بسم الله الرحمن الرحیم

مدیریت تحصیلات تکمیلی

دانشکده آب و خاک

گروه آبخیزداری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته آبخیزداری

ارزیابی کارآیی شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی بارمعلق (مطالعه موردی ؛ حوزه آبخیز سدکارده مشهد)

استاد راهنما :

دکتر محمد نهتانی

استاد مشاور:

دکتر علی گلکاریان

مهندس سلمان شریف آذری

تهیه و تدوین :

معصومه درمانی

مهر ۹۳

تقدیم به

پیشگاه قطب عالم امکان، داد گستر جهان، منجی مستضعفان، مهدی موعود،

صاحب الزمان (عج)

تقدیم به کوه صبر و استقامت

پدر زحمتکش و مهربانم که در تمامی لحظات زندگی و تحصیل راهنما و مشوق من بوده و تمامی موفقیت هایی که تا به اکنون کسب کرده ام مدیون زحمات بی شائبه ایشان است

تقدیم به **مادر** مهربانم

آن عاشق بی ریا که با مهر و لطف، پرستار وجودم گشت

بر نگاهم لبخند زد صحنه خالی روحم را با مهر و عشق آشنا نمود.

مادر صبورم که شبی آسوده خاطر از فردای فرزندانش نخفت.

تقدیم به **همسر** مهربانم آن عاشق بی همتا و مشوق و همراه و همنشینم

تقدیم به **برادر و خواهران** بزرگوارم آنان که همواره مشوق و پشتیبان من بودند و هستند

و تقدیم به کسانی که دوستشان دارم و یار و یاور من در این پایان نامه بودند.

تشکر و قدردانی

سپاس بی‌نهایت خدای را که دریای بی‌منتهای بخشش است و بال فضل، بر کائنات گشوده و سایه لطف بر بندگان گسترده و بامنت خود، مرا به زینت ایمان آراسته و در خیمه لطف منزل داده است. چگونه شکر او را گویم که منت را بر من تمام کرده و از سر رحمت خود، مرا در زمره جویندگان علم و دانش قرار داده است. من چگونه نوای لک الحمد سر دهم که این نوای ارادت، خود از بیشمار نعمت‌های اوست و محتاج لک الحمدی دیگر. تمام مباهات من در طول تحصیل، نه دست یازیدن به درجه‌ای از دانش، بلکه فراسوی آن تلمذ در نزد استادانی بوده است که خود دریایی از معرفت بودند و سهم من پرتوی از تشعشع معرفت ایشان بر اندیشه بوده است. در این رهگذر، به رسم ادب خود را ملزم می‌دانم که با تواضع تام و از صمیم قلب تشکر و سپاس خالصانه خود را از استاد راهنمای گرانقدرم آقای **دکتر محمد نهتانی** عرضه دارم، که بدون همراهی این عزیز هیچگاه این تحقیق به سرانجام نمی‌رسید. همچنین از اساتید مشاورم آقای دکتر **علی گلکاریان و مهندس سلمان شرف آذری** که طی انجام این پژوهش یاری‌ام دادند متشکرم. همچنین از همسر و دوستان عزیزم، هم اتاقی‌های عزیزم و تمامی دوستانی که طی این مدت با شکیبایی تمام از ابراز محبت و همکاری دریغ ننموده‌اند و به عناوین مختلف یار و یاورم بودند سپاسگزارم.

معصومه دهقانی

مهرماه سال یکهزار و سیصد و نودسه

چکیده:

فرسایش و رسوب‌گذاری، منجر به از دست رفتن خاک حاصل‌خیز کشاورزی و ایجاد خسارت‌های برون‌منطقه‌ای می‌گردد. هم‌چنین حمل رسوب روی شاخص‌های کیفی آب نیز مؤثر است، لذا برآورد مقدار رسوب در پروژه‌های حفاظت خاک، طراحی و اجرای سازه‌های آبی، و بهره‌برداری از منابع آب ضرورت دارد. برآورد رسوب معلق تابع عوامل زیادی است که ممکن است مدل کردن همه‌ی آن‌ها به صورت تحلیلی مشکل باشد بنابراین استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی که توانایی قابل توجهی درشبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده دارند مفید به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌های پرسپترون چند لایه(MLP) و رگرسیون عمومی(GRNN) به تخمین رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری سد کارده واقع در خراسان رضوی پرداخته شد. شبکه های عصبی GRNN اغلب به عنوان توابع تخمین استفاده می‌شوند. که شامل یک لایه radial basis و یک لایه خطی ویژه می‌باشد. شبکه پرسپترون چند لایه شامل سه لایه ی ورودی، مخفی و خروجی است که تعداد نرون‌های هر لایه به روش سعی و خطا مشخص می‌گردد. پس از کنترل داده‌ها،بررسی همگنی و نرمالیته داده‌ها از داده‌های دبی جریان، بارش، دبی روزقبل، بارش روزقبل متناظر با دبی رسوب به عنوان ورودی شبکه و از دبی رسوب برای محاسبه خروجی شبکه استفاده شد. مدل‌های مذکور فرآیند آموزش را طی کرده و طی این فرآیند وزن‌های شبکه بهینه شده و از شبکه‌ی آموزش دیده جهت برآورد رسوب معلق استفاده گردید، سپس با استفاده از شاخص‌های آماری به مقایسه مقادیر داده‌های برآوردی و واقعی و تعیین نقاط ضعف و قوت مدل در پیش‌بینی رسوب معلق پرداخته شد. در انتها مدل شبکه عصبی رگرسیون عمومی در برخی پارامترهای ورودی نسبت به شبکه عصبی پرسپترون با نتایج قابل قبول تری همراه بود.

