

تجزیه و تحلیل شبکه‌های عصبی مصنوعی ژئومورفولوژیکی در برآورد رواناب مستقیم

(حوضه جاجرود، زیر حوضه امامه)

علی نصیری - استادیار دانشگاه پیام نور، مرکز ارومیه
مجتبی یمانی* - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
پذیرش مقاله: ۱۳۸۵/۳/۲۸ تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۸/۱

چکیده

برآورد و تعیین رواناب مستقیم رودخانه‌ها در عمل کار پیچیده‌ای است و تاکنون روش‌های متفاوتی برای محاسبه آن پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های جدید در حل مسائل مهندسی آب و رودخانه‌ها و همچنین برآورد دبی رودها، استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی است که با الگوبرداری از شبکه عصبی مغز انسان، ضمن اجرای فرایند آموزش، روابط درونی بین داده‌ها را کشف می‌کند و آن را به موقعیت‌های دیگر تعمیم می‌دهد. هدف عمده پژوهش حاضر نیز برآورد رواناب از طریق تجزیه و تحلیل روابط بارش - رواناب براساس داده‌های کمی ژئومورفولوژی و با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی ژئومورفولوژیکی^۱ (GANN) در حوضه امامه (از زیرحوضه‌های جاجرود) است. در مطالعه حاضر بر مبنای ساختمان ژئومورفولوژی شبکه هیدرولوژی حوضه مورد نظر، یک سامانه شبکه عصبی ژئومورفولوژیکی سه لایه با تعدادی نودهای میانی برابر تعداد مسیرها یا وضعیت‌های ژئومورفولوژیکی شبکه هیدرولوژی حوضه به منظور برآورد رواناب مستقیم ایجاد گردید. وزن‌های مربوط به اتصالات درون شبکه‌ای ساختمان آن مدل با استفاده از متغیرهای ژئومورفولوژی تعیین شد. نتایج به دست آمده از مدل شبکه‌ای مذکور با اطلاعات حاصل از مشاهدات مستقیم به منظور نشان دادن کارایی آن مقایسه شد. ارزیابی نتایج، حاکی از عملکرد بسیار خوب ($R^2=0.97$) مدل شبکه ژئومورفولوژیکی در تعیین پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه مورد مطالعه است. بدین وسیله، برتری مدل مذکور بر روش‌های رایج و معمول نشان داده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، شبکه‌های عصبی مصنوعی ژئومورفولوژی (GANN)، حوضه آبخیز جاجرود، زیرحوضه امامه.

مقدمه

هر واحد هیدرولوژی (حوضه آبخیز) یک واحد ژئومورفولوژی نیز به حساب می‌آید و دارای معماری یا چشم‌انداز ژئومورفولوژیکی خاص و بی نظیری است. در این خصوص برای نمونه، حوضه امامه نیز دارای معماری ژئومورفولوژیکی ویژه‌ای است که متفاوت از ساختمان‌های ژئومورفولوژی مجاور است. نوع سامانه‌های مورفوزن حاکم بر آن، الگوهای ویژه‌ای از پدیده‌های مورفولوژی را - نظیر دامنه و کانال‌های آبراهه‌ها - در واحدهای بزرگ و واحدهای مورفوزن پدید

* E- mail: myamani@ut.ac.ir

آورده که به ژئومورفولوژی (با توپولوژی) ویژه‌ای از سامانه شبکه هیدرولوژی منجر گردیده است. ساختار ژئومورفولوژی سامانه شبکه، نقش تعیین کننده‌ای در رفتارهای هیدرولوژی و یا روابط بارش - رواناب و پیچیدگی آن ایفا می‌کند. استفاده از الگوهای طبیعی نظیر شبکه‌های عصبی در حل مسائل مختلف و در علوم متفاوت، به دهه‌های اخیر باز می‌گردد. مطالعات پیشین درخصوص استفاده از روش‌های شبکه‌های عصبی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات گوناگون مربوط به هیدرولوژی مانند مدل‌سازی بارش - رواناب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل مفهومی به‌وسیله محققانی مانند اسزین توکار^۱ و همکاران (2000, 52) محدودیت شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی بارش - رواناب ان. جی. دهوز^۲ و همکاران (2005, 371) و همچنین به کارهای کوندا سرامالیا^۳ و همکاران (1998, 211)، امین الشوریقی^۴ و همکاران (2005, 412) اشاره کرد. در مطالعات ژئومورفولوژی - هیدرولوژی تحقیقات انگشت‌شماری در سطح دنیا انجام گرفته و گزارش شده است، که از جمله می‌توان به مطالعات شبکه‌های عصبی ژئومورفولوژی در برآورد رواناب مستقیم به‌وسیله بین زنگ و رائو گوینداراجو^۵ (2003, 28) اشاره کرد. در ایران مطالعات تخصصی از این دست هنوز چندان صورت نگرفته است.

پژوهش حاضر در حوضه امامه یکی از زیرحوضه‌های جاجرود به شمار می‌آید. این حوضه بخشی از دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی را شامل می‌شود. موقعیت آن بین ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی است. که در شرق جاده لشکرک - شمشک در فاصله ۲۸ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار گرفته است.

