بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده منابع طبیعی

گروه مهندسی آبخیزداری

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری

مدل‌سازی رابطه دبی-اشل با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و رگرسیون در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج

نگارش

ابراهیم کهنهء

استاد راهنما

دکتر مهدی وفاخواه

بهمن ۱۳۹۱

باسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

دانشکده منابع طبیعی

بدین وسیله گواهی می‌شود آقای **ابراهیم کهنهء** دانشجوی رشته **مهندسی آبخیزداری** در تاریخ **۱۳۹۱/۱۱/۱٤** از پایان نامه ٦ واحدی خود با عنوان: **مدل‌سازی رابطه دبی-اشل با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و رگرسیون در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج**، دفاع کرده است. اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا بررسی کرده و پذیرش آنرا برای دریافت درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنمای اصلی	دکترمهدی وفاخواه	استادیار	
استاد ناظر (داخلی)	دکترسیدحمیدرضا صادقی	استاد	
استاد ناظر (داخلی)	دکترحمیدرضا مرادی	دانشیار	
استاد ناظر (خارجی)	دکترمحمود حبیب نژاد	دانشیار	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتررضا عرفانزاده	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهش‌گران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/رساله و درآمدهای حاصل از آن‌ها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/رساله به‌صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به‌نام دانشگاه بوده و با تأیید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به‌صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم‌افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایش‌نامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تأیید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **ابراهیم کهنهء** دانشجوی رشته **مهندسی آبخیزداری** ورودی سال تحصیلی **۹۰-۱۳۸۹** مقطع **کارشناسی ارشد** دانشکده **منابع طبیعی** متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آیین‌نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع به‌نام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به‌نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدین‌وسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

نام و نام خانوادگی: **ابراهیم کهنهء**
تاریخ و امضا: ۱۳۹۱/۱۱/۱۴

آیین‌نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به این‌که چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به‌طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مهندسی آبخیزداری** است که در سال **۱۳۹۱** در **دانشکده منابع طبیعی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر **مهدی وفاخواه** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به‌عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به‌علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب **ابراهیم کهنهء** دانشجوی رشته **مهندسی آبخیزداری** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن‌را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: **ابراهیم کهنهء**

تاریخ و امضا: ۱۳۹۱/۱۱/۱۴

تقدیم به:

دو موجود مقدس،

آنان که ناتوان شدند تا من به توانایی برسم،

موهایشان سپید شد تا من در اجتماع رو سپید شوم و

عاشقانه سوختند تا روشنگر راهم باشند و گرمابخش وجودم. پدر و مادر عزیزم

خواهر عزیزم:

که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است.

برادران بزرگوارم:

محمّد جواد، فرج الله و مسیح الله که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند

و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

تقدیم به همسر عزیزتر از جانم:

که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد،

و او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

تقدیر و تشکر

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق»

بسی شایسته است از زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند استاد بزرگوار و گرامی ام جناب آقای دکتر مهدی وفاخواه نهایت تقدیر و تشکر را داشته باشم.

از اساتید محترم داور پایان نامه جناب آقایان دکتر سیّد حمیدرضا صادقی، دکتر حمیدرضا مرادی و دکتر محمود حبیب نژاد به دلیل مطالعه ی دقیق و ارائه نقطه نظرات ارزشمند خویش و هم چنین جناب آقای دکتر رضا عرفانزاده نماینده ی محترم تحصیلات تکمیلی نهایت تقدیر و سپاسگزاری را دارم.

تشکر ویژه ای دارم از دوستان بزرگوارم جناب آقایان مهندس حسین خیرفام، مهندس باقر شیرمحمدی، مهندس ولی رضایی، نعمت الله حمیدی و مهندس سیّد مرتضی عراقی که در انجام نمونه برداری یار و یاورم بوده اند.

