

بررسی امکان استفاده از مدل های هوشمند فازی برای برآورد عمق ثانویه و طول غلتاب پرش هیدرولیکی نوع B

یاسر مهری^۱ و نادر عباسی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه تهران، پردیس اوبریحان.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
nader_iaeri@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۳

چکیده

پرش هیدرولیکی نوع B پرشی است که روی سطح شیبدار با شیب مثبت یک شوت تحت شرایط خاص اتفاق می افتد، به گونه ای که تعیین عمق ثانویه و طول غلتاب در آن برای حفاظت از سازه های ساخته شده و جلوگیری از آبسستگی ضروری است. در این پژوهش کاربرد دو روش هوشمند سامانه استنتاج فازی و فازی - عصبی بحث و بررسی شده است. برای مدل سازی از داده های آزمایشگاهی استفاده و کد نویسی در محیط نرم افزار متلب انجام شد. از الگوریتم تکرار شونده برای بهینه نمودن هر دو مدل استفاده شد. نتایج نشان داد که الگوریتم تکرار شونده که برای بهینه سازی در هر دو مدل استفاده گردید، سبب کارایی بهتر مدل ها شد. روش های مورد استفاده در این تحقیق توانایی پیش بینی مشخصات پرش هیدرولیکی را با دقت قابل قبول دارا هستند و نسبت به مدل های فیزیکی و روش های تجربی با توجه به پیچیده بودن شرایط از لحاظ زمان و هزینه برای پیش بینی مناسب ترند. از نتایج دیگر این پژوهش انعطاف پذیری بالای مدل فازی - عصبی نسبت به سامانه استنتاج فازی است. همچنین می توان به دقت بالاتر مدل فازی - عصبی نسبت به سامانه استنتاج فازی اشاره نمود. با توجه به ارزیابی دو مدل سامانه استنتاج فازی و مدل فازی - عصبی تطبیقی استفاده شده در این تحقیق، شاخص های ارزیابی با جذر میانگین مربعات خطا 0.14 و ضریب تعیین 0.997 برای عمق ثانویه و جذر میانگین مربعات خطای 0.33 و ضریب تعیین 0.983 برای طول غلتاب نشان می دهد که مدل فازی - عصبی، مدلی مناسب برای پیش بینی پارامترهای پرش هیدرولیکی می باشد.

کلید واژه ها: منطق فازی، پرش هیدرولیکی، پیش بینی، مستهلک کننده انرژی، مدل های هوشمند.

مقدمه

پیدا می کند و به حالت فوق بحرانی می رسد که از انرژی کافی برای فرسایش بستر کانال و رودخانه برخوردار است، به همین علت از حوضچه های آرامش برای ایجاد پرش هیدرولیکی و تشکیل جریان زیر بحرانی استفاده می شود که سبب افت انرژی جنبشی مخرب و بالا آمدن عمق آب، پیش از رسیدن جریان با این شرایط به پایین دست کانال استفاده می شود. حوضچه آرامش به گونه ای طراحی می شود که شرایط پایداری بر جریان حاکم شود (آکان^۳، ۲۰۱۱). طراحی این سازه ها معمولاً به گونه ای انجام می شود که پرش در محل اتصال کانال شیبدار و کانال افقی انجام شود ولی اگر عمق پایاب بیشتر از عمق مزدوج باشد پرش هیدرولیکی به سمت بالادست منتقل می گردد به صورتی که امکان دارد بخشی از آن روی قسمت شیبدار کانال رخ دهد به این نوع پرش هیدرولیکی، پرش هیدرولیکی نوع B گفته می شود (آدام و همکاران^۴، ۱۹۹۳). با توجه به اینکه این نوع پرش هیدرولیکی دارای شرایط متفاوت است، بایستی مشخصات جریان در آن بررسی گردد تا طراحی دیواره های کانال های انتقال و حوضچه

احداث شبکه های آبیاری بعنوان یکی از روش های عملی افزایش راندمان انتقال و استفاده بهینه از منابع محدود آب، است. ولی علیرغم اقدامات ارزنده و تجربه طولانی در این خصوص، اغلب شبکه های آبیاری و زهکشی با مشکلات متعددی همراه هستند (عباسی^۱، ۲۰۱۱). بر اساس تحقیقات انجام شده، عمده مشکلات موجود در چند گروه شامل مسائل مربوط به طراحی، اجراء بهره برداری و نگهداری و مسائل ژئوتکنیکی بستر طبقه بندی گردیده اند (رحیمی و همکاران^۲، ۲۰۱۱). یکی از سازه های مهم در شبکه های آبیاری و زهکشی حوضچه های آرامش می باشد که اغلب در انتهای شیب شکن ها احداث می گردند. عملکرد این سازه همانند سایر سازه های آبی به شدت متاثر از کیفیت و دقت در طراحی و تعیین مشخصات هیدرولیکی جریان می باشد. بطور معمول در انتهای شیب شکن و در محل اتصال کانال شیبدار با کانال افقی پرش هیدرولیکی ایجاد می شود. این موضوع به این علت است که در پایین دست این سازه، جریان آب سرعت زیادی

3- Akan

4- Adam et al.

1- Abbasi

2- Rahimi et al.