واژگان کلیدی: بارمعلق، دبی، شبکه عصبی مصنوعی، کارده

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه وکلیات

۱-۱- مقدمه: ۱
۱-۲- تعریف مسأله ۳
۱-۳- سؤالات تحقیق..... ۵
۱-۴- فرضیات تحقیق..... ۵
۱-۵- ساختار پایان نامه..... ۵

فصل دوم :مروری برمطالعات انجام شده

۲-۱- مقدمه..... ۷
۲-۲- مروری بر مطالعات داخلی انجام شده..... ۷
۲-۳- مروری بر مطالعات خارجی انجام شده..... ۱۲
۲-۴- جمع بندی..... ۱۵

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه:..... ۱۷
۳-۲- منطقه مورد مطالعه..... ۱۷
۳-۲-۱- بررسی تغییرات بارندگی سالانه:..... ۱۹
۳-۲-۱-۱- بررسی تغییرات دبی سالانه..... ۲۰
۳-۲-۲- زمین شناسی منطقه..... ۲۱
۳-۳- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)..... ۲۲
۳-۳-۱- شبکه عصبی پرسپترون ساده..... ۲۴
۳-۳-۲- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP)..... ۲۵
۳-۳-۳ معماری شبکه‌های پس انتشار..... ۲۶
۳-۳-۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی(GRNN)..... ۲۷
۳-۴- برآورد رسوب با استفاده از شبکه‌های (GRNN)..... ۲۷
۳-۴-۱- معماری شبکه GRNN..... ۲۷
۳-۵- روش تحقیق:..... ۲۸
۳-۶- معیارهای مقایسه‌ی مدل‌ها..... ۳۲

فصل چهارم نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه:.....۳۶
۴-۲- نتایج حاصل از اجرای شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP).....۳۶
۴-۳- نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی رگرسیون عمومی (GRNN).....۴۱
۴-۴- مقایسه نتایج.....۴۵
۴-۵- پیشنهادات.....۴۸
۶- فهرست منابع ۵۰

