

پیش بینی اتلاف کارمایه در سرریز توری سنگی پله ای با استفاده از شبیه درختی M5

فرناز نهرین*^۱، محمد تقی ستاری^۲، فرزین سلماسی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۵

چکیده

سازه های توری سنگی کاربردهای زیادی در طرحهای آبی، بخصوص انواع سرریزها، دارند. اتلاف کارمایه جریان از روی این سازه ها زیاد بوده، و لذا هزینه های ساختن حوضچه‌ی آرامش کاهش می یابد. از نقطه نظر کیفیت آب و تاثیر بر محیط زیست، سرریزهای توری سنگی نفوذپذیر تاثیر منفی کمتری نسبت به سرریزهای صلب نفوذناپذیر دارند. در این تحقیق، توانایی شبیه درختی M5 جهت برآورد اتلاف کارمایه از روی سرریزهای توری سنگی پله ای بررسی شده است. شبیه درختی M5 دارای دو گزینه‌ی M5P و M5Rule می باشد، که تفاوت آنها در نوع خروجی شبیه است. برای این منظور، از داده های اندازه گیری شده بر روی ۸ نمونه‌ی فیزیکی در خصوص استهلاک کارمایه بر روی سرریز های توری سنگی پله ای استفاده شده است. نتایج نشان میدهند که شبیه M5Rule به عنوان یکی از روشهای داده کاوی در پیش بینی اتلاف کارمایه از روی سرریز توری سنگی عملکرد خوبی داشته ($R = 0.946$)، و بده و ارتفاع سرریز جزء مهمترین فراسنجهای دخیل در محاسبه‌ی اتلاف کارمایه می باشند. مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از روش M5 با وایازی خطی لجستیک، نشان از قدرت پیش بینی بالای این روش داشت.

واژه‌های کلیدی: داده کاوی، شبیه درختی M5، افت کارمایه، سرریز توری سنگی پله ای.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*- نویسنده مسئول مقاله: nahrein@yahoo.com

مقدمه

سازه های توری سنگی کاربردهای زیادی در ساختن سازه های آبی داشته، و هم اکنون در بسیاری از کشورها در بنای سدهای کوچک و انواع سرریزها مورد استفاده قرار می گیرند. قبل از شناسایی سازه های توری سنگی در برآورده کردن نیازهای طبیعی و بوم شناسی، عموماً از سازه های صلب بتنی استفاده می شد، اما امروزه سازه های توری سنگی ترجیح داده می شوند (محمد، ۲۰۱۰). استهلاک کارمایه جریان از روی سازه های توری سنگی زیاد بوده، و لذا هزینه های ساختن حوضچه های آرامش کاهش می یابد. از مزایای سرریزهای توری سنگی سادگی، پایداری و انعطاف پذیری آنها در برابر نیروهای وارده از سوی آب می باشند. از ویژگیهای مهم این نوع سازه ها وجود دو نوع جریان در آنهاست: جریان عبوری از روی سرریزها، و جریان عبوری از فضای متخلخل آنها. جریان درون گذر از داخل جسم متخلخل سرریز باعث ایجاد پیچیدگی در رفتار آن می شود (سلماسی و فرسادی زاده، ۱۳۸۸). شبکه بندی توری اطراف سنگهای سرریز توری سنگی از حرکات اساسی آنها جلوگیری می کند، بطوری که این سازه ها می توانند به عنوان یک طرح جایگزین برای آرام کردن سیلهای آبی مطرح شوند. بیشتر پژوهشهای انجام یافته مربوط به سرریزهای پله ای صلب بوده، و تحقیقات اندکی در مورد سرریزهای پله ای توری سنگی تحقق یافته است. از جمله مطالعاتی که در مورد این گونه سرریزها توری سنگی انجام گرفته است، مطالعه ای پیراس و همکاران (۱۹۹۲) می باشد. این تحقیق در مورد نمونه ای شبیه فیزیکی از سرریزهای پلکانی توری سنگی همگن و کوچک انجام شده، که هدف آن محاسبه ای استهلاک کارمایه ی جریان از روی سازه، و تعیین ابعاد هندسی حوضچه های آرامش آن بوده است. از دیگر پژوهشها می توان به مطالعه ای عزیزی و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی تأثیر تخلخل مصالح مورد استفاده بر افت کارمایه ی جریان در سرریزهای پلکانی توری سنگی اشاره نمود، که نشان دادند که با افزایش تخلخل، افت کارمایه کاهش می یابد، و این کاهش در تخلخلهای بیشتر از ۳۸ درصد تأثیر خود را بیشتر نشان می دهد. مطالعات ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴) نیز در

مورد ۹ شبیه از سرریز پله ای توری سنگی با هدف بررسی ویژگیهای هیدرولیکی جریان در مورد آن انجام یافت، و مشاهده گردید که با افزایش بده، درصد افت کارمایه کاهش می یابد. در سالهای اخیر، و با افزایش امکان جمع آوری داده های بیشتر در طرحهای مهندسی آب و گسترش علوم رایانه ای اقبال عمومی در استفاده از روشهای داده کاوی افزایش یافته است. داده کاوی^۱ یک رشته ای علمی جدید در زمینه ای استخراج و ارزیابی اطلاعات از پایگاه داده هاست. شبیه های داده کاوی شامل روشهایی از قبیل شبکه عصبی مصنوعی^۲، منطق فازی^۳، سامانه های هوشمند مبتنی بر قانون^۴، استخراج تصمیم^۵، روشهای یادگیری ماشینی^۶، خوشه بندی^۷، و غیره می باشد (ستاری و همکاران، ۲۰۱۲). سامانه های مبتنی بر درختهای تصمیم راحتترین روش برای استفاده و فهمیدن در بین تمام روشهای یادگیری ماشینی است. حالت و ساختار شاخه ای یک درخت تصمیم مناسب برای مسائل طبقه بندی است (یورکلی و همکاران، ۲۰۱۲). شبیه M5 به عنوان یکی از روشهای تصمیم گیری درختی^۸ مبتنی بر روشهای یادگیری ماشینی و داده کاوی است. شبیه M5 دارای دو گزینه ای M5P و M5Rule می باشد، که شباهت زیادی با هم داشته، و تنها تفاوت آنها در نوع خروجی شبیه می باشد. از آن جا که نتایج شبیه M5P به صورت درخت ارائه می گردد، شبیه مزبور درختی M5 نام گرفته است. از طرف دیگر، نتایج شبیه M5Rule به صورت قوانین "اگر-آن گاه"^۹ ارائه می گردد. از دیگر روشهای درخت تصمیم، روش C5 است. گفتنی است که روش M5 از داده های پیوسته به عنوان مقادیر ویژگی هدف استفاده می کند، در حالی که روش C5 از داده های گسسته و طبقه بندی شده به عنوان مقادیر ویژگی هدف بهره می برد (آلبرگ و