(ژاکین و شمس‌الدین^{۱۰}، ۲۰۰۶) با توجه به اینکه در منطق ریاضی آستانه تعریف به صورت عدد ارائه می‌شود، در منطق فازی این‌گونه نیست، در واقع در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها یک عنصر یا عضو مجموعه هست یا نیست و عضویت عناصر از صفر و یک و باینری تبعیت می‌کنند، ولی منطق فازی میزان تعلق هر پارامتر با متغیرهای توصیفی را ارائه می‌کند (کاسکو^{۱۱}، ۱۹۹۴). مدل استنتاج فازی یک مدل غیرخطی است که رابطه ورودی و خروجی یک سامانه واقعی را با استفاده از قوانین اگر-آنگاه فازی تعریف (ژاکین و شمس‌الدین، ۲۰۰۶). در سال ۱۹۹۳ میلادی جانگ مدل استنتاج عصبی- فازی را ارائه نمود که تطبیقی از شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی بود. هر دو مدل ذکر شده در مجموعه‌ای باهم کار می‌کنند و در نتیجه مدل انفیس^{۱۲} دارای ویژگی‌های خاص هر دو مدل است (شیراث و سین^{۱۳}، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه منطق فازی با توابع عضویت و شبکه عصبی با نرون‌ها کار می‌کنند، پارامترهای ورودی در ابتدا از توابع عضویت عبور کرده و مقدار عضویت پارامترهای ورودی با بازه‌های مختلف فازی مشخص می‌گردد. بازه‌ها را می‌توان به شکل‌های گوناگون با توجه به وجود توابع عضویت با شکل‌های مختلف اعم از مثلثی، ذوزنقه‌ای، گوسی و زنگوله‌ای شکل درآورد. با توجه به مطالعات گذشته تاکنون از سامانه استنتاج فازی و همچنین مدل فازی عصبی در پیش‌بینی خصوصیات پرش هیدرولیکی نوع B استفاده نشده است و لازم است تا کارایی این مدل‌ها سنجیده شود. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی کاربرد مدل‌های هوش مصنوعی سیستم استنتاج فازی - عصبی و سامانه استنتاج فازی با توجه عدم کارایی روش‌های دیگر در تعیین پارامتر خروجی عمق ثانویه و طول غلتاب در پرش هیدرولیکی نوع B می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو مدل سامانه استنتاج فازی، فازی - عصبی تطبیقی برای برآورد مشخصات پرش هیدرولیکی نوع B استفاده و مدل‌ها در محیط برنامه نویسی نرم افزار متلب کدنویسی شد. داده‌های آزمایشگاهی این تحقیق از مرجع (هاگر، ۱۹۸۸) و همچنین از داده‌های آزمایشگاهی مرجع (کاواگوشی و هاگر، ۱۹۹۰) برداشت شده است. در دو تحقیق یاد شده مطالعات روی پرش هیدرولیکی از نوع B برای دو شیب مختلف با زوایه‌های ۳۰ و ۴۵ درجه با دامنه‌های مختلفی از اعداد فرود بررسی شد. در مجموع تعداد داده‌های آزمایشگاهی این دو مطالعه ۳۲۷ مورد بود. در شکل (۱) تصویر پرش هیدرولیکی از نوع B مشاهده می‌شود. عمق ثانویه و طول پرش در این نوع پرش‌ها به عمق اولیه پرش (h_1)، سرعت اولیه (v_1)، ارتفاع از کف در نقطه پرش (z) و شیب تنداب ($\tan(\theta)$) وابسته است (یزداندوست و همکاران، ۲۰۰۷).

آرامش به درستی انجام گیرد تا از خروج آب و آبستگي ديواره خارجي جلوگیری به عمل آید. همچنین مشخص شدن اعماق مزدوج به منظور تعیین بارهای وارده و طراحی سازه‌ای دیوارها بسیار مهم است. با این وجود رویکرد نظری و تحلیلی مناسبی برای حل معادله مومنتوم برای بدست آوردن مشخصات پرش در این حالت وجود ندارد (کارالو و همکاران^۱، ۲۰۱۱). بنابراین در تحقیق حاضر برای رفع این مشکل از روش‌های هوشمند به جای استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی و فیزیکی، برای رسیدن به روشی مناسب برای پیش‌بینی مشخصات پرش هیدرولیکی نوع B استفاده شده است. مطالعه‌ای توسط بردلی و پیترکا^۲ (۱۹۵۷) درباره‌ی پرش هیدرولیکی نوع B انجام شد که برای عدد فرود بین ۲ و ۱۸ معتبر بود و آن‌ها توانستند روابط خاصی ارائه کنند. هاگر^۳ (۱۹۸۸) عمق ثانویه پرش را در پرش هیدرولیکی نوع B برای شیب ۴۵ درجه با اعمال اعداد فرود مختلف بررسی نمود. (کاواگوشی و هاگر^۴، ۱۹۹۰) طول غلتابی را برای شیب ۳۰ درجه با اعداد فرود مختلف بررسی نمودند. کارالو و همکاران (۲۰۱۱) پرش هیدرولیکی نوع B را در چهار زاویه مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار دادند و روابطی را برای زوایای مورد نظر ارائه نمودند. شکریان و بجستان (الف- ۱۳۹۳) نسبت عمق‌های مزدوج این نوع پرش هیدرولیکی را مورد بررسی قرار دادند و رابطه‌ای بدون بعد ارائه دادند. شکریان و بجستان (ب- ۱۳۹۳) تأثیر زبری را بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی نوع B مورد بررسی قرار دادند. از هوش مصنوعی در مباحث هیدرولیکی و هیدرولوژی استفاده‌های موثری شده است که از جمله موارد می‌توان به تحقیق کرباسی و آزاماتولا^۵ (۲۰۱۶) اشاره کرد که مشخصات پرش هیدرولیکی در بسترهای زبر را در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی مصنوعی مقایسه کردند که مدل برنامه‌ریزی بیان ژن نتایج بهتری را ارائه نمود. همچنین دورسان و همکاران^۶ (۲۰۱۲) از سیستم استنتاج فازی - عصبی برای پیش‌بینی ضریب دبی سرریز جانبی استفاده نمودند. اکیب و همکاران^۷ (۲۰۱۴) از سیستم استنتاج فازی - عصبی برای پیش‌بینی عمق آبستگي استفاده کردند. آزاماتولا و همکاران^۸ (۲۰۱۲) با استفاده از فازی عصبی مقدار رسوب انتقالی را به خوبی پیش‌بینی کردند. یزداندوست و همکاران^۹ (۲۰۰۷) برای پیش‌بینی عمق ثانویه پرش هیدرولیکی نوع B از شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. منطق فازی برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ میلادی ارائه شد تا نواقص منطق ریاضی که محدوده‌بندی خاصی برای پدیده‌ها قائل بود را حل نماید

- 1- Carollo *et al.*
- 2- Bradley and Peterka
- 3- Hager
- 4- Kawagoshi and Hager
- 5- Karbasi and Azamathulla.
- 6- Dursun *et al.*
- 7- Akib *et al.*
- 8- Azamathulla *et al.*
- 9- Yazdandoost *et al.*

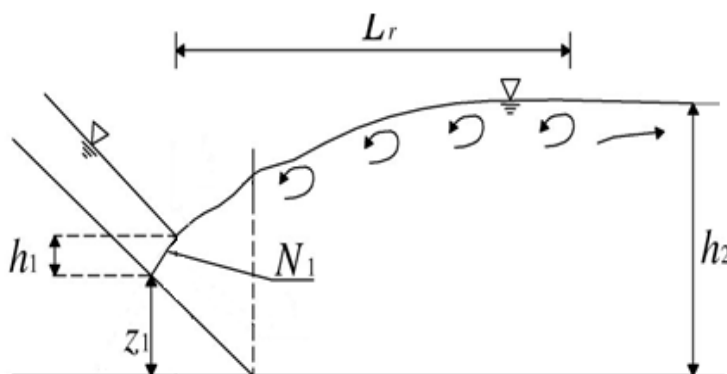
- 10- Jacquin and Shamseldin
- 11- kosko
- 12- ANFIS
- 13- Shirsath and Singh

