

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۱، شماره پیاپی ۱۰۷

K. Omidvar.Ph.D  
M.Azhdarpoor

کمال امیدوار، دانشیار اقلیم شناسی دانشگاه یزد

مهران اژدرپور، کارشناسی ارشد اقلیم شناسی

E-mail: Komidvar@Yazduni.ac.ir

شماره مقاله: ۸۷۹

شماره صفحه پیاپی ۱۸۶۴۰-۱۸۶۲۰

## مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC - HMS در برآورد بارش - رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات

### چکیده

یکی از روش‌هایی که در زمینه‌های مختلف علمی استفاده شده و می‌تواند فرایند پیچیده بارش - رواناب را شبیه‌سازی کند، استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی است. هدف این تحقیق بررسی کارآمدی شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب و مقایسه نتایج آنها با مدل HEC - HMS در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات در استان یزد است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، شامل بارندگی روزانه به همراه دبی روزانه و لحظه‌ای رودخانه مزبور طی یک دوره آماری ۲۴ ساله (۱۳۶۱-۱۳۸۵) است. ابتدا بارش نگارهای چندین پیشامد بارندگی و آب‌نمودهای رواناب آنها مبنای کار قرار گرفت. سپس شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پس‌انتشار خطا و استفاده از تابع تبدیل سیگموئید آموزش داده شد. معیار گزینش پارامترهای شبکه در مرحله آموزش، تولید کمترین مقدار (RMSE) در خروجی‌های آن بود. مدل HMS به روش پیشنهادی SCS و شماره منحنی (CN) اجرا شد. برای ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی، داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای مربوط به کل دبی و حجم رواناب، دبی‌ها و زمان‌های اوج مقایسه شدند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی کل دبی‌های مشاهده‌ای و برآورد شده شبکه عصبی ۰/۹۷۸ و مدل HMS ۰/۸۲۳ است و خروجی شبکه نسبت به خروجی مدل از دقت بیشتری برخوردار است. ضرایب همبستگی مربوط به حجم رواناب برآورد شده و دبی اوج به ترتیب برای شبکه ۰/۹۸۶ و ۰/۹۸۱ و برای مدل ۰/۹۷۹ و ۰/۹۷۲ به دست می‌آید. مقایسه زمان اوج

آبمودهای واقعی با موارد پیش‌بینی شده ANN و HMS نشان می‌دهد که دقت شبکه در این مورد نیز به مراتب از دقت مدل استفاده شده بیشتر است و ضرایب همبستگی شبکه ۰/۸۳۳ و مدل ۰/۴۹۱ برآورد می‌شود. مقایسه عملکرد شبکه و مدل به کار رفته نشان می‌دهد که در تمام پارامترهای مورد نظر دقت شبکه بیشتر از مدل HMS است. با انجام آزمون t با سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد، اختلاف معنی‌داری میان اندازه‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مربوط به همه پارامترهای مورد بررسی مشاهده نشد.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup> مدل HEC-HMS<sup>۲</sup>، بارش - رواناب، دبی، رودخانه اعظم هرات (یزد).

#### مقدمه

با توجه به این که منابع آبی موجود و توانایی دسترسی به آنها روز به روز محدودتر می‌شود، اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت آب بیش از پیش مشخص می‌گردد. با توجه به اینکه فرایند بارش - رواناب فرایندی کاملاً غیرخطی و از نظر زمانی و مکانی کاملاً تصادفی است و عوامل مختلف اقلیمی (شکل بارش، شدت، مدت و دوره بارش، پراکنش شدت در مدت بارش، تبخیر و غیره) به همراه خصوصیات فیزیکی حوضه (شیب، مساحت، شکل حوضه، پوشش گیاهی و غیره) در این فرایند نقش دارند؛ و تشریح آن با مدل‌های ساده و خطی به راحتی امکان پذیر نبوده، با خطای زیادی همراه است.

با توجه به پیشرفت‌های چشمگیری که در زمینه‌های مختلف هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی ایجاد شده است، توجه بسیاری از محافل علمی جهان در زمینه‌های مختلف علمی و مهندسی را به خود جلب کرده و به ابزارهای پیش‌بینی افزوده شده‌اند که نتایج قابل قبولی هم در زمینه‌های کاربردی مختلف از خود نشان داده‌اند. سیستم‌های هوا نیز غیرخطی بودن قابل توجه و وابسته‌ای را در سراسر مقیاس‌ها نشان می‌دهند. این مشخصات در روش‌های آب

---

- Artificial Neural Network

- Hydrology Engineering Center – Hydrologic Modeling System

و هواشناسی همدیدی برپایه همبستگی، شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)<sup>۳</sup> به خوبی جلب نشده‌اند. محدودیت دیگر این روش‌ها، ناتوانی آنها برای آموزش در یک روش تکراری همراه با همگرابودن در بهترین پاسخ (تابع انتقال) نسبت به ارتباط بین متغیرهای پیش‌بینی کننده جوی و اقلیم در مقیاس منطقه‌ای به محلی (متغیرهای وابسته) در سطح زمین (دما و بارش) است. این محدودیت‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تا حد زیادی برطرف می‌شوند (راجر<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۱:۵۶۰). استفاده از روش شبکه‌های عصبی به عنوان رویکردی نو در مطالعات اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی از اهمیت زیادی برخوردار شده است و نسبت به سایر روش‌ها از جمله تحلیل سری‌های زمانی نتایج مطلوبتری را در پیش‌بینی مقادیر متغیرهای جوی مانند بارش و دما دارد (فرج زاده، ۱۳۸۶:۱۲۲).

شبکه عصبی مصنوعی یک شبیه‌سازی از دستگاه عصبی طبیعی است و شامل مجموعه‌ای از واحدهای عصبی به نام نرون است که توسط ارتباطاتی موسوم به اکسون به هم متصل شده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای یک سری ویژگی‌هایی هستند که شاید دلیل اصلی استفاده روز افزون آنها در بین پژوهشگران علوم مختلف باشد. عمده‌ترین این ویژگی‌ها را می‌توان قابلیت یادگیری، تعمیم، پردازش موازی، مقاوم بودن و پراکندگی اطلاعات (پردازش اطلاعات به صورت متن) نام برد (منهاج، ۱۳۸۴:۳۰-۳۲). در دسترس بودن اطلاعات پیوسته بارش و سایر پارامترهای اقلیمی که می‌توانند برای پیش‌بینی مقدار جریان مورد استفاده شوند، شروع خوبی برای شبیه‌سازی پدیده بارش - رواناب به شمار می‌رود (لوریا و سچی،<sup>۵</sup> ۱۹۹۵: ۲۹۹-۳۱۳).