¹- data mining

²- artificial neural network (ANN)

³- fuzzy Logic

⁴- rule based expert systems

⁵- decision extraction

⁶- machine learning systems

⁷- clustering

⁸- decision tree

⁹- If-then rules

که آن C_d ضریب بدهی جریان، H_d ارتفاع آب روی سرریز و θ زاویه راس سرریز است. در آزمایش مذکور از ۸ نمونه‌ی فیزیکی با ارتفاع سرریز، ارتفاع پله و تعداد پله-ی ثابت، ولی شیب و نفوذپذیری متفاوت استفاده شده است. این نمونه‌ها دارای ۳ پله، هر یک ۱۰ سانتی متر بودند. تصویر یکی از این ۸ نمونه‌ی فیزیکی در شکل ۱ نشان داده شده است. مدل‌های فیزیکی ساخته شده در ۴ متری پایین دست ورودی نهر پایه‌دار نصب شدند. مواد داخل توری‌سنگها در اندازه‌های متفاوت سنگ برای دستیابی به ۳ نوع تخلخل ۳۸٪، ۴۰٪ و ۴۲٪ استفاده شده است. با توجه به مطالعات کلز (۱۹۹۳) و استفسون (۱۹۷۹)، مقادیر تخلخل بین ۳۸٪ و ۴۲٪ برای سرریز های توری سنگی بهترین نتیجه را می دهند؛ به همین دلیل، در تحقیق سلماسی و همکاران (۲۰۱۲) از سه تخلخل ۳۸٪، ۴۰٪ و ۴۲٪ استفاده شده است. برای مطالعه‌ی تأثیر تخلخل در اتلاف کارمایه از صفحات فلزی صلب در رویه‌ی عمودی و افقی، و یا هر دو رویه‌ی نمونه-های فیزیکی استفاده شده اند. در جدول ۱ مشخصات ۸ نمونه‌ی فیزیکی ساخته شده آمده است. در این تحقیق از داده های مربوط به جمعا" ۲۶۷ آزمایش (مورد) با دو شیب متفاوت ۱:۱ و ۱:۲ (افقی:عمودی) و سه تخلخل متفاوت ۳۸٪، ۴۰٪ و ۴۲٪ و بده های متغیر بهره وری گردیده است. برای محاسبه‌ی مقدار کارمایه‌ی کل در بالادست تاج سرریز رابطه‌ی ۲ مورد استفاده قرار می گیرد:

$$E_0 = H + y + \frac{V_a^2}{2g} = H + y + \frac{q^2}{2g(y+H)^2} \quad (2)$$

که در آن، E_0 کارمایه‌ی کل در بالادست سرریز، H ارتفاع کل سرریز، y عمق آب در فاصله ای حدود ۶۰ سانتی متری در بالادست سرریز و V_a سرعت نزدیکی آب به سرریز می باشد. جهت محاسبه‌ی کارمایه در پایین دست سرریز، قبل از پرش آبی، رابطه‌ی ۳ مورد استفاده قرار می گیرد:

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} \quad (3)$$

$$y_1 = \frac{y_2}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{y_c}{y_2} \right)^3} - 1 \right)$$

همکاران، (۲۰۱۲). در تحقیق سلماسی و همکاران (۲۰۱۲) از روش C5 در برآورد طبقه‌ی اتلاف کارمایه بر روی سرریز توری سنگی استفاده شده است. با آن که روش M5 هنوز به خوبی رایج نگردیده است، تحقیقات انجام یافته قدرت و تأثیر بالای آن را اثبات کرده است. از جمله‌ی این پژوهشها می توان به مطالعات سولوماتین و زو (۲۰۰۴) در پیش بینی سیل، باتاچاریا و سولوماتین (۲۰۰۴) در شبیه سازی رابطه‌ی بده-مقیاس، پال (۲۰۰۶) در طبقه بندی پوشش گیاهی، لوکا و میتجا (۲۰۰۷) در شبیه سازی پیش بینی جریان کم، پال و دسوال (۲۰۰۹) در شبیه تبخیر- تعرق بالقوه، کومار و همکاران (۲۰۱۰) در پیش بینی سیلاب سالانه و پاکورن و چایوٹ (۲۰۱۲) در تخمین ضریب تشنگ تبخیر اشاره کرد. نتایج تحقیقات فوق نشان داده اند که شبیه درختی M5 می تواند بطور موفقیت آمیزی در مسائل مختلف مربوط به مهندسی آب به کار رود. از مزایای شبیه M5 می توان به راحتی آن در آموزش، واضح بودن، و همیشه همگرا بودن آن اشاره کرد (سولوماتین و زو، ۲۰۰۴). هدف از انجام مطالعه‌ی حاضر، بررسی کاربرد شبیه درختی M5 در برآورد اندازه‌ی اتلاف کارمایه از سرریز توری سنگی پله ای، و تعیین مهمترین فراسنجهای مؤثر در این شبیه سازی است.

مواد و روشها

در این تحقیق از داده های آزمایشگاهی که در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز انجام یافته، بهره وری گردیده است (سلماسی و همکاران، ۲۰۱۲). در این آزمایش از نهری پایه‌دار به طول ۱۰ متر، عرض ۲۵ سانتی متر و ارتفاع نیم متر با حداکثر بدهی ۵۰ لیتر بر ثانیه استفاده شده است. یک دریچه‌ی کشویی عمودی در انتهای نهر پایه‌دار جهت تنظیم عمق آب پایین دست و محل تشکیل پرش آبی نصب گردیده بود. جهت اندازه گیری بده در انتهای نهر پایه‌دار، از یک سرریز مثلثی لبه تیز با زاویه‌ی راس ۵۳ درجه و ۸ دقیقه استفاده شده است. رابطه‌ی مربوط به محاسبه‌ی بده با استفاده از سرریز مثلثی به صورت زیر می باشد:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \tan \frac{\theta}{2} H_d^{2.5} \quad (1)$$

داده ها را بر اساس $\frac{q^2}{gH^3}$ و ED، و جدول ۲ نیز چگونگی توزیع داده ها را بر اساس S, P, VL, HL و نشان می دهند.

