بسم الله الرحمن الرحيم

مدیریت تحصیلات تکمیلی

دانشکده آب و خاک

گروه مهندسی آب

پایان‌نامه جهت اخذ کارشناسی‌ارشد در رشته آبیاری و زهکشی

مقایسه روش‌های هوش مصنوعی و روابط انتقال رسوب در رودخانه سیستان

استاد راهنما:

دکتر فرزاد حسن پور

استاد مشاور:

مهندس سلمان شریف آذری

نگارش:

زینب شیخعلی پور

مهر ۹۲

آغاز نیست بر پایان دوره ای از دوران...

که همراه داشت بس خاطرات تلخ و شیرین حک شده در ذهن، و به یادگار می ماند و یادآور است؛

یادآور یکایک عزیزانی که خواهدم ماند تا به ابد گوهر...

و پایانیست آغشته به آغاز لحظه لحظه های باهم بودن،

و باهم ماندن...

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

روشنی بخش دیرینه شب های بی ستاره ام که در سایه عنایت بی کران حق تعالی، پروانه وار بر گرد وجودم نشستند. بی شک بدون همراهی و همدلی مهربانانه آنها عبور از فراز و نشیب های زندگی غیر ممکن بود. نگاهشان در اندیشه من و خاطرشان در لوح دلم نقش بسته است.

پدر و مادرم دستتان را می بوسم از آنچه که به من آموختید. همیشه و در همه حال مدیون زحمات بی دریغ شما هستم. عمرتان دراز باد.

تقدیم به عزیزانم: سمیه، پیمان و طوبی

تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس خدای را که آغاز و فرجام کار جز به درخواست و اراده ی او ممکن نگردد.

از رهنمودهای ارزنده ی علمی و مساعدت های بی دریغ استاد ارجمند جناب آقای **دکتر فرزاد حسن پور** که راهنمایی این پایان نامه را عهده دار و همواره در جهت تعالی و ترغیب اینجانب کوشا بودند و نظرات ارزنده شان روشنگر راهم بود صمیمانه سپاسگزارم.

از استاد مشاور گرامی جناب آقای مهندس **سلمان شریف آذری** که مراتب سعی و توجه خود را در این خصوص مبذول فرمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای **دکتر سید محمود طباطبایی** که با نکته بینی و دقت شایسته داوری این پایان نامه را قبول زحمت فرمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از جناب آقای مهندس وحید عظیمی بخاطر زحمات بی دریغشان کمال قدردانی و سپاس را دارم.

از تمام دوستان عزیزم که در این راه یاورم بودند: مهدیه رجایی، آسیه موسوی راد، شهرزاد قرچه، رضا طهماسبی زاده، سعید نوذری، مصیب میرشکاری متشکرم، با آرزوی سربلندی و سرافرازی برای همگی شما عزیزان.

چکیده

برآورد صحیح حجم رسوبات معلق در رودخانه‌ها، یکی از مهمترین مسائل در پروژه‌های مهندسی رودخانه، منابع آب و محیط زیست می‌باشد. رودخانه هیرمند مهمترین منبع تامین آب دشت سیستان به طول تقریبی ۱۰۷۰ کیلومتر از کوههای بابایغما در افغانستان سرچشمه می‌گیرد. رودخانه سیستان شاخه اصلی منشعب از رودخانه هیرمند بوده که وظیفه آبیاری ۷۰ درصد زمین های کشاورزی دشت سیستان و همچنین تامین بخشی از آب هامون هیرمند را به عهده دارد. با توجه به مشکلات زیاد ناشی از رسوبات در رودخانه‌ها، محققین علم رسوب تلاش‌های زیادی به منظور دستیابی به روابط انتقال رسوب بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و میدانی انجام داده‌اند. بدلیل کثرت پارامترهای دخیل در انتقال رسوبات و همچنین پیچیدگی فرآیند فرسایش و انتقال ذرات، اکثر روابط رسوب نیاز به حل معادلات پیچیده ریاضی داشته و نتیجه دقیقی نمی‌دهند، از سوی دیگر روابط رگرسیونی مابین دبی آب و دبی رسوب نیز دارای ضریب همبستگی مطلوبی نمی باشند. در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های هوشمند در راستای افزایش دقت برآورد میزان رسوبات رودخانه مرسوم گردیده است. در این تحقیق از روابط تجربی انتقال رسوب و سیستم‌های هوشمند شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی و برنامه‌ریزی بیان ژن به منظور پیش‌بینی بار معلق رسوب رودخانه سیستان استفاده گردید. در بین روابط تجربی روش توفالتی با مقدار خطای جذر میانگین مربعات۶۶۵۵۷/۸۰ و ضریب تبیین ۰/۷۰۵ بهترین نتیجه را دارد. روش‌های هوشمند با تفاوت فاحشی بهتر از روابط تجربی بار معلق رسوب را برآورد می‌نمایند. در بین روش‌های هوش مصنوعی سناریوی سوم سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی با مقدار خطای جذر میانگین مربعات ۰/۰۰۱ و ضریب تبیین ۰/۹۹ بهترین نتیجه را در برآورد بار معلق رسوب دارد. همچنین بین نتایج روش‌های هوشمند اختلاف معنی داری در سطح ۹۵٪ وجود نداشته و با توجه به مقادیر خطا هر سه روش از دقت بالایی برخوردارند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برآورد بار معلق رسوب رودخانه سیستان با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی انجام شود.

