده‌ای و برآورد شده ماهانه میناب



شکل ۱۲- نتایج پیش‌بینی ماهانه مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه

$$yp = ftdnn.net(papa)$$

## نتایج و بحث

به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، ابتدا حساسیت پارامترها موثر بر تولید رواناب بررسی و از ۴۲ پارامتر، نه پارامتر حساس در جدول ۱ رتبه‌بندی شد. هدف اصلی از تحلیل حساسیت تعیین ورودی‌هایی است که مشارکت بیشتری در خروجی دارند.

جدول ۱- پارامترهای حساس رواناب در منطقه مورد مطالعه

Parameter	Rank	Value
Cn2	۱	۷۱/۰۰
SoL_Awc	۲	۷/۹۷E-۰۱
Rchrg_Dp	۳	۸/۱۹E-۰۱
Alpha_Bf	۴	۶/۸۲E-۰۱
Ch_K2	۵	۱/۷۱E-۰۱
Esco	۶	۱/۳۹E-۰۱
Slope	۷	۱/۰۸ E-۰۱
Ch_N2	۸	۱/۴۳E-۰۲
Surlag	۹	۸/۵۲E-۰۳

واسنجی مدل SWAT به دو صورت دستی و یا استفاده از روش‌های اتوکالیبراسیون امکان‌پذیر است. در پژوهش حاضر این مرحله به‌صورت اتوکالیبراسیون و با استفاده از برنامه SUFI2 و بر اساس آمار سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ انجام شد. با اجرای الگوریتم SUFI2 مقادیر بهینه پارامترهای حساس مدل تعیین می‌شود. شبیه‌سازی مدل از سال ۱۹۸۵ الی ۲۰۰۷ در منطقه مورد مطالعه انجام شد که پنج سال اول (۱۹۸۵-۱۹۸۹) برای گرم کردن مدل و ۱۳ سال بعدی (۱۹۹۰-۲۰۰۲) به‌عنوان دوره واسنجی و داده‌های پنج سال آخر (۲۰۰۳-۲۰۰۷) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد، که نتایج واسنجی سالانه و ماهانه مدل به‌ترتیب در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

پیش‌بینی رواناب با مدل SWAT: پس از اعتبارسنجی مدل، پیش‌بینی رواناب با استفاده از نتایج شبیه‌سازی SWAT و ایجاد فایل‌های با فرمت CST برای دو ایستگاه سینوپتیک میناب و رودان

FTDNN برابر با ۶/۸۹ و ۸/۳۷ و برای روش SWAT به ترتیب معادل ۵/۳۵ و ۷/۷۶ در مقیاس است. در حالی که این مقادیر در مقیاس ماهانه به ترتیب برابر ۱۶/۲۹ و ۳۲/۰۲ برای مدل SWAT و FTDNN برابر ۹/۴۶ و ۲۲/۸۶ می‌باشد.

میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا در مرحله صحت‌سنجی برای مقیاس ماهانه ۹/۳۹ و ۱۸/۱ برای مدل SWAT و ۴/۴ و ۱۲/۱۴ در روش FTDNN است. این مقادیر در مقیاس سالانه به ترتیب معادل ۳۰/۹ و ۵/۵۶ در مدل SWAT و در مدل FTDNN معادل ۰/۵۶ و ۱/۶۵ در مرحله صحت‌سنجی رسیده است. ضریب خطی رگرسیون در مرحله واسنجی در مقیاس ماهانه و سالانه برابر با ۰/۹۶ و ۰/۸۹ در مدل SWAT بوده، در حالی که این ضریب در مدل هوش مصنوعی در مرحله واسنجی در مقیاس ماهانه و سالانه به ترتیب به ۰/۴ و ۰/۴۹ رسیده است. ضریب خطی رگرسیون در مرحله اعتبارسنجی در مدل SWAT به ۰/۹۸ و ۰/۹۴ در مقیاس ماهانه و سالانه رسیده است در حالی که این ضریب به ۰/۶ و ۰/۹۷ در مقیاس ماهانه و سالانه در FTDNN می‌رسد.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مقایسه دو مدل SWAT و FTDNN در برآورد رواناب حاکی از آن است که مدل SWAT در ترسالی‌ها و زمان‌هایی که مقدار بارندگی افزایش می‌یابد نسبت به روش هوش مصنوعی FTDNN از کارایی بهتری برخوردار است، در صورتی که در شرایط خشکسالی که رودخانه آب کمتری دارد، مدل هوش مصنوعی کارایی و دقت بالاتری دارد. با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه دارای میانگین بارندگی کمی است و با خشکسالی‌های دراز مدت مواجهه است، لذا استفاده از مدل FTDNN دقت و کارایی بیشتری برای شرایط منطقه مورد مطالعه دارد. میانگین مربعات خطا در روش FTDNN در مقیاس ماهانه و سالانه برای مدل هوش مصنوعی به ترتیب ۷/۷۶ و ۲۲/۸۶ بوده در حالی که در SWAT به ۳۲/۰۲ و ۶/۸۹ می‌رسد.