شبیه درختی M5

شبیه درختی M5 (کوبینن، ۱۹۹۲) زیر مجموعه ای از روشهای یادگیری ماشینی و داده کاوی است. روشهای یادگیری ماشینی و داده کاوی قابلیت کشف نیمه خودکار الگوهای ارزشمندی را از داده ها دارند. در سالهای اخیر، شبیه درختی M5 تحول قابل توجهی در مسائل طبقه بندی و پیش بینی ایجاد نموده است (پال، ۲۰۰۶). اجزای اصلی درخت تصمیم عبارت از گرهها، شاخه ها و برگها می باشند (لوکا و میجا، ۲۰۰۷). انواع شبیه های تصمیم درختی به صورت زیراند: (۱) درخت وایازی با مقادیر طبقه بندی شده در برگهای شبیه (۲) درخت وایازی با مقادیر عددی ثابت به عنوان برگهای شبیه (۳) درخت وایازی با معادلات خطی به عنوان برگهای شبیه. M5 یک شبیه درختی برای پیش بینی صفات عددی پیوسته است که در آن توابع وایازی خطی در برگهای آن متظاهر می شوند (پال، ۲۰۰۶). ساختار درختی شبیه باعث سادگی ساختمان شبیه، قدرت پیش بینی بالا و فهم سریع آن می گردد. همچنین، تفسیر درختهای کوچکتر که انشعابات زیادی ندارند در این شبیه راحت تر است. در بسیاری از موارد، راحت بودن تفسیر شبیه به اندازهی دقت پیش بینی آن مهم است (آلبرگ و همکاران، ۲۰۱۲). مزیت اصلی شبیه درختی به وایازی درختی ابعاد کوچکتر و دقت بیشتر شبیه درختی است. شبیه های درختی بر اساس روش "جدایی افکن و پیروز شو کن" ساخته می شوند (باتاچاریا و سولوماتین، ۲۰۰۴). در M5 هدف ساختن شبیهی است که مقادیر هدف موارد آموزشی را به مقادیر دیگر ویژگیها مربوط کند. ایجاد یک شبیه درختی در دو مرحله انجام می گیرد. مرحله اول شامل استفاده از یک معیار انشعاب برای ایجاد شبیه است. معیار انشعاب برای الگوریتم M5 بر اساس عملکرد انحراف معیار مقادیر هر ردیف و یا

در روابط فوق E_1 کارمایه در پایین دست سرریز قبل از پرش آبی، y_1 عمق آب قبل از پرش آبی، V_1 سرعت جریان در پایین دست سرریز قبل از پرش آبی و y_c عمق بحرانی می باشد. برای محاسبه ی مقدار استهلاک کارمایه ی نسبی از رابطه ی ۴ استفاده می شود:

$$\frac{\Delta E}{H} = \frac{E_0 - E_1}{H} = K \quad (4)$$

در رابطه ی فوق، ΔE اختلاف انرژی در پایین دست و بالادست سرریز قبل از پرش آبی می باشد. اتلاف کارمایه در حالت کلی بستگی به فراسنجهای هندسی و هیدرولیکی دارد، که می توانند به صورت تابع $f(q, l, H, h, y, y_1, y_2, g, p, \rho) = 0$ بیان شوند. در این تابع، q بدهی جریان، l طول هر پله سرریز، H ارتفاع کل سرریز، h ارتفاع هر پله سرریز، y عمق آب در فاصله ای حدود ۶۰ سانتی متری در بالادست سرریز، y_1 عمق آب قبل از پرش آبی، y_2 عمق آب بعد از پرش آبی، g شتاب گرانش، p نفوذپذیری سنگهای داخل توری سنگ، و ρ جرم مخصوص سنگها می باشند. فراسنجهای بدون بعد می توانند به صورت $\frac{\Delta E}{H} = f\left(\frac{q^2}{gH^3}, \frac{h}{l}, p\right)$ بیان شوند. افت کارمایه ی نسبی و $\frac{h}{l}$ شیب سرریز است. این فراسنجه در شکل ۲

معرفی شده اند. در این تحقیق، اتلاف کارمایه از روی سرریز توری سنگی پله ای ED^۱ به عنوان متغیر وابسته و فراسنج هدف در نظر گرفته شده است، بطوری که $ED = f\left(\frac{q^2}{gH^3}, S, P, VL, HL\right)$ که در آن S شیب سرریز می باشد که در ۲ نوع LS و HS وارد شبیه شده است. HS شیب تندتر (۱:۱) و LS شیب کندتر (۱:۲) را نشان می دهد. P تخلخل مواد داخل توری سنگی است که در سه نوع High تخلخل ۴۲٪، Mean تخلخل ۴۰٪ و Low تخلخل ۳۸٪ وارد نرم افزار شده اند. منظور از VL سرریز با صفحه ای صلب در رویه ی عمودی و HL سرریز با صفحه ای صلب در رویه ی افقی می باشد. برای بررسی چگونگی توزیع داده های مورد بررسی، شکل های ۳ و ۴ و جدول ۲ ارائه شده اند. شکل های ۳ و ۴ چگونگی توزیع