واژگان کلیدی: روش‌های هوش مصنوعی، روابط انتقال رسوب، بار معلق، رودخانه سیستان

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- ضرورت تحقیق ۴
۱-۳- اهداف تحقیق ۵
۱-۴- نحوه تدوین تحقیق ۷

فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده

۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- منابع تغذیه رسوبی رودخانه‌ها ۱۰
۲-۳- شکل های مختلف انتقال رسوب در رودخانه ها ۱۰
۲-۳-۱- بار معلق ۱۱
۲-۳-۲- بار بستر ۱۱
۲-۳-۳- بار کل ۱۲
۲-۴- روش‌های ارزیابی معادلات تجربی انتقال رسوب ۱۲
۲-۵- نتایج مطالعات رسوب انجام شده در رودخانه سیستان ۱۶
۲-۶- کاربرد روش‌های هوش مصنوعی ۱۹
۲-۶-۱- معرفی شبکه‌های عصبی- مصنوعی ۱۹
۲-۶-۱-۱- ویژگی‌های شبکه عصبی ۱۹
۲-۶-۱-۲- تاریخچه شبکه‌های عصبی ۲۱
۲-۶-۱-۳- کاربردهای شبکه عصبی ۲۲
۲-۶-۲- معرفی سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی ۲۳
۲-۶-۳- برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) ۲۳
۲-۶-۳-۱- الگوریتم ژنتیک (GA) ۲۴
۲-۶-۳-۲- عملگرهای برنامه‌ریزی ژنتیک ۲۵
۲-۷- تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در برآورد رسوب در خارج از کشور ۲۸
۲-۸- تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در برآورد رسوب در داخل کشور ۳۲
۲-۹- نتیجه‌گیری ۳۵

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- معرفی منطقه مورد مطالعه ۳۸
۳-۲-۱- رودخانه هیرمند ۴۰

فهرست

۲-۲-۳- رودخانه سیستان ۴۱
۳-۳- شبکه های عصبی- مصنوعی ۴۴
۱-۳-۳- گره ۴۶
۲-۳-۳- وزن‌ها ۴۷
۳-۳-۳- بایاس ۴۷
۴-۳-۳- تابع انتقال یا محرک ۴۸
۵-۳-۳- مدل چند ورودی ۵۰
۶-۳-۳- معماری شبکه های عصبی ۵۱
۱-۶-۳-۳- شبکه تک لایه ۵۱
۲-۶-۳-۳- شبکه چند لایه ۵۲
۷-۳-۳- ساختارهای مختلف شبکه های عصبی ۵۳
۱-۷-۳-۳- شبکه‌های پس‌خور ۵۳
۲-۷-۳-۳- شبکه‌های پیش‌خور ۵۴
۸-۳-۳- دسته‌بندی شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۴
۱-۸-۳-۳- شبکه‌های حالت ایستا ۵۴
۲-۸-۳-۳- شبکه های با آموزش رقابتی ۵۴
۳-۸-۳-۳- شبکه های انتقال دهنده سیگنال ۵۵
۱-۳-۸-۳-۳- پرسپترون ۵۵
۹-۳-۳- آموزش شبکه عصبی مصنوعی ۵۷
۱۰-۳-۳- انواع مهم الگوریتم های آموزش شبکه های عصبی مصنوعی ۵۸
۱-۱۰-۳-۳- الگوریتم پس انتشار ۵۸
۲-۱۰-۳-۳- الگوریتم پس از انتشار با مومنتم ۵۹
۳-۱۰-۳-۳- الگوریتم سریع الا نتشار ۶۰
۴-۱۰-۳-۳- الگوریتم های افزایشی و روی خط ۶۰
۵-۱۰-۳-۳- الگوریتم پس انتشار دسته ای ۶۰
۶-۱۰-۳-۳- الگوریتم Levenberg-Morquardt ۶۱
۴-۳- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی ۶۳
۱-۴-۳- قوانین اگر- آنگاه فازی ۶۴
۱-۱-۴-۳- سیستم های فازی ۶۷
۲-۴-۳- ساختار و الگوریتم آموزش شبکه های تطبیقی ۷۱
۳-۴-۳- توصیف شبکه های تطبیقی ۷۲
۴-۴-۳- سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه های عصبی- تطبیقی ۷۳
۱- ۴-۴-۳- ساختار ANFIS ۷۳
۵-۳- برنامه ریزی بیان ژن (GEP) ۸۰

