



برآورد پارامترهای شکست سدهای خاکی با استفاده از شبکه‌های عصبی

تورج سبزواری، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد استهبان، فارس *

رضا محمد پور، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد استهبان، فارس **

سید محمد علی زمردیان، عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز، فارس

* تلفن: ۰۹۱۷۷۱۵۱۵۹۶، پست الکترونیکی: tooraj_2001@yahoo.com

** پست الکترونیکی: reza564@yahoo.com

چکیده

شکست سدهای خاکی از جمله وقایعی است که خسارات مالی و جانی فراوانی به همراه دارد، لذا در طرح سدهای خاکی باید این پدیده به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد تا تمهیدات لازم جهت کنترل سیلابهای بزرگ ناشی از شکست سد صورت گیرد. دبی خروجی از مقطع شکست، ابعاد مقطع شکست و زمان شکست از پارامترهای مهمی هستند که در طراحی سازه‌های کنترل کننده سیلاب در مسیر رودخانه و زمان تخلیه مردمی جهت کاهش خسارات جانی و مالی در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی هیدروگراف خروجی از سد، ابعاد مقطع شکست و زمان شکست به پارامترهای مهمی از جمله جنس مصالح سد، حجم مخزن و ارتفاع سد بستگی دارد. در این تحقیق بر اساس بررسی‌های صورت گرفته از طرف اداره ایمنی سد (DSO) سازمان USBR در سال ۱۹۹۸ بر روی ۱۰۸ سد مختلف دنیا که دچار خرابی و پدیده شکست شده‌اند، تأثیر پارامترهای مزبور را بر روی حداکثر دبی خروجی از مقطع شکست، زمان شکست و ابعاد شکست (متوسط عرض شکست، عمق شکست) مورد بررسی قرار گرفته شده است. جهت تعیین رابطه بین پارامترها از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با روش شبکه‌های پیشخور (Feed-Forward Networks) استفاده شده است. نتایج بدست آمده در برآورد حداکثر دبی خروجی و ابعاد شکست بسیار مناسب بوده ولی به علت کمبود اطلاعات در مورد زمان شکست، آموزش شبکه ناموفق بود.

کلید واژه‌ها: شکست سد، سدهای خاکی، شبکه‌های عصبی مصنوعی

۱- مقدمه

با مطالعه خرابی سدهای خاکی در کل دنیا، حدود ۳۰٪ از سدهای خاکی به علت کافی نبودن ظرفیت تخلیه سرریز آنها دچار پدیده شکست از نوع جوشش (Piping) و لبریز شدن آب از روی تاج سد (Overtopping) شده‌اند. به طور کلی ایجاد سیلابهای بزرگ‌تر از سیلاب PMP که به

عنوان سیلاب طراحی سرریز سدهای خاکی در نظر گرفته می‌شود، باعث افزایش سطح آب داخل مخزن سدها شده و دو پدیده بالا صورت می‌گیرد.

شکست سدهای خاکی باعث خرابی سد و کلیه موانع موجود در پایین دست سد از جمله ساختمانها و مزارع کشاورزی می‌شود و مسائل مالی و جانی فراوانی به همراه دارد، لذا در این زمینه سازمانهای زیادی از جمله ICOLD، NWS، Agricultural Research Service، NRCS، USBR پارامترهای شکست انجام داده‌اند [۱].

جهت محاسبه پارامترهای شکست از جمله نحوه شکست، شکل شکست، ابعاد شکست (عرض متوسط شکست و عمق شکست)، ماکزیمم دبی خروجی از مقطع شکست و زمان شکست مطالعات وسیعی از طرف محققانی از جمله (1965) Cristofan، (1967) Wagner، (1967) Harris، (1977) Fread، (1985) Singh، Scarlatos صورت گرفته و در این زمینه مدل‌های کامپیوتری از جمله BEED، BREACH، DAMBRK، BRDAM، Flow Sim ارائه شده‌اند که می‌توانند مشخصات شکست را براساس مشخصات سد از جمله نوع مصالح سد، ارتفاع سد و حجم مخزن محاسبه نمایند. اساس مدل‌های مزبور بیشتر بر اساس انتقال رسوب (Sediment Transport) می‌باشد. مدل‌های مزبور براساس اطلاعات مربوط به مشخصات سدهای خاکی، هیدروگراف دبی خروجی از مقطع شکست، زمان شکست و مشخصات شکست را به خوبی مدل سازی می‌کنند [۱].