مدل HMS و نرم‌افزار مربوطه توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا ارائه شده است. از قابلیت‌های مهم آن، امکان ارتباط با دیگر نرم‌افزارها از جمله سیستم اطلاعات جغرافیایی است. این ویژگی باعث ارتباط درست و سریعتر با دیگر ابزار نرم‌افزاری شده، روند بررسی هر رخداد هیدرولوژی را در زمان کمتری امکان پذیر می‌سازد.

این مدل از یک سری روابط ساده، تلفات حوضه و آبنمود<sup>۶</sup> واحد برای بازسازی سیلاب‌ها از داده‌های بارندگی استفاده می‌کند. در این مدل رابطه‌ای از رواناب سطحی منظور می‌گردد که بر مبنای بارش نگار<sup>۷</sup> بارش ورودی عمل می‌کند. بارش مازاد پس از کسر سهم نفوذ و یک سری کاهش هیدرولوژیک و بر اساس توابع خاصی مانند شماره منحنی (CN)<sup>۸</sup> در روش سازمان حفاظت خاک (SCS)<sup>۹</sup> محاسبه می‌شود. بارش مازاد به دست آمده، منتهی به آبنمود واحد شده که توسط آن آبنمود رواناب خروجی از هر زیرحوضه استخراج می‌شود. در این مدل برای محاسبه تلفات بارندگی و رواناب مستقیم روش‌های مختلف محاسبه نرخ تلفات و محاسبه رواناب مستقیم وجود دارد (اژدرپور، ۲۱:۱۳۸۷-۲۴).

مطالعات متعددی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در بررسی‌های هیدرولوژی در جهان و ایران انجام گرفته است. نخستین کاربرد عملی شبکه‌های مصنوعی در اواخر دهه ۱۹۵۰ توسط روزنبلات<sup>۱۰</sup> و همکاران با معرفی شبکه‌های چندلایه پرسپترون صورت گرفت. هسو<sup>۱۱</sup> و همکاران (۱۹۹۵) ضمن تشریح روش شبیه‌سازی بارش - رواناب با شبکه عصبی، کارآمدی این مدل را تأیید نموده، بیان کردند که شبکه عصبی مصنوعی و حتی در مواردی که تنها اطلاعات مربوط به بارش و دما در دسترس باشد، پاسخ مناسبی از این پدیده حاصل می‌شود. دیموپولوس<sup>۱۲</sup> و همکاران (۱۹۹۶) ارتباط بارش - رواناب را به صورت غیرخطی و از دو روش شبکه عصبی و فیلتر کالمن<sup>۱۳</sup> بررسی کردند. ایشان با مقیاس روزانه و هفتگی حتی در بازه‌های زمانی مختلف هر دو روش را رضایت‌بخش عنوان کردند. پانکیوایز<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۷) در طبقه بندی توده‌های هوا با استفاده از شبکه‌های عصبی به منظور ارائه سیستم پیش بینی سیلاب از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده کرده است. براداک<sup>۱۵</sup> و

- 
- Hydrograph
  - Hyetograph
  - Curve Number
  - Soil Conservation Service
  - Rosenblatt
  - Hsu
  - Dimopoulos
  - Kalman Filter
  - Pankiewicz
  - Braddock

همکاران (۱۹۹۸) شبکه عصبی نوع پیشرو را بدون نمونه برداری داده‌ها برای پیش‌بینی بارش - رواناب استفاده کردند. لالا هم و مانیا<sup>۱۶</sup> (۲۰۰۲) روش مناسبی را براساس شبکه عصبی مصنوعی برای مسایل دارای مقیاس بزرگ و بازه‌های زمانی طولانی (کاربرد همزمان ANN با دیگر روش‌ها) ارائه کردند. آنکتیل<sup>۱۷</sup> و همکاران (۲۰۰۳) با تمرکز روی طول اندازه‌گیری مشاهده شده در اجرای مدل پرسپترون چند لایه، به مقایسه نتایج آن با یک مدل تفهیمی سنتی پرداختند که هر دو مدل برای سیل یک روز آینده ارزیابی شد. یوسوپ<sup>۱۸</sup> و همکاران (۲۰۰۷) برای مدل سازی بارش - رواناب در یک حوضه کوچک در مالزی از مدل HEC-HMS استفاده کردند و نتایج آن را در هر دو مرحله صحت سنجی و اعتبار سنجی رضایت بخش اعلام نمودند. دستورانی و همکاران (۲۰۰۹) از شبکه عصبی مصنوعی به همراه مدل‌های دیگر به منظور بازسازی داده‌های دبی جریان استفاده کردند و پس از مقایسه نتایج به برتری شبکه عصبی در مقایسه با روش همبستگی و روش نسبت نرمال پی بردند. سوهایی و بوستامی<sup>۱۹</sup> (۲۰۰۹) از شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP (پرسپترون چند لایه) را برای مدل سازی بارش - رواناب در حوضه‌ای در مالزی مورد استفاده کردند و به نتیجه مطلوبی نیز رسیدند. مدرس (۲۰۰۹) کارایی شبکه‌های عصبی با خصوصیات مختلف را برآورد رابطه بارش - رواناب در شرایط مختلف جریان کم، جریان متوسط و جریان زیاد ارزیابی کردند و نتایج را با مدل‌های تجربی مقایسه نمودند. نتیجه نشان داد که هرچند ساختار MLP بهترین نتایج را در بین شبکه‌های عصبی ارائه نمود، ولی هیچ کدام از شبکه‌های عصبی و روش‌های تجربی رگرسیونی قادر به پیش‌بینی دقیق توزیع احتمال رواناب نیستند. رازی و همکاران (۲۰۱۰) اقدام به مدل سازی جریان سیلاب از حوضه رودخانه جوهور<sup>۲۰</sup> در مالزی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS نمودند. در این مدل سازی دبی حداکثر سیلاب ۱۰ سال را شبیه

---

- Lallahem & Mania  
- Anctil  
- Yusop  
- Suhaimi & Bustami  
- Johor

سازی کردند و پس از مقایسه با مقادیر مشاهده شده نتایج در حدود ۵ درصد خطا نسبت به مقادیر مشاهده شده رضایت بخش ارزیابی شد.