سامانه استنتاج فازی

مدل استنتاج فازی یک مدل غیرخطی است که رابطه ورودی و خروجی یک سامانه واقعی را با استفاده از قوانین اگر-آنگاه فازی تعریف می‌کند. برای مدل‌سازی این سامانه ابتدا با نرمال کردن داده‌های آزمایشگاهی و با مقایسه بین داده‌ها روابط بین پارامترها کشف و قوانین فازی بیان شده ارائه و به دست آمد. در این تحقیق از الگوریتم حل ممدانی استفاده می‌شود. پارامترهای ورودی در پنج متغیر توصیفی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد برای عمق ثانویه و پنج متغیر توصیفی دیگر برای طول غلتاب برقرار شد. سپس با جستجو بین داده‌ها روابط بین اعضا کشف گردید و قوانین موجود به نگارش درآمد. قوانین برای عمق ثانویه به دست آمده از منطق فازی در جدول (۱) قابل مشاهده می‌باشد. در جدول (۲) نیز مقدار پیشنهادی مورد نظر برای هر یک از پارامترها شامل مرکز و واریانس مقادیر ورودی را می‌توان مشاهده نمود. همچنین به ترتیبی که عمل شد برای طول غلتاب نیز جدول (۳) و جدول (۴) ارائه می‌شود. با مشاهده این جدول‌ها می‌توان رابطه توصیفی و غیرریاضی بین متغیرها مشاهده نمود.

سامانه استنتاج فازی - عصبی

منطق فازی با توابع عضویت و شبکه عصبی با نرون‌ها کار می‌کند. پارامترهای ورودی در ابتدا از توابع عضویت عبور کرده و مقدار عضویت پارامترهای ورودی با بازه‌های مختلف فازی مشخص می‌گردد. در سیستم فازی عصبی، با استفاده از دو مدل شبکه عصبی و سامانه استنتاج فازی شبیه سازی انجام می‌شود. با توجه به مشکل سامانه استنتاج فازی در تعیین توابع عضویت از شبکه عصبی در این سیستم برای بهینه سازی توابع عضویت استفاده می‌شود. با توجه به شکل این ورودی‌ها از پنج لایه عبور کرده و پارامترهای ورودی در توابع عضویت طی فرآیند یادگیری تغییر می‌کنند. از الگوریتم نوع سوگینو برای این مدل در این تحقیق استفاده شد. ساختار مدل فازی - عصبی دارای پنج لایه است که هر کدام از لایه‌ها به ترتیب شامل گره‌های ورودی، گره‌های قاعده، گره‌های متوسط، گره‌های نتیجه و گره‌های خروجی می‌باشند. هر گره دارای تابعی با پارامترهای قابل تنظیم است.



شکل ۱- نمایی از پرش هیدرولیکی نوع B

جدول ۱- قوانین فازی برای شناسایی واکنش پارامتر هدف نسبت به تغییرات اعضا

سرعت	ارتفاع از کف	عمق اولیه	شیب	عمق ثانویه
کم	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
متوسط	کم	خیلی کم	کم	خیلی کم
خیلی کم	خیلی زیاد	متوسط	کم	زیاد
خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	کم	متوسط
زیاد	خیلی کم	کم	زیاد	کم

مهری و عباسی: بررسی امکان استفاده از مدل‌های هوشمند فازی...

جدول ۲- مقادیر پیشنهادی برای توابع عضویت مربوط به مرکز و واریانس فازها (عمق ثانویه پرش)

پارامتر	متغیر توصیفی	مرکز	واریانس
سرعت	خیلی کم	۰/۳	۰/۱
	کم	۰/۵	۰/۱
	متوسط	۰/۶	۰/۱
	زیاد	۰/۷	۰/۱
	خیلی زیاد	۰/۸	۰/۱
ارتفاع از کف (z)	خیلی کم	۰/۰۳	۰/۰۵
	کم	۰/۰۵	۰/۰۵
	متوسط	۰/۱	۰/۰۵
	زیاد	۰/۱۵	۰/۰۵
	خیلی زیاد	۰/۲	۰/۰۵
عمق اولیه پرش	خیلی کم	۰/۱	۰/۱
	کم	۰/۱۵	۰/۱
	متوسط	۰/۲	۰/۱
	زیاد	۰/۴	۰/۱
	خیلی زیاد	۰/۷	۰/۲
شیب سطح شیب‌دار	کم	۰	۰/۲
	زیاد	۰/۱	۰/۲
	خیلی کم	۰/۳	۰/۱
	کم	۰/۴	۰/۱
	متوسط	۰/۷	۰/۱
عمق ثانویه پرش هیدرولیکی	زیاد	۰/۷۵	۰/۱
	خیلی زیاد	۰/۸	۰/۱

جدول ۳- قوانین فازی جهت شناسایی واکنش پارامتر هدف نسبت به تغییرات اعضا

طول غلتاب	شیب	عمق اولیه	ارتفاع از کف	سرعت
خیلی کم	کم	خیلی کم	متوسط	متوسط
کم	زیاد	کم	خیلی کم	زیاد
زیاد	زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی کم
متوسط	زیاد	زیاد	کم	خیلی زیاد
خیلی زیاد	کم	خیلی زیاد	زیاد	کم

جدول ۴- مقادیر پیشنهادی برای توابع عضویت مربوط به مرکز و واریانس فازها (طول غلتاب)