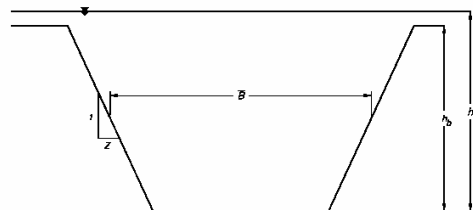
مشکل اساسی بعضی از این مدل‌ها در دسترس نبودن آنان می‌باشد و همچنین زیاد بودن پارامترهای ورودی، که نیاز به جمع‌آوری اطلاعات زیادی می‌باشد. یکی از روشهای بررسی پدیده شکست استفاده از روشهای ریاضی و آماری می‌باشد که با استفاده از این روشها پارامترهای شکست، بسیار آسان و خیلی سریعتر محاسبه می‌شوند ولی دقت نتایج بالا نیست، در هر صورت در مواردی که بخواهیم پیش بینی از پارامترهای شکست یک سد داشته باشیم، روشهای آماری روشهای مناسبی هستند.

به طور کلی اساس روشهای آماری، اطلاعات مربوط به مشخصات سد و پارامترهای شکست سدهای گذشته می‌باشد.

سازمانها و دانشمندی از جمله (1976) Johnson، (1982-1984) MacDonald، Singh، Snorrason، (1987) Froehlich، (1987) FERC، (1988) Reclamation، (1988) Singh، (1990) Vonthun، Gillette، (1995b) Froehlich، (1995b) Dewey، Gillette، با استفاده از روشهای رگرسیونی خطی و غیر خطی براساس مشخصات سدهای خاکی، پارامترهای شکست را بدست آورده‌اند که بعضی از نتایج آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

۲- مشخصات مقطع شکست

با مشاهداتی که از مقاطع شکست سدهای خاکی صورت گرفته، بیشتر سدهای خاکی با مقطع دوزنقه‌ای شکسته شده‌اند (شکل ۱).



شکل ۱: مشخصات مقطع شکست یک سد خاکی

شکل (۱)، یک مقطع شکست دوزنقه‌ای شکل به عرض متوسط (B)، شیب کناره (Z)، عمق شکست (h_b) و عمق آب بالای مقطع شکست در زمان شکست (h_w) را نشان می‌دهد. بر اساس مطالعات صورت گرفته از طرف محققان وسازمانهای مختلف بر روی اطلاعات مربوط به خرابی سدهای گذشته، ارتباط بین پارامترهایی از جمله ماکزیمم دبی خروجی از مقطع شکست و عرض متوسط شکست، شیب کناره‌ها، زمان شکست و عمق شکست به پارامترهایی از جمله عمق آب بالای مقطع شکست، حجم آب بالای مقطع شکست در زمان شکست یا حجم آب مخزن و ارتفاع سد بستگی دارد. جدول (۱) بعضی از روابط ارائه شده از طرف محققین مختلف را جهت محاسبه پارامترهای شکست نشان می‌دهد. [1,2]

۳- مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی در واقع مدل ساده شده‌ای از مغز انسان می‌باشد. این شبکه در واقع یک ساختار ریاضی است که توانایی نشان دادن فرایندها و ترکیبات دلخواه غیر خطی جهت ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های هر سیستمی را دارا است. این شبکه با داده‌های موجود طی فرایند یادگیری، آموزش دیده و جهت پیش بینی در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