۳-۵-۱- مراحل اصلی در برنامه ریزی بیان ژن ۸۰
۳-۵-۲- عملگرهای برنامه ریزی بیان ژن ۸۳
۳-۵-۳- ویژگی های برنامه ریزی بیان ژن ۸۵
۳-۵-۴- ساختار افراد GEP ۸۶
۳-۵-۴-۱- ORF و ET ژن ها ۸۶
۳-۵-۴-۲- ساختار ژن ها در برنامه ریزی بیان ژن ۹۰
۳-۵-۴-۳- کروموزوم های چند ژنی و توابع پیوند ۹۴
۳-۵-۴-۵- تابع برازش ۹۶
۳-۶- روش برآورد رسوب با استفاده ازمعادلات تجربی در رودخانه سیستان ۹۷
۳-۶-۱- معادلات رسوب ۹۷
۳-۶-۱-۱- آیکر - وایت ۹۷
۳-۶-۱-۲- انگلوند- هانسن ۹۸
۳-۶-۱-۳- لارسن- کوپلند ۹۸
۳-۶-۱-۴- مایر- پیتر و مولر ۹۹
۳-۶-۱-۵- توفالتی ۱۰۰
۳-۶-۱-۶- یانگ ۱۰۰
۳-۶-۱-۷- ویلکوک ۱۰۱
۳-۶-۲- روش تعیین بهترین معادله رسوبی ۱۰۲
۳-۷- برآورد رسوب با استفاده از روش های هوش مصنوعی در رودخانه سیستان ۱۰۲
۳-۷-۱- هندسه شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده ۱۰۲
۳-۷-۱-۱- توابع مورد استفاده ۱۰۴
۳-۷-۱-۲- قانون یادگیری مورد استفاده ۱۰۵
۳-۷-۱-۲- روش تعیین بهترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی ۱۰۷
۳-۷-۲- ساختار سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی ۱۰۷
۳-۷-۲-۱- روش تعیین بهترین ساختار مدل استنتاج تطبیقی عصبی- فازی ۱۰۸
۳-۷-۳- توابع به کار گرفته شده در مدل سازی با برنامه ریزی بیان ژن GEP ۱۰۹
۳-۷-۳-۱- روش تعیین بهترین ساختار مدل برنامه‌ریزی بیان ژن ۱۱۰
۳-۸- مشخصات سناریوهای برآورد رسوب ۱۱۱
۳-۹- نرمالیزه کردن داده ها ۱۱۱
۳-۱۰- تقسیم بندی داده ها برای آموزش و آزمون مدل ها ۱۱۲
۳-۱۰-۱- داده های آموزشی ۱۱۲
۳-۱۰-۲- داده های آزمون ۱۱۳
۳-۱۱- سنجش دقت مدل‌ها و روش‌های تجربی ۱۱۳

فهرست

فصل چهارم: نتایج وبحث

۴-۱- مقدمه ۱۱۶
۴-۲-تعیین بهترین معادلات تجربی رسوب ۱۱۶
۴-۳- نتایج تخمین رسوب شبکه عصبی مصنوعی ۱۱۸
۴-۳-۱- نتایج سناریوهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی ۱۱۹
۴-۳-۲- انتخاب بهترین سناریوی شبکه عصبی مصنوعی ۱۲۳
۴-۳-۳- مقایسه نتایج شبکه عصبی مصنوعی با روش‌های تجربی ۱۲۳
۴-۴- نتایج تخمین رسوب سیستم استنتاج تطبیقی- فازی ۱۲۵
۴-۴-۱- نتایج سناریوهای مختلف سیستم استنتاج تطبیقی- فازی ۱۲۵
۴-۴-۲- انتخاب بهترین سناریوی سیستم استنتاج تطبیقی- فازی ۱۲۶
۴-۴-۳- مقایسه نتایج سیستم استنتاج تطبیقی- فازی با روش‌های تجربی ۱۲۷
۴-۵- نتایج تخمین رسوب برنامه ریزی بیان ژن ۱۲۸
۴-۵-۱- نتایج سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی بیان ژن ۱۲۹
۴-۵-۲- انتخاب بهترین سناریوی برنامه ریزی بیان ژن ۱۳۳
۴-۵-۳- مقایسه نتایج برنامه ریزی بیان ژن با روش‌های تجربی ۱۳۳
۴-۶- تعیین بهترین روش برآورد رسوب در رودخانه سیستان ۱۳۴
۴-۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۴۲
۴-۷-۱- نتیجه‌گیری ۱۴۲
۴-۷-۲- پیشنهادات ۱۴۴