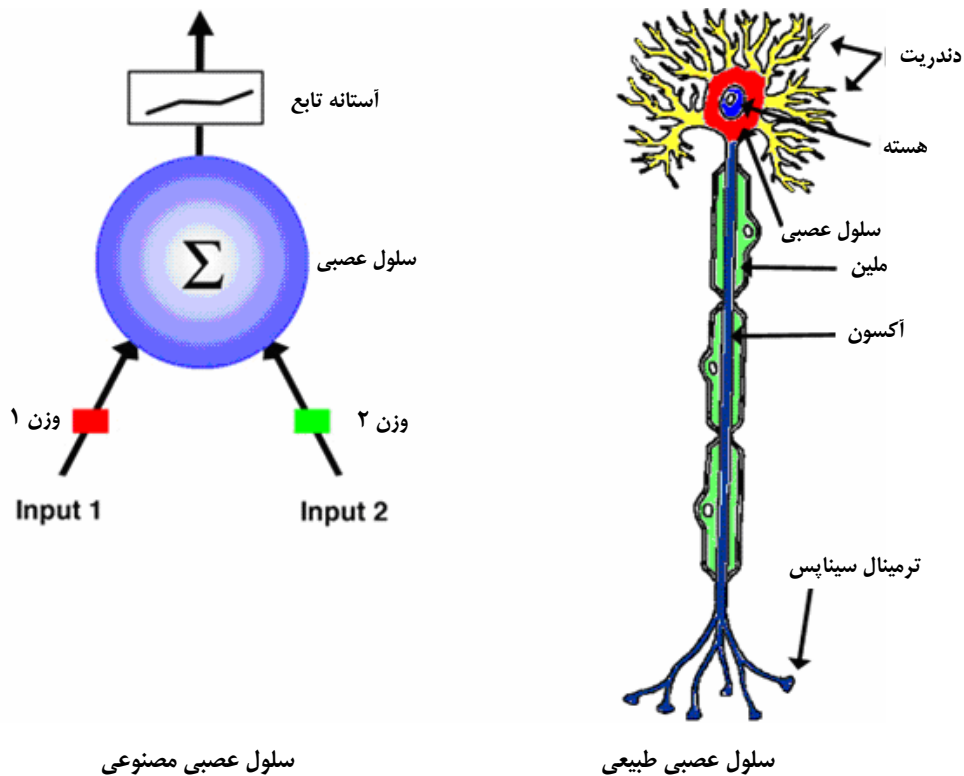
مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر طی چند مرحله صورت پذیرفته است. نخست مطالعات پیشین و یافته‌های پژوهشگران قبلی گردآوری شده است. همچنین اسناد و مدارک و داده‌های دخیل از قبیل داده‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای سه‌بعدی و همچنین اطلاعات مفیدی از طریق مطالعات میدانی از حوضه جمع‌آوری شده است. سپس با تجزیه و تحلیل آنها، اطلاعات اولیه مورد نیاز نظیر تولید لایه‌های TIN، DTM، جهت جریان در شبکه آبراهه‌ها، پهنه‌های همزمان تمرکز و اطلاعات مربوط به شبکه آبراهه‌ها تولید شده‌اند.

بخش عمده کار در پژوهش حاضر مبتنی بر مطالعات و کارهای میدانی بوده است. در انجام کار میدانی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰، دوربین عکاسی و مشاهدات مستقیم به‌عنوان ابزار فیزیکی اصلی تحقیق برای تعیین و توجیه عوارض ژئومورفولوژی و نیز تعیین موقعیت و جمع‌آوری آنها استفاده شده است. در تمامی این مراحل، مشاهدات مستقیم و همچنین تعیین ماهیت عوارض در انتقال اطلاعات جزئی و یا میکروژئومورفولوژی به نقشه ژئومورفولوژی تهیه‌شده با هدف نشان دادن تنوع مورفوتیپیکی عوارض از مهمترین اقدامات به‌شمار می‌آید.

1. A. Sezin Tokar
2. N. J. de Vos
3. Konda Thirumalaiah
4. Amin Elshoragy
5. Bin Zhang & Rao S. Govindaraju

شبکه‌های عصبی، مجموعه‌ای بسیار عظیم از پردازشگرهایی موازی به نام نورون‌اند که به صورت هماهنگ برای حل مسئله عمل می‌کنند و از طریق سیناپس‌ها (ارتباط‌های الکترومغناطیس) اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها اگر یک سلول آسیب ببیند، بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آن را جبران کنند و نیز در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری هستند. مثلاً با اعمال سوزش به سلول‌های عصبی لامسه، سلول‌ها یاد می‌گیرند که به طرف جسم داغ نروند و با این الگوریتم سامانه می‌آموزد که خطای خود را اصلاح کند^۱. یادگیری در این سامانه‌ها به صورت تطبیقی صورت می‌گیرد، یعنی با استفاده از مثال‌ها وزن سیناپس‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که در صورت دادن ورودی‌های جدید سامانه بتواند پاسخ درستی تولید کند.