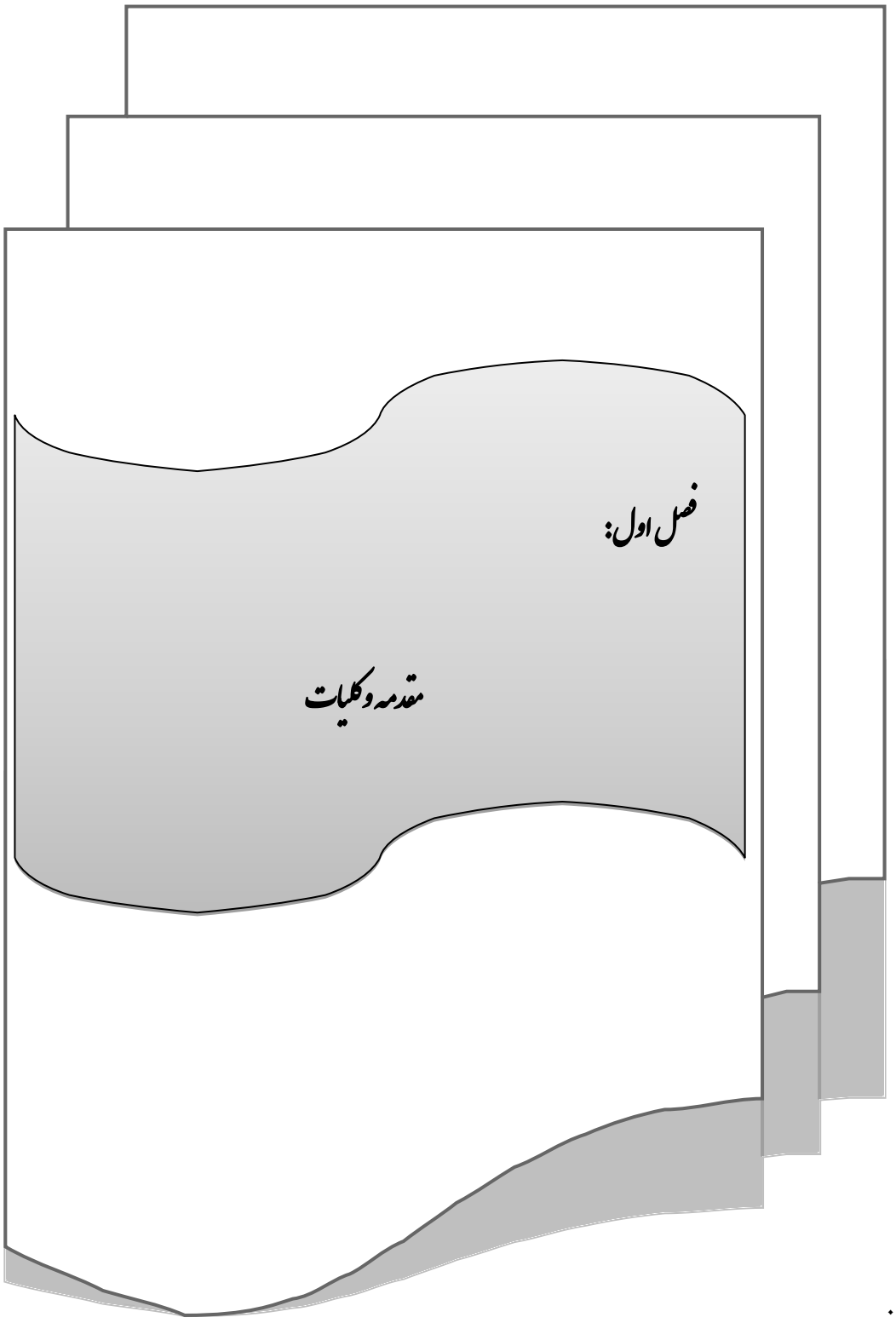
فهرست جدول

جدول۴-۱- نتایج حاصل از شبکه پس انتشار با ورودی دبی.....۳۶
جدول۴-۲- نتایج حاصل از شبکه پس انتشار با ورودی بارش ۳۷
جدول ۴ ۳- نتایج حاصل از شبکه پس انتشار با ورودی دبی، بارش ۳۸
جدول ۴ ۴- نتایج حاصل از شبکه پس انتشار با ورودی دبی، بارش، دبی و بارش روز قبل..... ۴۰
جدول ۴ ۵- خروجی حاصل از شبکه عصبی پرسپترون ۴۶
جدول ۴ ۶- خروجی حاصل از شبکه عصبی رگرسیون چند متغیره ۴۶
جدول ۴ ۷- ترتیب الویت در انتخاب مدل و نوع شبکه با توجه به نتایج به دست آمده .....۴۶.

فهرست شکل ها

شکل ۳-۱- موقعیت حوزه آبخیز کارده مشهد.....۱۸
شکل۳-۲- زمین شناسی حوزه کارده ۲۲
شکل ۳-۳- شمایی از نورون مصنوعی و زیستی ۲۴
شکل ۳-۴- ساختار پرسپترون چندلایه با نرون‌های پنهان tansigو نرون‌های خروجی با تابع خطی.....۲۵
شکل۳-۵- یک نورون ساده با R ورودی.....۲۶
شکل ۳-۶- انواع تابع محرک شبکه های پس انتشار (کیا، ۱۳۹۱) ۲۷
شکل ۳-۷- تابع خطی (کیا، ۱۳۹۱).....۲۸
شکل ۴-۱- مقایسه مقادیر رسوب مشاهدهای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه MLP ۳۶
شکل ۴-۲- نتایج حاصل از شبیه سازی مقادیر رسوب پیش بینی شده با رسوب مشاهده ای ۳۷
شکل ۴-۳- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه MLP ۳۷
شکل ۴ ۴- نتایج حاصل از شبیه سازی مقادیر رسوب پیش بینی شده با رسوب مشاهده ای ۳۸
شکل ۴-۵- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه MLP ۳۹
شکل ۴ ۶- نتایج حاصل از شبیه سازی مقادیر رسوب پیش بینی شده با رسوب مشاهده ای ۳۹
شکل ۴-۷- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه MLP ۴۰
شکل ۴ ۸- نتایج حاصل از شبیه سازی مقادیر رسوب پیش بینی شده با رسوب مشاهده ای .....۴۰.
شکل ۴-۹- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه GRNN.....۴۲
شکل ۴-۱۰-نتایج حاصل از شبیه سازی رسوب مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکهGRNN ..۴۲
شکل ۴ ۱۱- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه GRNN ۴۳
شکل ۴-۱۲- نتایج حاصل از شبیه سازی رسوب مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه GRNN ۴۳

شکل ۱۳ ۴- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه GRNN ۴۴
شکل ۱۴-۴- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه GRNN ۴۴
شکل ۱۵-۴- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه GRNN ۴۵
شکل ۱۶-۴- نتایج حاصل از شبیه سازی رسوب مشاهده‌ای و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه MLP. ۴۵.


