

## مدل سازی سیل و خشکسالی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

علی رضائی (مربی پژوهش)

زنجان، شهرک کارمندان، فاز سوم، خیابان ششم، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان زنجان

### چکیده

رخدادهای طبیعی از جمله سیل و خشکسالی از جمله مشکلات بشر در گذشته و حال می باشد. یکی از ضروریات مهار این بحرانها شناخت تناوب و بزرگی این وقایع و پیش آگاهی می باشد. روابط کابین عوامل موثر در وقوع این پدیده ها از نوع غیر خطی (Non Linear) و پیچیده می باشد. با توجه به نقاط ضعف روشهای سنتی در به کارگیری آنها برای حل چنین مسائلی در سالهای اخیر تحقیقاتی در خصوص امکان استفاده از روشهای جدید تحت عنوان هوش مصنوعی (AI) شروع شده است. یکی از روشهای هوش مصنوعی مورد توجه، روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) است. این روش دارای یک پیکر بندی ریاضی بر اساس تقلید بسیار ساده از سیستم شبکه عصبی بیولوژیک بوده و دارای یک لایه ورودی یک یا چندین لایه میانی (مخفی) و یک لایه خروجی است. هر لایه از چندین گره (نرون) تشکیل شده و بردارهای ورودی یک و یا بیشتر می باشد. این مقاله سعی دارد بر اساس تحقیقات اخیر نسبت به معرف توانائی این روش در کمک به مدیریت بحران حاصل از وقایع سیل و خشکسالی اقدام نماید.

## واژه های کلیدی: هوش مصنوعی، شبکه عصب مصنوعی، مدل، سیل، خشکسالی

### مقدمه

بشر از گذشته های دور با بلایای طبیعی روبرو بوده و اثرات نامطلوب آن را بر زندگی خود مشاهده کرده است. از جمله این بلایای طبیعی می توان به خشکسالی های طولانی،

(چنان خشکسالی شد اندر دمشق که یاران فراموش کردند عشق)

سیلابهای تاریخی (Paleo Flood)، که اقدامات رسوب شناسی وجود آنها را در گذشته تأیید میکنند، و موارد دیگری از قبیل زمین لرزه و ... اشاره نمود.

آنچه که پر واضح است، افزایش جمعیت بر روی کره زمین و همچنین افزایش گازهای آلاینده در جو و بهره برداریهای بسیار نامطلوب از منابع طبیعی تجدید شونده حوزه های آبخیز، رفتارهای هیدرولوژیکی حوزه را به سمت خود تخریبی و دور نمودن عملکرد آن از مطلوبهای انسان نیازمند سوق میدهد. از جمله آنها وقوع سیلابهایی با دبی بالاتر (به دلیل افزایش ضریب رواناب)، بهم خوردن مقدار سالانه نزولات جوی و یا تغییر توزیعهای زمانی و مکانی مقدار نزولات جوی می باشد.

به هر حال آنچه پیش روی انسان امروزی است وجود چنین وقایع نامطلوب و لزوماً انجام چاره جوئی بر آن است. ولی سؤال اصلی اینجاست که چگونه باید بر این بحرانهای منشأ گرفته از آب غلبه نمود و یا خود را با آن سازگار ساخت. بدین منظور اولین سؤال متبادر به ذهن این است، که با توجه به روند موجود، در آینده با چه بزرگی از این بلایای طبیعی یعنی خشکسالیها و کمبود منابع آب و یا طغیانها روبرو خواهیم بود. چرا که انجام هرگونه برنامه ریزی و اقدامات مهندسی موکول به برآورد صحیحی از این اتفاقات در آینده است.