² - divide and conquer

¹ - energy dissipation

اجتناب ناپذیر بین مدل‌های خطی هم جوار در برگ‌های درخت هرس شده، مخصوصاً^۴ برای شبیه‌هایی که با تعداد کمتری از نمونه‌ها ساخته شده‌اند، انجام می‌شود (باتاچاریا و سولوماتین، ۲۰۰۴). در این تحقیق از نرم افزار WEKA^۴ که در دانشگاه Waikato نیوزلند توسعه یافته، استفاده گردیده است. لازم به ذکر است که در اعمال روش M5 در مورد داده‌ها از ۳ روش برای یادگیری ماشینی بهره‌وری گردیده است: الف. اعتبارسنجی ضربدری با ۱۰ قسمت، که در این روش ابتدا ۱۰٪ از کل داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی^۵، و ۹۰٪ به عنوان داده‌های آموزشی^۶ مورد استفاده نرم افزار قرار می‌گیرند؛ سپس ۱۰٪ دیگر از داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی، و بقیه به عنوان داده‌های آموزشی در نظر گرفته می‌شوند، و این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که همه‌ی داده‌ها هم به عنوان داده‌های آزمایشی و هم به عنوان داده‌های آموزشی استفاده شوند. ب. در روش دوم، ۷۰٪ داده‌ها آموزشی و ۳۰٪ بقیه داده‌ها آزمایش می‌شوند. ج. در روش سوم، کل داده‌ها جهت آموزش و ساخت شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ سپس با شبیه‌سازی ساخته شده همه داده‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرند. برای ارزیابی دقت شبیه‌های مورد بررسی، از آماره‌های ضریب همبستگی R و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شده است. روابط این دو آماره در زیر آمده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (ED_C - ED_O)^2}{n}} \quad (۶)$$

$$R = \frac{\sum (ED_{C_i} - \overline{ED_C})(ED_{O_i} - \overline{ED_O})}{\sqrt{\sum (ED_{C_i} - \overline{ED_C})^2 * \sum (ED_{O_i} - \overline{ED_O})^2}} \quad (۷)$$

ED_C مقادیر اتلاف کارمایه‌ی محاسبه شده به وسیله‌ی شبیه، ED_O مقادیر اتلاف کارمایه مشاهده گردیده در آزمایشها، و n تعداد داده‌ها می‌باشند. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده شد که روش (ج) دقت بیشتری نسبت به سایر روشها دارد.

طبقه است، که در هر گره به دست می‌آید. معیار انشعاب بیانگر میزان خطا در آن گره می‌باشد، و شبیه حداقل خطای مورد انتظار را به عنوان نتیجه‌ی آزمایش هر صفت در آن گره محاسبه می‌کند. خطای شبیه عموماً با اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی مقادیر هدف موارد دیده نشده سنجش می‌شود. روابط محاسبه‌ی کاهش انحراف معیار (SDR) به صورت زیر می‌باشند:

$$SDR = Sd(T) - \sum_{i=1}^N \frac{|T_i|}{|T|} Sd(T_i) \quad (۵)$$

$$Sd(T) = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2 \right)}$$

در این روابط T مجموعه‌ای از نمونه‌هاست (موارد) که به هر گره وارد می‌شود، T_i نشان دهنده‌ی زیرمجموعه‌ی از نمونه‌هاست که i امین نتیجه‌ی آزمون بالقوه را دارند، S_d بیانگر انحراف معیار، y_i مقدار عددی ویژگی هدف نمونه i و N شماره داده‌ها را نشان می‌دهد (آلبرگ و همکاران، ۲۰۱۲). بعد از آزمایش، تمامی انشعابات ممکن، M5 صفتی را برای انشعاب انتخاب می‌کند که بیشترین کاهش خطای مورد انتظار را داشته باشد؛ این رهنمون اساس روشهای طبقه‌بندی است که انتروپی^۱ نامیده می‌شود. انتروپی می‌تواند به عنوان معیار میزان آشفتگی یک سامانه تفسیر شود. این تقسیم‌بندی اغلب منجر به ایجاد یک شبیه درختی بزرگ و رشد یافته می‌گردد که باید هرس شود. هرس کردن^۲ معمولاً باعث افت دقت شبیه و پیش‌بینی آن می‌گردد. باید توجه کرد که هرس تا زمانی بایستی ادامه یابد که باعث افت بیش از حد دقت نگردد (باتاچاریا و سولوماتین، ۲۰۰۴). بنابراین، دومین مرحله از طراحی شبیه درختی، هرس کردن شبیه رشد یافته، و جایگزینی زیرشاخه‌ها با توابع وایازی خطی است. این روش ایجاد شبیه درختی فضای فراسنجه را به زیرفضاها تقسیم نموده، و هر ناحیه یک شبیه وایازی خطی ایجاد می‌کند (شکل ۵)؛ این فرایند باعث افزایش دقت روش M5 می‌شود. پس از هرس کردن، فرایندهای صاف کردن^۳ برای جبران گسیختگیهای تند، که بطور

^۴ - Waikato environment for knowledge analysis

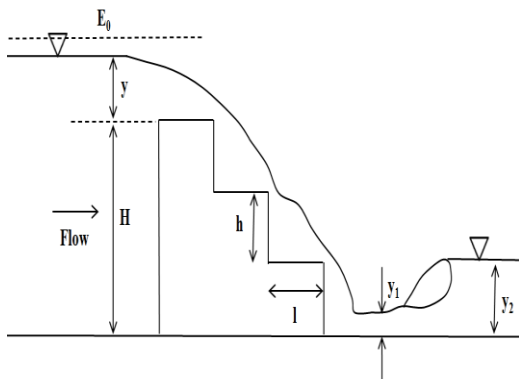
^۵ - testing data

^۶ - training data

^۱ - entropy

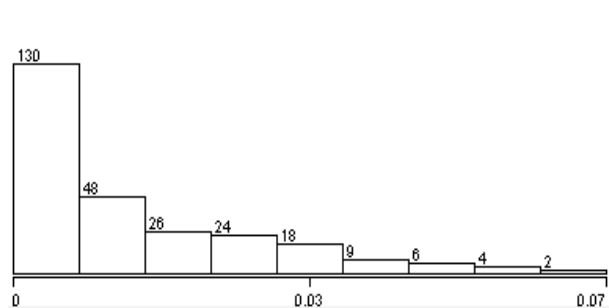
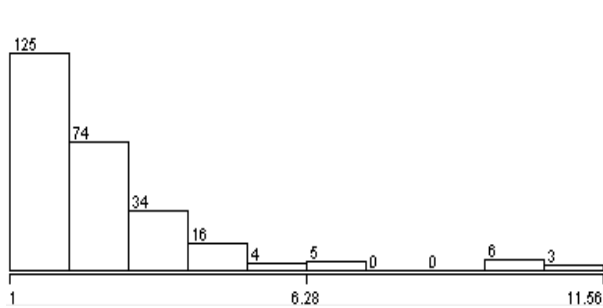
^۲ - pruning

^۳ - smoothing



شکل ۲- ابعاد هندسی و فیزیکی شبیه های هیدرولیکی.