پارمتر	متغیر توصیفی	مرکز	واریانس
سرعت	خیلی کم	۰/۴	۰/۱
	کم	۰/۵	۰/۱
	متوسط	۰/۶	۰/۱
	زیاد	۰/۷۵	۰/۱
	خیلی زیاد	۰/۸	۰/۱
ارتفاع از کف (z)	خیلی کم	۰/۰۱	۰/۰۵
	کم	۰/۰۵	۰/۰۵
	متوسط	۰/۱	۰/۰۵
	زیاد	۰/۱۵	۰/۰۵
	خیلی زیاد	۰/۲	۰/۰۵
عمق اولیه پرش هیدرولیکی	خیلی کم	۰/۱	۰/۱
	کم	۰/۱۵	۰/۱
	متوسط	۰/۲	۰/۱
	زیاد	۰/۴	۰/۱
	خیلی زیاد	۰/۵	۰/۱
زاویه سطح شیبدار	کم	۰	۰/۲
	زیاد	۰/۱	۰/۲
	خیلی کم	۰/۳	۰/۱
	کم	۰/۴	۰/۱
	متوسط	۰/۵	۰/۱
طول غلتاب	زیاد	۰/۶	۰/۱
	خیلی زیاد	۰/۸	۰/۱

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X - Y)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (2)$$

نتایج و بحث

برآورد خصوصیات پرش هیدرولیکی با استفاده از سامانه استنتاج فازی

با بهره‌گیری از الگوریتم تکرار شونده در سامانه استنتاج فازی مقادیر بهینه در توابع عضویت به دست آمد که در جدول‌های بهینه شده (۵) و (۶) به ترتیب برای عمق ثانویه و طول غلتاب ارائه می‌شود. با استفاده از این الگوریتم بهینه‌ترین مقدار برای تعیین مقدار توابع عضویت با گام‌های ۰/۰۰۱ استخراج می‌شود و در نهایت از روش مرکز جرم برای غیرفازی کردن در این تحقیق استفاده شد. مقادیر بهینه سبب ایجاد کمترین خطا در برآورد عمق ثانویه و طول غلتاب برای این نوع پرش هیدرولیکی شده است. همان‌طور که با مقایسه جدول (۵) و (۲) و همچنین جدول (۴) و (۶) مشاهده می‌شود، الگوریتم تکرار شونده سبب افزایش دقت یادگیری در مرحله آموزش و در نتیجه سبب می‌شود که مقدار مرکز و واریانس توابع عضویت به صورت بهینه ارائه شوند، به گونه‌ای که با مشاهده جدول (۵) و مقایسه آن با جدول (۲) و

پارامترهایی که به توابع عضویت ارتباط دارند در مرحله آموزش تغییر می‌یابند و محاسبه آن‌ها با استفاده از بردار گرادین می‌باشد به گونه‌ای که این بردار یک معیار مناسب برای اندازه‌گیری مطلوبیت مدل‌سازی پارامترها فراهم می‌آورد. پس از ایجاد بردار گرادین از مدل‌های بهینه‌سازی برای بهینه کردن پارامترها و به حداقل رساندن خطاها استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

عملکرد پیش‌بینی مشخصات پرش همه مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی که در آموزش از آن استفاده نشده بود، و بر اساس شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از جذر میانگین مربعات خط و ضریب تعیین استفاده شد. این شاخص‌ها مطابق روابط (۱) و (۲) می‌باشند که در آن X مقدار واقعی و Y مقدار پیش‌بینی شده است. با ارزیابی این شاخص‌ها برای هر یک از مدل‌های مورد بررسی، عملکرد و کارایی آنها مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

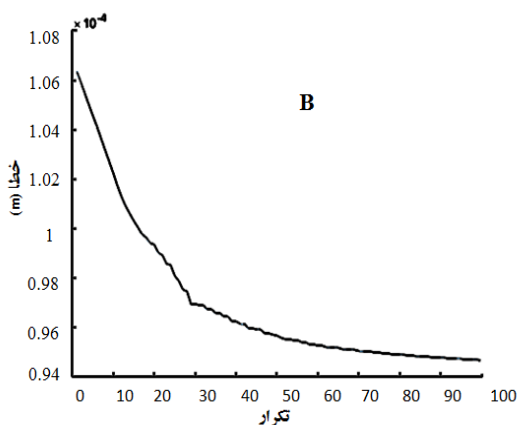
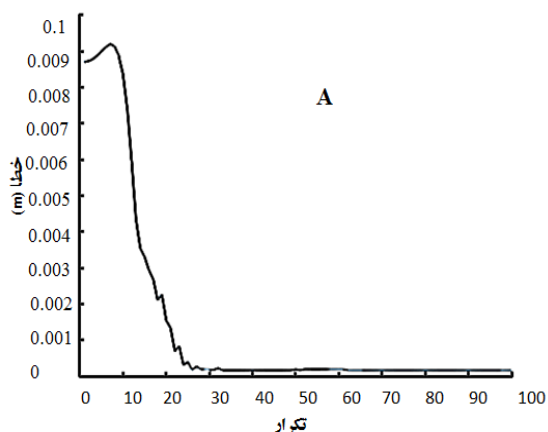
$$R^2 = \left(\frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}} \right)^2 \quad (1)$$

این مدل با مدل‌های شبکه عصبی در این مورد است که این مدل با افزایش تکرار خطای کمتری بعد از نوسانات ابتدایی در مراحل آموزش و آزمون پیدا می‌کند ولی شبکه عصبی که معمول‌ترین روش مدل‌های هوشمند است با افزایش تعداد نرون‌ها از یک مقدار به بعد دوباره دارای خطای بیشتری می‌گردد. همچنین در این تحقیق حدود ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد از داده‌ها در آزمون استفاده شدند. با توجه به شکل‌های (۲) و (۳) می‌توان نشان داد که مقدار خطا با استفاده از الگوریتم تکرار شونده در داده‌های آموزش و آزمون کاهش و به کمترین مقدار خود رسیده است.

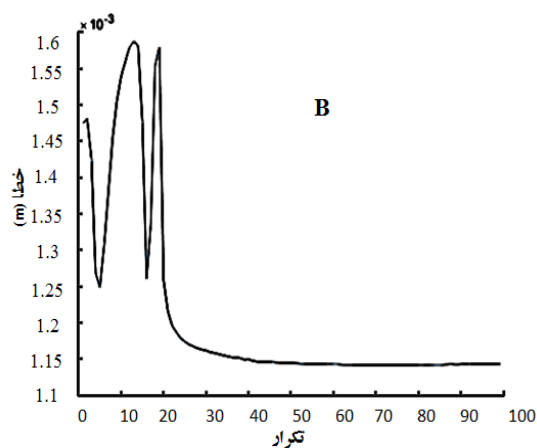
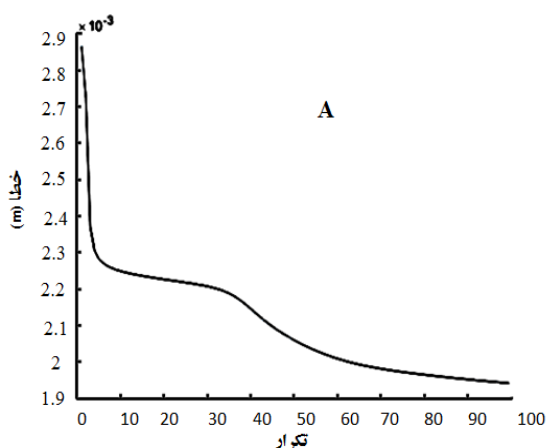
مقایسه جدول (۶) و جدول (۴) نحوه تغییرات در توابع عضویت قابل ملاحظه است.