فصل اول:
مقدمه وکلیات

۱-۱) - مقدمه:

سالیانه مقدار زیادی خاک از سطح حوزه‌های آبخیز به وسیله‌ی آب شسته شده و از محل اصلی خود جابجا می‌شود. حجم زیادی از این رسوبات در پشت سد، چاله‌های داخلی و یا دریاها و اقیانوس‌ها ته نشین می‌گردد (رفاهی، ۱۳۹۱). فرسایش و رسوبگذاری، یک رفتار مخرب در حوزه-های آبخیز، اراضی کشاورزی و رودخانه‌هاست. که منجر به از دست رفتن خاک حاصل‌خیز کشاورزی به صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اعمال خسارت هنگفت در طرح‌های منابع آب همچون تخریب و تغییر ابعاد کانال‌های آبیاری می‌شود. از سوی دیگر رسوب انتقال یافته توسط یک رودخانه به مخازن ظرفیت ذخیره آن‌هارا کاهش داده و برآب قابل استفاده برای نیروگاه‌های برقی، مصارف آبیاری و مصارف صنعتی و خانگی تأثیر گذار است از این رو متخصصان همواره در جهت تخمین صحیح بارمعلق رودخانه‌ها و کالبیره کردن روش‌های موجود تلاش می‌نمایند (تلوری و همکاران، ۱۳۸۶).

خاک طی فرآیندهای پیچیده‌ای که تحت تأثیر پنج عامل اصلی اقلیم، توپوگرافی، سنگ مادر، پوشش گیاهی و زمان است تشکیل می‌شود (جعفری و سرمدیان،۱۳۸۲). با توجه به اینکه آب و خاک مهمترین عوامل در تأمین مایحتاج بشری می‌باشند کوچکترین کم توجهی در حفظ و نگهداری این دو خسارت جبران ناپذیری را وارد خواهد کرد. عمده‌ترین دلیل تخریب منابع آب و خاک بر هم خوررردن تعادل طبیعی در یک منطقه است که علت اصلی آن دست‌کاری و دخالت انسان در آن است (احمدی، ۱۳۸۵).

پدیده انتقال رسوب از جمله فرآیندهای هیدرودینامیکی مهمی است که بسیاری از سیستم‌های فیزیکی و تأسیسات عمرانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات بهره-برداری از آب‌های سطحی در جهان مطرح است (آوریده و همکاران،۱۳۸۰). رسوباتی که توسط رودخانه‌ها حمل می‌شوند به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند رسوباتی که در آب معلق هستد و در

بالای بستر رودخانه همراه با آب حرکت می‌کنند به این مواد بار معلق[1] گفته می‌شود و رسوباتی که در سطح بستر رودخانه همراه با جریان آب به صورت غلتش، جهش و لغزش حرکت می‌کنند، بار بستر[2] نامیده می‌شوند. بار کل رسوب [3]عبارت است از حاصل جمع مواد بستر و بار معلق. در رودخانه‌های کم عمق کل بار رسوب تقریباً برابر با بار بستر خواهد بود (حسین زاده دلیر و همکاران، ۱۳۸۸)

پیش‌بینی دقیق پارامترهای مؤثر در طرح‌های منابع آب، یکی از مهم‌ترین مباحث تحقیقی مهندسان آب می‌باشد. از جمله این پارامترها حجم رسوبات معلق رودخانه‌ها است که به دلیل اثرات منفی آن بر شاخص‌های کیفی آب، تقلیل گنجایش مخازن و تغییر در مورفولوژی رودخانه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حقیقت حصول روش‌های مناسب و دقیق در پیش‌بینی بار رسوبی رودخانه‌ها را می‌توان به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در فرآیند فرسایش و رسوبگذاری دانست (داننده مهر و همکاران، ۱۳۸۹).

شبکه عصبی مصنوعی[4] یکی از بهترین روش‌های پیش‌بینی برای روابط غیر خطی و الگوهای پیچیده است، که در سال‌های اخیر الگوریتم‌های مختلف آموزشی به همراه توابع پایه، بویژه در علوم مهندسی گزارش شده است. طیف گسترده ای از برنامه‌های کاربردی شبکه عصبی مصنوعی بویژه برای پیش‌بینی رسوب معلق رودخانه مشاهده شده است (Kakaei Lafdani *et al*., 2013).