هم چنین زحمات کارشناسان محترم آزمایشگاه جناب آقای مهندس بور و سرکار خانم مهندس قنبری هم چنین جناب آقایان دکتر عبدالواحد خالدی، مهندس حمزه نور، مهندس رئوف مصطفی زاده، مهندس سیّد وحید موسوی، مهندس نوید دهقانی، مهندس غلامعلی غفاری، سرکار خانم ها توانگر و نوری در خور تقدیر است.

از کارشناسان محترم سازمان امور آب منطقه ای استان مازندران جناب آقایان مهندس خدابخشی، مهندس فرهادیان، مهندس حسین شوشی و مهندس بهرام امیری بشلی که در جمع آوری اطلاعات مورد نیاز این تحقیق و هم چنین از راننده محترم و زحمتکش جناب آقای حیدری که در انجام نمونه برداری مرا یاری نمودند، کمال تشکر و سپاس را دارم.

چکیده

تعیین متغیرهای هیدرولوژی از دید ایمنی، جنبه اقتصادی طرح و عملکرد سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از متغیرهای مهم در این زمینه دبی جریان است که اندازه‌گیری دائمی آن در ایستگاه‌های هیدرومتری مخصوصاً در مواقع سیلابی غالباً پر هزینه و مشکل می‌باشد. در این تحقیق رابطه دبی-اشل با استفاده از آمار دبی و اشل سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج با مساحت حدود ۱۰۴۰۰ هکتار واقع در استان مازندران تهیه گردید. برای مدل‌سازی رابطه دبی-اشل مدل‌های ریاضی و هوشمند متعددی توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی، منطق فازی و رگرسیون با ترکیب‌های مختلف ورودی اشل و رابطه دبی-اشل مرسوم برای مدل‌سازی رابطه دبی-اشل استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های هوش مصنوعی نسبت به رگرسیون و رابطه دبی-اشل مرسوم برتری داشته و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی به‌عنوان برترین روش مدل‌سازی رابطه دبی-اشل می‌باشد. با توجه به نتایج مرحله آزمون سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی با تفکیک شبکه‌ای، مناسب‌ترین رابطه دبی-اشل با سه متغیر ورودی اشل همان روز، اشل یک روز قبل و اشل دو روز قبل با ضریب کارایی ۰/۹۶، ضریب تعیین ۰/۹۸ و ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۰۶۵ متر مکعب در ثانیه ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی، منطق فازی، رابطه دبی-اشل، ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۱-۱ ضرورت تحقیق ۳

۱-۱-۲ اهداف تحقیق ۴

۱-۱-۳ سؤال‌های تحقیق ۴

۱-۱-۴ فرضیه‌های تحقیق ۵

۱-۲ مفاهیم ۵

۱-۲-۱ مدل ۵

۱-۲-۲ آب‌سنجی ۶

۱-۲-۳ عمق جریان ۶

۱-۲-۴ سطح مقطع جریان ۶

۱-۲-۵ دبی جریان ۶

۱-۲-۶ سرعت‌سنج ۶

۱-۲-۷ منحنی سنجه آب ۷

۱-۲-۸ روش سرعت سطح مقطع در اندازه‌گیری دبی ۹

۱-۲-۸-۱ روش میانگین مقطع ۹

۱-۲-۸-۲ روش میان مقطع ۱۰

۱-۲-۹ آزمون گاما ۱۰

۱-۲-۱۰ شبکه عصبی مصنوعی ۱۳

۱-۲-۱۰-۱ تعریف و مزایای شبکه عصبی مصنوعی ۱۳

۱-۲-۱۰-۲ شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) ۱۳

۱-۲-۱۰-۳ تابع انتقال ۱۴

۱-۲-۱۰-۴ تابع خطی ۱۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۲-۱۰-۵ تابع سیگموئید ۱۵