برآورد خصوصیات پرش هیدرولیکی با استفاده از مدل فازی - عصبی تطبیقی

تفاوت استفاده از الگوریتم تکرار شونده در این مدل با سامانه استنتاج فازی، بهتر شدن یادگیری نرون‌ها است. توابع عضویت در این الگوریتم در هر گره در لایه دوم بهینه می‌شوند. برای این موضوع حلقه تکراری برای بهینه‌سازی پارامترهای پیش‌بینی آموزش و آزمون اضافه شد تا علاوه بر مشخص شدن تعداد تکرار مناسب، از زمان حل اضافی در مدل جلوگیری به عمل آید. تفاوت



شکل ۲- تعداد تکرارهای بهینه حلقه تکرار ایجاد شده سیستم فازی - عصبی مربوط، A: آزمون و B: آموزش در محاسبه عمق ثانویه



شکل ۳- تعداد تکرارهای بهینه حلقه تکرار ایجاد شده در برنامه در سیستم فازی - عصبی مربوط به، A: آموزش و B: آزمون در محاسبه طول غلتاب

جدول ۵- مقادیر بهینه شده توابع عضویت مربوط به مرکز و واریانس فازها (عمق ثانویه پرش)

پارامتر	متغیر توصیفی	مرکز	واریانس
سرعت	خیلی کم	۰/۴۵۲	۰/۱۱۹
	کم	۰/۶۱۱	۰/۰۹۵۳
	متوسط	۰/۶۲۸	۰/۰۹۹
	زیاد	۰/۷۷۴	۰/۱۰۱
	خیلی زیاد	۰/۸۲۰	۰/۱۱۱
ارتفاع از کف (z)	خیلی کم	۰/۰۳	۰/۰۳۰
	کم	۰/۰۷۵	۰/۰۲۸
	متوسط	۰/۹۴۳	۰/۰۲۸۵
	زیاد	۰/۱۲۲	۰/۰۲۷۶
	خیلی زیاد	۰/۱۵۴	۰/۰۳۲
عمق اولیه پرش هیدرولیکی	خیلی کم	۰/۱۲۵	۰/۱۰۷
	کم	۰/۱۴۳	۰/۰۹۷
	متوسط	۰/۱۸۹	۰/۰۹۸
	زیاد	۰/۴۸۰	۰/۱۳۶
	خیلی زیاد	۰/۵۹۱	۰/۱۵۸
زاویه سطح شیبدار	کم	۰/۰۰۴	۰/۲۰۷
	زیاد	۰/۹۸۷	۰/۱۷۰
	خیلی کم	۰/۳۴۴	۰/۱۴۷
	کم	۰/۳۶۷	۰/۱۲۹۰
	متوسط	۰/۶۹۲	۰/۰۹۹
عمق ثانویه پرش هیدرولیکی	زیاد	۰/۷۰۹	۰/۱۰۴
	خیلی زیاد	۰/۷۵۴	۰/۱۰۵

جدول ۶- مقادیر بهینه شده توابع عضویت مربوط به مرکز و واریانس فازها (طول غلتاب)

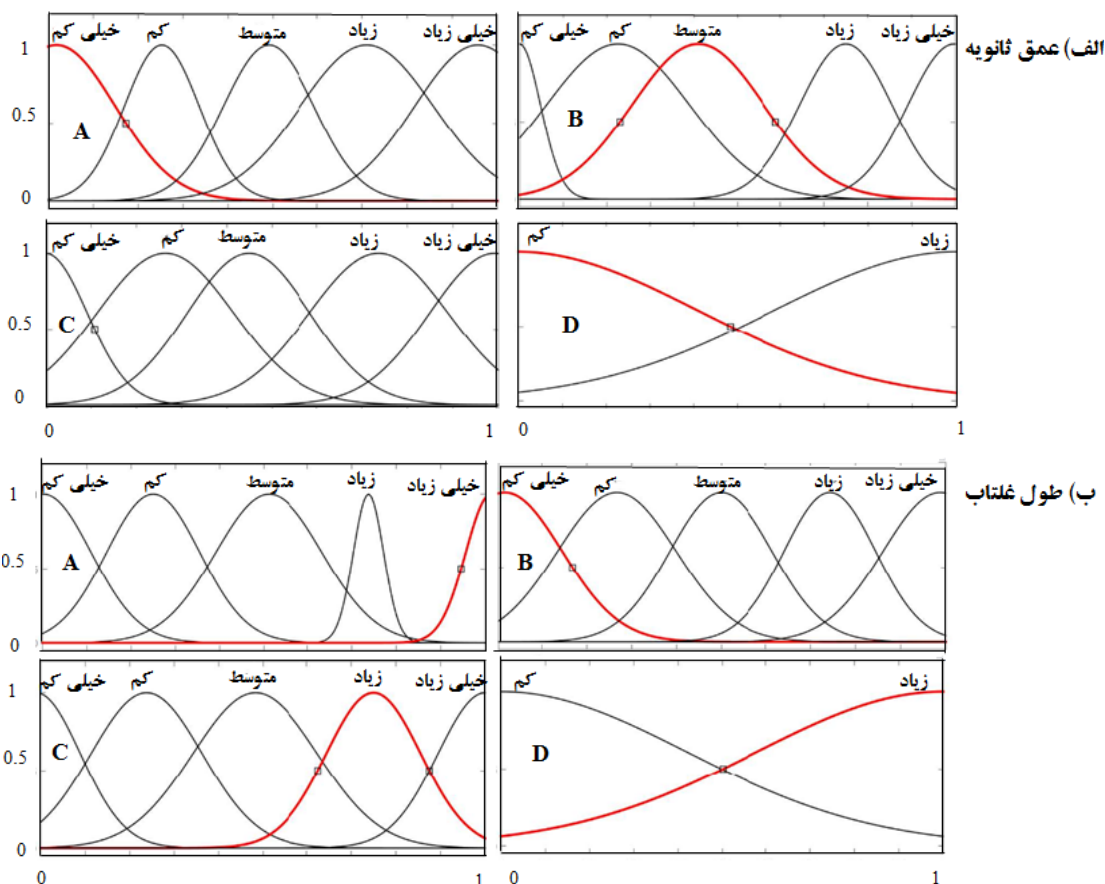
پارامتر	متغیر توصیفی	مرکز	واریانس
سرعت	خیلی کم	۰/۳۷۵	۰/۱۳۱
	کم	۰/۵۱۷	۰/۱۱۶
	متوسط	۰/۶۶۲	۰/۰۹۲
	زیاد	۰/۷۴۹	۰/۰۸۹
	خیلی زیاد	۰/۸۰۴	۰/۱۱۹
ارتفاع از کف (z)	خیلی کم	۰/۰۶	۰/۰۲۸
	کم	۰/۰۷۳	۰/۰۳۰
	متوسط	۰/۰۸	۰/۰۲۳
	زیاد	۰/۱۳۱	۰/۰۲۹
	خیلی زیاد	۰/۱۶۱	۰/۰۳۰
عمق اولیه پرش هیدرولیکی	خیلی کم	۰/۱۰۰۴	۰/۱۱۲
	کم	۰/۱۶۴۸	۰/۱۰۰۸۵
	متوسط	۰/۲۲۵	۰/۰۹۶
	زیاد	۰/۴۳۳	۰/۱۲۲
	خیلی زیاد	۰/۶۹۲	۰/۱۷۷
زاویه سطح شیبدار	کم	۰/۰۱۱	۰/۲۰۷
	زیاد	۰/۹۹۶	۰/۱۷۱
	خیلی کم	۰/۲۴۷	۰/۱۴۶
	کم	۰/۵۴۱	۰/۱۰۷
	متوسط	۰/۵۹۶	۰/۰۸۸
طول غلتاب	زیاد	۰/۶۶۲	۰/۱۱۰
	خیلی زیاد	۰/۶۷۷	۰/۱۰۰