در این پژوهش شبکه عصبی مصنوعی به عنوان روشی مؤثر جهت تخمین مقدار رسوب معلق بکار گرفته شده است. شبکه‌ای با ساختار و آموزش مناسب و داده‌های کافی قادر است تأثیرات مخفی و ارتباط بین دبی آب و دبی رسوب، بارش را بدون استفاده از روابط اختصاصی و معادلات

[1] Suspended Load
[2] Bed Load
[3] Sediment Load
[4] Artificial Neural Networks (ANN)

انتقال فرا گیرد. پس از طرح و آموزش شبکه کاربرد معادلات محاسباتی در برآورد رسوب بررسی شد. تخمین بار معلق در حوزه آبخیز کارده و انتخاب نوع مناسب شبکه، نوع و تعداد ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی در منطقه مورد مطالعه از اهداف این پژوهش می‌باشد.

۲-۱- تعریف مسأله

رسوب حمل شده توسط جریان آب عامل مهمی در شکل‌گیری ساختار هندسی و خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها تلقی می‌شود. هرگونه کاهش و یا افزایش بار رسوبی رودخانه پیامدهای مختلفی از جمله وقوع پدیده کف‌کنی و یا ترازافزایی، تغییر دانه‌بندی مصالح و شکل مسطح و نیمرخ طولی آن را در پی دارد (اعظمی‌راد، ۱۳۹۳). در طرح‌های مهندسی با هدف بهره‌برداری از منابع آب رودخانه نظیر تأسیسات تنظیم و انحراف جریان، سدهای مخزنی و ایستگاه‌های پمپاژ، بار رسوبی رودخانه از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار در تعیین مشخصه‌های هندسی و عمر مفید سازه-ها 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 تأثیرپذیری آن از اقدامات حفاظتی، ضروری می‌باشد. از طرفی رودخانه‌ها منبع مناسبی برای تأمین مصالح مورد نیاز طرح‌های عمرانی قلمداد شده و برداشت شن و ماسه از دیرباز در این عرصه متداول بوده است.همچنین موارد محدودی از طراحی تأسیسات انتقال آب، شبکه‌های آبیاری، حوضچه‌های ترسیب، تصفیه خانه‌های آب و نظایر آن را می‌توان برشمرد که همگی با مسأله رسوب رودخانه‌ها ارتباط نزدیک دارند (بهادری خسروشاهی، ۱۳۹۱).

هیدرولیک رسوب بحث کاملاً پیچیده‌ای است و تاکنون مطالعات تجربی زیادی جهت بررسی و تخمین رسوب انتقالی بوسیله‌ی رودخانه‌ها انجام شده است. روش‌های مرسوم در تخمین رسوب را

می‌توان به دو گروه مفهومی[1] و تجربی[2] تقسیم‌بندی کرد. استفاده از مدل‌های مفهومی به دلیل پیچیدگی تحلیل، نیاز به پارامترهای متنوع به عنوان اطلاعات ورودی، هزینه‌های زیاد جمع‌آوری داده‌ها و کمبود ابزار و امکانات اندازه‌گیری، از دقت و کارائی مناسبی برخوردار نیستند (حسین زاده دلیر و همکاران، ۱۳۸۸).

در روش‌های تجربی که از آن‌ها با نام روش‌های آماری نیز یاد می‌شود، روابط بین متغیرها خطی فرض گردیده و بدین دلیل امکان بررسی واقعی پارامترهای هیدرولوژیکی به علت تغییرات زمانی آن‌ها، به طور دقیق وجود ندارد. روش جدیدی که در تحقیقات اخیر مورد استفاده محققین قرارگرفته، روش شبکه‌های عصبی مصنوعی است. این روش که یک مدل غیر خطی در گروه مدل-های مفهومی و یا تجربی دسته‌بندی می‌شود، جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرآیندها و متغیرهای هیدرولوژیکی، امروزه به عنوان یک سیستم هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد که شبکه‌های عصبی برای غلبه بر ماهیت تصادفی پدیده حرکت رسوبات در مقایسه با روش‌های متداول عملکرد بهتری دارند (نورانی و همکاران، ۱۳۸۸).