شکل ۱- تصویر نمونه‌ی فیزیکی سرریز پله ای توری سنگی با شیب ۱:۲ (سلماسی و فرسادی زاده، ۱۳۸۸)



X: مقادیر ED

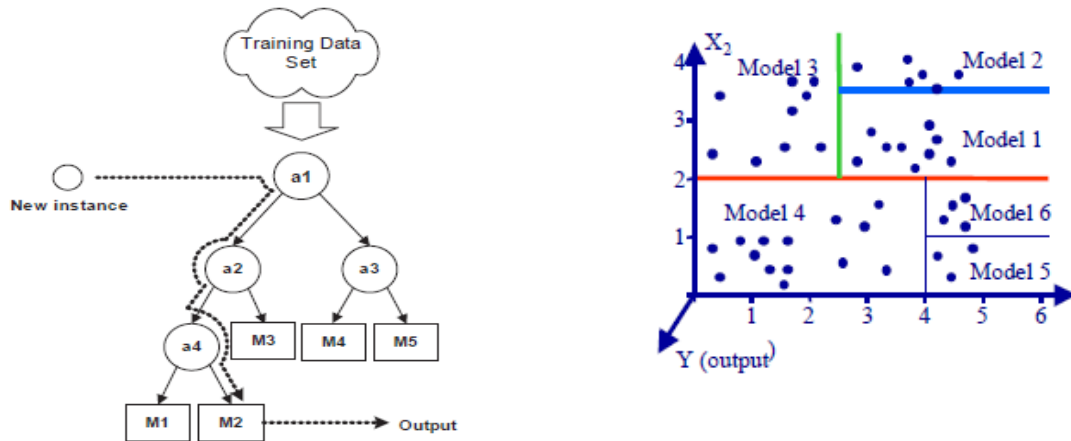
Y: فراوانی داده ها

شکل ۴- توزیع داده ها بر اساس ED .

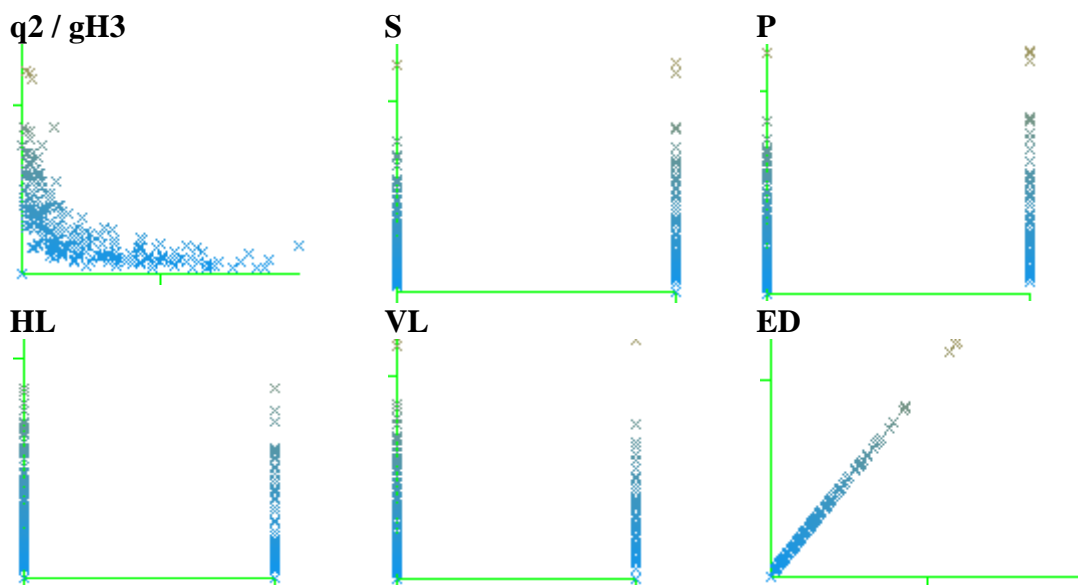
X: مقادیر q^2/gH^3

Y: فراوانی داده ها

شکل ۳- توزیع داده ها بر اساس q^2/gH^3 .



شکل ۵- تقسیم بندی فضای نمونه‌ها به وسیله‌ی الگوریتم شبیه درختی M5 (باتاچاریا و سولوماتین، ۲۰۰۴).



شکل ۶- میزان همبستگی ED با سایر فراسنجها.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی شبیه های سرریز توری سنگی پله ای.

ردیف	نوع سرریز	ارتفاع سرریز (سانتیمتر)	ارتفاع پله (سانتیمتر)	تعداد پله	شیب (افقی:عمودی)	تخلخل (درصد)
۱	توری سنگی (G)	۳۰	۱۰	۳	۱:۱	۳۸.۴۰.۴۲
۲	توری سنگی با دیواره‌ی عمودی صلب (GV)	۳۰	۱۰	۳	۱:۱	۳۸.۴۰.۴۲
۳	توری سنگی با دیواره‌ی افقی صلب (GH)	۳۰	۱۰	۳	۱:۱	۳۸.۴۰.۴۲
۴	توری سنگی با دیواره‌ی عمودی و افقی صلب (GVH)	۳۰	۱۰	۳	۱:۱	۳۸.۴۰.۴۲
۵	(G)	۳۰	۱۰	۳	۱:۲	۳۸.۴۰.۴۲
۶	(GV)	۳۰	۱۰	۳	۱:۲	۳۸.۴۰.۴۲
۷	(GH)	۳۰	۱۰	۳	۱:۲	۳۸.۴۰.۴۲
۸	(GVH)	۳۰	۱۰	۳	۱:۲	۳۸.۴۰.۴۲

جدول ۲- توزیع داده های ورودی به نرم افزار.