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۲- نمودار ارزیابی روابط رسوبی توسط داده‌های اندازه‌گیری شده در رودخانه نیوبرادا..... ۱۵
شکل ۲-۲- ترکیب درختی در برنامه‌ریزی ژنتیک (پیکان‌ها نشان‌دهنده نقاط ترکیب هستند) ۲۵
شکل ۳-۲- جهش درختی در برنامه‌ریزی ژنتیک (پیکان‌نقطه جهش را نشان می‌دهد) ۲۶
شکل ۴-۲- جایگشت در برنامه‌ریزی ژنتیک (پیکان‌نقطه جایگشت را نشان می‌دهد)..... ۲۶
شکل ۵-۲- مثالی از یک واقعه فرضی در جهش نقطه‌ای در برنامه‌ریزی ژنتیک..... ۲۷
شکل ۱-۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه..... ۴۰
شکل ۲-۳- نمای سد سیستان..... ۴۳
شکل ۳-۳- نمایی از رودخانه سیستان..... ۴۴
شکل ۴-۳- مدل یک نرون ساده..... ۴۶
شکل ۵-۳- نمودار تغییرات پاسخ نهایی شبکه به ازای مقادیر مختلف بایاس نرون خروجی..... ۴۸
شکل ۶-۳- مدل چند ورودی..... ۵۰
شکل ۷-۳- شبکه تک لایه..... ۵۲
شکل ۸-۳- شبکه چند لایه..... ۵۳
شکل ۹-۳- پرسپترون ۳ لایه با اتصالات کامل..... ۵۶
شکل ۱۰-۳- نمودار آموزش شبکه عصبی مصنوعی..... ۵۷
شکل ۱۱-۳- ساختار یک سیستم فازی..... ۶۸
شکل ۱۲-۳- قوانین و مکانیزم‌های فازی..... ۷۰
شکل ۱۳-۳- ساختار یک شبکه تطبیقی..... ۷۱
شکل ۱۴-۳- (a): فازی (نوع ۳) (b): معادل ANFIS آن (نوع ۳)..... ۷۵
شکل ۱۵-۳- (a): فازی نوع (یک) (b):معادل ANFIS (نوع یک)..... ۷۸
شکل ۱۶-۳- (a): ANFIS نوع ۳ با دو ورودی و ۹ قانون (b): فضای فازی معادل آن..... ۷۹
شکل ۱۷-۳- فلوچارت برنامه‌ریزی بیان ژن..... ۸۳
شکل ۱۸-۳- کدگذاری به فرم رشته خطی و کدبرداری به صورت ET یک کروموزوم با دو ژن در GEP..... ۸۷
شکل ۱۹-۳- بیان درختی (ET) رابطه $\sqrt{(a+b)\times(c-d)}$..... ۸۸
شکل ۲۰-۳- بیان درختی رابطه ۱۸-۳..... ۸۹
شکل ۲۱-۳- بیان درختی رابطه ۲۰-۳..... ۹۱
شکل ۲۲-۳- بیان درختی رابطه ۲۱-۳..... ۹۲
شکل ۲۳-۳- بیان درختی رابطه..... ۹۳
شکل ۲۴-۳- a) ژن‌های رابطه ۲۴-۳ به صورت بیان درختی b) نتیجه پیوند سه ژن که در آن تابع پیوند (جمع) به صورت تیره نشان داده شده است..... ۹۵
شکل ۲۵-۳- نمودار تابع تانژانت سیگموئید..... ۱۰۴