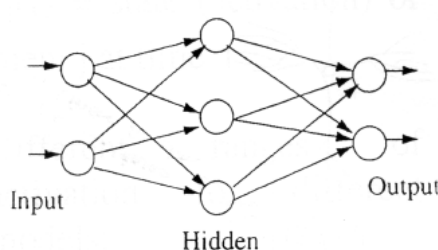
دیدگاه جدید شبکه‌های عصبی در دهه ۴۰ قرن بیستم با کار آقایان Warren McCulloch و Walter Pitts آغاز شد. آنها نشان دادند که شبکه‌های عصبی می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه نمایند. Donald Hebb عمل شرط گذاری کلاسیک را به عنوان خواص نرونها (Neuron) معرفی کرد و سپس مکانیزمی را جهت یادگیری نرونها ییولوژیکی ارائه داد. نخستین کاربرد علمی شبکه‌های عصبی در اواخر دهه ۵۰ قرن بیستم مطرح شد، زمانی که Frank Rosenblatt در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون (Perceptron) را معرفی نمود.

نرونها کوچکترین واحدهای سازنده شبکه عصبی مصنوعی می‌باشند و حکم سلولهای مغز انسان را دارند. هر شبکه از یک لایه ورودی و یک لایه خروجی و یک یا چند لایه میانی تشکیل شده است. نرونها هر لایه بوسیله وزنهایی به نرونها ی لایه بعدی متصل می‌شوند.

جدول ۱: معادلات ارائه شده جهت محاسبه پارامترهای مقطع شکست

منبع	نتایج ارائه شده	معرفی پارامترها
Johnson and Illies(1976)	$0.5h_d \leq B \leq 3h_d$	عرض متوسط شکست: B ارتفاع سد: h_d
Singh and Snorrason(1982,1984)	$2h_d \leq B \leq 5h_d$ $0.25_{hour} \leq t_f \leq 1_{hour}$	زمان شکست: t_f
FERC(1987)	$2h_d \leq B \leq 4h_d$ $t_f = 0.1 - 1h_r$	
Froehlich(1987)	$B^* = 0.47K_0(S^*)^{0.25}$ $Z = 0.75K_c(h_w^*)^{1.57}W^{*0.73}$ $t_f^* = 79(S^*)^{0.47}$ $1 \leq K_0 \leq 1.4$ $0.6 \leq K_c \leq 1$	$B^* = \frac{B}{h_b}, S^* = \frac{S}{h_b^3}, t_f^* = \frac{t_f}{\sqrt{gh_b}}, W^* = \frac{W}{h_b}$ عمق مقطع شکست: h_b ارتفاع آب بالای مقطع شکست در زمان شکست: h_w متوسط عرض تاج سد: W حجم مخزن: S
Reclamation(1988)	$B = 3h_w$ $t_f = 0.011B$	
Froehlich(1995b)	$B = 0.1803K_0(V_m)^{0.32}h_b^{0.19}$ $t_f = 0.00254(V_m)^{0.53}h_b^{-0.9}$ $Q_p = 0.607V_w^{0.295}h_w^{1.24}$	حجم آب بالای مقطع شکست: V_m دبی ماکزیمم خروجی از مقطع شکست: Q_p
Webby(1996)	$Q_p = 0.0443g^{0.5}V_w^{0.367}h_w^{1.4}$	

طی فرایند آموزش شبکه این وزن‌ها و مقادیر ثابتی که اصطلاحاً بایاس (Bias) نامیده می‌شوند با آنها جمع می‌شوند، به طور پی در پی تغییر می‌کنند تا اینکه خطا به کمترین مقدار خود برسد. برای انتقال خروجی‌های هر لایه به لایه‌های بعدی از توابع محرک استفاده می‌شود. از توابع معروف می‌توان توابع زیگموئیدی، خطی و آستانه‌ای را نام برد. مطالب بالا در شکل (۲) نشان داده شده است.