S		P			VL		HL	
HS	LS	High	Mean	Low	Yes	No	Yes	No
۱۵۲	۱۱۵	۹۰	۹۰	۸۷	۱۲۱	۱۴۶	۱۲۸	۱۳۹

جدول ۳- شبیه های مورد بررسی.

شبهه/نمایشنامه	فراسنجهها				
	q2 / gH3	P	S	VL	HL
شبهه (۱)	√	√	√	√	√
شبهه (۲)	√	√	√	√	×
شبهه (۳)	√	√	√	×	×
شبهه (۴)	√	√	×	×	×
شبهه (۵)	√	×	×	×	×

جدول ۴ - بررسی درجه‌ی تاثیر فراسنج‌ها در اتلاف کارمایه بر روی سرریز توری سنگی.

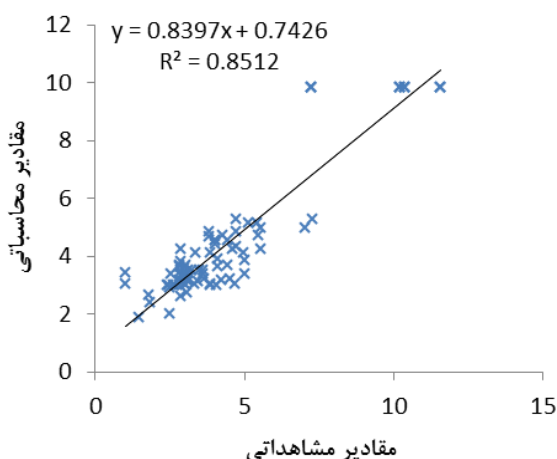
شبه	R						RMSE					
	M5P			M5RULE			M5P			M5RULE		
	(الف)	(ب)	(ج)	(الف)	(ب)	(ج)	(الف)	(ب)	(ج)	(الف)	(ب)	(ج)
شبه (۱)	۰/۹۰۴	۰/۸۶۰	۰/۸۹۳	۰/۹۴۶	۰/۹۱۲	۰/۹۲۷	۰/۸۷۰	۱/۰۱۴	۱/۵۰۲	۰/۶۲۳	۰/۷۸۹	۱/۰۳۰
شبه (۲)	۰/۸۴۳	۰/۶۹۴	۰/۸۰۹	۰/۸۶۶	۰/۶۹۴	۰/۸۴۲	۱/۰۶۱	۱/۳۸۲	۱/۸۵۴	۰/۹۵۹	۱/۳۸۱	۱/۵۴۸
شبه (۳)	۰/۸۳۵	۰/۷۱۱	۰/۸۰۹	۰/۸۶۲	۰/۶۹۰	۰/۸۳۹	۱/۰۸۲	۱/۳۵۶	۱/۸۵۹	۰/۹۷۸	۱/۳۸۹	۱/۵۵۶
شبه (۴)	۰/۶۴۵	۰/۶۱۰	۰/۶۸۴	۰/۶۴۵	۰/۶۰۲	۰/۶۹۱	۱/۴۶۵	۱/۵۱۹	۲/۱۴۷	۱/۴۶۴	۱/۵۳۳	۲/۱۱۲
شبه (۵)	۰/۶۷۷	۰/۶۲۳	۰/۶۸۶	۰/۶۷۹	۰/۶۱۸	۰/۶۸۱	۱/۴۱۲	۱/۵۰۰	۲/۱۴۶	۱/۴۰۸	۱/۵۰۷	۲/۱۵۳

q2 / gH3 <= 0.01 :	LM 1: ED = -76.8987 * q2 / gH3 + 0.5576 * Slope (HS) + 0.0997 * Porosity (High , Mean) + 0.4125 * Porosity (Mean) + 0.7661 * HL (Yes) - 0.665 * VL (Yes) + 3.7977
q2 / gH3 <= 0.002 :	
HL=No: LM1 (26/46.71%)	
HL=Yes:	LM 2: ED = -76.8987 * q2 / gH3 + 1.5794 * Slope (HS) + 0.0997 * Porosity (High , Mean) + 0.7216 * HL (Yes) + 0.8706 * VL (Yes) + 3.0769
Slope=LS: LM2 (13/59.574%)	
Slope=HS: LM3 (16/74.73%)	
q2 / gH3 > 0.002 :	LM 3: ED = -76.8987 * q2 / gH3 + 1.4768 * Slope (HS) + 0.0997 * Porosity (High , Mean) + 0.7216 * HL (Yes) + 2.2843 * VL (Yes) + 3.079
Slope=LS:	
VL=No: LM4 (18/34.7%)	
VL=Yes: LM5 (17/20.479%)	
Slope=HS: LM6 (56/25.522%)	LM 4: ED = -131.5011 * q2 / gH3 - 0.2153 * Slope (HS) + 1.0457 * Porosity (High , Mean) - 0.5681 * HL (Yes) - 0.0324 * VL (Yes) + 3.7145
q2 / gH3 > 0.01 : LM7 (121/12.338%)	LM 5: ED = -82.6727 * q2 / gH3 - 0.2153 * Slope (HS) + 0.2439 * Porosity (High , Mean) - 0.383 * HL (Yes) - 0.0324 * VL (Yes) + 3.7757
	LM 6: ED = -181.1799 * q2 / gH3 - 0.1516 * Slope (HS) + 0.4709 * Porosity (High , Mean) - 0.1772 * HL (Yes) - 0.172 * VL (Yes) + 3.6002
	LM 7: ED = -21.1227 * q2 / gH3 - 0.2335 * Slope (HS) + 0.1184 * Porosity (High , Mean) - 0.2408 * HL (Yes) + 0.155 * VL (Yes) + 2.3515

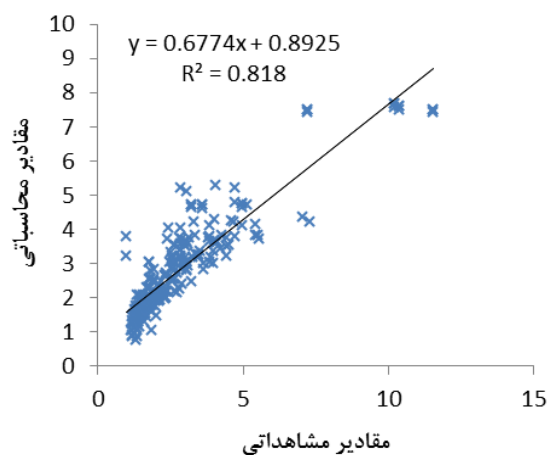
شکل ۷ - شبهه درختی و روابط خطی ارائه شده به وسیله‌ی شبهه M5P.