بدین خاطر متخصصین علم هیدرولوژی، و سایر رشته های مرتبط با آن وادار شده اند که روشهای مناسبی را برای پیش بینی بزرگی این حوادث با دقت قابل قبول در اختیار بگیرند. روشهای مورد استفاده را می توان به روشهای سنتی (مبتنی بر آمار ریاضی) و روشهای جدید ریاضی تقسیم نمود. توزیعهای احتمالاتی را برای برآورد بزرگی یک حادثه در آینده با احتمال مشخص بمانند روشهای گامبل، پیرسون و ... [۱] همچنین روابط فیزیکی را برای محاسبات معین (Deterministic) بمانند روش هیدروگراف واحد و ... تعریف نموده اند، روشهای جدید سعی بر آن دارد که از داده های بیشتر و متنوعتری استفاده کرده تا بتواند روابط حاکم مابین عوامل متعدد و مؤثر در وقوع یک پدیده را طی یک روابط منطقی ریاضی بیان کنند. این روشها نظم و ارتباط پنهان موجود در درون این داده های به ظاهر نامنظم را کشف کرده [۲] و بر این اساس، روند آینده وقوع پدیده را ترسیم میکنند، و بدین طریق امکان برنامه ریزی را برای تصمیم گیران فراهم مینمایند.

از جمله این روشها می توان به منطق فازی، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصب مصنوعی و ... اشاره نمود

که تحت عنوان هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) دسته بندی می گردند. این مقاله در نظر دارد که ویژگیهای ساختمانی و بکارگیری (ANN) را برای مدیریت بحران آب (سیل، خشکسالی) معرفی نماید.

### ویژگیهای شبکه عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks) که به اختصار (ANNs) نامیده می شوند در واقع یک ابزار ریاضی قدرتمندی هستند که با تقلید ساده از سیستم عصبی بیولوژیک ساخته شده اند [۶] قدرت انعطاف و تصحیح پذیری بالایی در انطباق خود با داده های موجود را دارند [۱۳]، بطوریکه می تواند مجهز به سازماندهی شود که نظم و هماهنگی موجود در داخل این داده ها را پیدا نموده [۲] بر اساس یک سری شواهد (بردارهای ورودی) وقوع و بزرگی یک پدیده ای را پیش بینی نماید [۴] مهمترین موضوع در مورد این مدلها انتخاب ورودیهای مناسب به مدل برای رسیدن به آن ویژگی مطلوب برای اخذ خروجیهای مورد نظر است. علاوه بر آن معماری ساختمان (ANN) و نحوه انتخاب ارتباط بین نرونها و وزنی که هر نرون به خود اختصاص خواهد داد، از اهمیت والائی برخوردار است. در حال حاضر تحقیقات زیادی در خصوص این مدل ریاضی و نحوه معماری آن در حال انجام است تا بتواند به سوالات چندی از قبیل:

- باید از چند لایه تشکیل شده باشد،
- باید به تعداد چند گره (نرون) در هر لایه باشد،
- آیا لایه ها باید کاملاً با همدیگر مرتبط باشند و یا لازم نیست،
- چه روشی برای آموزش شبکه باید به کار گرفته شود،
- برای یک روش آموزش شبکه، پارامترها (وزنها) باید چگونه توزیع شوند.

به هر حال با توجه به نیاز برای انجام تحقیقات در خصوص تکامل این مدل، در حال حاضر اشکال مختلفی از آن در امور مربوط به آبخیزداری از قبیل بررسی روابط بارندگی و رواناب در یک حوزه آبخیز، هیدروگراف (آب نمود) سیل و ... کاربرد دارد. آنچه که بر اهمیت موضوع می افزاید وجود روابط غیر خطی مابین عوامل مؤثر بر پدیده های مختلف هیدرولوژیکی بوده و مدل (ANN) دارای توانایی لازم برای تطابق خود با این روابط غیر خطی است، بیان دیگر آنکه منظور ساختن مدلی غیرخطی با ویژگیهای قابل انعطاف و امکان پذیری آموزش وقایع گذشته به مدل میباشد تا بر اساس این آموزشها توانائی باز سازی رفتار سیستم را برای ورودیهای جدید داشته باشد. ایده استفاده از این مدل (ANN) آن است که تمام اطلاعات مهم در داخل داده ها پنهان بوده و بوسیله این روش می توان به آن روابط پنهان بین داده ها پی برد. این مدل در واقع یک