عنوان **صفحه**

شکل ۲۶-۳ - نمودار تابع خطی..... ۱۰۵
شکل ۲۷-۳- نمایی از خروجی مدل شبکه عصبی و مشخصات ساختاری آن..... ۱۰۶
شکل ۲۸-۳- نمونه‌ای از ساختار مدل ANFIS برای سناریوی یک..... ۱۰۸
شکل ۲۹-۳- نمودار درختی مربوط به سناریوی اول در مدل GEP..... ۱۱۰
شکل۱-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای روش تجربی توفالتی..... ۱۱۸
شکل ۲-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای سناریوی یک مدل شبکه عصبی مصنوعی با ۶ نرون..... ۱۲۰
شکل ۳-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای سناریوی دو مدل شبکه عصبی مصنوعی با ۸ نرون..... ۱۲۱
شکل ۴-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای سناریوی سه مدل شبکه عصبی مصنوعی با ۵ نرون..... ۱۲۲
شکل ۵-۴- نمودار ارزیابی رابطه تجربی توفالتی توسط داده‌های اندازه‌گیری شده در رودخانه سیستان..... ۱۲۴
شکل ۶-۴- نمودار ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی توسط داده‌های اندازه‌گیری شده در رودخانه سیستان..... ۱۲۴
شکل ۷-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای سناریوی سه مدل سیستم استنتاج تطبیقی- فازی..... ۱۲۷
شکل ۸-۴- نمودار ارزیابی مدل سیستم استنتاج تطبیقی- فازی توسط داده‌های اندازه‌گیری شده در رودخانه سیستان ۱۲۸
شکل ۹-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای سناریوی یک مدل برنامه‌ریزی بیان ژن با ۱۰ تابع..... ۱۳۰
شکل۱۰-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای سناریوی دو مدل برنامه‌ریزی بیان ژن با ۷ تابع..... ۱۳۱
شکل ۱۱-۴- پراکنش بار معلق رسوب برای سناریوی سه مدل برنامه‌ریزی بیان ژن با ۴ تابع..... ۱۳۲
شکل ۱۲-۴: نمودار ارزیابی مدل برنامه‌ریزی بیان ژن توسط داده‌های اندازه‌گیری شده در رودخانه سیستان..... ۱۳۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۲: نتایج مقایسه روش‌های مختلف برآورد میزان بار رسوب با مقادیر اندازه‌گیری شده..... ۱۴
جدول ۱-۳: انواع توابع انتقال..... ۴۹
جدول ۲-۳: توابع به کار گرفته شده در برنامه‌ریزی بیان ژن..... ۱۰۹
جدول۱-۴: معادلات به دست آمده از روش‌های تجربی..... ۱۱۷
جدول ۲-۴: بررسی آماری خروجی‌های بدست آمده از روش‌های تجربی..... ۱۱۷
جدول ۳-۴: مشخصات شبکه عصبی مصنوعی..... ۱۱۹
جدول ۴-۴: بررسی آماری خروجی‌های بدست آمده از مدل ANN برای سناریوی یک..... ۱۱۹
جدول ۵-۴:بررسی آماری‌خروجی‌های‌بدست‌آمده از مدل ANN برای سناریوی دو..... ۱۲۰
جدول ۶-۴: بررسی آماری خروجی‌های بدست آمده از مدل ANN برای سناریوی سه..... ۱۲۲
جدول ۷-۴: ترکیب ورودی در سناریوهای سیستم استنتاج تطبیقی- فازی..... ۱۲۵
جدول ۸-۴: بررسی آماری خروجی‌های بدست آمده از مدل ANFIS..... ۱۲۶
جدول ۹-۴: ترکیب ورودی‌های به کار رفته در سناریوهای سیستم استنتاج تطبیقی- فازی..... ۱۲۸
جدول ۱۰-۴: بررسی آماری خروجی‌های بدست آمده از مدل GEP برای سناریوی یک..... ۱۲۹
جدول ۱۱-۴: بررسی آماری خروجی‌های بدست آمده از مدل GEP برای سناریوی دو..... ۱۳۰
جدول ۱۲-۴: بررسی آماری خروجی‌های بدست آمده از مدل GEP برای سناریوی سه..... ۱۳۲
جدول۱۳-۴: جدول مقادیر t حاصل از آزمون t استیودنت..... ۱۳۶
جدول ۱۴-۴: نتایج آماره‌های نمونه‌های جفت شده شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی..۱۳۷
جدول ۱۵-۴: همبستگی بین نمونه‌های جفت شده شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی..۱۳۷
جدول ۱۶-۴: نتایج t تست برای نمونه های جفت شده شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی. ۱۳۷
جدول ۱۷-۴: نتایج آماره های نمونه های جفت شده شبکه عصبی مصنوعی و برنامه ریزی بیان ژن..... ۱۳۸
جدول ۱۸-۴: همبستگی بین نمونه های جفت شده شبکه عصبی مصنوعی و برنامه ریزی بیان ژن..... ۱۳۸
جدول ۱۹-۴: نتایج t تست برای نمونه های جفت شده شبکه عصبی مصنوعی و برنامه ریزی بیان ژن..... ۱۳۹
جدول۲۰-۴: نتایج آماره های نمونه های جفت شده سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی و برنامه ریزی بیان ژن...۱۳۹
جدول ۲۱-۴: همبستگی بین نمونه های جفت شده سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی و برنامه ریزی بیان ژن...۱۳۹
جدول ۲۲-۴: نتایج t تست برای نمونه های جفت شده سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی و برنامه ریزی بیان ژن..... ۱۴۰
جدول ۲۳-۴: نتایج آماره های نمونه های جفت شده سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی و روش تجربی توفالتی.. ۱۴۰