شکل ۱. سلول‌های عصبی طبیعی و مصنوعی^۲

به طور خلاصه شبکه عصبی باید خصوصیات زیر را داشته باشد:

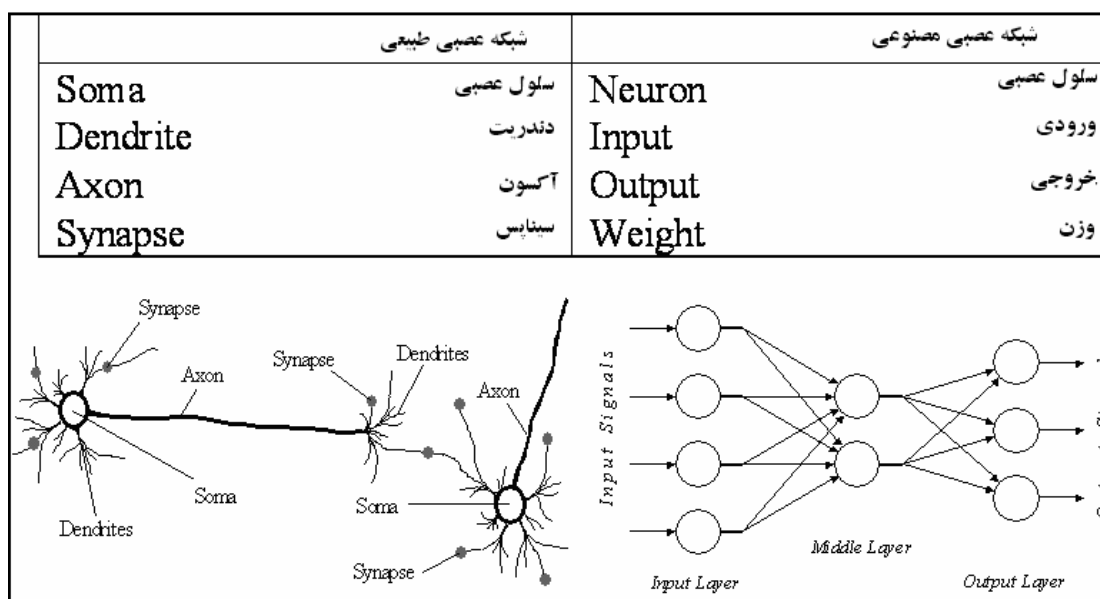
باید بتواند الگوها را طبقه‌بندی کند. به اندازه کافی کوچک باشد تا از نظر فیزیکی واقع‌گرایانه باشد. با به‌کارگیری آموزش، قابل برنامه‌ریزی باشد و قدرت یادگیری داشته باشد. بدین ترتیب توانایی تنظیم پارامترهای شبکه (اوزان سیناپتیکی)، در مسیر زمان که محیط شبکه تغییر می‌کند و شبکه وارد شرایط جدیدی می‌شود، تغییر می‌یابد. هدف از این کار این است که اگر شبکه برای یک وضعیت مشخص آموزش ببیند و تغییر کوچکی در شرایط محیطی شبکه رخ دهد،

1. Back Propagation of Error

2. <http://www.eng.ut.ac.ir/keramati/Course%20pages/QM/Student's%20Slides/neural%20network.ppt>

شبکه بتواند با آموزشی مختصر برای شرایط جدید نیز کارآمد باشد. دیگر اینکه اطلاعات در شبکه‌های عصبی در سیناپس‌ها ذخیره می‌شود و هر نرون در شبکه به صورت بالقوه از کل فعالیت سایر نرون‌ها تأثیر می‌پذیرد. در نتیجه اطلاعات جدای از یکدیگر نیست و از کل شبکه تأثیر می‌پذیرد. شبکه می‌بایست توانایی تعمیم را با استفاده از مثال‌های ارائه شده در فرایند آموزش، داشته باشد (Richards, 1986). شبکه از تعداد دلخواهی سلول یا گره یا واحد یا نرون تشکیل می‌شود که مجموعه ورودی را به خروجی ربط می‌دهد (شکل ۱).

مشابهت نظام ساختاری دو سامانه شبکه‌های عصبی مصنوعی با شبکه هیدرولوژیکی حوضه، امکان توسعه این مدل را فراهم می‌آورد (شکل ۲). هر دو سامانه مذکور دارای ساختار شبکه‌ای و همچنین شامل سیگنال‌های جریان‌ی از ورودی به خروجی هستند. تابع احتمال مسیر (P_{path}) براساس داده‌های ژئومورفولوژی حوضه تعیین می‌شود. تابع چگالی احتمال زمان پیمایش را نمی‌توان به تنهایی از داده‌های ژئومورفولوژی به دست آورد. در مدل‌های ژئومورفولوژیکی، فرضیات متفاوتی برای توزیع زمان پیمایش مانند توانی یکنواخت (Gupta & et al., 1983) و گاما (Jin, 1993) در نظر گرفته شده است.