Rule 1: IF: q2 / gH3 ≥ 0.01 THEN:	ED = -21.1227 * q2 / gH3 - 0.2335 * Slope (HS) + 0.1184 * Porosity (High, Mean) - 0.2408 * HL (Yes) + 0.155 * VL (Yes) + 2.3515 (121/12.338%)
Rule 2: IF: q2 / gH3 > 0.002, Slope=HS THEN:	ED = -193.1623 * q2 / gH3 - 0.1672 * Slope (HS) + 0.5192 * Porosity (High, Mean) - 0.1954 * HL (Yes) - 0.237 * VL (Yes) + 3.615 (56/22.472%)
Rule 3: IF: Slope=LS , VL=Yes THEN:	ED = -24.0332 * q2 / gH3 + 0.4774 * Slope (HS) + 0.1473 * Porosity (High, Mean) + 0.3164 * Porosity (Mean) + 0.1278 * HL (Yes) - 0.1395 * VL (Yes) + 3.4036 (32/33.22%)
Rule 4: IF: VL=No THEN:	ED = -145.9951 * q2 / gH3 + 1.51 * Porosity (High, Mean) + 0.5802 * Porosity (Mean) - 0.2886 * HL (Yes) + 0.723 * VL (Yes) + 3.3353 (38/26.02%)
Rule 5:	ED = 6.8377 * HL (Yes) + 3.0005 (20/35.98%)

شکل ۸ - قوانین ارائه شده به وسیله‌ی شبهه M5Rule.



شکل ۱۰- نمودار مربوط به اتلاف کارمایه‌ی محاسباتی و مشاهداتی در شبیه M5Rule.



شکل ۹- نمودار مربوط به اتلاف کارمایه‌ی محاسباتی و مشاهداتی در شبیه M5.

اعتبارسنجی ضربدری (با ۱۰ قسمت)، و حالتی که ۷۰ درصد از داده‌ها جهت آموزش و ۳۰ درصد جهت اعتبارسنجی در نظر گرفته می‌شود، نتایج قابل قبولتر و بهتری را ارائه می‌نماید. همان‌گونه که از جدول ۴ پیداست، شبیه M5Rule نتایج بهتری را ارائه می‌کند. روابط خطی ارائه شده به وسیله‌ی شبیه درختی M5 و قوانین به دست آمده از شبیه M5Rule در شکل‌های ۷ و ۸ قابل مشاهده‌اند. اعداد داخل دو کمان به ترتیب تعداد مواردی از داده‌ها را که در شرایط هر رابطه‌ی خطی صدق می‌کند، و خطای مربوط به هر رابطه‌ی خطی ناظر به قانون مذکور را به صورت درصد نشان می‌دهد. شکل‌های ۹ و ۱۰ اندازه‌ی تطابق قوانین شبیه M5Rule و روابط خطی ارائه شده به وسیله‌ی شبیه M5P را در برآورد اتلاف کارمایه از روی سرریز توری سنگی پله ای را با داده‌های مشاهداتی در حالت کلی ارائه می‌دهد. در این نمودارها، محور X مقادیر مشاهداتی اتلاف کارمایه با استفاده از مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده در مورد شبیه‌ها با کاربرد روابط ۴ و ۸، و محور Y مقادیر اتلاف کارمایه‌ی پیش بینی شده را به وسیله‌ی شبیه‌های درختی M5P و M5Rule نشان می‌دهند.

$$ED = \frac{1}{1-K}, K = \frac{E_0 - E_1}{H} \quad (۸)$$

همان‌گونه که از شکل‌های ۹ و ۱۰ پیداست، مقادیر پیش بینی شده به وسیله‌ی شبیه M5Rule به مقادیر مشاهداتی

نتایج و بحث

در این تحقیق مجموعاً ۲۶۷ داده‌ی آزمایشگاهی وارد نرم افزار گردیدند، و شبیه M5P برای استخراج شبیه درختی، و شبیه M5Rule برای استخراج قوانین جهت پیش بینی اتلاف کارمایه از روی سرریز توری سنگی، در مورد داده‌ها اعمال شدند. نتایج حاصل از اجرای شبیه برای نمایشنامه‌های مختلف و ترکیبی از ویژگی‌ها (فراسنجها) ی متعدد (جدول ۳) مورد استفاده‌ی شبیه در جدول ۴ ارائه گردیده‌اند. با توجه به نتایج جدول ۴ ملاحظه می‌شود که از بین ۵ فراسنج مورد بررسی، فراسنج $\frac{q^2}{gH^3}$ بیشترین تأثیر را در میزان اتلاف کارمایه روی سرریز توری سنگی پله ای داشته، و بقیه‌ی فراسنجها تأثیر اندکی در پیش بینی و شبیه سازی اتلاف انرژی دارند. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهند که شبیه (۱) بهترین نتیجه را ارائه می‌کند. شکل ۶ میزان همبستگی ویژگی و یا فراسنج هدف، یعنی ED را با سایر فراسنجها نشان می‌دهد. به علت همبستگی بالای پارامتر $\frac{q^2}{gH^3}$ با فراسنج هدف یعنی ED، این فراسنج به عنوان ریشه‌ی شبیه درختی مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، نتایج حاصل از جدول ۴ نشان می‌دهند که روش (ج)، که کل داده‌ها را یک بار برای آموزش و بار دیگر برای آزمایش در نظر می‌گیرد، نسبت به روشهای (الف) و (ب)، یعنی