عنوان **صفحه**

جدول ۲۴-۴: همبستگی بین نمونه های جفت شده سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی و روش تجربی توفالتی..... ۱۴۰
جدول ۲۵-۴: نتایج t تست برای نمونه های جفت شده سیستم استنتاج فازی عصبی- فازی و روش تجربی توفالتی..... ۱۴۱

فصل اول
کلیات

۱-۱- مقدمه

بار رسوبی از جمله عوامل مهم تاثیرگذار در عملکرد هیدرولیکی و ساختار ریخت‌شناسی رودخانه‌ها تلقی می‌شود. به علاوه اقدامات مهندسی و بهره‌برداری از منابع آب رودخانه‌ها در گروی آگاهی از کمیت بار رسوبی آن می‌باشد. از این رو استفاده از روش‌های مناسب برای محاسبه رسوب از دیرباز مورد توجه متخصصین مسایل رودخانه‌ای قرار گرفته و با توجه به تنوع طرح‌های مهندسی و کاربردهای میدانی، آگاهی از شیوه‌های کارآمد برای هریک از روش‌های محاسبه بار معلق[1] و بار بستر را الزام‌آور نموده است. از طرفی روش‌های محاسباتی در مهندسی رسوب به دلیل تنوع طبیعت رودخانه‌ها از پیچیدگی و ظرافت خاصی برخوردار است. این واقعیت نگرشی فراگیر به مقوله‌های حاکم بر فرآیند انتقال رسوب را در انتخاب روش‌های مناسب محاسباتی طلب می‌نماید.

تعیین مقدار رسوب حمل شده توسط رودخانه‌ها از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است . در طرح‌های مهندسی با هدف بهره‌برداری از منابع آب رودخانه نظیر تاسیسات تنظیم و انحراف جریان، سدهای مخزنی و ایستگاه‌های پمپاژ، بار رسوبی رودخانه از جمله عوامل مهم و تاثیرگذار در تعیین مشخصه‌های هندسی سازه و عمر مفید آنها تلقی می‌شود . در ساماندهی رودخانه‌ها که به منظور مهار فرسایش و رسوب‌گذاری و یا تثبیت بستر و دفع سیلاب انجام می‌گیرد آگاهی از میزان رسوب حمل شده توسط رودخانه و تاثیرپذیری آن از اقدامات حفاظتی، ضروری می‌باشد. از طرفی رودخانه‌ها منبع مناسبی برای تامین مصالح مورد نیاز طرح‌های عمرانی قلمداد شده و برداشت شن و ماسه از دیرباز در

[1]- Suspended Load

این عرصه متداول بوده است. به لحاظ اهمیت و نقش پدیده انتقال رسوب درعرصه‌های مختلف مهندسی تعیین کمیت بار رسوبی از دیرباز مورد توجه متخصصین مهندسی رودخانه قرار گرفته است.

براساس بررسی‌های انجام شده تاکنون بیش از سی معادله انتقال رسوب توسط محققین مختلف ارائه گردیده، لیکن به لحاظ پیچیدگی‌های حاکم بر فرآیند انتقال، امکان معرفی یک معادله واحد جهانی برای تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها میسر نبوده است (Jansen, 1983).

تعیین بار معلق و ارائه روابط محاسباتی آن به دهه‌های سی و چهل قرن بیستم میلادی معطوف می‌گردد. در این مرحله همچنین توسعه تجهیزات اندازه‌گیری بار معلق و باربستر به عنوان راهکار موثر در تعیین کمیت رسوب و سنجش اعتبار معادلات انتقال را، می‌توان عنوان نمود (Graf, 1984). با فرا رسیدن دهه پنجاه میلادی نظر متخصصین به ارائه روش‌هایی برای تعیین بارکل[1] معطوف و تا دهه هفتاد معادلات و راهکارهای مناسبی فراهم گردید (Jansen, 1983). دهه هشتاد را می‌توان سرآغاز تحولی بزرگ در عرصه مطالعه و تعیین رسوب رودخانه‌ها قلمداد نمود (Linsley, 1975).

در این دوره با ورود رایانه به حوزه مطالعات و به تبع آن توسعه سریع مدل‌های کامپیوتری بررسی فرآیند انتقال و تعیین کمیت رسوب انتقالی شتاب بیش‌تری به خود گرفت و امکان تحلیل عملکرد رودخانه‌ها در شرایط طبیعی و چگونگی تاثیرپذیری آن از طرح‌های مختلف مهندسی تحقق یافت. امروزه با توسعه امکانات نرم‌افزاری و بهره‌گیری از فناوری‌های جدید، انجام سنجش‌های میدانی، بررسی‌های دقیق آزمایشگاهی و پردازش سریع اطلاعات، شناخت هرچه بهتر فرآیند انتقال رسوب فراهم گردیده و با تکیه بر تجارب ارزنده دهه‌های اخیر زمینه لازم برای معرفی روش‌های مناسب محاسبه بار رسوبی رودخانه‌ها محقق شده است (Langendoen, 2002) ; (بی‌نام، ۱۳۸۶).