۱-۲-۱۰-۶ تابع تانژانت هیپربولیک ۱۵

۱-۲-۱۱ منطق فازی ۱۵

۱-۲-۱۲ مقایسه مجموعه‌های کلاسیک و فازی ۱۸

۱-۲-۱۳ تابع عضویت ۱۹

۱-۲-۱۴ فازی‌سازها ۲۰

۱-۲-۱۵ غیر فازی‌سازها ۲۱

۱-۲-۱۵-۱ اصل ماکزیمم عضویت ۲۲

۱-۲-۱۵-۲ روش مرکز سطح ۲۲

۱-۲-۱۵-۳ روش میانگین وزنی ۲۲

۱-۲-۱۵-۴ روش میانه ماکزیمم ۲۲

۱-۲-۱۵-۵ روش مرکز مجموع‌ها ۲۳

۱-۲-۱۶ سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) ۲۳

۱-۲-۱۶-۱ ساختار ANFIS ۲۵

۱-۲-۱۷ رگرسیون ۲۶

فصل دوم: پیشینه تحقیق

۲-۱ مقدمه ۲۹

۲-۲ مروری بر تحقیقات انجام شده در خارج از کشور ۲۹

۲-۳ مروری بر تحقیقات انجام شده در داخل کشور ۳۲

۲-۴ جمع‌بندی ۳۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مقدمه ۳۶

۳-۲ منطقه مورد مطالعه ۳۶

۳-۳ روش انجام تحقیق ۴۰

۳-۳-۱ شناسایی و انتخاب ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۴۱

۳-۳-۲ جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ۴۱

۳-۳-۲-۱ تعیین سرعت جریان ۴۱

۳-۳-۲-۲ تعیین دبی جریان ۴۳

۳-۳-۳ آزمون گاما ۴۶

۳-۳-۴ تابع خودهمبستگی جزئی ۴۶

۳-۳-۵ مدل‌سازی رابطه دبی-اشل ۴۶

۳-۳-۶ روش‌های هوش مصنوعی ۴۷

۳-۳-۶-۱ شبکه عصبی مصنوعی ۴۷

۳-۳-۶-۲ سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) ۴۸

۳-۳-۶-۳ منطق فازی ۵۰

۳-۳-۷ تعیین روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته ۵۰

۳-۳-۷-۱ رگرسیون دو متغیره ۵۱

۳-۳-۷-۲ رگرسیون خطی چند متغیره ۵۲

۳-۳-۷-۳ رابطه دبی-اشل مرسوم ۵۳

۳-۳-۸ نمایه‌های ارزیابی عملکرد مدل‌ها ۵۴

فصل چهارم: نتایج

۴-۱ مقدمه ۵۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۴-۲ جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ۵۸

۴-۳ آزمون گاما ۶۰

۴-۴ تعیین ساختارهای متفاوت به منظور تعیین رابطه دبی-اشل ۶۱

۴-۵ نتایج شبکه عصبی مصنوعی در تعیین رابطه دبی-اشل ۶۲

۴-۶ نتایج سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) در تعیین رابطه دبی-اشل ۶۵

۴-۶-۱ روش تفکیک شبکه‌ای ۶۵

۴-۶-۲ روش تفکیک خوشه‌ای ۶۸

۴-۷ نتایج منطق فازی در تعیین رابطه دبی-اشل ۷۱

۴-۸ نتایج رگرسیون دو و چند متغیره در تعیین رابطه دبی-اشل ۷۷

۴-۹ رابطه دبی-اشل مرسوم ۸۰

۴-۱۰ مقایسه رابطه دبی-اشل مرسوم با روش‌های هوش مصنوعی و رگرسیون ۸۲

فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ مقدمه ۸۸

۵-۲ بحث ۸۸

۵-۳ نتیجه‌گیری ۹۶

۵-۴ آزمون فرضیه‌ها ۹۶

۵-۵ پیشنهادها ۹۷

منابع مورد استفاده ۹۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ مشخصات فیزیوگرافی حوزه آبخیز لاویج‌رود ۳۹

جدول ۳-۲ خصوصیات آب و هوایی حوزه آبخیز لاویج‌رود در طول دوره آماری (۷۰-۱۳۴۰) ۴۰

جدول ۳-۳ دبی متوسط ماهانه و سالانه ایستگاه تنگه لاویج در طول دوره آماری (۷۰-۱۳۴۰) ۴۰