منابع

- ۱- ابراهیمی، ن.ق.، م. کاشفی پور، و ک. ابراهیمی. ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی شبیه سرریز توری سنگی پلکانی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. خرداد ماه، دانشکده مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان. صفحه‌های ۱۲۰-۱۰۸.
- ۲- سلماسی، ف.، و د. فرسادی زاده. ۱۳۸۸. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی استهلاک انرژی در سرریز پلکانی توری سنگی. مدیریت امور پژوهشی دانشگاه تبریز- دانشکده کشاورزی
- ۳- عزیز، ا.، م. مفتاح هلقی، ض. تبار احمدی، و ح. گلمائی. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر تخریب مصالح مورد استفاده بر افت انرژی جریان در سرریزهای پلکانی توری سنگی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه گرگان. جلد پانزدهم، شماره اول. صفحه‌های ۱۵۸-۱۵۰.
- 4- Alberg, D., M. Last, and A. Kandel. 2012. Knowledge discovery in data streams with regression tree methods. *WIREs Data Mining Knowl. Discov.* 2: 69-78 DOI:10.1002/widm.51.
- 5- Bhattacharya, B., and D.P. Solomatine. 2004. Neural networks and M5 model trees in modeling water level-discharge relationship. Department of Hydroinformatics and Knowledge Management, NESCO-IHE Institute for Water Education, P.O. Box 3015, 2601 DA Delft, the Netherlands.
- 6- Ditthakit, P., and C.H. Chinnarasri. 2012. Estimation of pan coefficient using M5 model tree. *Am.J. Environ. Sci.* 8: 95-103.
- 7- Kells, J.A. 1993. Discussion of spatially varied flow over rockfill embankments. *Can. Civ. Eng.* 20: 820-827.
- 8- Mohamed, H.I. 2010. Flow over gabion weirs. *J. Irrig. Drain. Eng. Div. ASCE* 136:573-577.
- 9- Pal, M. 2006. M5 model tree for land cover classification. *Int.J.Remote Sens.* 27: 825-831.
- 10- Pal, M., and S. Deswal. 2009. M5 model tree based modeling of reference evapotranspiration. *Hydrol. Process* 23: 1437-1443.
- 11- Peyras, L., P. Royet, and G. Degoutte. 1992. Flow and energy dissipation over stepped gabion weirs. *J. Hydraul. Eng. Div. ASCE.* 118: 707-717.

و نتایج آزمایشگاهی بسیار نزدیکتر می باشند؛ به عبارتی، مقدار بالای R^2 در شبیه M5Rule نسبت به شبیه درختی M5P حاکی از دقت بالای این روش است. جهت سنجش دقت روش M5، روش وایازی خطی چند متغیره‌ی لجستیک قابل اعمال در مورد داده‌های گسسته برای داده‌ها اعمال گردید که منجر به ایجاد رابطه‌ی ۹ شد. همچنان که از رابطه رگرسیونی چند متغیره شماره ۹ ی پیدااست، دقت روش وایازی خطی چند متغیره‌ی لجستیک با $R = 0/4736$ در مقایسه با روش M5Rule ($R = 0/946$)، بسیار پایین می باشد.

$$ED = -64.518 * \frac{q^2}{gH^3} + 0.4613 * VL(Yes) + 3.4561 \quad (9)$$

نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، نکات زیر قابل طرح می باشند:

۱) روش M5 قابلیت ارائه‌ی معادلات خطی ساده و قابل فهم را برای پیش بینی اتلاف کارمایه از روی سرریز توری سنگی پله ای با دقت بالا داراست. این در حالی است که روش C5، که در تحقیق سلماسی و همکاران (۲۰۱۲) ارائه گردیده است، تنها قادر به شبیه سازی و پیش گویی طبقات افت کارمایه می باشد. ۲) نتایج به دست آمده از بررسی فراسنجهای مؤثر در اتلاف کارمایه از روی سرریز توری سنگی پله ای نشان داد که فراسنجهای بده و ارتفاع سرریز بیشترین تأثیر و اهمیت را در شبیه سازی اتلاف انرژی داشته، و سایر فراسنجه (شیب سرریز، نفوذپذیری سرریز و صلب بودن قسمتهایی از سرریز) تأثیر کمتری را در اتلاف کارمایه از روی سرریز توری سنگی پله ای دارند. ۳) در روش M5، فضای نمونه‌ها به چند قسمت تقسیم گردیده و برای هر قسمت، به صورت جداگانه، معادله ای خطی با دقت بالا و در عین حال ساده ارائه می شود. با توجه به سادگی، دقت بالا و کاربردی بودن روش M5 در مقایسه با سایر روش‌ها، روش M5 می تواند به عنوان روشی دقیق و قابل اطمینان جهت پیش بینی اتلاف انرژی در سرریزهای توری سنگی پیشنهاد گردد.

- network and M5 model tree. *Water resour. Manage.* 24 DOI:10.1007/s11269-009-9535-x
- 16- Solomatine, D.P., and Y. Xue. 2004. M5 model trees and neural networks: Application to flood forecasting in the upper reach of the Huai River in China. *J. Hydrol. Eng.* 9: 491–501.
- 17- Stephenson, D. 1979. Gabion energy dissipaters. 13th Int. Cong. on Large Dams. New Delhi. India. Q.50, R. (3): 33-34.
- 18- Stravs, L., and M. Brilly. 2007. Development of a low-flow forecasting model using the M5 machine learning method. *Hydrolog. Sci. J.* 52: 466-477.
- 19- Yurekli, K., M.T. Sattari, A.S. Anli, and M.A. Hınıs. 2012. Seasonal and annual regional drought prediction by using data-mining approach. *Atmosfera* 25: 85-105.
- 12- Quinlan, J.R. 1992. Learning with continuous classes. In N. Adams & L. Sterling (Eds.), proceedings of the 5th Australian Joint Conference on artificial Intelligence, Hobart, TAS, pp. 343-348. Singapore: World Scientific.
- 13- Salmasi, F., M.T. Sattari, and M. Pal. 2012. Application of data mining on evaluation of energy dissipation over low gabion-stepped weir. *Turk. J. Agric.* 3695-106 TUBITAK DOI:10.3906/tar-1011-1506.
- 14- Sattari, M.T., A.S. Anli, H. Apaydin, and S. Kodal 2012. Decision trees to determine the possible drought periods in Ankara. *Atmosfera* 25: 65-83.
- 15- Singh, K.K., M. Pal, and V.P. Singh. 2010. Estimation of mean annual flood in Indian catchment using backpropagation neural