پیش‌بینی میزان انتقال رسوبات معلق رودخانه‌ها به دلیل پیچیدگی ساز و کار جابجایی رسوبات در بسیاری از موارد با مقادیر واقعی اندازه گیری شده تطابق ندارد. در مواقعی میزان مقادیر محاسبه شده از روابط گوناگون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. از طرفی پر هزینه بودن آزمایشات مربوط به نمونه برداری رسوبات معلق رودخانه‌ها و همچنین عدم واسنجی روابط محاسباتی و پیچیدگی آن، محققان مختلف برقراری روابط مختلف رگرسیونی (خطی-غیر خطی) بین دبی جریان و بارمعلق رودخانه‌ها پیشنهاد کردند (داننده مهر و همکاران، ۱۳۸۹).

[1] Conceptua
[2] Empirical

۱-۳) - سؤالات تحقیق

الف) آیا استفاده از روش شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی برآورد بار معلق در حوزه کارده مناسب است؟

ب) آیا دبی جریان پارامتر مؤثری در برآورد بار معلق منطقه‌ی مورد مطالعه است؟

۱-۴) - فرضیات تحقیق

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد میزان بارمعلق نتایج آماری قابل قبولی را ارائه می‌دهد و دبی جریان، تأثیرگذارترین پارامتر در برآورد بارمعلق است.

۱-۵) - ساختار پایان نامه

این پایان نامه در چهار فصل تدوین شده است که در فصل اول به مقدمه، تعریف مسأله و فرضیات اشاره شده است. در فصل دوم مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه موضوع ارائه شده و در فصل سوم، مواد و روش‌ها، در فصل چهارم نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادات و در انتها منابع استفاده شده ذکر شده است.

فصل دوم:

مروری بر مطالعات انجام شده

۱-۲)- مقدمه

تغییرات بار رسوبی در یک رودخانه پارامتر مهمی در مدیریت پروژه‌های آبی و شاخصی جهت نشان دادن وضعیت فرسایش خاک و شرایط اکولوژیکی حوزه می‌باشد. پدیده‌های فرسایش و انتقال رسوب در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها از پیچیده‌ترین مباحث حوزه‌های آبخیز می‌باشند. فرسایش زیاد و انتقال دائم این مواد نه تنها باعث برهم خوردن تعادل طبیعی رودخانه و آبراهه می‌شود بلکه سبب ایجاد خساراتی از قبیل تغییر مسیر رودخانه، انباشت رسوبات در پشت سدها و کاهش حجم مفید آن ها نیز می‌گردد. از طرفی برآورد مقدار رسوب در پروژه‌های حفاظت خاک، طراحی و اجرای سازه‌های آبی و نیز بهره برداری از منابع آب از اهمیت به سزایی برخوردار است. لذا در این خصوص پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج انجام شده که در ادامه به موارد مرتبط با موضوع تحقیق پرداخته خواهد شد.

۲-۲)- مروری بر مطالعات داخلی انجام شده

منتظر و ذاکر مشفق در سال ۱۳۸۱ برای پیش‌بینی دبی رسوب رودخانه بازفت از دو نوع شبکه عصبی چند لایه و شبکه پاد انتشار گراسبرگ[1] به همراه میزان تأثیر دمای متوسط ماهانه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که شبکه پاد انتشار گراسبرگ برای تهیه منحنی سنجه رسوب[2] مناسب به نظر نمی‌رسد. اما شبکه پرسپترون چند لایه[3] قادر به تخمین بهتر دبی‌های رسوب بوده و می‌تواند در تعیین منحنی سنجه رسوب به کار رود. همچنین بررسی نحوه تأثیر دمای متوسط ماهانه نیز نشان داده که این پارامتر اثر قابل ملاحظه‌ای بر بهبود عملکرد مدل ندارد.

مساعدی و همکاران در سال ۱۳۸۵ به منظور برآورد رسوب معلق ایستگاه هیدرومتری تمر واقع در گرگان‌رود از شبکه عصبی و منحنی سنجه رسوب استفاده کردند، در مورد ایستگاه هیدرومتری

---

[1] Publish iPod Grasberg
[2] Sediment rating curves
[3] Multi-Layer Perceptron

تمر برای یک دوره آماری ۳۲ ساله مدل‌های مختلف برآورد رسوب براساس معیارهای هیدرولوژیکی به کمک دو روش منحنی سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی مدل پرسپترون چند لایه و با الگوریتم پس انتشار خطا[1] مورد آزمون قرار گرفتند و در هر مدل پس از آموزش شبکه عصبی عملکرد شبکه آموزش دیده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن نشان‌دهنده کارآیی بیشتر شبکه عصبی نسبت به روش منحنی سنجه رسوب است.