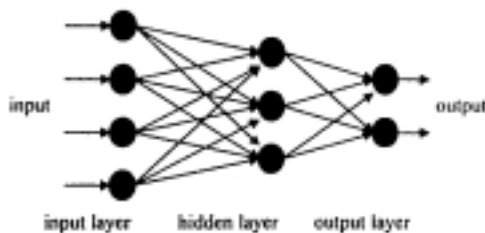
جعبه سیاه (Black Box) و در بهترین حالت یک جعبه خاکستری (Grey Box) است، که بدون آگاهی و یا با آگاهی کم از فرایندهای درونی سیستم، ورودیها را به خروجیها (یا خروجی) تبدیل می نماید [۱۴]. این وضعیت در واقع مشابهت این مدل را با روابط همبستگی (رگرسیون) می رساند، با این تفاوت که قابلیت انعطاف مدل ANN در تنظیم وزنها (Weights) بیشتر بوده و لذا به عنوان جایگزین برای رگرسیونهای چند متغیره استفاده می شود.

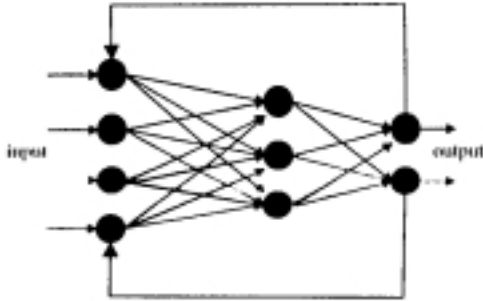
هر چند که تاکنون کاربرد این مدل در هیدرولوژی عمدتاً برای بازسازی خروجی (هیدروگراف) با فواصل زمانی محدود (چند ساعت) بوده است تا اینکه یک تداوم جریانی را برای مدت طولانی شبیه سازی نمایند. شبکه های عصبی مصنوعی به سرعت جای خود را در تحقیقات هوش مصنوعی باز نموده و به عنوان یک مدل مناسب برای جوابگویی به مسائل مبهم و پیچیده (Chaotic) بخصوص آنهایی که به سادگی با روابط ریاضی ساده قابل بیان نیستند باز نموده است [۱۳]. استفاده از روش شبکه مصنوعی در پیش بینی سیلابها با دوره های بازگشت متفاوت نسبت به روشهای سنتی و روابط رگرسیونی چند متغیره با استفاده از معیار سنجش مجموع مربعات (Rss) باقیمانده از توانایی بیشتری برخوردار است [۹].

البته این روش با مشکلاتی از قبیل افزایش بی دلیل وزنها (Weights)، طولانی بودن محاسبات و انتخاب درست ساختمان مدل روبرو می باشد، با پیشرفت تحقیقات و فن آوری رایانه ای و استفاده از الگوریتمهای مناسب امکان حل مشکلات مذکور وجود دارد.

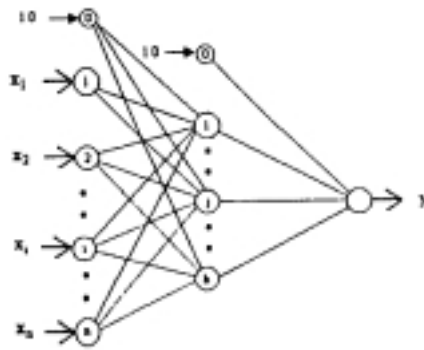
### ساختمان شبکه عصب مصنوعی و آموزش آن

شبکه عصب مصنوعی تقلیدی بسیار ساده از سیستم عصبی بیولوژیکی و مغز انسان است [۷]، این تقلید بر اساس یک پیکر بندی ریاضی می باشد، بطوریکه متشکل از چندین لایه و همچنین چندین نرون (گره) در هر لایه است (شکلهای ۳، ۲، ۱).