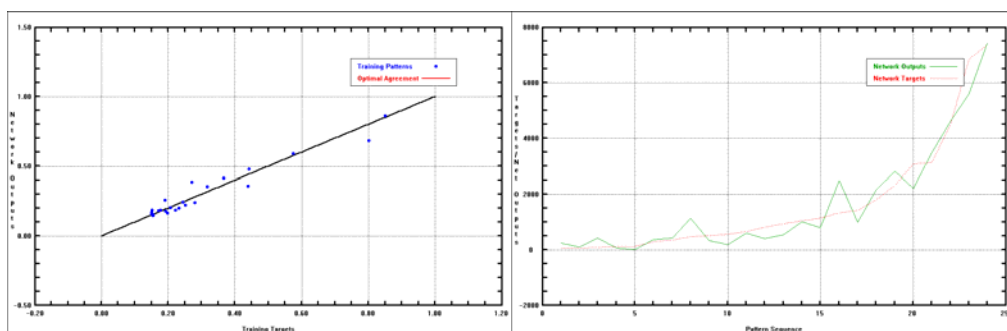


شکل ۲: نمایش شبکه عصبی ساده با یک لایه پنهان

روشی که جهت درست کردن وزن‌ها و بایاس‌ها برای دستیابی به مقدار مطلوب اتخاذ می‌گردد، آموزش شبکه نام دارد. آموزش شبکه در واقع یک الگوریتم ریاضی است. هر شبکه برای بوجود آمدن و قابل قبول بودن به دو سری داده نیازمند است: سری آموزش و سری آزمون. در حدود هشتاد درصد داده‌ها صرف آموزش و مابقی صرف تست شبکه می‌شود. در طی فرایند یادگیری، میزان فراگیری شبکه توسط توابع هدف مرتباً سنجیده می‌شود و در نهایت شبکه‌ای مورد پذیرش قرار می‌گیرد که کمترین میزان خطا را دارا باشد. در این تحقیق از مدل کامپیوتری Qnet 2000 که اساس این مدل، روش شبکه‌های پیشخور (Feed-Forward Networks) می‌باشد استفاده شده است [3,4].

۴- نتایج و بحث

در اولین مرحله این تحقیق، ارتباط بین ماکزیمم دبی خروجی (Q_p) و حجم آب بالای مقطع شکست (V_m) و ارتفاع آب بالای مقطع شکست (h_w) مورد بررسی قرار گرفته شده است. شکل شماره (۳) نحوه آموزش شبکه عصبی را بر اساس اطلاعات موجود نشان می‌دهد.



شکل ۳: نحوه آموزش شبکه عصبی (۱ لایه-۱ نرون)

برای بررسی عملکرد شبکه با آرایشهای مختلف در لایه‌های پنهان، معمولاً از فاکتور ضریب همبستگی R^2 و میزان خطا (Root Mean Square (RMS) استفاده می‌گردد. نتایج عملکرد شبکه برای آرایشهای مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. مطابق جدول شماره (۲)، بهترین شبکه آموزش دیده، شبکه‌ای با یک لایه و یک نرون بوده است. مقدار ضریب همبستگی آزمایش شبکه ۰/۹۹۸ بدست آمده است.

جدول ۲: عملکرد شبکه در پیش بینی ماکزیمم دبی خروجی برای آرایشهای مختلف در لایه پنهان

(RMS)	R^2	تعداد نرون لایه ۲	تعداد نرون لایه ۱	تعداد لایه پنهان
۰/۰۴۴	۰/۹۷۳	—	۱	۱
۰/۰۴۵	۰/۹۷۲	—	۲	۱
۰/۰۴۸	۰/۹۶۸	—	۳	۱

۱	۴	–	۰/۹۶۴	۰/۰۵۰
۲	۲	۲	۰/۹۷۲	۰/۰۴۵
۲	۳	۳	۰/۹۷۲	۰/۰۴۵

در بررسی دوم، ارتباط بین ارتفاع سدخاکی (h_d) با متوسط عرض مقطع شکست (B) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: عملکرد شبکه در پیش بینی عرض متوسط شکست برای آرایشهای مختلف در لایه پنهان