جلالی و همکاران در سال ۱۳۸۶ به‌منظور برآورد بارمعلق ایستگاه هیدرومتری آبلو-نکارود پرداختند. بدین منظور در این مطالعه بر اساس معیارهای هیدرولوژیکی به کمک دو روش منحنی سنجه رسوب و شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا برای یک دوره آماری ۱۵ ساله مدل‌های مختلف برآورد رسوب مورد آزمون قرار گرفتند و در هر مدل پس از آموزش شبکه عصبی عملکرد شبکه آموزش دیده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده‌ی برتری نسبی شبکه عصبی نسبت به منحنی سنجه رسوب بود.

نایینی و همکاران در سال ۱۳۸۷ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به پیش‌بینی توزیع غلظت بار رسوبات معلق می‌پردازد. نوع شبکه پیش خور[2] با الگوریتم پس انتشار خطا بوده که برای آموزش و آزمون شبکه از داده‌های رودخانه‌های می‌سی‌سی‌پی و کلرادو استفاده شد. ورودی‌های آن شامل دبی جریان، قطر متوسط ذرات و شیب کف بستر بود نتایج نشان دهنده این واقعیت است که مدل شبکه عصبی توانایی بالایی در مدل سازی بار معلق رسوب رودخانه داشته است.

مفید و موسوی‌جهرمی در سال ۱۳۸۷ به منظور پیش‌بینی رسوب رودخانه، توسط مدل شبکه عصبی در رودخانه کارون پرداختند. در این مطالعه آمار بارندگی و دما به صورت روزانه مورد استفاده قرار گرفت. برای هریک از ایستگاه‌های اهواز و فارسیات رودخانه کارون با استفاده از

[1] Back-propagation algorithm.
[2] Layer Feed Forward Neural Network

ترکیبات مختلفی از ورودی‌ها و نیز توابع ارتباطی گوناگون توسط شبکه عصبی مصنوعی مدل‌هایی طراحی و بهترین مدل انتخاب شد. سپس با استفاده از اطلاعات ایستگاه بالادست این دو ایستگاه و بر اساس ترکیب ورودی بهترین مدل مرحله قبل، مدل-هایی طراحی شد، این مدل دارای دقت مناسب و بالاتر از دقت مدل‌های قبلی بود. مدل جدید که رسوب معلق ایستگاه پایین دست را براساس ایستگاه بالادست پیش‌بینی می‌کند و در نتیجه با پیش‌بینی دقیق‌تر میزان رسوب معلق هر ایستگاه را، با صرف هزینه منطقی ارائه می‌دهد.

دهقانی و زنگانه در سال ۱۳۸۸ به مقایسه تخمین بار معلق رودخانه دوغ استان گلستان با دو روش منحنی سنجه و شبکه عصبی پرداختند، نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با دقت بسیار مناسب و با اطمینان بیشتر می‌تواند نسبت به روش منحنی سنجه رسوب و بدون دسته‌بندی داده‌ها برای تخمین بار معلق رسوب مورد استفاده قرار گیرد.

حسین‌زاده دلیر و همکاران در سال ۱۳۸۸ به منظور تأثیر متقابل نوسانات سطح آب و دبی جریان بر میزان بار معلق با استفاده از شبکه‌های عصبی پرداختند. بدین منظور حوزه آبریز اهر چای با مساحتی بالغ بر ۲۴۰۰ کیلومتر مربع از زیر حوزه‌های ابریز ارس انتخاب شد. اطلاعات و داده‌های ایستگاه‌های تازه‌کند اورنگ، کاسین، اشدلق و برمیس در بالادست سد ستارخان مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه بررسی‌ها نشان داد که داده‌های سطح آب نسبت به دبی جریان از دقت کمتری در پیش‌بینی بار معلق برخوردار است. حداکثر ضریب همبستگی صحت سنجی[1] برای داده‌های سطح آب ۰/۰۶۹ در ایستگاه اورنگ و کمترین ۰/۸۰ در ایستگاه اشدلق و برای داده‌هایی دبی حداکثر مقدار این ضریب ۰/۸۴در ایستگاه اشدلق، حداقل آن ۰/۷در ایستگاه برمیس حاصل شد. دلیل عمده پایین بودن ضریب همبستگی برازش در برخی از ایستگاه‌ها را می‌توان کم بودن تعداد داده‌ها، عدم دقت اندازه‌گیری سطح آب در مقایسه با دبی جریان، فقدان توالی زمانی در

[1] validation

داده‌ها بیان نمود. در سطح حوضه نیز روند کلی نتایج بدین صورت است که از بالادست به پایین دست با افزایش میزان دبی جریان و رسوب نتایج شبکه عصبی از کیفیت بهتری در پیش‌بینی میزان بارمعلق برخوردار بود در حالی که سطح نوسانات سطح آب چنین روندی را نشان نداد.