[1] - Total Load

۲-۱- ضرورت تحقیق

از مدتها پیش، میزان رسوب انتقالی توسط رودخانه‌ها در مناطقی از دنیا که میزان فرسایش و تولید رسوب معلق بالا است به عنوان یک معضل بزرگ شناخته شده است. کاهش ظرفیت ذخیره مخازن سدها در اثر رسوبگذاری و رسوبگذاری درآبراهه‌ها، کانالها و شبکه‌های پخش آب می‌تواند مشکلات جدی در توسعه پایدار منابع آب، سیستم‌های آبیاری و تولید برق آبی ایجاد کند همچنین رسوبگذاری در رودخانه‌ها و بنادر می‌تواند فعالیت‌های کشتیرانی را محدود سازد. فرسایش زیاد و انتقال دائم مواد رسوبی نه تنها باعث برهم خوردن تعادل طبیعی رودخانه و آبراهه می‌شود، بلکه سبب ایجاد خساراتی از قبیل تغییر مسیر رودخانه نیز می‌گردد.

لازمه اجرای طرح‌های کنترل رسوب در رودخانه‌ها، کسب اطلاعات از میزان بار رسوبی یا تولید رسوب حوضه‌ها و در نتیجه شناسایی حوضه‌های بحرانی است. با توجه به این مسئله و به منظور طراحی صحیح سازه‌های مهندسی از قبیل احداث سدها، پل‌ها، کانال‌های آبیاری و اصلاح و بهسازی مسیر رودخانه‌ها، برآورد صحیح بار معلق رسوبی از اهمیت زیادی برخوردار است.

رودخانه هیرمند در مرز ایران و افغانستان به دو شاخه سیستان و پریان تقسیم می‌گردد. رودخانه سیستان به عنوان مهمترین منبع آبی کشاورزی دشت سیستان بعد از پیمایش حدود ۷۰ کیلومتر از دشت به هامون هیرمند می‌ریزد. این رودخانه با شیب عمومی ۰/۰۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۰۶ از تراز ۴۸۹ متری در دو شاخه هیرمند به تراز ۴۷۴/۷۵ متری در هامون هیرمند می‌رسد (بی‌نام، ۱۳۷۵).

رود سیستان یک رودخانه سیلابی می‌باشد که دارای دو رژیم سیلابی بهاره و زمستانی می‌باشد. سیل‌های بهاره بدلیل اینکه ناشی از ذوب برف می‌باشند دارای تداوم بیشتر بوده اما سیلاب‌های زمستانی بدلیل اینکه ناشی از باران‌های شدید هستند دارای هیدروگرافی کاملاً تیز می‌باشند. براساس مطالعات هیدرولوژی، دبی سیلاب‌های رودخانه با دوره بازگشت ۲ ، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب

حدود ۴۰۰، ۱۰۰۰، ۱۳۰۰ و ۱۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشند (گزارش فنی دفتر مطالعات آب دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹)

رودخانه سیستان به لحاظ قرارگیری در پایاب حوزه آبریز وسیع هیرمند سالانه مقدار زیادی رسوب را دریافت می‌کند. براساس نتایج بدست آمده از تحلیل فراوانی داده‌های رسوب‌سنجی، میزان رسوب وارده به رودخانه سیستان در یکسال بطور متوسط، حدود ۷ میلیون تن و در سیلاب‌های با دوره برگشت ۵، ۱۰، ۱۰۰، ۲۰۰ ساله به ترتیب برابر ۱۱/۵، ۱۴/۵، ۲۴، ۲۶ میلیون تن خواهد بود که مقدار قابل توجهی از این رسوبات در طول رودخانه سیستان هر ساله انباشته می‌شوند و باعث افزایش تراز بستر می‌گردند. غلظت بار معلق جریان‌های سیلابی رودخانه سیستان عمدتاً در محدوده ۱۰ تا ۵۰ گرم در لیتر است که از این نظر رودخانه سیستان جزء رودخانه‌های نادر دنیا محسوب می‌شود (گزارش مهندسین مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۱).

تاکنون نیز تحقیقی در زمینه توانایی روش‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی بار معلق رسوب و مقایسه آنها با روابط انتقال رسوب در رودخانه سیستان صورت نگرفته است. در این راستا پیش‌بینی بار معلق رسوب با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی شامل شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی و برنامه‌ریزی بیان ژن انجام می‌پذیرد. سپس نتایج بدست آمده از این روش‌ها با نتایج بدست آمده از روابط تجربی حاکم بر تخمین بار معلق رسوبی مقایسه خواهد شد.