(RMS)	R^2	تعداد نرون لایه ۲	تعداد نرون لایه ۱	تعداد لایه پنهان
۰/۰۸۳	۰/۸۸	–	۱	۱
۰/۰۸۳	۰/۸۷	–	۲	۱
۰/۰۸۳۴	۰/۸۶۸	–	۳	۱
۰/۰۸۶	۰/۸۶۳	۲	۲	۲
۰/۰۱۶۷	۰/۸۶۴	۳	۳	۲

بهترین شبکه آموزش دیده مطابق جدول شماره (۳)، شبکه‌ای با یک لایه و یک نرون بوده است. مقدار ضریب همبستگی آزمایش شبکه ۰/۹۶۴ بدست آمده است.

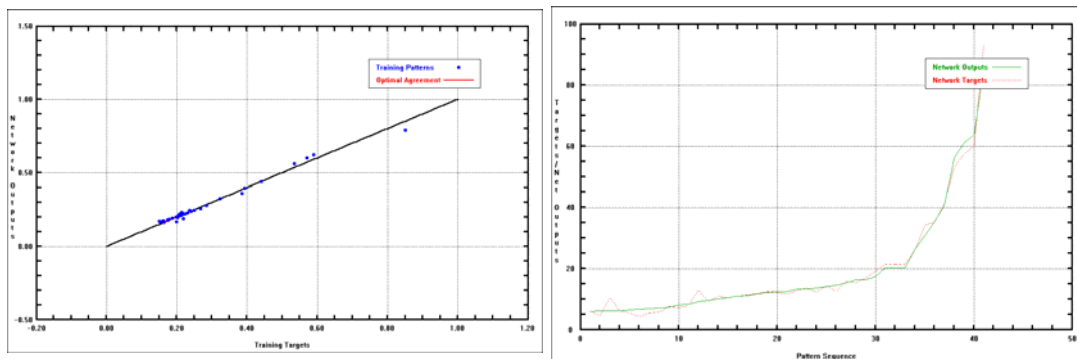
در بررسی سوم، ارتباط بین ارتفاع سدخاکی (h_d) با عمق مقطع شکست (h_b) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: عملکرد شبکه در پیش بینی عمق مقطع شکست برای آرایشهای مختلف در لایه پنهان

(RMS)	R^2	تعداد نرون لایه ۲	تعداد نرون لایه ۱	تعداد لایه پنهان
۰/۰۱۹	۰/۹۹۱	–	۱	۱
۰/۰۱۷	۰/۹۹۳	–	۲	۱
۰/۰۱۷	۰/۹۹۳	–	۳	۱
۰/۰۱۶	۰/۹۹۴	–	۴	۱
۰/۰۱۶	۰/۹۹۳	–	۵	۱
۰/۰۲	۰/۹۸۹	۲	۲	۲
۰/۰۲	۰/۹۸۸	۳	۳	۲

بهترین شبکه آموزش دیده مطابق جدول شماره (۴)، شبکه‌ای با یک لایه و چهار نرون بوده است. مقدار ضریب همبستگی آزمایش شبکه ۰/۹۹ بدست آمده است. شکل شماره (۴) نیز نحوه آموزش شبکه عصبی با یک لایه و چهار نرون را نشان می‌دهد.

در بررسی چهارم، ارتباط بین ماکزیمم دبی خروجی (Q) با عمق مقطع شکست (h_b) و متوسط عرض مقطع شکست (B) مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج آن در جدول شماره (۵) ارائه شده است.