همچنین شکل (۴) نحوه تغییرات توابع عضویت نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد که برای همه پارامترها در پنج متغیر توصیفی و در پارامتر زاویه ورودی سطح شیب دو پارامتر ورودی انتخاب شده است. این توابع نشان می‌دهد که شبکه عصبی توانایی بالایی در حالت قرارگیری توابع عضویت را دارا است.

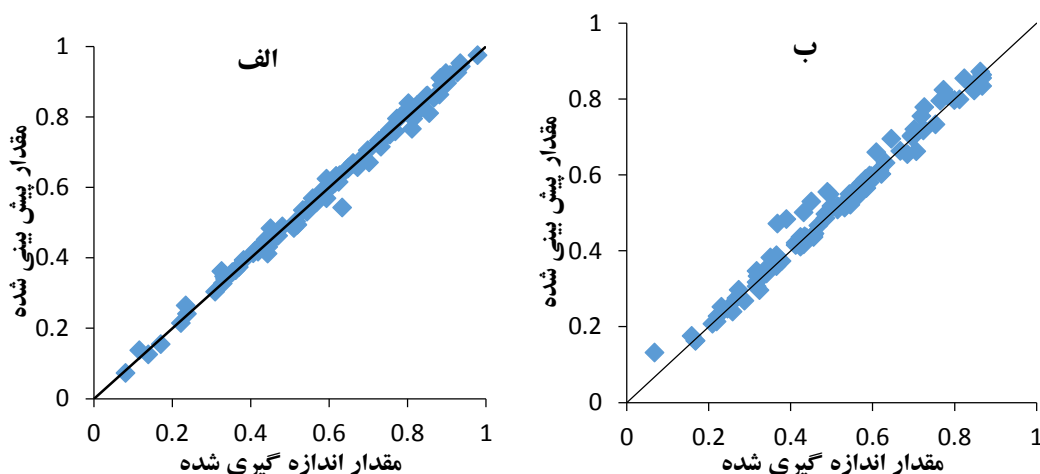
با مشاهده شکل (۲) مقدار بهینه تکرارها در مرحله آموزش و مرحله آزمون برای بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها برای پیش‌بینی عمق ثانویه پرش تعیین شد، به گونه‌ای که در پرش هیدرولیکی تعداد تکرارها بهینه برای مقدار خطای بهینه در مرحله آموزش را برابر ۹۰ تکرار است. همچنین در مرحله آزمون مقدار تکرار بهینه در حلقه تکرار برای عمق ثانویه پرش مقدار ۴۰ انتخاب می‌شود.

جدول ۷- مقایسه روش‌های استفاده شده در پیش‌بینی پارامترهای پرش هیدرولیکی

روش	خروجی	ضریب تعیین	خطا
سامانه استنتاج فازی عصبی	h_2	۰/۹۹۷	۰/۰۱۴
	L_r	۰/۹۸۳	۰/۰۳۳
سامانه استنتاج فازی	h_2	۰/۷۲۳	۰/۱۲۵
	L_r	۰/۷۲۱	۰/۱۴۳
هاگر (۱۹۸۸)	h_2	۰/۹۵۸	۰/۰۲۲
	L_r	۰/۹۳۱	۰/۲۰۳
کاوگوشی و هاگر (۱۹۹۰)	h_2	۰/۹۷۹	۰/۰۳۹
	L_r	۰/۹۶۷	۰/۱۹۲



شکل ۴- نحوه تغییرات توابع عضویت تعیین شده در سیستم استنتاج فازی-عصبی، A: متغیر سرعت، B: متغیر ارتفاع از کف، C: متغیر ارتفاع اولیه پرش هیدرولیکی و D: زاویه سطح شیب دار



شکل ۵- رابطه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای الف) عمق ثانویه پرش و ب) طول غلتاب