زنگنه و همکاران در سال ۱۳۹۰ برای تعیین بهترین روش برآورد دبی انتقال رسوبات معلق در ایستگاه اراز کوسه حوزه گرگانرود از روش‌های هیدرولوژیکی استفاده کردند. بدین منظور از آمار متناظر دبی جریان و دبی رسوب متناظر طی سال‌های آبی ۱۳۵۳- ۱۳۵۲ و ۱۳۸۷ -۱۳۸۶ استفاده شده است. پس از تعیین معادلات منحنی سنجه رسوب و با استفاده از شاخص‌های آماری شامل: ضریب تبیین[1]، ریشه میانگین مربعات خطا[2]، اقدام به انتخاب مناسب‌ترین روش کردند و بر اساس آن مقادیر دبی رسوب روزانه در طی دوره آماری ذکر شده تعیین‌گردد. نتایج این مطالعه نشان داد که در ایستگاه اراز کوسه روش حدواسط (بدین ترتیب که دبی‌هایی را که در آن‌ها نمونه گیری غلظت انجام شده، مدنظر قرار داده وآن‌ها را بر اساس حجم جریان از کوچک به بزرگ مرتب می‌کنند، سپس این داده‌ها به دسته‌هایی درحدود ۱۰دسته تقسیم می‌شوند، دبی میانه را درنظر گرفته و غلظت متوسط دسته را به دست می‌آورند) با ضریب همبستگی برابر ۰/۷۹ریشه میانگین مربعات خطا ۵۲۱۴۸ نسبت اختلاف ۰/۶۸ و انحراف استاندارد عمومی ۰/۸۹مناسب‌ترین روش در برآورد بارمعلق بوده و بر این اساس متوسط دبی رسوب روزانه درآن ۱۱۳۲۴ تن در روز برآورد شد.

دستورانی و همکاران در سال ۱۳۹۱ به برآورد بار معلق با استفاده از شبکه‌های عصبی و منحنی سنجه رسوب در حوزه آبخیز جامشیان استان کرمانشاه پرداختند؛ در این تحقیق سعی گردیده است که کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی رسوب معلق مورد ارزیابی قرار گیرد. با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مدل پرسپترون چند لایه) رسوب معلق ایستگاه هیدرومتری حیدرآباد روی رودخانه جامشیان پیش‌بینی گردید و نتایج با منحنی سنجه رسوب

[1] Factor explained
[2] Root mean square error

مورد مقایسه قرار گرفت و مزایا و معایب هریک از این روش‌ها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و بر اساس نتایج به دست آمده شبکه عصبی مصنوعی نتایج قابل قبولی را جهت شبیه‌سازی بارمعلق در ایستگاه هیدرومتری حیدر آباد ارائه می‌کند. بطوری‌که در مقایسه با منحنی سنجه رسوب از دقت بالاتری برخوردار است. مقدار ضریب همبستگی که از شبکه به دست آمده برابر ۰/۹۲ و مقدار ضریب همبستگی منحنی سنجه رسوب برابر ۰/۸۳ است. شبکه عصبی نقاط اوج را بخوبی پیش‌بینی نمی‌کند. که این مورد از نقاط ضعف این مدل به شمار می‌رود.

دهقانی و وفاخواه در سال ۱۳۹۲ به مقایسه برآورد رسوب معلق روزانه با استفاده از منحنی سنجه و شبکه عصبی پرداختند. در این پژوهش کارآیی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و تابع پایه شعاعی و نیز روش‌های مختلف سنجه رسوب در برآورد بار معلق رسوب روزانه ایستگاه قزاقلی واقع در حوزه آبخیر گرگان‌رود مورد ارزیابی قرار گرفت، بدین منظور از آمار دبی و رسوب روزانه سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۶۱ استفاده شد، به این ترتیب که سه سال از داده‌های روزانه ۱۳۶۳- ۱۳۶۱ برای آموزش و یک سال از داده‌ها سال ۱۳۶۴ برای آزمون مدل‌های یاد شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که از بین روش‌های مختلف سنجه رسوب دبی کلاسه و از بین شبکه‌های پرسپترون چند لایه و تابع پایه شبکه شعاعی شبکه پرسپترون چند لایه با ورودی‌های دبی همان روز، دبی یک و دو روز قبل از دقت بالاتری برخورار هستند. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که شیکه عصبی از دقت بالاتری برخوردار است.

خزایی پور وطالبی در سال ۱۳۹۲ به منظور بررسی امکان پیش‌بینی رسوبات معلق با استفاده از ترکیب منحنی سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی در رودخانه قطور چای، پل یزدکان اقدام کردند. در این روش یک مدل رگرسیونی به کمک روش SRC ساخته شد که با کمک داده‌های دبی درایستگاه مذکور میزان بارمعلق درهمان ایستگاه پیش بینی گردد. پس از ساختن این مدل