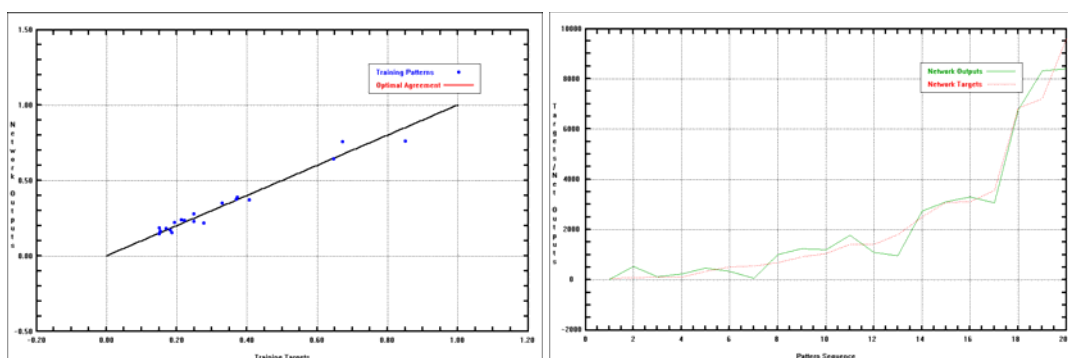


شکل ۴: نحوه آموزش شبکه عصبی (۱ لایه - ۴ نرون)

جدول ۵: عملکرد شبکه در پیش بینی ماکزیمم دبی خروجی برای آرایشهای مختلف در لایه پنهان

(RMS)	R^2	تعداد نرون لایه ۲	تعداد نرون لایه ۱	تعداد لایه پنهان
۰/۰۳۶	۰/۹۸۲	—	۱	۱
۰/۰۳۷۶	۰/۹۸۰	—	۲	۱
۰/۰۷۴	۰/۹۸۰	—	۳	۱
۰/۰۳۶	۰/۹۸۲	۲	۲	۲
۰/۰۳۶	۰/۹۸۳	۳	۳	۲
۰/۰۳۶۵	۰/۹۸۱	۴	۴	۲

بهترین شبکه آموزش دیده مطابق جدول شماره (۵)، شبکه‌ای با دو لایه و سه نرون در هر لایه بوده است. مقدار ضریب همبستگی آزمایش شبکه ۰/۹۶ بدست آمده است. شکل شماره (۵) نیز نحوه آموزش شبکه عصبی را با دو لایه و سه نرون پنهان را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نحوه آموزش شبکه عصبی (۲ لایه - ۳ نرون در هر لایه)

در بررسی پنجم قصد ما این بود که رابطه زمان شکست را با پارامترهای مزبور را بدست آوریم که به علت کمبود اطلاعات مربوط به زمان شکست، آموزش شبکه موفقیت آمیز نبوده است.

۵- خلاصه و نتیجه گیری

به طور کلی با استفاده از روش شبکه‌های عصبی در پیش بینی پارامترهای شکست سدهای خاکی از جمله دبی ماکزیمم خروجی از مقطع شکست، متوسط عرض شکست و عمق شکست بر اساس مشخصات سد نتایج مناسبی حاصل گردید. همچنین روش شبکه‌های پیشخور (Feed-Forward Networks) روش مناسبی جهت آموزش و پیش بینی پارامترهای شکست بوده است و از نتایج بدست آمده و تکمیل اطلاعات می‌توان در پیش بینی پدیده شکست سدهای خاکی داخل کشور استفاده نمود.

۶- مراجع

[1] Tony L.Wahl, " Prediction of Embankment Dam Breach Parameter", USBR, DSO-98-004,

www.usbr.gov/ssle/dam_safety/risk/dso-98-004.pdf, 1998

[2] Froehlich, David C., 1995a, "Peak Outflow from Breached Embankment Dam," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 121, no. 1, p. 90-97.

[3] Qnet v2000, Neural Network Modeling for Windows 95/98/2000/XP, Vesta Services, <http://qnetv2k.com/qnet2000information.htm>

[4] منهاج، مبانی شبکه‌های عصبی مصنوعی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۷۹