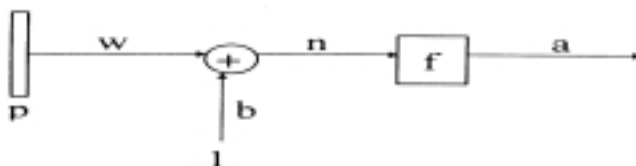
شکل ۱: شبکه عصب مصنوعی تیپ سه لایه، پیش تغذیه کننده (ارتباط یک طرفه از ورودی به خروجی) [۱۰].



شکل ۲: شبکه عصب مصنوعی تیپیک سه لایه باز گشت کننده (ارتباط دو طرفه ورودی و خروجی) [۱۰].

شکل ۳: شبکه عصب مصنوعی تغذیه کننده پیش تغذیه کننده با یک خروجی [۷].

هر نرون متشکل از دو جزء شامل یک جزء ورودی و جزء دیگر وزن (weight) یا پارامتر است که مقدار آن حداکثر یک و حداقل صفر است، ورود این دو جزء به داخل نرون با هم جمع شده و نتیجه بصورت یک ورودی به تمام نرونهای لایه بعدی منتقل می شود (شکل ۴).



شکل ۴: مدل تک نرون ورودی [۲].

در این شکل کمیت‌های  $p$  و  $a$  به ترتیب ورودی و خروجی می باشند. میزان تاثیر  $p$  روی  $a$  بوسیله مقدار کمیت  $w$  تعیین می شود. ورودی دیگری که مقدار ثابت  $b$  است در جمله بایاس  $b$  ضرب شده و سپس با  $wp$  جمع می شود. این حاصل جمع، ورودی خالص  $n$  برای تابع محرک  $f$  (Activated function) خواهد بود. بدین ترتیب خروجی نرون با معادله زیر تعریف می شود:

$$a=f(wp+b) \quad (۱)$$

باید توجه داشت که پارامترهای  $w$  و  $b$  قابل تنظیم هستند و تابع محرک  $f$  نیز توسط طراح انتخاب می شود. بر اساس انتخاب نوع  $f$  و نوع الگوریتم یاد گیری، پارامترهای  $w$  و  $b$  تنظیم می شوند. یاد گیری بدین معنی است که  $w$  و  $b$  طوری تغییر می کنند تا رابطه ورودی و خروجی نرون با هدف خاصی مطابقت نماید. بر آینه این پروسه ها در لایه خروجی بصورت یک یا چند جواب (بردار خروجی) به بردار ورودیها می باشد (منهاج ۱۳۷۷). ارتباط لایه ها با همدیگر می تواند بصورت خطی و یا بصورت منحنی (عموماً سیگموئید) بیان شود. ساختمان شبکه های عصب مصنوعی که در بحث هیدرولوژی بویژه رابطه بارندگی - رواناب مورد استفاده قرار می گیرند متشکل از سه لایه شامل: لایه ورودی (Input layer)، لایه میانی (Hidden layer) و لایه خروجی (Output layer) است. منتها این مدل‌های شبکه عصب مصنوعی بسته به موضوع هیدرولوژیکی مورد بررسی در تعداد نرونها در هر لایه با همدیگر متفاوت بوده و همچنین نحوه انتقال محاسبات از لایه ای به لایه دیگر (transformation) نیز ممکن است بصورت یکسان و یا غیر یکسان صورت گیرد.

بر اساس شکل ساده شماره ۳ فرمول ریاضی یک شبکه عصب مصنوعی سه لایه که شامل یک لایه ورودی با  $n$  نرون (گره)، یک لایه میانی (مخفی) با  $n$  نرون و یک نرون در لایه خروجی به شکل زیر می باشد.

$$Y = SI \left( \sum_{j=1}^h w_{j,s} \cdot 2 \left( \sum_{i=1}^n w_{i,j} \cdot x_i \right) \right) \quad (۲)$$