شکل ۲. تشابه شبکه عصبی طبیعی و شبکه عصبی مصنوعی^۱

در این مطالعه از مدل GANN سه‌لایه‌ای که از عناصر پردازشی غیرخطی برای تعیین زمان‌های پیمایش بهره می‌جوید، استفاده شده است. مدل GANN در واقع شبکه عصبی مصنوعی سه‌لایه‌ای با تعداد نودهای میانی برابر تعداد مسیرهای ژئومورفولوژیکی شبکه هیدرولوژی حوضه مورد مطالعه است. وزن‌های ارتباطی بین لایه میانی و لایه خروجی از طریق داده‌های کمی ژئومورفولوژیکی مانند مقادیر احتمالات مسیرهای ژئومورفولوژیکی سامانه شبکه هیدرولوژی (احتمال عبور قطرات آب از مسیرهای ژئومورفولوژیکی مختلف) تعیین گردیدند. ورودی‌های مدل مذکور، رشته‌هایی از

1. <http://www.eng.ut.ac.ir/keramati/Course%20pages/QM/Student's%20Slides/neural%20network.ppt>

بارش مازاد با فواصل زمانی مشخص است. معمولاً تعداد فواصل زمانی، نشان‌دهندهٔ زمان پایهٔ هیدروگراف واحد است. تابع فعال‌سازی زیگموئید برای نودهای لایه میانی استفاده شده است.

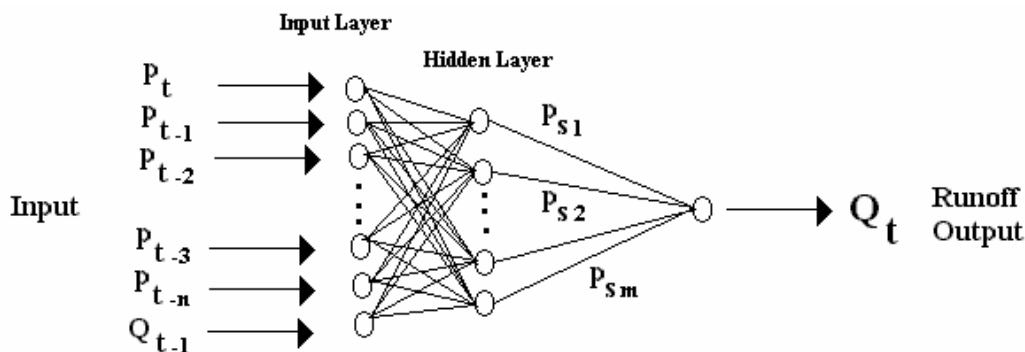
مدل GANN در ماهیت توزیع زمان پیمایش و سرعت جریان سطحی، هیچ فرضی را در نظر نمی‌گیرد. وزن‌های بین لایه ورودی و لایه میانی^۱ نشان‌دهنده اثر زمان پیمایش است. این وزن‌ها آموزش‌دهندهٔ سامانه و کنترل‌کنندهٔ پایگاه داده‌های آن هستند. مقادیر P_{pathx} همان وزن‌های پیوندی مدل GANN بین لایه‌های میانی و خروجی آن هستند. تعداد نودها^۲ در لایه میانی، برابر تعداد مسیرهای شبکه هیدرولوژی حوضه است. باید توجه کرد که ژئومورفولوژی حوضه تعیین‌کنندهٔ معماری شبکه هیدرولوژی و تعیین‌کنندهٔ بارش مازاد است (Bin & et al., 2003; Sorman, 1995; Beyhan, 2001) مدل GANN به صورت زیر تعریف می‌گردد (Bin & et al., 2003, 25).

$$Q_t = \sum_{j \in S} p_j(s) \varphi \left(\sum_{i=1}^m p_i f_{ij} \right) \quad (1)$$

p_i ورودی i ام، f_{ij} نشان‌دهنده وزن ارتباطی بین نود i ام در لایه ورودی و نود j ام در لایه میانی است. m تعداد نودها در لایه میانی، $p_j(s)$ عبارت است از احتمال عبور قطره آب از مسیر j ام و φ تابع سیگموئید به صورت زیر است (Bin & et al., 2003, 28):

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

در نتیجه وزن‌های پیوندی لایه میانی به لایه خروجی به وسیلهٔ این احتمالات عناصر ژئومورفولوژیکی شبکه آبراهه‌ها تثبیت می‌شود، در حالی که وزن‌های بین لایه میانی و لایه ورودی مشابه تابع چگالی احتمال زمان پیمایش نظریه GIUH هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی^۳ (GIUH) و قابل قیاس با آن است. در شکل زیر مدل سه‌لایه‌ای GANN نشان داده شده است (شکل ۳).



شکل ۳. مدل GANN سه‌لایه‌ای

منبع: Bin & et al., 2003, 28

1. Hidden Layer
2. Nodes
3. Geomorphologic Instant Unit Hydrograph

بارش‌های مازاد و دبی رواناب (در زمان گذشته، t_{-1}) ورودی‌های این مدل را تشکیل می‌دهند. و n تعداد نود لایه ورودی (برابر ۱۰ نود، بارش مازاد) و m تعداد نود لایه میانی (۸ نود برابر تعداد مسیرهای حوضه امامه) است که از ژئومورفولوژی حوضه تعیین می‌شود. مدل یاد شده با استفاده از داده‌های رگبارها آموزش داده می‌شوند. فرایند آموزش مدل شامل کاهش خطای مربع میانگین بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده است. تابع کاهش خطا عبارت است از (Bin et al., 2003, 28):

$$F = \sum_{i=1}^{NE} \sum_{j=1}^{N(i)} (y_{ij} - q_{ij})^2 \quad (3)$$

q_{ij} عبارت است از j ام دبی رواناب مستقیم i ام رگبار؛ y_{ij} دبی برآورد شده رگبار مربوطه؛ $N(i)$ تعداد کل مشاهدات در i ام رگبار و NE شامل تعداد کل رگبارهای مورد استفاده برای آموزش مدل. آموزش مدل وقتی که تغییر کاهش خطای مربع میانگین به حداقل میزان می‌رسد، پایان می‌یابد. بسیاری از این آزمایش‌های عددی با تعداد متفاوتی از نودهای ورودی برای تعیین تعداد مناسبی از مقادیر بارش‌های قبلی انجام می‌گیرد که مورد نیاز مدل مذکور است. بعد از طی این فرایند آزمون و خطا، نتیجه گرفته می‌شود که بارش‌های موجود همانند بارش‌های قبلی برای عملکرد خوب مدل ضرورت دارد.