جدول ۴-۱ آمار توصیفی متغیرهای دبی و اشل سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ ایستگاه تنگه لاویج ۵۹

جدول ۴-۲ نتایج شبکه عصبی مصنوعی با تابع تانژانت هیپربولیک در تعیین رابطه دبی-اشل ۶۲

جدول ۴-۳ نتایج شبکه عصبی مصنوعی با تابع سیگموئید در تعیین رابطه دبی-اشل ۶۳

جدول ۴-۴ نتایج مقایسه چهار تابع عضویت در روش تفکیک شبکه‌ای با متغیر ورودی H_t ۶۶

جدول ۴-۵ نتایج مقایسه چهار تابع عضویت در روش تفکیک شبکه‌ای با متغیر ورودی H_t و H_{t-1} ۶۶

جدول ۴-۶ نتایج مقایسه چهار تابع عضویت در روش تفکیک شبکه‌ای با متغیر ورودی H_t، H_{t-1} و H_{t-2} ۶۶

جدول ۴-۷ نتایج روابط دبی-اشل با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) با روش تفکیک شبکه‌ای ۶۷

جدول ۴-۸ انتخاب شعاع تأثیر، تعداد توابع عضویت و تکرار بهینه سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) با روش تفکیک خوشه‌ای ۶۸

جدول ۴-۹ نتایج روابط دبی-اشل با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) با روش تفکیک خوشه‌ای ۶۹

جدول ۴-۱۰ قوانین فازی مدل فازی $Q_t = f(H_t)$ در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۷۳

جدول ۴-۱۱ قوانین فازی مدل فازی $Q_t = f(H_t, H_{t-1})$ در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۷۴

جدول ۴-۱۲ نتایج مدل‌های منطق فازی اجرا شده با استفاده از روش ممدانی ۷۶

جدول ۴-۱۳ مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده در مدل‌سازی رابطه دبی-اشل ۷۸

جدول ۴-۱۴ نتایج آزمون رگرسیون خطی دو متغیره و چند متغیره ۷۹

جدول ۴-۱۵ نتایج مدل دبی-اشل مرسوم در تعیین رابطه دبی-اشل ۸۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱۶ بهترین ترکیب ورودی اشل انتخاب شده با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و رگرسیون در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۸۳

جدول ۴-۱۷ مقدار خطای نسبی اولین و دومین دبی حداکثر توسط روش‌های هوش مصنوعی، رگرسیون و مدل دبی-اشل مرسوم ۸۴

جدول ۴-۱۸ نتایج مدل اولین ترکیب ورودی اشل در روش‌های هوش مصنوعی، رگرسیون و رابطه دبی-اشل مرسوم در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ تعیین ضریب a در منحنی سنجه آب ۸

شکل ۱-۲ ساختار شبکه عصبی مصنوعی ۱۳

شکل ۱-۳ تابع سیگموئید ۱۵

شکل ۱-۴ تابع تانژانت هیپربولیک ۱۵

شکل ۱-۵ ارتباط بین پیچیدگی یک سیستم و دقت مدل ۱۷

شکل ۱-۶ مقایسه مجموعه کلاسیک و مجموعه فازی ۱۸

شکل ۱-۷ اجزای مختلف تابع عضویت فازی ۱۹

شکل ۱-۸ ساختار یک سیستم فازی ۲۴

شکل ۱-۹ ساختار ANFIS با دو ورودی ۲۵

شکل ۳-۱ موقعیت سیمای کلی حوزه آبخیز لاویج‌رود و ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج در استان مازندران و کشور ۳۷

شکل ۳-۲ سرعت‌سنج (مولینه) به‌کار رفته در تحقیق ۴۴

شکل ۳-۳ نمایی از ایستگاه تنگه لاویج و وسایل به‌کار رفته در اندازه‌گیری سرعت جریان ۴۴