در ایران میثاقی و محمدی (۱۳۸۱) در شبیه سازی بارش- رواناب برای زیرحوضه‌های رودخانه قره سو در غرب کشور از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP (پرسپترون چند لایه) دارای این توانایی هستند که با دقت کافی و برای فاصله زمانی حداکثر یک هفته فرایند بارش- رواناب را شبیه سازی کنند. سلطانی و مرید (۱۳۸۱) با مقایسه عملکرد مدل‌های SAC-SMA<sup>۱</sup> و SWAT<sup>۲</sup> و شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب، عنوان کردند که شبکه‌های عصبی در مقایسه با دو مدل دیگر به حجم اطلاعات کمتری نیاز دارد. اکبرپور و همکاران (۱۳۸۲) مطالعه‌ای با عنوان «مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در فرایند بارندگی - رواناب انجام دادند. اژدرپور (۱۳۸۷) برای پیش‌بینی رابطه بارش - رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات در استان یزد از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده و با نتایج مربوط به مدل HEC-HMS مقایسه کرده است.

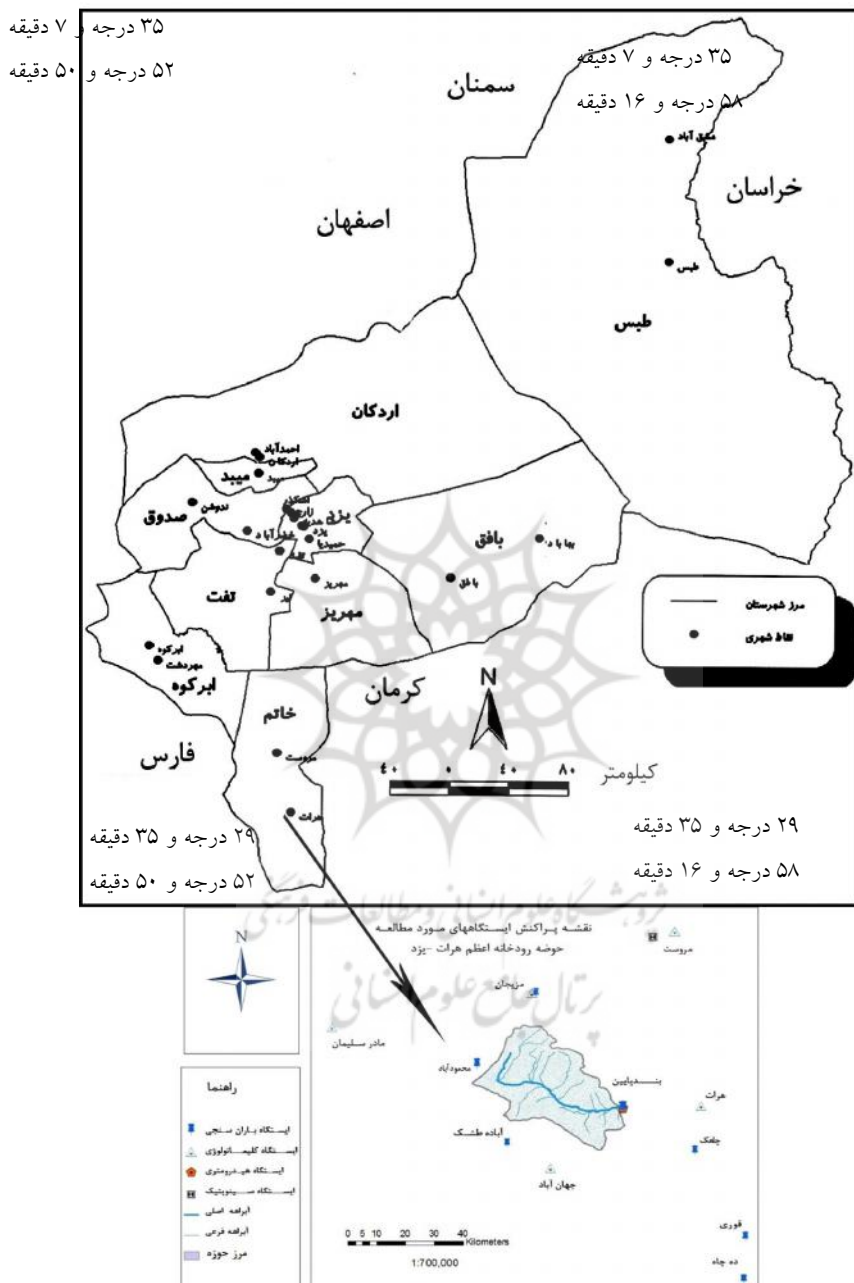
با توجه به استعداد ویژه حوضه رودخانه اعظم در هرات (استان یزد) به لحاظ پتانسیل‌های کشاورزی و اهمیت آن در ایجاد اشتغال و نیاز مبرم منطقه به تأمین آب و همچنین، در راستای برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع آبی، کنترل سیلاب، حفاظت خاک و احیای پوشش گیاهی، برآورد رواناب حاصل از بارش در حوضه مزبور حائز اهمیت است. از طرفی، با توجه به استفاده روز افزون از شبکه‌های عصبی و این که کارآمدی آن در فرایند پیچیده بارش - رواناب تأیید شده است، بنابراین، هدف این تحقیق پیش‌بینی رابطه بارش - رواناب به روش شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با مدل HEC-HMS در حوضه رودخانه اعظم هرات در استان یزد است.

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات در ۵۵ کیلومتری جنوب غربی مروست و بین طول‌های ۵۳ تا ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی در پایین‌ترین حد جنوبی استان یزد در شهرستان خاتم واقع شده است (شکل ۱). این حوضه از شمال با حوضه رودخانه بوانات، از غرب با حوضه رودخانه کُر و از جنوب به حوضه دریاچه طشک و کویر هرات محدود می‌شود و از اقلیم خشکی برخوردار است.

### داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق با توجه به پژوهش‌های انجام شده در جهان و ایران و کاربردهای بسیار فراوان شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP) <sup>۳۳</sup> از جمله میثاقی و محمدی (۱۳۸۱)، اکبرپور و همکاران (۱۳۸۲)، اثردرپور (۱۳۸۷)، روزنبلات و همکاران (۱۹۶۲)، پانکیوایز (۱۹۹۷)، یوسوپ و همکاران (۲۰۰۷)، سوهایمی و بوستانی (۲۰۰۹)، مدرس (۲۰۰۹) و محققان دیگر، این نوع شبکه استفاده شده است. همچنین، این نوع شبکه معروفترین و مشهورترین شبکه عصبی مورد استفاده در زمینه‌های مختلف علمی بوده، حدود ۹۰ درصد شبکه‌های استفاده شده در تحقیقات مرتبط با فرآیندهای هیدرولوژی در جهان و ایران نیز این نوع شبکه است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات در استان یزد  
(سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان یزد، ۱۳۸۴)



مناسبتترین نوع شبکه عصبی در بررسی فرایند بارش- رواناب، شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) با الگوریتم پس انتشار خطاست که براساس قانون آموزش دلتا و تابع فعالیت مناسبت آموزش می‌یابد. در این بررسی تابع سیگموئید (S شکل) به عنوان تابع تبدیل استفاده شد. برای گزینش بهترین ساختار شبکه، از کمترین مقدار RMSE بین داده‌های دیده‌بانی و خروجی شبکه پس از آموزش آن با تکرارهای مختلف استفاده گردید.