ساختمان ژئومورفولوژی شبکه آبراهه‌های هر واحد ژئومورفولوژیکی دارای توپولوژی ویژه‌ای است که در مقایسه با سایرین تفاوت‌های اساسی نشان می‌دهد. در حوضه رتبه ۴ امامه تعداد $2^{\Omega-1}$ وضعیت ژئومورفولوژیکی وجود خواهد داشت، بنابراین وضعیت‌های ژئومورفولوژی شبکه آبراهه‌های حوضه مذکور که تعداد نرون‌ها یا به عبارتی، نودهای لایه میانی مدل GANN را تعیین می‌کنند، به شکل زیر تعیین شد (نصیری، ۲۰۰۵):

$$p_1 \Rightarrow a_1 \mapsto c_1 \mapsto c_2 \mapsto c_3 \mapsto c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

$$p_2 \Rightarrow a_1 \mapsto c_1 \mapsto c_2 \mapsto c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

$$p_3 \Rightarrow a_1 \mapsto c_1 \mapsto c_3 \mapsto c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

$$p_4 \Rightarrow a_1 \mapsto c_1 \mapsto c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

$$p_5 \Rightarrow a_2 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3 \rightarrow c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

$$p_6 \Rightarrow a_2 \rightarrow c_2 \rightarrow c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

$$p_7 \Rightarrow a_3 \rightarrow c_3 \rightarrow c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

$$p_8 \Rightarrow a_4 \rightarrow c_4 \Rightarrow \text{outlet}$$

وزن‌های پیوندی لایه میانی با لایه خروجی به وسیله احتمالات (P_{sl} ها) وضعیت‌های ژئومورفولوژی مذکور در مدل GANN تعیین می‌شوند. برای حوضه مورد مطالعه، این احتمالات یا وزن‌ها با استفاده از فرمول (۴) (Rico-Ramirez, 1997, 155) محاسبه شدند:

$$P_{ij} = \left\{ \frac{2N_{i+1}}{N_i} + \frac{(N_i - 2N_{i+1})E(j, \Omega)}{N_i \left(\sum_{k=i+1}^{\Omega} E(k, \Omega) \right)} \right\} \rightarrow j = i + 1 \quad (4)$$

$$P_{ij} = \frac{(N_i - 2N_{i+1})E(j, \Omega)}{N_i \left(\sum_{k=i+1}^{\Omega} E(k, \Omega) \right)} \quad \rightarrow j \neq i+1$$

$$P_{1,2} = \frac{2 \times 43}{222} + \frac{(222 - 2 \times 43)(111/8)}{222 \times (111/8 + 57/8 + 51/38)} = 0.697$$

$$P_{1,3} = \frac{(222 - 2 \times 43) \times (57/8)}{222 \times (111/8 + 57/8 + 51/38)} = 0.16$$

$$P_{1,4} = \frac{(222 - 2 \times 43)(51/38)}{222 \times (220/98)} = 0.142$$

$$P_{2,3} = \frac{2 \times 9}{43} + \frac{43 - 2 \times 9 \times (51/38)}{43 \times (57/8 + 51/38)} = 0.692$$

$$P_{2,4} = \frac{43 - 2 \times 9 \times (51/38)}{43 \times (57/8 + 51/38)} = 0.2736$$

$$P_{3,4} = \frac{2 \times 1}{9} + \frac{(9 - 2 \times 1) \times 51/38}{9 \times (51/38)} = 1$$

یافته‌های تحقیق

پارامترهای کیفی عوارض ژئومورفولوژیکی قابل اندازه‌گیری هستند و الگوهای کمی ژئومورفولوژیکی را تشکیل می‌دهند. مدل‌سازی این الگوها و هدفمند کردن آنها از طریق سامانه‌های هوشمند، مورد توجه اغلب ژئومورفولوژیست‌ها و هیدرولوژیست‌هاست. درک مبانی و مفاهیم ژئومورفولوژی و همچنین تولید رواناب، امکان طرح و توسعه مدل‌های ساده و مستدل ژئومورفوهیدرولوژیکی را به‌ویژه در حوضه‌های بدون پوشش شبکه ایستگاه‌های هیدرومتری فراهم می‌آورد (Beven & Kirkby, 1979, 52). از جمله این مدل‌ها می‌توان به GIUH و GANN اشاره کرد. این مدل‌ها تابعی از رفتارهای عوارض ژئومورفولوژیکی به‌ویژه توپوگرافی دامنه با رواناب هستند که می‌توان آنها را در محاسبه حجم کل رواناب مورد استفاده قرار داد. نظریه ژئومورفولوژیکی پاسخ‌های هیدرولوژیکی (Rodrigues & Valdez, 1979, 135) در چارچوب منطقی برای بیان روابط موجود بین پاسخ‌های هیدرولوژیکی و ژئومورفومتری حوضه ارائه گردیده است. درک چنین روابطی برای گسترش مدل‌های هیدرولوژیکی که قادر باشند فرایندهای فیزیکی کنترل و تولید رواناب را ارزیابی کنند و همچنین روندیابی آن را انجام دهند، ضروری به‌نظر می‌رسد. این مدل‌ها باید تغییرات زمانی - مکانی بارش را بررسی کنند و عملکرد متقابل بین بارش و عوارض ژئومورفولوژیکی مانند دامنه‌ها را در تولید رواناب مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند (Bin & et al., 2003, 28).