شکل ۳-۴ نمایی از تقسیم عرض روخانه به مقاطع مختلف ۴۵

شکل ۳-۵ روش اندازه‌گیری سرعت آب با مولینه جهت به حداقل رساندن آشفتگی جریان ۴۵

شکل ۳-۶ ساختار شبکه عصبی مصنوعی به‌کار رفته در تحقیق ۴۸

شکل ۳-۷ نمودار جریانی روش تحقیق ۵۶

شکل ۴-۱ نمودار تغییرات داده‌های دبی و اشل سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۵۹

شکل ۴-۲ نمودار آزمون M مقادیر گاما ۶۰

شکل ۴-۳ تابع خودهمبستگی جزئی داده‌های اشل در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۶۱

شکل ۴-۴ نمودار داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی رابطه (۴-۲) با تابع تانژانت هیپربولیک ۶۴

شکل ۴-۵ نمودار داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی رابطه (۴-۵) با تابع سیگوئید ۶۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۶ نمودار پراکنش داده‌های مشاهده‌ای شبکه عصبی مصنوعی با تابع تانژانت هیپربولیک و تابع سیگوئید در مرحله آزمون ۶۵

شکل ۴-۷ نمودار داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی رابطه (۴-۹) با روش تفکیک شبکه‌ای ۷۰

شکل ۴-۸ نمودار داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی رابطه (۴-۱۲) با روش تفکیک خوشه‌ای ۷۰

شکل ۴-۹ نمودار پراکنش داده‌های مشاهده‌ای سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) با روش تفکیک شبکه‌ای و تفکیک خوشه‌ای در مرحله آزمون ۷۱

شکل ۴-۱۰ توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی مدل منطق فازی اولین ترکیب ورودی ۷۲

شکل ۴-۱۱ توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی مدل منطق فازی دومین ترکیب ورودی ۷۳

شکل ۴-۱۲ استنتاج فازی مدل منطق فازی $Q_t = f(H_t)$ برای ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۷۵

شکل ۴-۱۳ استنتاج فازی مدل منطق فازی $Q_t = f(H_t, H_{t-1})$ برای ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۷۵

شکل ۴-۱۴ نمودار داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی رابطه (۴-۱۵) با منطق فازی ۷۶

شکل ۴-۱۵ نمودار پراکنش داده‌های مشاهده‌ای با منطق فازی در مرحله آزمون ۷۷

شکل ۴-۱۶ نمودار داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی رابطه (۴-۲۳) با رگرسیون ۸۰

شکل ۴-۱۷ نمودار پراکنش داده‌های مشاهده‌ای رگرسیون در مرحله آزمون ۸۰

شکل ۴-۱۸ منحنی دبی-اشل مرسوم در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۸۱

شکل ۴-۱۹ نمودار داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی رابطه دبی-اشل مرسوم ۸۲

شکل ۴-۲۰ نمودار پراکنش داده‌های مشاهده‌ای رابطه دبی-اشل مرسوم در مرحله آزمون ۸۲

شکل ۴-۲۱ مقایسه دقت روش‌های هوش مصنوعی، رگرسیون با مدل دبی-اشل مرسوم در مدل‌سازی رابطه دبی-اشل در ایستگاه هیدرومتری تنگه لاویج ۸۶

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

یکی از پیش‌نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، اجرای پروژه‌های آبخیزداری، پیش‌بینی سیل، طراحی مهندسی، عملیات ذخیره، آبرسانی، کشتیرانی، تفریح و مدیریت زیست‌محیطی، اندازه‌گیری و یا برآورد صحیح دبی می‌باشد. نقش داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها در برنامه‌ریزی منابع آب، کنترل سیلاب و مهندسی رودخانه برای تمام کارشناسانی که به نحوی با علوم آب سر و کار دارند مشخص می‌باشد. دانش هیدرومتری بر نتایج حاصله از مشاهدات مستقیم یا به عبارتی بر اندازه‌گیری‌های صحرایی عمق، سطح آب و سرعت استوار است.