مقدار خروجی از شبکه عصبی مصنوعی،  $Y$

توابع فعال کننده،  $S_1, S$

وزنهای ارتباطی لایه های،  $W_i$

مقادیر ورودی به شبکه،  $X_i$

توابع فعال کننده مختلفی مورد استفاده قرار میگیرد که معمولیترین نوع آن سیگموئید و بصورت زیر است [۷].

$$S(X) = \frac{1}{1+e^x}$$

(۳)

### بحث: ضرورت‌های به کار گیری در مدیریت بحران آب (سیل - خشکسالی)

همچنانکه ذکر شد، پیش بینی بزرگی هر واقعه ای اساس مدیریت بحران آن واقعه را تشکیل میدهد. این امکان زمانی حاصل می شود که مدل‌های مناسبی را سازگار با مقدرات و داده های قابل حصول در اختیار داشت. متأسفانه بلایای طبیعی از جمله سیل و خشکسالی پدیده هایی هستند که تحلیل آنها بر اساس روابط فیزیکی (white box) امکان پذیر نبوده و از پیچیدگی زیادی برخوردار هستند [۵]. دلایل این خصیصه بطور اجمال عبارتند از:

- روابط بارندگی و رواناب یک رابطه غیر خطی (non linear) است و عموماً این روابط از نظر روابط کمی فیزیکی نا شناخته است.

- عوامل مؤثر بر بزرگی واقعه به صورت معین (deterministic) شناخته شده نیست.

- داده های معین مورد نیاز زیاد است و جمع آوری آنها پر هزینه و شاید برای تعدادی، غیر ممکن باشد.

لذا هر چند که تحلیلهای فیزیکی کاملاً پذیرفته شده و بهترین حالت می باشد ولی به دلایل فوق الذکر ورعایت سادگی موضوع در مقام قیاس، بایستی این نوع پدیده ها را با استفاده از مدل‌های مناسب به صورت جعبه سیاه (black box) نگریست. سوالی که با قبول این امر پیش می آید این است که چه نوع مدلی می تواند مناسب باشد. بطور مثال ساده ترین شکل موجود رابطه بین سطح حوزه آبخیز و دبی حداکثر لحظه ای (سیلاب) بصورت معادله ریاضی بر مبنای مدل مفهومی فله ای [۸] و [۹] عبارت است از:

$$Q = mA^n$$

(۴)

$Q$  = دبی حداکثر لحظه ای

$A$  = مساحت حوزه آبخیز،

$m =$  ضریب،

$n =$  ضریب کمتر از یک.

بطوری که کلیه عوامل ناشناخته در داخل ضرایب  $(m, n)$  لحاظ میشوند، مناسبترین روش پیدا کردن آنها روش همبستگی چند متغیره است. اما رسیدن به مدل مذکور نیز نیاز به سری داده های زمانی واقعی طولانی مدت دارد. در کشور ما اکثر حوزه های آبخیز فاقد داده های کافی هستند. روشهای جدیدی که برای غلبه بر نبود سریهای زمانی دراز مدت و تکیه بر فنون نرم افزار و سخت افزار کامپیوتوری موجود قابل دسترسی است [۱۱]، روشهای هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) و از جمله آنها روش (ANN) است. در صورت طراحی درست مدل مزبور شامل:

- نوع ورودیهای مناسب و مؤثر،
- تعداد لایه های درونی،
- نوع رابطه لایه ها با همدیگر (خطی و غیر خطی)،
- روشهای مناسب آموزش شبکه،
- تعداد گره (نورون) در هر لایه.

می توان وزنهایی را برای گرهها قائل شد که در یک عملکرد متقابل و مرتبط با هم (عملکرد سیستم به عنوان متغیرهای خروجی و داده هائی شامل ویژگیهای فیزیکی حوزه آبخیز و بارندگی به عنوان متغیرهای ورودی)، حقیقت و روابط نهفته در بین ورودیها و خروجیها را در وزنها لحاظ کرده و جواب لازم را برای یک متغیر ورودی جدید پیدا نمود. بویژه برآورد بزرگی یک سیلاب برای یک دوره بر گشت مورد نظر برای حوزه های آبخیز فاقد داده های هیدرومتری می تواند بر اساس تحلیل منطقه ای سیلاب از این روش بهرمنند گردد. چرا که روش سنتی تحلیل منطقه ای سیلاب که بر اساس روش growth curve method Mean annual flood plus: انجام میگردد، از نارسائیهای چندی بویژه در ارتباط با برآورد میانگین دبی سیلاب بر خوردار است [۹]. ضمناً استفاده از این مدل شبیه سازی در سیستمهای هشدار سیل نیز از نتایج خوبی بر خوردار است [۱۲].