برای پیش‌بینی یا تبیین فرایندهای ژئومورفیک در مطالعات مربوط به حوضه‌های آبخیز از الگوهای کمی ژئومورفولوژیکی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، در مطالعات مربوط به پیش‌بینی دبی حداکثر سیلاب، تخمین مقدار رسوب و برآورد نرخ فرسایش، از الگوهای مذکور استفاده می‌شود (بحث در این خصوص در قالب این پژوهش نمی‌گنجد).

در دهه‌های اخیر، الگویی برای برآورد هیدروگراف واحد لحظه‌ای براساس پارامترهای کمی ژئومورفولوژی پیشنهاد شده است (Rodrigues & Valdez, 1979, 125). هیدروگراف به‌عنوان تابع چگالی احتمال زمان پیمایشی تفسیر

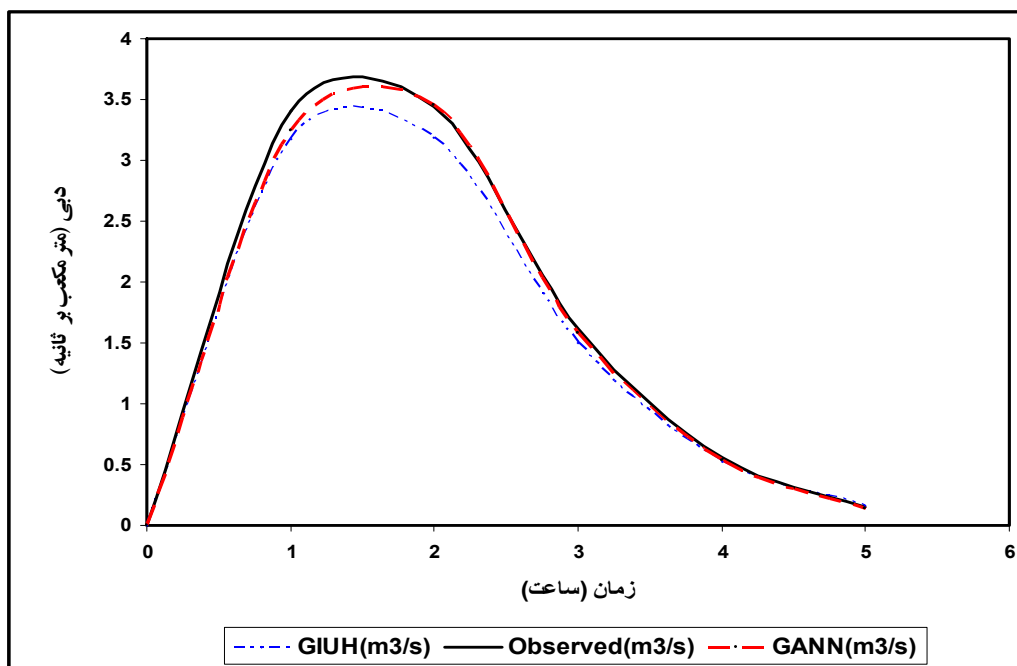
می‌شود. همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، مدل شبکه عصبی (GANN) براساس الگوی ژئومورفولوژی شبکه هیدرولوژی ایجاد شد و در سه لایه ورودی، میانی و خروجی تعریف گردید. در این مدل تعداد نرون‌ها یا به عبارتی نودهای لایه میانی براساس وضعیت‌های ژئومورفولوژیکی شبکه آبراهه‌های حوضه مورد مطالعه برابر هشت تعیین شد. این پارامترها بسیار مهم و دارای اهمیت‌اند، کافی است بدانیم که آنها تعداد عناصر پردازشی مدل مذکور را تعیین می‌کنند. مقادیر این پارامترها یا به عبارتی وضعیت‌های ژئومورفولوژیکی وزن‌های پیوندی بین لایه‌های میانی و خروجی مدل GANN هستند. این وزن‌های بین لایه ورودی و لایه میانی^۱ بیانگر اثر زمان پیمایش‌اند. بارش‌های مازاد و دبی رواناب (در زمان گذشته، t_{-1}) ورودی‌های این مدل را تشکیل می‌دهند. برای آموزش سامانه از این داده‌ها استفاده می‌شود. و n تعداد نود لایه ورودی (برابر ۱۰ نود، به تعداد بارش مازاد نمونه) است. بدین ترتیب هیدروگراف مربوط به سیل تاریخ ۱۳۸۱/۱۲/۱۷ در حوضه مورد مطالعه با استفاده از این مدل برآورد شد و نتایج آن در جدول شماره ۱ برای مشاهده درج گردید. جدول ۱ به خوبی اهمیت جایگاه پژوهش‌های ژئومورفولوژی را در مطالعات هیدرولوژی مشخص می‌سازد. بدین‌وسیله مشخص می‌گردد که مدل‌سازی برآورد سیل صرفاً از منظر هیدرولوژی کافی نیست و بایستی لزوماً از دیدگاه ژئومورفولوژیکی نیز به موضوع پرداخته شود. این موضوع می‌تواند راهنمای خوبی برای متخصصان و پژوهشگران هیدرولوژی و ژئومورفولوژی در مطالعات سیل - به‌ویژه در حوضه‌های فاقد داده یا بدون ایستگاه هیدرومتری - باشد.