در فنون مهندسی، رژیم آبدهی رودخانه‌ها اغلب پایه و مبنای محاسبات مربوط به پروژه‌های تأسیسات هیدرولیکی از جمله سد و پل را تشکیل می‌دهد و اطلاع از مقادیر حداکثر دبی سیل و حداکثر ارتفاع آن در این نوع مطالعات الزامی می‌باشد (سوبرامانیا، ۱۳۸۲).

در طراحی سازه‌های هیدرولیکی و آبخیزداری مختلف، دانستن دبی با دوره بازگشت‌های مختلف بسیار ضروری است و بهترین راه، استفاده از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه می‌باشد. اگر آمار منظم و دراز مدتی از دبی وجود داشته باشد می‌توان به‌طور مستقیم داده‌ها را تجزیه و تحلیل کرده و تخمین دقیقی برای دبی به‌دست آورد ولی در بیشتر کشورهای جهان سوم و در حال توسعه و هم‌چنین ایران شبکه‌های آماربرداری که بتواند آمار دقیق و ناگسسته‌ای ارائه دهد وجود ندارد یا کافی نیست (مهدوی، ۱۳۸۲). اگرچه در چند دهه اخیر تلاش‌های فراوانی برای احداث ایستگاه‌های هیدرومتری در نقاط گوناگون کشور صورت گرفته، اما با توجه به وسعت زیاد کشور هنوز بسیاری از مناطق، فاقد امکانات لازم برای ثبت داده‌های مربوط به دبی هستند، بنابراین تعیین دبی یکی از مشکلات اساسی حوزه‌های آبخیز کشور می‌باشد (سیمافر، ۱۳۷۰؛ معتمدنیا و صادقی، ۱۳۸۸).

از سوی دیگر، اندازه‌گیری دائمی دبی رودخانه حتی در شرایط عادی امری دشوار و هزینه‌بر است و مشکلات یاد شده به‌ویژه در شرایط وقوع سیلاب‌ها به مقدار زیاد افزایش می‌یابد (نساجی زواره، ۱۳۷۸) و چه بسا به‌دلیل بروز شرایط نامناسب و خطرناک، امکان اندازه‌گیری‌های مستقیم در برخی

موارد وجود نخواهد داشت. مشکلات چندی در تعیین دبی‌های سیلابی وجود دارد که از جمله آن‌ها سرعت زیاد آب، زودگذر بودن آن، وجود مواد مختلف شناور در آب و مشکلات دسترسی به ایستگاه را می‌توان ذکر نمود (مهدوی، ۱۳۸۲). از این رو استفاده از روابط مبتنی بر مؤلفه‌های زودیافت، کم هزینه و آسان از قبیل اشل[1] (Joseph و همکاران، ۲۰۰۷) در قالب منحنی‌های دبی و اشل ضروری است. به این منظور در تعدادی از روزهای سال، اندازه‌گیری‌های متعدد دبی در ایستگاه هیدرومتری انجام شده و هم‌زمان با آن، ارتفاع آب روی تراز و یا روی کاغذ لیمنوگراف[2] به‌دست می‌آید (مهدوی، ۱۳۸۲) و به وسیله منحنی سنجه آب (منحنی سنجه‌ی دبی، منحنی تاراژ و منحنی دبی-اشل) ارتفاع آب اندازه‌گیری شده به دبی، به‌دست می‌آید و در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری درجه ۱، ۲ و ۳ مورد استفاده قرار گرفته و این منحنی‌ها باعث می‌شوند تعیین دبی به‌صورت آسان و ارزان صورت گیرد (Patra، ۲۰۰۰).