پس از گزینش حوضه آبریز اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی مربوط به فرایند بارش - رواناب، شامل بارش نگارها، آبنمودهای رواناب، نقشه‌های رقومی توپوگرافی، کاربری زمین، زمین‌شناسی و شبکه آبراهه‌های حوضه گردآوری شد. البته، به منظور رسیدن به هدف‌های مورد نظر، باید در هر مرحله از اجرای مدل HEC-HMS روش مناسب گزینش شود که این امر در برنامه مربوطه پیش‌بینی شده است. در این بررسی از روش SCS که بر شماره منحنی CN و زمان تأخیر حوضه استوار است و دقت بالایی نیز دارد، برای بررسی روند تولید رواناب در سطح حوضه و انتقال به خروجی آن (محل ثبت داده‌های مشاهده‌ای جریان) استفاده شد. به منظور کنترل و بهینه‌یابی مدل HMS براساس رواناب مشاهده‌ای، روش وزنی آبنمود مبنای کار قرار گرفت.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل بارندگی روزانه ایستگاه‌های مزبجان، آباده طشک، محمودآباد، جهان آباد و بند پایین به عنوان ورودی (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۵) و آمارهای دبی روزانه و لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری بند پایین به عنوان خروجی در یک دوره آماری ۲۴ ساله (۱۳۶۱-۱۳۸۵) است (وزارت نیرو، سازمان آب منطقه‌ای یزد، ۱۳۸۵). پس از گردآوری اطلاعات، داده‌ها به طوری که قابلیت استفاده برای شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS داشته باشند، استخراج و آماده سازی شده است. ابتدا بارش نگارهای چندین پیشامد بارندگی و آبنمودهای رواناب آنها مبنای کار قرار گرفت. سپس شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پس انتشار خطا و استفاده از تابع تبدیل سیگموئید (S شکل) به عنوان تابع تبدیل استفاده و آموزش داده شد. معیار گزینش پارامترهای شبکه در

مرحله آموزش، تولید کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۲۴</sup> در خروجی‌های آن بود. برای ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی (ANN) داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای مربوط به کل دبی و حجم رواناب، دبی‌ها و زمان‌های اوج مقایسه شدند. در این تحقیق برای پیاده سازی مدل‌های مختلف شبکه عصبی و تعیین ساختار بهینه از جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار مت لب<sup>۲۵</sup> استفاده شد و نتایج مربوط با مدل HEC-HMS مقایسه گردید.

## بحث

### ۱- معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه عصبی و مدل HEC-HMS

معیارهای استفاده شده در این بررسی شامل نمودارها و شاخص‌های کمی است. الف) نمودارها: در این روش برای بررسی عملکرد و تعیین درستی نتایج به دست آمده، مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه و مدل ( $X_{est}$ )، در مقابل مقادیر مشاهده شده نظیر آنها ( $X_{obs}$ ) (ترسیم شده است. در این روش از مقدار شیب (a) و عرض از مبدأ (b) معادله خط برازش بین پارامترهای مختلف و همچنین، ترسیم پراکنش نسبی آنها استفاده شده است. ب) شاخص‌های کمی: در ارزیابی عملکرد و مقایسه مدل‌ها، شاخص‌های کمی مختلفی کاربرد دارند. در اینجا از شاخص‌های مهمی مانند ضریب تعیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)<sup>۲۶</sup>، درصد خطای کل (TE) و حد اکثر درصد خطا (ME) استفاده شد. علاوه بر موارد بالا، به منظور بررسی میزان درستی نتایج به دست آمده از شبکه و مدل و تأیید عملکرد آنها در برآورد پارامترهای مورد نظر، آزمون t<sup>۲۷</sup> با سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد انجام گرفت و تمامی شاخص‌های ذکر شده برای کل دبی و حجم رواناب، دبی و زمان اوج رواناب محاسبه و به صورت ترسیمی و یا جداول آمده است.

---

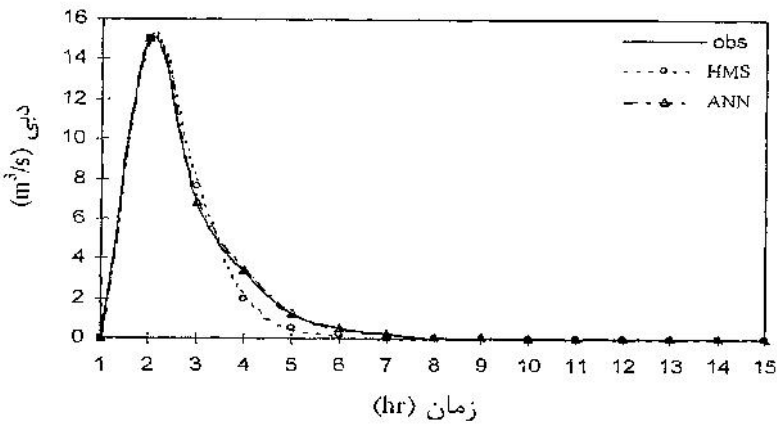
- Root of Mean Square Error  
- Matlab  
- Mean of Absolute Error  
- t-Test

در ادامه، نتایج حاصل از تغییرات پارامترهای مختلف به کار رفته در راستای انتخاب مناسبترین مدل‌ها و همچنین، ارزیابی و مقایسه عملکرد آنها ارائه می‌شود.