### نتیجه گیری

بر اساس تحقیقات موجود استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی رفتاری پدیده های نادر دارای ارجحیت نسبت به روشهای سنتی می باشد. لازم است در کشور ما تحقیقات بیشتری در خصوص پیدا کردن ساختمانی مناسب برای آنها اقدام نمود. این مدلها باید از تونائی لازم برای سازگار ساختن خود با کمبود داده ها در کشور را داشته باشند.



## مراجع:

### مراجع فارسی:

- ۱- مهدوی، محمد، هیدرولوژی کار بردی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، ص ۱۳۳-۸۸، ۱۳۷۸.
- ۲- منهاج، محمد باقر، میانی شبکه های عصبی (هوش محاسباتی)، مرکز نشر پروفیسور حسابی، جلد اول، ص ۱۷-۴۹، ۱۳۷۷.

### مراجع انگلیسی:

- 3-Amir F. Atiya, Suzan M. El-Shoura, Samir I. Shheen, & S. El-Sherif, "A Comprison Btween Neural-Network Forecasting Techniques- Case Study:River Flow Forecasting" IEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, VOL.10,NO.2,MARCH 1999.
- 4-Conrads, P.A. & Roehl,E.A., "Comparing Physics-Based and Neural Network Mo Simulating Salinity, Temperature, and Dissolved O in a Complex, Tidally Affected River Basin" Proceeding of the South Carolina Environmental Conference, March 15-1, 1999.
- 5- F.Chiari-M.Delhom-J.F.Santucci-J.B.Filippi "Prediction of the Hydrologic Behavior of a Watershed using Artificial Neural Networks and Geographic Information System" IEEE ,pp382-386,2000.
- 6-I.A.Fulop, J.Jozsa& T.Kramer "Aneural network application in estimating wind induced shallow lake motion " Hydroinformatics 98,2,pp753-757, 1998.
- 7- K.C.Luke,J.E.Ball & A.Sharma "Rainfall forecasting through artificial neural networks" Hydroinformatics 98,2,pp797-804, 1998.
- 8- Kuo-lin, Hoshin Vijai Gupta, and Soroosh sorooshian "Artificial Neural Network Modelling of the Rainfall-Runoff Process" Water Resources Research, 29(4),pp1185-1194, April 1993.
- 9- M.J.Hall & A.W.Minns "Regional flood frequency analysis using artificial neural networks" Hydroinformatics 98,2,pp759-763, 1998.
- 10- P.Sincak & M.Bundzel, M.Sokac & D.Sztruhar,J.Marsalek "Urban runoff prediction by neural ntwork" Hydroinformatics 98,2,pp825-830, 1998.
- 11- Robert J. Abraham & Linda See and Paulin E. Kneal "Applying Saliency analysis to neura network rainfall-runoff modelling" 2000.
- 12- Simon Corne, Pauline Kneale, Stan Openshaw, and Linda See " The use and Evaluation of Artificial Neural Network in Flood Forecasting" 2000.

13-S.Ranjithan,J.W.Eheart and J.H.Garrett,Jr."Application of neural network in groundwater remediation under conditions of uncertainty" New Uncertainty Concepts in Hydrology and Water Resources,pp133-140,1995.

14- Yonas B. Dibike & Dimitri P. Solomatin"River Flow Forecasting Using Artificial Neural Networks"European Geophysical Society(EGS)General Assembly, The Hague, Netherlands, 19-23 April 1999.