پیش‌بینی رواناب با استفاده از شبکه عصبی FTDNN برای پیش‌بینی رواناب ماهانه با استفاده از شبکه عصبی ابتدا شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شد و در حین شبیه‌سازی معماری مدل تعیین شد. پس از انجام پیش‌بینی دقت شبیه‌سازی با استفاده از مجموع میانگین مربعات خطا محاسبه و میانگین خطای مطلق محاسبه شد. مقایسه نتایج دو روش SWAT و هوش مصنوعی FTDNN: به منظور مقایسه دو روش فوق در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی سالانه و ماهانه ارزیابی آماری طی سال‌های ۱۹۸۵ الی ۲۰۰۷ انجام و نتایج آماری آن در جدول ۲ خلاصه شده است. معیارهای ارزیابی مدل MAE و RMSE هستند که از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - A_i| \quad (1)$$

که در آن، MAE میانگین مطلق خطا است و به ترتیب:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2} \quad (2)$$

که در آن، RMSE میانگین مربعات خطا، A مشاهده شده و p مقدار برآورد شده است.

جدول ۲- نتایج ارزیابی آماری ماهانه و سالانه مدل SWAT و

دوره	معیار آماری	FTDNN		ماهانه	سالانه
		FTDNN	SWAT		
واسنجی	R <sup>2</sup>	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۴	۰/۴۹
	MAE	۱۶/۲۹	۸/۳۷	۹/۴۶	۵/۳۵
	RMSE	۳۲/۰۲	۶/۸۹	۲۲/۸۶	۷/۷۶
اعتبارسنجی	R <sup>2</sup>	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۶	۰/۹۷
	MAE	۹/۳۹	۳۰/۹	۴/۴	۰/۵۶
	RMSE	۱۸/۱	۵/۵۶	۱۲/۱۴	۱/۶۵

نتایج حاصل از ارزیابی آماری مدل SWAT و هوش مصنوعی FTDNN حاکی از آن است که در مرحله واسنجی میزان میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق در دوره سالانه برای مدل

## تشکر و قدردانی

انتقال تجربیات کار با مدل SWAT سپاسگزاری

از همکاری جناب آقای دکتر مجید حسینی در می‌شود.

## منابع مورد استفاده

1. Bahremand, A. and F. De Smedt. 2010. Predictive analysis and simulation uncertainty of a distributed hydrological model. *Water Resources Management*, 24(12): 2869-2880.
2. Babaei, H. and S. Araghi Nejad. 2011. Drought occurrence in meteorological and hydrological in the Zayandeh Roud Watershed. *Khoshk Boom*, 1(3): 23-36.
3. Boughton, W.C. 1989. A review of the USDA, SCS curve number method. *Soil Research*, 27(3): 511-523.
4. El-Nasr, M.S., J. Yen and T.R. Ioegeger. 2000. Flame-fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3(3): 219-257.
5. Hosseini, M., A.M. Ghafouri, M.S. Amin, M.R. Tabatabaei, M. Goodarzi and A. Abde Kolahchi. 2012. Effects of land use changes on water balance in Taleghan Catchment, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(5): 1161-1174.
6. Jha, M., P.W. Gassman, S. Secchi and J. Arnold. 2006. Upper Mississippi River basin modeling system part 2: baseline simulation results. Pages 117-126 in V.P. Singh and V.J. Xu, editors. *Coastal Hydrology and Processes*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, USA.
7. Limaye, S.S. 1986. Jupiter: new estimates of the mean zonal flow at the cloud level. *Icarus*, 65(2): 335-352.
8. Murty, P.S., A. Pandey and S. Suryavanshi. 2014. Application of semi distributed hydrological model for basin level water balance of the Ken Basin of Central India. *Hydrological Processes*, 28(13): 4119-4129.
9. Nietch, C.T., M. Borst and J.P. Schubauer-Berigan. 2005. Risk management of sediment stress: a framework for sediment risk management research. *Environmental Management*, 36(2): 175-194.
10. Goodarzi, M., B. Zahbioon, B. Masa Bovani and A. Kamal. 2012. Compare the performance of the hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD in runoff simulation Garah Soo Watershed. *Water Management and Irrigation*, 2(1): 25-40 (in Persian).
11. Green, L.C., D.A. Wagner, J. Glogowski, P.L. Skipper, J.S. Wishnok and S.R. Tannenbaum. 1982. Analysis of nitrate, nitrite and [15 N] nitrate in biological fluids. *Analytical Biochemistry*, 126(1): 131-138.
12. Grizzetti, B., F. Bouraoui, K. Granlund, S. Rekolainen and G. Bidoglio. 2003. Modelling diffuse emission and retention of nutrients in the Vantaanjoki watershed (Finland) using the SWAT model. *Ecological Modelling*, 169(1): 25-38.
13. Selajegheh, A., A. Fathabadi and M. Mahdavi. 2009. Performance evaluation of neuro-fuzzy methods and statistical models to simulate rainfall-runoff process. *Rangeland and Watershed Management*, 62(1): 23-39 (in Persian).
14. Van Liew, M.W., T.L. Veith, D.D. Bosch and J.G. Arnold. 2007. Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: Comparison on USDA agricultural research service watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2): 173-189.