نتیجه‌گیری

در این مطالعه دو مدل هوشمند سامانه استنتاج فازی و سیستم استنتاج فازی-عصبی برای پیش‌بینی عمق ثانویه و طول غلتاب در پرش هیدرولیکی نوع B استفاده شده است. از نتایج این پژوهش عملکرد مناسب سیستم استنتاج فازی - عصبی در پیش‌بینی پارامترهای پرش هیدرولیکی در شرایط مختلف آزمایشگاهی است. انعطاف‌پذیری این مدل نسبت به مدل سامانه استنتاج فازی بیشتر است و اختیار بیشتری در این مدل برای انتخاب توابع فازی وجود دارد. با این وجود این مدل به مجموعه‌ای بزرگ از داده نیاز دارد تا بتوان آموزش لازم را بر پیش‌بینی انجام داد. برای بهینه‌سازی از الگوریتم تکرار شونده با حلقه‌های تکرار برای محاسبه در قسمت آموزش و آزمون استفاده شد که دقت مدل را افزایش داد. حجم محاسبات در این سیستم سنگین و زمان‌بر است با این حال بهینه‌سازی انجام شده توسط الگوریتم تکرار شونده در مدل سامانه استنتاج فازی مفید واقع شد. همچنین شبکه عصبی به تنهایی قادر به مدل‌سازی همه پدیده‌ها نیست زیرا در آن مدل‌سازی با محوریت داده‌ها انجام می‌شود ولی در دو مدل سامانه استنتاج فازی و فازی عصبی تطبیقی روابط بین پارامترهای تاثیرگذار و تاثیرپذیر کشف می‌شود و این مدل‌ها قطعیت بیشتری نسبت به شبکه عصبی دارند و خطاهای موجود در آزمایش و داده برداری را به حداقل می‌رسانند. با توجه به دقت ارائه شده در این تحقیق مدل فازی - عصبی مدلی کارآمدتر نسبت به سامانه استنتاج فازی برای پیش‌بینی خصوصیات جریان در پرش هیدرولیکی نوع B است.

شکل (۵) دقت مدل فازی عصبی را در پیش‌بینی عمق ثانویه و طول غلتاب پرش هیدرولیکی نوع B را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است نحوه تغییرات داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده را می‌توان مشاهده نمود.

مقایسه کارایی و عملکرد مدل‌ها

به طور کلی در تحقیق حاضر از مدل‌های سامانه استنتاج فازی و فازی عصبی تطبیقی استفاده شد و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. پس از محاسبه مشخصات پرش بر اساس مدل‌های مختلف نتایج حاصل از آنها با استفاده از شاخص‌های آماری مورد مقایسه قرار گرفت. جدول (۷) عملکرد مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق و همچنین روابط رگرسیونی ارائه شده در تحقیق‌های انجام شده را نشان می‌دهد. در بین مدل‌های مورد استفاده مدل فازی عصبی به عنوان بهترین مدل معرفی می‌گردد. سامانه استنتاج فازی علی‌رغم بهینه‌سازی انجام شده در آن دقت پایین‌تری نسبت به مدل فازی عصبی دارد. حجم محاسبات در سامانه استنتاج فازی سنگین و پیچیده است که برخلاف آن سامانه استنتاج فازی - عصبی با توجه به اینکه از دو مدل شبکه عصبی و سامانه استنتاج فازی بهره می‌گیرد مشکلات موجود در دو مدل شبکه عصبی و سامانه استنتاج فازی را رفع نموده است و با ترکیب این دو مدل با دقت بالا نسبت به دو مدل دیگر، محاسبات سریع‌تر و فاقد معایب آن‌ها می‌باشد. از معایب مدل رگرسیونی محدود بودن رابطه‌ی ارائه شده در دامنه مطالعاتی مربوط به همان تحقیق است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود سیستم استنتاج فازی-عصبی از مدل‌های رگرسیونی ارائه شده توسط محققان دارای دقت بالاتری است.

منابع

- ۱- شکریان، م. و م. شفاعة بجستان. ۱۳۹۳. اثر ارتفاع زبری بستر تندآب بر خصوصیات پرش نوع B. مجله علمی پژوهشی آب و خاک، (۳): ۲۴-۲۱۵.
- ۲- شکریان، م. و م. شفاعة بجستان. ۱۳۹۳. برآورد نسبت عمق‌های مزدوج پرش هیدرولیکی نوع B بر روی بستر صاف. مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری، (۳): ۳۷-۳۲.
- 3- Abbasi, N. 2011. The role of anions in dispersion potential of clayey soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3), IAERI, 12(3): 15-30.
- 4- Adam, A., M. Ruff, J. F., AlQaser, G. and S.R. Abt. 1993. Characteristics of B-jump with different toe locations. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(8): 938-948.
- 5- Akan, A.O. 2011. *Open channel hydraulics*. Butterworth-Heinemann.
- 6- Akib, S., Mohammadhassani, M. and A. Jahangirzadeh. 2014. Application of ANFIS and LR in prediction of scour depth in bridges. *Computers & Fluids*, 91: 77-86.
- 7- Azamathulla, H.M., Ghani, A.A. and S. Y. Fei. 2012. ANFIS-based approach for predicting sediment transport in clean sewer. *Applied Soft Computing*, 12(3): 1227-1230.
- 8- Bradley, J.N. and A. J. Peterka. 1957. The hydraulic design of stilling basins: hydraulic jumps on a horizontal apron (basin i). *Journal of the Hydraulics Division*, 83(5): 1-24.
- 9- Carollo, F.G., Ferro, V. and V. Pampalone. 2011. Sequent depth ratio of a B-jump. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(6): 651-658.
- 10- Dursun, O.F., Kaya, N. and M. Firat. 2012. Estimating discharge coefficient of semi-elliptical side weir using ANFIS. *Journal of Hydrology*, 426: 55-62.
- 11- Hager, W.H. 1988. B-jump in sloping channel. *Journal of Hydraulic Research*, 26(5): 539-558.
- 12- Jacquin, A.P. and A. Y. Shamseldin. 2006. Development of rainfall-runoff models using Takagi-Sugeno fuzzy inference systems. *Journal of Hydrology*, 329(1): 154-173.
- 13- Karbasi, M. and H. M. Azamathulla. 2016. GEP to predict characteristics of a hydraulic jump over a rough bed. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(7): 3006-3011.
- 14- Kawagoshi, N. and W. H. Hager. 1990. B-jump in sloping channel, II. *Journal of Hydraulic Research*, 28(4): 461-480.
- 15- Kosko, B. 1994. Fuzzy systems as universal approximators. *IEEE Transactions on Computers*, 43(11):1329-1333.
- 16- Rahimi, H., Abbasi, N. and H. Shantia. 2011. Application of geomembrane to control piping of sandy soil under concrete canal lining (case study: Moghan irrigation project, Iran). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 60: 330-337.
- 17- Shirsath, P.B. and A. K. Singh. 2010. A comparative study of daily pan evaporation estimation using ANN, regression and climate based models. *Water Resources Management*, 24(8): 1571-1581.
- 18- Yazdandoost, F.Y., Bateni, S.M. and M. Fazeli. 2007. B-Jump: Roller length, sequent depth, and relative energy loss using Artificial Neural Networks. *Journal of Hydraulic Research*, 45(4): 529-537.