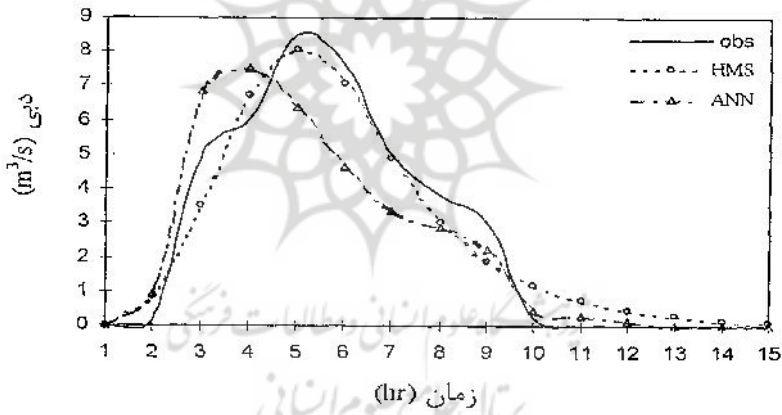
## ۲- بررسی عملکرد ANN و HEC - HMS در حوضه آبریز رودخانه اعظم

از مقایسه اندازه‌های خروجی شبکه و مدل با اندازه‌های واقعی آنها، نتایج زیر به دست می‌آید:

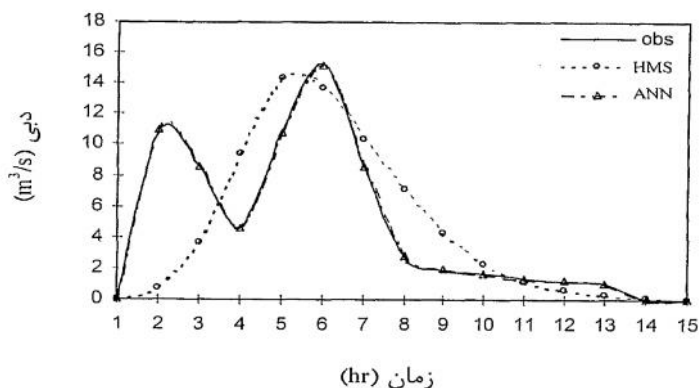
۲-۱- کل دبی‌های پیش‌بینی شده با ANN و HMS در منطقه مورد مطالعه با مقایسه آبنمودهای به دست آمده از مدل‌های به کار رفته و مشاهده‌ای، مشخص شد که شبکه و مدل به خوبی رواناب‌ها را شبیه‌سازی کردند. آبنمودهای منفرد و مرکب به دست آمده از شبکه نسبت به مدل، همخوانی و انطباق بیشتری با آبنمودهای مشاهده‌ای دارند (شکل‌های ۲ و ۳). علت این است که خروجی شبکه در نتیجه آموزش بر مبنای آبنمودهای مشاهده‌ای بوده، با تکرارهای آموزش به آن نزدیک می‌شود، اما در مدل به سبب پیروی از روابط تجربی ارائه شده از سوی SCS، دارای نمودار مشخص و بیشتر به صورت منفرد هستند. بر این مبنای آبنمودهایی که در طول زمان تداوم رواناب دارای تغییرات زیادی بودند، با شبکه به خوبی شبیه‌سازی شدند (شکل ۴). شکل ۲ نشان می‌دهد که به ویژه در مورد دبی‌های متوسط روی شاخه نزولی آبنمود نتایج شبکه عصبی سازگاری بیشتری با مقادیر مشاهده شده دارد، در صورتی که نتایج مدل HMS نسبت به داده‌های مشاهده‌ای کمی خطا داشته و کمتر برآورد شده است.



شکل ۲- مقایسه نمونه آبنمود منفرد واقعی (obs) و شبیه‌سازی شده با شبکه (ANN) و مدل (HMS) در حوضه آبریز رودخانه اعظم

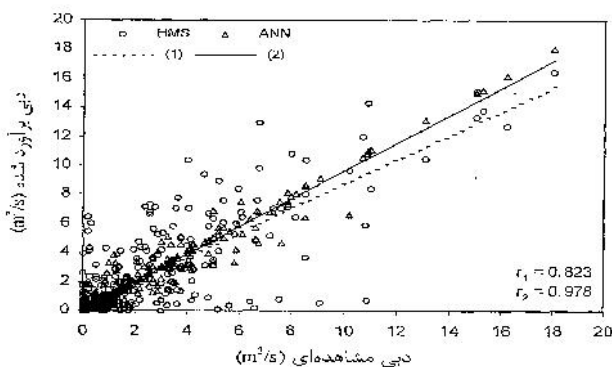


شکل ۳- مقایسه نمونه آبنمود با تغییرات واقعی (obs) و شبیه‌سازی شده با شبکه (ANN) و مدل (HMS) در حوضه آبریز رودخانه اعظم



شکل ۴- مقایسه نمونه آبنمود مرکب واقعی (obs) و شبیه‌سازی شده با شبکه (ANN) و مدل (HMS) در حوضه آبریز رودخانه اعظم

برازش مربوط به کل دبی‌های مشاهده‌ای ( $Q_{obs}$ ) و برآورد شده ( $Q_{est}$ ) با مدل HMS و ANN در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که بیشتر داده‌ها مرتبط با زمان‌های کم آبی و دبی‌های پایین بوده و در نتیجه تراکم داده‌ها در این قسمت بیشتر است. بر مبنای این برازش، ضریب همبستگی شبکه ۰/۹۷۸ و مدل ۰/۸۲۳ به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که خروجی شبکه نسبت به خروجی مدل از دقت بیشتری برخوردار است علت این امر این است که شبکه بر اساس مقدار دبی ساعتی آموزش می‌بیند و در حوضه برهمان مبنای پاسخ می‌دهد، اما مدل HMS از روابط مشخصی پیروی کرده، از ویژگی‌های حوضه و بارش تأثیرپذیری زیادی برخوردار است. برای اطمینان بیشتر آزمون t انجام شد که در سطح ۹۹ درصد اختلاف میان اندازه‌های واقعی و برآورد شده با شبکه و مدل معنی‌دار نبود. جدول ۱ معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه و مدل مربوط به کل دبی‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵- برازش کل دبی‌های واقعی (obs) و پیش‌بینی شده با شبکه (ANN) و مدل (HMS) در حوضه آبریز رودخانه اعظم

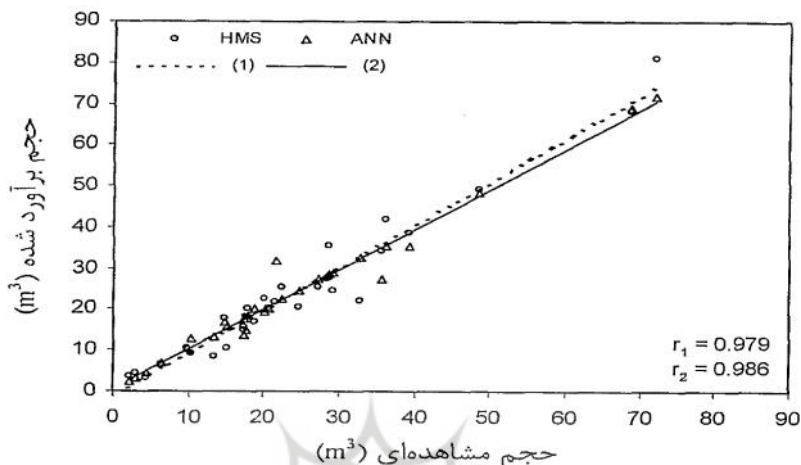
جدول ۱- معیارهای ارزیابی عملکرد HMS و ANN مربوط به کل دبی‌های رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم

نوع	دبی رواناب		ME(%)	MAE	TE(%)	RMSE	R <sup>2</sup>	a	b
	حداکثر	میانگین							
واقعی	۱۸	۱/۶۱							
HMS	۱۶/۴۷	۱/۶۰	۳۱	۰/۸۹	۰/۷۵	۱/۶۵	۰/۶۷۷	۰/۸۴۳	۰/۲۴۱
ANN	۱۸/۰۳	۱/۶۱	۱۳/۲۲	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۵۷	۰/۹۵۷	۰/۹۵۴	۰/۰۷۴

## ۲-۲- حجم رواناب پیش‌بینی شده با HMS و ANN

با ثابت بودن بازه زمانی یک ساعت برای داده‌های شبکه و مدل، حجم رواناب مشاهده ( $Vol_{obs}$ ) و برآورد شده ( $Vol_{est}$ ) باهم مقایسه شده که برازش آنها در شکل ۶ دیده می‌شود. ضریب همبستگی مربوط به حجم رواناب برآورد شده با شبکه و مدل به ترتیب ۰/۹۸۶ و ۰/۹۷۹ به دست آمد. با انجام آزمون t مشخص شد که در سطح ۹۹ درصد اختلاف حجم‌های برآورد شده و واقعی معنی دار نبوده و هم شبکه و هم مدل از دقت خوبی برخوردارند. علت این است که محاسبه حجم رواناب آبنمود بدون در نظر گرفتن تأخیر زمانی آن نسبت به نمونه

واقعی صورت می‌گیرد. جدول ۲ معیارهای ارزیابی مربوط به حجم رواناب برآورد شده و واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۶- برآزش حجم رواناب آبنمودهای واقعی (obs) و پیش‌بینی شده با شبکه (ANN) و مدل (HMS) در حوضه آبریز رودخانه اعظم

### ۲-۳- دبی اوج پیش‌بینی شده با ANN و HMS در حوضه آبریز رودخانه اعظم

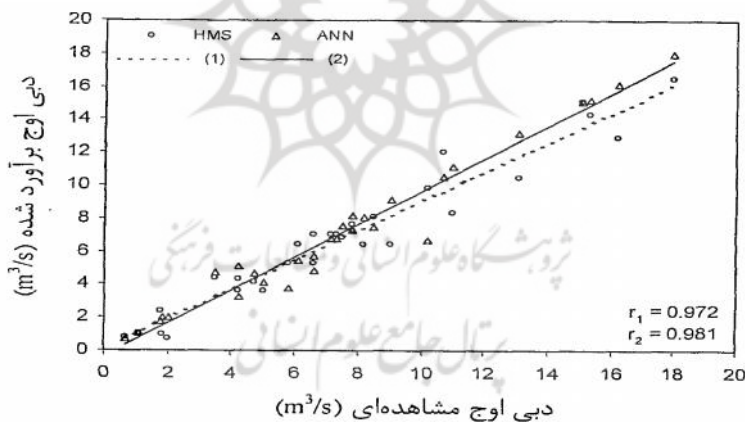
با توجه به اهمیت زیادی که دبی و زمان اوج رواناب در مباحث مدیریت سیلاب و اطمینان از سلامت و کارکرد مناسب ساختمان‌های واقع در مسیر جریان دارد، میان دبی‌ها و زمان‌های اوج مشاهده‌ای برآورد شده با شبکه و مدل مقایسه شد. با توجه به شکل ۷ ضرایب همبستگی مربوط به دبی اوج برای شبکه ۰/۹۸۱ و مدل ۰/۹۷۲ به دست آمد. با انجام آزمون t در سطح ۹۹ درصد، مشخص شد که هم شبکه و هم مدل از دقت مطلوبی برخوردارند، ولی دقت شبکه در برآورد این پارامترها بیشتر از مدل است. در مدل HMS امکان رسیدن به دبی اوج با دقت بیشتر (حتی بهتر از ANN) وجود دارد که در این صورت خطای حجم رواناب افزایش زیادی خواهد داشت. از این رو گزینش مناسب پارامترهای مدل بر مبنای دقت قابل قبول مدل هم در حجم رواناب و هم در دبی اوج قرار گرفت. در مورد دبی اوج، بیشترین خطای شبکه مربوط به آبنمودهایی است که بارش مولد آنها دارای

تغییرات زیادی باشد، اما در مدل HMS بیشتر تابع مقدار ساعتی بارندگی و زمان تداوم آن است. جدول ۳ معیارهای ارزیابی دبی‌ها را نشان می‌دهد. در این بررسی مشخص می‌شود که غیر از مواردی که جریان افتاخیز زیادی دارد، دقت شبکه از مدل بیشتر است.

جدول ۲- معیارهای ارزیابی عملکرد ANN و HMS مربوط به حجم رواناب در حوضه آبریز

رودخانه اعظم

نوع	دبی رواناب		ME(%)	MAE	TE(%)	RMSE	R <sup>2</sup>	a	b
	حداکثر	میانگین							
واقعی	۰/۶۷	۷/۵۷							
HMS	۰/۷۳	۶/۸۶	۵۶/۴۷	۰/۹۶	۹/۳۷	۱/۳	۰/۹۴۵	۰/۸۹۴	۰/۰۹۴
ANN	۱۸/۰۳	۷/۲	۱۱/۵۱	۰/۵۵	۴/۸۷	۰/۹۵	۰/۹۶۳	۰/۹۸۹	۰/۲۸۲



شکل ۷- برازش دبی‌های اوج رواناب واقعی (obs) و پیش‌بینی شده با شبکه (ANN) و مدل (HMS) در حوضه آبریز رودخانه اعظم