معمولاً با چندین نوبت اندازه‌گیری هم‌زمان دبی و اشل در یک ایستگاه هیدرومتری می‌توان به یک رابطه ساده بین دبی رودخانه و رقوم سطح آب دست یافت. با ثبت مرتب و منظم رقوم سطح آب و با به‌کارگیری رابطه دبی-اشل، می‌توان رقوم سطح آب قرائت شده را به دبی متناظر تبدیل نمود. بدین ترتیب محاسبه جریان رودخانه در مقیاس روزانه، ساعتی و حتی به‌صورت لحظه‌ای مقدور خواهد بود (حمادی، ۱۳۸۱).

به هر تقدیر بهترین معادله ریاضی منحنی دبی-اشل که منطبق با قوانین هیدرولیکی می‌باشد، توسط سازمان استاندارد جهانی (ISO)[3] طی سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۳ (USGS، ۱۹۸۲) و هم‌چنین سازمان هواشناسی جهانی (WMO)[4] به‌صورت رابطه (۱-۱) توصیه شده است:

$$Q = a(H\text{-}H_0)^b \qquad (۱\text{-}۱)$$

که در آن Q دبی جریان، H ارتفاع اشل، H_o ارتفاع اشل متناظر با دبی صفر و a و b اعداد ثابت در

[1] Stage
[2] Limnograph
[3] International Standard Organization
[4] World Meteorological Organization

یک ایستگاه هستند (Subramanya، ۲۰۰۳). ضرایب مدل به‌وسیله رابطه توانی دبی-اشل برآورد می‌گردد (Fenton و Keller، ۲۰۰۱). با تبدیل لگاریتمی، رابطه (۱-۱) به‌صورت خطی در می‌آید.

تراز آب و دبی به‌صورت زمانی وابسته می‌باشند و در اغلب اوقات رابطه بین آن‌ها منحصر به فرد می‌باشد (Bhattacharya و Solomatin، ۲۰۰۰). با توجه به این وضعیت، وقتی مقدار قابل توجهی از داده‌های مورد نظر در دسترس باشد، می‌توان رابطه ساده‌ای مانند منحنی دبی-اشل بین مقادیر دبی و اشل برقرار نمود. از راه‌حل‌های موجود استفاده از رگرسیون می‌باشد (Chow، ۱۹۸۶؛ Shrestha و همکاران، ۲۰۰۵؛ Joseph و همکاران، ۲۰۰۷).

پیشینه استفاده از منحنی دبی-اشل بیش از ۱۰۰ سال بوده (Schmidt و Yen، ۲۰۰۶)، حال آن‌که استانداردهای لازم برای استفاده از آن مورد توجه کامل قرار نگرفته است. در صورتی که شکل کلی روابط حاکم بر منحنی‌های سنجه آب بیان‌گر ضرورت توجه کافی به تغییرات احتمالی آن و نیز کاهش خطاهای ناشی از کاربرد آن‌ها از راه درک بیشتر عدم قطعیت‌ها می‌باشد. عملکرد رابطه دبی-اشل پیچیده می‌باشد و همیشه نمی‌توان از روش‌های مدل‌سازی مرسوم استفاده کرد (Bhattacharya و Solomatin، ۲۰۰۵). در جهان واقعی، رابطه دبی-اشل دارای ساختار ساده نیست و تجزیه و تحلیل دقیق مدل دشوار می‌باشد. بنابراین با پیشرفت‌های صورت گرفته در سالیان اخیر از سایر شیوه‌های تحلیل روابط و مدل‌سازی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)[1]، منطق فازی[2]، سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS)[3] و همچنین نرم‌افزارهای پیشرفته برای حل این مشکل بهره گرفته شده است (Bhattacharya و Solomatin، ۲۰۰۰؛ Shrestha و همکاران، ۲۰۰۵).

۱-۱-۱ ضرورت تحقیق

با توجه به تحقیقات انجام شده تاکنون محققین هر کدام با استفاده از یک یا دو روش برای تهیه منحنی دبی-اشل استفاده کرده‌اند و روش مورد استفاده را دارای دقت مناسبی اظهار کرده‌اند و به

[1] Artificial Neural Networks
[2] Fuzzy Logic
[3] Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System