هدف نظریه GANN و GIUH استخراج تابع چگالی زمان پیمایش براساس متغیرهای ژئومورفولوژی حوضه است. این مسئله بیان‌کننده این واقعیت است که دبی رواناب مستقیم از حوضه به‌شدت به ژئومورفومتری (توپولوژی) شبکه هیدرولوژی آن بستگی دارد (Bin & et al., 2003, 29).

جدول ۱. مقایسه هیدروگراف سیل ۸۱/۱۲/۱۷ حوضه امامه با هیدروگراف GANN

time (h)	Q(m3s)Observed	Q(m3s)GANN
۰	۴/۰۱	۳/۴۵۵
۱	۳/۶۸	۳/۲۹۹
۲	۳/۲۲	۳/۰۹۸
۳	۳/۲۲	۳/۰۱
۴	۳/۰۸	۳/۰۴
۵	۳/۰۸	۲/۹۰۷
۶	۲/۹۴	۲/۰۹۵۲
۷	۲/۹۴	۲/۹۷۴
۸	۲/۸۱	۲/۹۳۱
۹	۲/۶۸	۲/۸۴۱
۱۰	۲/۹۴	۲/۹۳۴
۱۱	۳/۲۲	۳/۰۵
۱۲	۲/۹۴	۲/۹۲۵
۱۳	۲/۸۱	۲/۸۸
		$r = ۰/۹۷$

همان‌گونه که در جداول شماره ۱ و ۲ نیز مشهود است، مقادیر هیدروگراف به‌دست آمده از روش GANN به مقادیر مشاهده‌شده بسیار نزدیک است؛ که حکایت از کارایی بسیار خوب این روش در برآورد دبی رواناب سیل مذکور دارد. همچنین نتایج حاصل از این تکنیک در مقایسه با مقادیر مشاهده شده در روش GIUH، کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه هیدروگراف‌های واحد مدل‌های GANN و GIUH با هیدروگراف مشاهده‌شده (سیل ۸۱/۱۲/۱۷) زیر حوضه امامه

جدول ۲. مقادیر دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه) محاسبه شده با استفاده از مدل GANN

ضریب r	دبی پیک مشاهده‌ای	دبی پیک محاسبه شده	سیل
۰/۹۶	۹/۳۲	۹/۱۶	۱۳۸۲/۲/۲
۰/۹۷	۴/۰۱	۳/۴۵۶	۱۳۸۱/۱۲/۱۷
۰/۶۸	۴/۶	۳/۱۵	۱۳۸۲/۱۲/۲۲
۰/۸۹	۱۳	۱۱/۲	۱۳۸۲/۱/۶
۰/۹۵	۷	۶/۹	۱۳۸۲/۲/۱
۰/۹۷	۲/۸	۲/۱	۱۳۸۱/۴/۲۴
۰/۸۴	۲۰	۱۵	۱۳۸۱/۱/۲۸

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که الگوهای کمی ژئومورفولوژیکی از طریق اندازه‌گیری پارامترهای کمی پیامدهای ژئومورفولوژیکی قابل شناسایی هستند و مدل‌سازی این الگوها از طریق فناوری‌های هوشمند مورد توجه اغلب ژئومورفولوژیست‌ها قرار دارد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این واقعیت است که داده‌های کمی ژئومورفولوژی با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی ژئومورفولوژیکی در حوضه‌های بدون ایستگاه‌های هیدرومتری، کارایی بالایی در پیش‌بینی رفتارهای هیدرولوژی دارند. ساختمان ژئومورفولوژی شبکه هیدرولوژی حوضه‌ها در رفتارهای هیدرولوژی تعیین‌کننده است. به همین دلیل داده‌های ژئومورفولوژی می‌تواند به عنوان داده‌های پایه مطمئن در مطالعات سیل و رواناب‌ها مورد استفاده قرار گیرد. نتایج پژوهش حاضر نشان از وابستگی نزدیک میان عوامل و ویژگی‌های ژئومورفولوژی با هیدرولوژی دارد و تأکیدی بر این حقیقت است که در مطالعات هیدرولوژی بایستی از ژئومورفولوژی کمک گرفته شود، در غیر این صورت نتایج دور از واقعیت و مورد ابهام خواهد بود.

منابع

- Allam, M. N., 1987, **Applications of Geomorphologic Theory to Ungauged Watersheds in Sinai**, Flood hydrology, V. P. sing ,107 -116; by D. Reidel publishing company.
- Al-Smadi, M., 1998, **Incorporating Spatial and Temporal Variation of Watershed Response in a GIS Based Hydrological Model**, Internet.
- Amin Elshorbagy, S. P., Simonovic, P. E., Member, ASCE, and U.S.Panu, P.E., Fellow, ASCE, 2000, **Performance Evaluation of Artificial Neural Networks for Runoff Prediction**, Journal of hydrologic engineering / october / 425.
- Beven, K.J., & Kirkby, M.J., 1979, **A Physically-based Variable Contribution Area Model of Basin Hydrology**, Hydrology science Bull, 24 (1), 43-69.
- Beyhan, O., 2001, **Mean Instantaneous Unit Hydrographs of Random Channel Network**, internet.
- Bin Zhang , & Rao S., Govindaraju, 2003, **Geomorphology-based Artificial Neural Networks (GANNs) for Estimation of Direct Runoff over Watersheds**, Journal of hydrology 273: 18-34.
- Bin Zhang R. & Govindaraju S., 2003, **Geomorphology-based Artificial Neural Networks (GANNs) for Estimation of Direct Runoff over Watersheds**, Journal of Hydrology 273, 18-34.
- Carlo, M., & Renzo Rosse, 2000, **Guidelines for Flood Frequency Estimation in North-west Italy**, Program Environment and Climate.
- Chang-xing, J., 1993, **Determination of Basin Lag Time in Rain Fall-runoff Investigation**, hydrological processes, 7, p. 449-457.
- D'odorico, P. and Region, R., 2002, **Hill Slope and Channel Contributions to the Hydrologic Response**, Internet.
- Department of Army U.S.A. Army Corps of Engineers, 1994, **Flood Runoff Analysis**, Engineer Manual, Internet.

- Engineer Manual 1110-2-1417, Engineering and Design Flood, 1994, **Runoff Analysis**, 31 august, USA army en. Group.
- Gupta, V. K. and Waymire ED., 1983, **On the Formulation of an Analytical Basin Scale**, Journal of hydrologic, (65): 95-123.
- Gurong, Cui, 1995, **Rainfall Runoff Model Improvements Incorporating a Dynamic Wave Model and Synthetic Stream Net Works**, university of Newcastle.
- Hall, M. J. Zaki A.F. and Shahin M.M.A., 2001, **Regional Analysis Using the Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph**, Hydrology & Earth system Sciences.
- Hubbail, M. A. jward and Muzik I., 2000, **A Spatially Varied Unit Hydrograph Model**, internet.
- Karvonen, T. & Koivusalo H., Jauhainen M., Palko J., Weppling K., 1998, **A Hydrological Model for Predicting Runoff from Different Land Use Areas**, Elsevier.
- Mou, Roger. J. de Vos and T. H. M. Rienties Ssa, 2003, **On Morphometric Properties of Basins, Scale Effects and Hydrological Response**, internet.
- N.J.de Vos and T.H.M. Rientijes, 2005, **Constraints of Artificial Neural Networks for Rainfall-runoff Modeling, Trade-offs in Hydrological State Representation and Model Evaluation**, Paper, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, p. 365-415.
- Nageshwar, Rao Bhaskar, Member, ASCE, Bhagabat P. Parida, and Atual Kumar Nayak, 1997, **Flood Estimation for Engaged Catchments Using the GIUH**.
- Nasiri, A., 2005, **The Analyses of Geomorphology Hydrology Flood for Estimating in Amameh Basin**, Ph. D. Theses, University of Tehran.
- Richards, John A., 1986, **Remote Sensing Digital Image Analysis an Introduction**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Rico-Ramirez, M., 1997, **Sensitivity Analysis of a Distributed Hydrological Model for the Upper Midway Catchments**, Water and Environmental Management Research center, University of Bristol, 153-158.
- Ritter, Dale F., R. Craig Kochel, and Jerry R. Miller, 2002, **Process Geomorphology**, McGraw-Hill, Higher Education.
- Rodrigues, I., & Valdez, J., 1979, **The Geomorphic Structure of Hydrologic Response** , Water Recourses Research, 15(6), 120-141.
- Sezin Tokar, A. and Momcilo Markus, 2000, **Precipitation-runoff Modeling Using Artificial Neural Networks and Conceptual Models**, Journal of Hydrologic Engineering/April/ Vol 5, No. 2.
- Sorman, A. U., 1995, **Estimation of Peak Discharge Using GIUH Model in Saudi Arabia**.
- Thirumalaiah K. and M. C., 1998, **Deo River Stage Forecasting Using Artificial Neural Network**, Journal of Hydrologic Engineering.
- Vikrant J. and Sinha R., 2003, **Evaluation of Geomorphic Control on Flood Hazard through Geomorphic Instantaneous Unit Hydrograph**, Engineer Geoscienas Group, India.

Vikrant J. and Sinha, R., 2003, **Derivation of Unit Hydrograph from GIUH Analysis for a Himalayan River**, Engineer Geosciences Group, India.

<http://www.bme.aut.ac.ir/~towhidkhah/Biomodelling/Seminars86-Hossein%20Behboob/Seminar/seminar.ppt>.

<http://www.onbazar.com/salman/network.ppt>.

<http://www.research.yale.edu/ysm/images/78.2/articles>.