### جدول ۳- معیارهای ارزیابی عملکرد ANN و HMS مربوط به دبی اوج رواناب در حوضه آبریز

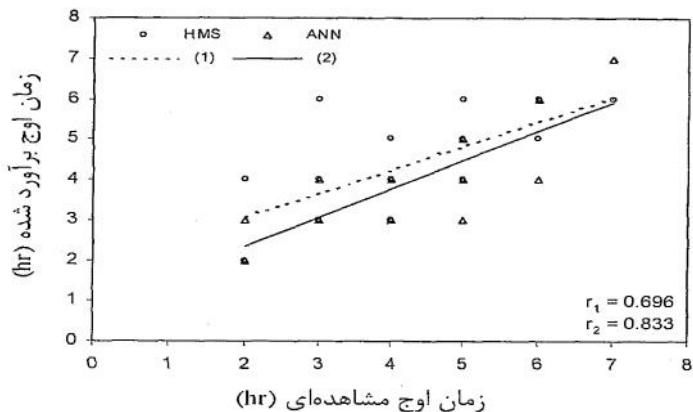
#### رودخانه اعظم

نوع	دبی رواناب			ME (%)	MAE (%)	TE (%)	RMSE	R <sup>2</sup>	a	b
	حداکثر	حداقل	میانگین							
واقعی	۷۲/۰۱	۲/۳۲	۲۴/۱۷							
HMS	۸۱/۱۷	۳/۳۳	۲۳/۹۸	۵۳/۰۲	۲/۶۵	۰/۷۵	۳/۷۲	۰/۹۵۸	۰/۸۴۳	۱/۴۵
ANN	۷۱/۸۰	۲/۳۱	۲۴/۱۵	۴۷/۶۴	۱/۳۴	۰/۰۵	۲/۷۰	۰/۹۷۳	۰/۹۵۴	۰/۶۹

### ۲-۴- زمان اوج رواناب پیش‌بینی شده با ANN و HMS در حوضه آبریز رودخانه اعظم

در بررسی و تحلیل رواناب، زمان اوج از اهمیت زیادی برخوردار است، به طوری که با اطلاع از زمان رسیدن جریان به مقدار اوج خود، می‌توان بسیاری از پیامدهای ناخوشایند ناشی از آن را دفع و یا به حداقل رساند. مقایسه زمان اوج آبنمودهای واقعی با موارد پیش‌بینی شده ANN و HMS (جدول ۴) و آزمون t با سطح احتمال ۹۹ درصد نشان می‌دهد که دقت شبکه در این مورد نیز به مراتب بیشتر از دقت مدل است.

بر مبنای برآزش داده‌های مربوط به شکل ۸، ضریب همبستگی زمان اوج رواناب برآورد شده با شبکه و مدل پس از اصلاح به ترتیب ۰/۸۳۳ و ۰/۶۹۶ به دست آمد. دلیل اصلی وجود خطای بیشتر مدل HMS در پیش‌بینی زمان اوج، تأخیر زیادی است که ساختار مدل بر مبنای روابط تعریف شده آن ایجاد می‌کند؛ به خصوص در مورد آبنمودهای دارای تغییرات زیاد و یا مواردی که بارش مولد آنها نسبت به دیگر بارندگی‌ها از زمان تداوم بیشتری برخوردار باشند. جدول ۴ معیارهای ارزیابی مربوط به برآورد زمان‌های اوج رواناب را نشان می‌دهد.



شکل ۸- برازش زمان اوج رواناب واقعی (obs) پس از اصلاح و پیش‌بینی شده با شبکه (ANN) و مدل (HMS) در حوضه آبریز رودخانه اعظم

جدول ۴- معیارهای ارزیابی عملکرد ANN و HMS مربوط به زمان اوج رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم

نوع	زمان اوج			ME (%)	MAE	TE (%)	RMSE	R <sup>2</sup>	a	b
	حداکثر	حداقل	میانگین							
واقعی	۷	۲	۴							
HMS	۶	۲	۴/۲۳	۱۵/۶۳	۰/۶۵	۶/۸	۰/۹۱	۰/۴۸۴	۰/۵۸۷	۱/۹۰۴
	۱۱	۲	۴/۹	۴۱/۱۷۲	۱/۲۳	۲۲/۵	۲/۰۶	۰/۲۴۱	۰/۸۰	۱/۷۰
ANN	۷	۲	۳/۷۷	۳۱/۲۵	۰/۳۷	۵/۸۳	۰/۷۵	۰/۶۹۴	۰/۷۲۰	۰/۸۸۷

### نتیجه‌گیری

براساس بررسی‌های انجام شده از مقایسه عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و مدل هیدرولوژیکی HMS در شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم، نتایج زیر به دست می‌آید:

- ۱- شبکه عصبی مصنوعی با تابع سیگموئید و مدل HMS براساس روش SCS، در شبیه‌سازی پدیده مورد نظر در حوضه مربوطه دقت خوبی دارند، اما ANN در پیش‌بینی

تمامی پارامترهای رواناب (کل دبی، حجم، دبی و زمان اوج رواناب)، نسبت به مدل مزبور از دقت بالاتری برخوردار است. البته، سهم بیشتر خطای مدل HMS در برآورد کل دبی‌های جریان، به سبب تأخیر زمانی آبنمود خروجی آن نسبت به نمونه واقعی است.

۲- شبکه عصبی مصنوعی با در دست داشتن کمترین اطلاعات می‌تواند پیش‌بینی مناسبی از پدیده انجام دهد؛ در صورتی که HMS به تناسب روش گزینشی در هر مرحله از اجرای مدل، نیاز به اطلاعات خاصی دارد که چنانچه در دست نباشد، قادر به ادامه کار نیست.

۳- در حوضه مورد مطالعه، هرچه تفاوت بین داده‌های ثبت شده مربوط به پیشامدهای بارش و داده‌های رواناب مشاهده‌ای کمتر و از نظر مقدار و زمان رخداد به هم نزدیکتر باشند، شبکه با صرف زمان کوتاهتر دقت بیشتری خواهد داشت، اما در نتایج HMS تفاوت چشمگیری ایجاد نشده و بیشتر تابع ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه است.

۴- در حوضه مورد مطالعه، شبکه نسبت به مدل استفاده شده وجود تغییرات زیاد دبی جریان در طول زمان تداوم رواناب را به خوبی تحمل کرده و با وجود تغییرات پیش و پس از دبی اوج دقت مطلوبی دارد، اما مدل HMS به تغییرات جریان تداوم بسیار حساسیت نشان می‌دهد.

۵- مقایسه عملکرد شبکه و مدل به کار رفته نشان می‌دهد که در تمام پارامترها (دبی‌های کل، حجم رواناب، دبی و زمان اوج رواناب) دقت شبکه بیشتر از مدل HMS است.