۳-۱- اهداف تحقیق

پدیده انتقال رسوب از جمله فرایندهای هیدرودینامیکی مهمی است که بسیاری از سیستم‌های فیزیکی و سازه‌های عمرانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به عنوان یکی از مشکلات بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی در جهان همچون کاهش عمر مفید سدها، کاهش ظرفیت سدها و سازه‌های انتقال

دهنده و ذخیره آب و.... مطرح است. با توجه به ضرورت این امر روش‌های مختلف و روابط گوناگونی جهت تخمین مقدار رسوب معلق ارائه شده است که با گذشت زمان هر یک از این روش‌ها بهبود یافته-اند و نتایج دقیق‌تری را بدست می‌دهد. تأثیرگذاری پارامترها و عوامل مختلف و وجود رابطه غیرخطی بین آنها تخمین مقدار رسوب را امری پیچیده می‌سازد.

تعدد روابط تجربی ارائه شده، اصلاح آنها و ارائه ضرایب جدید واسنجی معادلات نشان می‌دهدکه هنوز روش تحلیلی یا تجربی مناسبی که بر اساس آن بتوان تخمین درستی از میزان مواد رسوبی انتقالی توسط جریان دست یافت ارائه نشده است. لذا به منظور دستیابی به تخمینی نزدیک به واقعیت از میزان رسوبات حمل شده توسط رودخانه‌ها، از داده‌های همزمان اندازه‌گیری شده دبی- دبی رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده می‌شود و نتایج بدست آمده با روش‌های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در روش‌های معمول آماری با برازش یک تابع مناسب توانی از میان داده‌ها رابطه بین دبی جریان و دبی رسوب محاسبه و بر این اساس مقادیر مواد رسوبی انتقالی توسط جریان محاسبه می‌گردد. این روش‌ها توان تفکیک ویژگی‌های خاص داده‌های جمع‌آوری شده را نداشته و از این جهت نه تنها برآورد چندان دقیقی از میزان مواد رسوبی انتقالی توسط جریان ارائه نمی‌دهد بلکه امکان بررسی تغییرات زمانی مواد رسوبی انتقالی توسط جریان نیز در آنها وجود ندارد.

امروزه شبکه‌های غیرخطی به عنوان یکی از سیستم‌های هوشمند در پیش‌بینی چنین پدیده‌های پیچیده‌ای غیرخطی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها به عنوان مدل مبتنی بر داده قادرند بدون در نظر گرفتن محدودیت فیزیکی پارامترها یک ارتباط منطقی بین ورودی و خروجی با استفاده از داده‌های مشاهداتی برقرار کنند. با توجه به عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی‌های روابط غیرخطی حاکم بین دبی رسوب و دبی آب، اعتقاد بر این است که روش‌های هوش مصنوعی قادرند به راحتی روابط غیرخطی ما بین بار معلق و دبی رودخانه را شبیه‌سازی کنند. از مزایای دیگر

استفاده از این روش‌ها اینست که در مدت زمان نسبتاً کوتاهی می‌توانند انواع پارامترهای مؤثر بر فرآیند را تعیین نمایند. از این روی اهداف این تحقیق به شرح زیر تعریف گردیدند:

۱-برآورد میزان رسوبات معلق رودخانه سیستان با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی

۲-تعیین بهترین روش هوش مصنوعی در برآورد رسوبات معلق رودخانه سیستان

۳- مقایسه مدل‌های هوش مصنوعی و روش‌های تجربی در برآورد میزان رسوبات معلق رودخانه سیستان

۴-۱- نحوه تدوین تحقیق

این تحقیق مشتمل بر چهار فصل است که در فصل دوم مفاهیم رسوب و در ادامه تحقیقات انجام شده در زمینه تخمین بار معلق عبوری در دو بخش تحقیقات انجام گرفته در داخل و خارج کشور ارائه می شود و سپس یک نتیجه‌گیری کلی از تحقیقات صورت گرفته ارائه می‌گردد. در فصل سوم ابتدا منطقه مورد مطالعه معرفی می‌شود، در ادامه مدل‌های هوش مصنوعی مورد استفاده و مشخصات آنها توضیح داده خواهد شد. همچنین سناریوهای مورد استفاده در این پژوهش و روش‌های بررسی دقت مدل‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل چهار نیز نتایج کلیه روش‌های به کار رفته در پایان‌نامه ذکر شده و سپس نسبت به همدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرد. پس از ارائه نتایج بحث و نتیجه‌گیری انجام گرفته و پیشنهادهایی در راستای تحقیقات بعدی ارائه خواهد شد.