EXTENDED ABSTRACT

An Assessment of using intelligence fuzzy models to estimate the Sequent Depth and roller length of B-type hydraulic jump

Y. Mehri¹ and N. Abbasi^{2*}

1 -MSc. Student, Abbozeyhan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.

2* - Corresponding Author, Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (*nader_iaeri@yahoo.com*)

Received: 3 December 2016

Accepted: 10 April 2017

Keywords: Fuzzy logic, Hydraulic jump, Forecasting, Energy Dissipation, Intelligence models.

Introduction

Development of irrigation and drainage networks is known as one of the most effective approaches for the optimal use of limited water resources (Abbasi., 2011). But many of the constructed networks suffer from different problems which raised from different reasons. Rahimi et al. (2011) categorized these reasons as; poor design, improper construction operation, low quality of construction materials, poor operation and maintenance, and geotechnical problems of the subgrade materials. Stilling basins are commonly used structures in order to dissipate the energy in downstream of chutes. In general, a hydraulic jump would be created at the end of the chute. The B-type hydraulic jump takes place on the positively inclined plane of a chute under particular conditions. In this condition, determination of the secondary depth and the length of the roller is essential for protecting the structures. Since there is no proper analytical method to solve the momentum equation for the mentioned condition, using of different smart techniques such as artificial intelligence was considered recently. Caralo et al. (2011) developed different models for determination of the flow characteristics for B-type hydraulic jump. Dusan et al. 2012 presented a neo- Fuzzy system for predicting the weir coefficient. Akib et al. (2014) predicted the scouring depth by using of neo- Fuzzy system. Azamathulla et al. (2012) developed a neo-fuzzy system for prediction of the sediment transport. In this research, the application of two intelligence methods including Neuro - Fuzzy Inference System and fuzzy inference system were investigated.

Materials and methods

In this research the application of artificial intelligence neuro - fuzzy inference and fuzzy inference systems were discussed for determination of the secondary depth and the length of B-type hydraulic jump. For this purpose,, the models were codified in the programming software of MATLAB. The B-type hydraulic jump is shown in Fig.1 schematically. In such a hydraulic jump the roller length (L_r) and sequent depth (h_2) is depended on inflow depth (h_1), approach velocity (v_1), elevation of jump toe from the datum plane (z_1) and the upstream bed slope ($\tan(\theta)$).

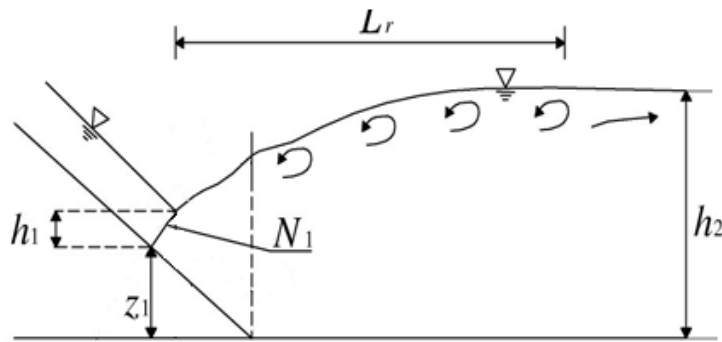


Figure 1- A schematic view of the B Type hydraulic jump

Statistical analysis was made for the evaluation of the reliability of the models. For this purpose, Statistical indices including Coefficient of Determination (R^2), and Root Mean Square Error (RMSE), were used which can be defined as:

$$R^2 = \left(\frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}} \right)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X - Y)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (2)$$

Results and Discussion

The data used for modeling were normalized and selected randomly. Then two models were developed by artificial intelligence Neuro - Fuzzy Inference System and fuzzy inference system. The results obtained from the models developed in this study were compared with the results of the other models presented in table 1. In this study, 70 percent of the data were used for training and the other 30 percent of them were used for testing of the models. As it is obvious from Table 1 and based on the statistical indices it is concluded that the results of models developed in this study are more reliable in comparison with the regression model presented in this study.

Table 1- Model Comparison

	Output	RMSE	R^2
ANFIS (GAUSSIAN)	h_2	0.014	0.997
	L_r	0.033	0.983
Fuzzy	h_2	0.125	0.723
	L_r	0.143	0.721
Hager (1988)	h_2	0.022	0.957
	L_r	0.203	0.931
Kawagoshi and Hager (1990)	h_2	0.039	0.979
	L_r	0.192	0.967

Conclusions

Based on the overall results obtained from this study it was concluded that the artificial intelligence methods can predict the flow characteristics of hydraulic jump successfully. Also, it was found that the results of Neuro-Fuzzy Inference System model are more reliable than Fuzzy inference

system. Finally, the Neuro-Fuzzy Inference System model was suggested as a reliable method for the flow hydraulic characteristics determination in B type hydraulic jump.

References

- 1- Abbasi, N. 2011. The role of anions in dispersion potential of clayey soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3), IAERI, 12(3): 15-30.
- 2- Carollo, F.G., Ferro, V. and V. Pampalone. 2011. Sequent depth ratio of a B-jump. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(6): 651-658.
- 3- Dursun, O.F., Kaya, N. and M. Firat. 2012. Estimating discharge coefficient of semi-elliptical side weir using ANFIS. *Journal of hydrology*, 426: 55-62.
- 4- Hager, W.H. 1988. B-jump in sloping channel. *Journal of Hydraulic Research*, 26(5): 539-558.
- 5- Karbasi, M. and H. M. Azamathulla. 2016. GEP to predict characteristics of a hydraulic jump over a rough bed. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(7): 3006-3011.
- 6- Kawagoshi, N. and W. H. Hager. 1990. B-jump in sloping channel, II. *Journal of Hydraulic Research*, 28(4): 461-480.
- 7- Rahimi, H., Abbasi, N. and H. Shantia. 2011. Application of geomembrane to control piping of sandy soil under concrete canal lining (case study: Moghan irrigation project, Iran). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 60: 330-337.
- 8- Yazdandoost, F.Y., Bateni, S.M. and M. Fazeli. 2007. B-Jump: Roller length, sequent depth, and relative energy loss using Artificial Neural Networks. *Journal of Hydraulic Research*, 45(4): 529-537.