بنابراین، استفاده از شبکه‌های عصبی به عنوان رویکرد نو در مطالعات هیدرولوژی و اقلیم شناسی از اهمیت زیادی برخوردار شده است و نسبت به سایر روش‌ها، از جمله سری‌های زمانی نتایج بهتری را در پیش‌بینی، شبیه‌سازی و برآورد پارامترهای بارش - رواناب، دبی و زمان اوج رواناب در حوضه مورد مطالعه و سایر حوضه‌ها دارد و از دقت و سرعت بالاتری نیز برخوردار است. از طرفی، با توجه به اقلیم خشک منطقه برآورد رواناب حاصل از بارندگی در این حوضه از جهات گوناگون، از جمله مدیریت و پیش‌بینی حجم مخزن سد، طراحی سازه‌های کنترل و تنظیم سیلاب، کنترل فرسایش، برنامه ریزی‌های محلی و منطقه‌ای منابع

آب و غیره از دیرباز مورد توجه محققان، آب شناسان و برنامه ریزان منابع آب استان یزد بوده است.

با توجه به استعداد ویژه منطقه هرات به لحاظ پتانسیل‌های کشاورزی و اهمیت آن در ایجاد اشتغال و نیازهای مبرم مردم منطقه به تامین آب مورد نیاز جهت شرب و مصارف کشاورزی پیشنهاد می‌شود در محل خوانسار واقع در ۵۵ کیلومتری جنوب غربی مروست یک سد مخزنی ساخته شود تا جریان‌های سیلابی رودخانه اعظم برای تامین آب مورد نیاز اراضی و مصارف پایاب سد استفاده شود.

#### منابع

- ۱- اژدرپور، مهران. (۱۳۸۷). پیش‌بینی رابطه بارش - رواناب به روش شبکه عصبی مصنوعی در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته اقلیم شناسی به راهنمایی کمال امیدوار، دانشگاه یزد، گروه جغرافیا.
- ۲- اکبرپور، مهرداد، محمدباقر رهنما و غلام عباس بارانی. (۱۳۸۲). ((مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC - HMS در فرایند بارندگی - رواناب))، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، صص ۱۰۲۵-۱۰۳۲.
- ۳- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۵) داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه.
- ۴- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان یزد. (۱۳۸۴)، معاونت آمار و اطلاعات.
- ۵- سلطانی، سعید و سعید مرید. (۱۳۸۱)، ((مقایسه مدل‌های تفهیمی با شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی بارش - رواناب))، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، صص ۱۰۸۵-۱۰۹۴.
- ۶- فرج زاده، منوچهر (۱۳۸۶). تکنیک‌های اقلیم شناسی تهران: سمت، ۲۸۷ صفحه.
- ۷- میثاقی، فرهاد و کورش محمدی. (۱۳۸۱). ((شبیه سازی بارش - رواناب و روندیابی رودخانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی))، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، صص ۴۵۵-۴۶۲.
- ۸- منهای، محمد باقر (۱۳۸۴) مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۷۱۵ صفحه.
- ۹- وزارت نیرو، سازمان آب منطقه‌ای یزد، دفتر مطالعات آب‌های سطحی (۱۳۸۵)، گزارش‌های آماری حوضه آبریز رودخانه اعظم.

۱۰- Anctil., F, and etal.(۲۰۰۳). "Impact of the length of observed records on the performance of ANN."

Environmental Modeling and Software, ۱۹:۳۵۷-۳۶۸.

- ۱۱- Braddock, R.D. etal. (۱۹۹۸). "Feed forward artificial neural network model for forecasting rainfall-runoff". Environmental Sciences, ۹:۴۱۹-۴۳۲.
- ۱۲- Dastorani, M.T., A.Moghadamnia, J. Piri and M.Rico-Ramirez, (۲۰۰۹), "Application of ANN and ANFIS Models for Reconstructing Missing Flow Data, " Journal of Environmental Monitoring and Assessment, Springer, DOI: ۱۰.۱۰۰۷/S۱۰۶۶۱-۰۰۹-۱۰۱۲-۸
- ۱۳- Dimopoulos, I.etal.(۱۹۹۶). "Rainfall-runoff modeling by neural networks and Kalman filter". Hydrological Sciences journal, ۴۱:۱۷۹-۱۹۳.
- ۱۴- HSU,K etal. (۱۹۹۵). "Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process".Water Resources Research,۳۱:۲۵۱۷-۲۵۳۰.
- ۱۵- Lallahem,S. and J.Mania.(۲۰۰۲)." A non-linear rainfall- runoff model using neural network technique." Mathematical and Computer Modeling, ۳۷:۱۰۴۷-۱۰۶۱.
- ۱۶- Lorrai, M. and Sechi, G.M.(۱۹۹۵). "Neural net for modeling rainfall-runoff transformation". Watercourses management, Vol.۹,pp.۲۹۹-۳۱۳.
- ۱۷- Modarres, R (۲۰۰۹), " Multi-criteria validation of artificial neural network rainfall- runoff modeling". Hydrology and Earth System Sciences. Vol. ۱۳,No.۳۳ (۱۹ March), pp.۴۱۱-۴۲۱.
- ۱۸- Pankiewicz, G.S. (۱۹۹۷). "Neural network classification of convective airmasses for a flood forecasting system", International Journal of Remote Sensing. Vol. ۱۸, No.۴, pp. ۸۸۷-۸۹۸.
- ۱۹- Razi, M.A.M, J.Ariffin, W.Tahir and N.AM Arish, (۲۰۱۰), "Flood estimation studies using hydrologic modeling system (HEC- HMS) for Johor river, Malaysia", Journal of Applide Sciences ۱۰(۱۱): ۹۳۰-۹۳۹.
- ۲۰- Roger.G and etal(۲۰۰۱). "Synoptic and dynamic climatology". London and NewYork. P ۵۶۰.
- ۲۱- Rosenblatt, F.(۱۹۶۲). "Principles of neuro-dynamics: Perceptron and the theory of brain mechanisms" Spartan, Washington, D.C.
- ۲۲- Suhaimi, S., Rosmina A.Bustami, (۲۰۰۹), "Rainfall runoff modeling using Radial basis function neural network for Sungai Tinjar catchment, Miri, Sarawak", (۲۰۰۹), Journal of Civil Engineering, Vol.۱: issue۱/August.
- ۲۳- Yusop,Z (۲۰۰۷), "Runoff characteristics and application of HEC-HMS for modeling stormflow hydrograph in an oil palm catchment", Water Science and Technology, Vol.۵۶. No. ۸. PP,۴۱-۴۸.



شرویشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی