بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

بررسی روش‌های مختلف برآورد رسوب رودخانه در حوضه‌های آبریز استان مازندران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی

فاطمه فتاحی

استاد راهنما

دکتر منوچهر حیدرپور

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی خانم فاطمه فتاحی

تحت عنوان

بررسی روش‌های مختلف برآورد رسوب رودخانه در حوضه‌های آبریز استان مازندران

در تاریخ ۹۲/۱۰/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر منوچهر حیدرپور
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	مهندس اسماعیل لندی
۳- استاد داور	دکتر جهانگیر عابدی کوپایی
۴- استاد داور	دکتر شمس‌الله ایوبی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمدمهدی مجیدی

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس بی حد خدای متعال را که بار دیگر مرا مرهون اقیانوس بی بدیل و بی کران خود قرار داد و تنگنای تاریک و انباشته ذهنم را با امید و ایمان به شور و شوق کشانید و به من نعمت سلامتی را ارزانی بخشیده تا بتوانم برگی دیگر از دفتر روزگار زندگی را ورق بزنم.

قدردانم، مادر و پدرم را که گرمای امیدبخش وجودشان در سردترین روزگاران بهترین حامی و پشتیبان من بوده است، به پاس قلب بزرگشان که فریادرس است صمیمانه ترین سپاس‌ها را تقدیم می‌کنم.

قدردان تلاش‌ها و رهنمودهای استاد گرانقدر جناب آقای دکتر حیدرپور هستم که در سمت استاد راهنما متحمل زحمت فراوان شده و در جهت به ثمر رساندن این تحقیق از هیچ تلاش و کوششی دریغ ننموده-اند.

از راهنمایی‌های استاد مشاورم جناب آقای مهندس لندی سپاسگذارم.

از دوستان عزیزم خانم‌ها مهندس عریضی، صابری، اصغرنژاد، رستم‌خانی به واسطه همراهی‌ها و خلق زیباترین لحظات زندگیم سپاسگذارم و یاد و خاطره آنها هرگز پاک نخواهد گردید و از کمک‌ها و همفکری‌های دخترعموی بزرگوارم خانم دکتر مریم فتاحی نیز که مرا در این مسیر همراهی نمودند قدردانی می نمایم.

در پایان از همکاری و مساعدت بی دریغ استاد گرامی جناب آقای دکتر علیرضا عمادی تشکر و قدرانی ویژه می‌نمایم.

فاطمه فتاحی

بهمن ۹۲

کلیه حقوق مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری-های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و همه آنهایی که دوستشان دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست شکل‌ها ..... دوازده
فهرست جداول ..... سیزده
فهرست پیوست ..... چهارده
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- عوامل موثر در انتقال مواد رسوبی رودخانه‌ها ۳
۱-۲-۱- حوضه آبریز و خصوصیات فیزیوگرافیک آن ۳
۱-۲-۲- هواشناسی و بارندگی ۳
۱-۲-۳- ریخت‌شناسی ۴
۱-۲-۴- دانه‌بندی و لایه‌بندی مواد رسوبی بستر و کناره‌ها ۴
۱-۲-۵- هیدرولیک جریان ۵
۱-۲-۶- زمین‌شناسی ۵
۱-۲-۷- کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نوع خاک ۵
۱-۳- شکل‌های مختلف انتقال رسوب در رودخانه‌ها ۶
۱-۴- مدل‌های برآورد بار رسوبات ۷
۱-۴-۱- مدل‌های ریاضی ۷
۱-۴-۲- مدل‌های تجربی ۱۶
۱-۴-۳- مدل‌های هیدرولوژیکی ۲۰
۱-۵- سابقه تحقیق ۲۳
۱-۵-۱- تحقیقات انجام شده در ارتباط با مدل‌های هیدولوژیکی (آماری) ۲۳
۱-۶- ضرورت انجام تحقیق ۲۵

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱- مقدمه ۲۷
۲-۲- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه‌های استان مازندران ۲۷
۲-۲-۱- حوضه آبریز نکارود ۲۹
۲-۲-۲- حوضه آبریز تجن ۳۰
۲-۲-۳- حوضه آبریز بابلرود ۳۱
۲-۲-۴- حوضه آبریز تالار ۳۲
۲-۲-۵- حوضه آبریز هراز ۳۳

۲-۲-۶- حوضه آبریز چالوس ۳۴
۲-۲-۷- حوضه آبریز چشمه‌کیله ۳۵
۲-۲-۸- حوضه آبریز سردابرود ۳۶
۲-۳- ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه ۳۷
۲-۴- روش انجام کار و مراحل تحقیق ۳۸
۲-۵- انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری مناسب ۳۸
۲-۶- بازسازی و تخمین داده‌هایی که موجود نیست ۳۹
۲-۷- بررسی کیفیت آمار ۳۹
۲-۷-۱- انجام تست همگنی داده‌ها برای جریان رودخانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۳۹
۲-۷-۲- آزمون کفایت داده‌های طول دوره آماری ۴۰
۲-۷-۳- آزمون حذف داده‌های پرت ۴۰
۲-۸- تبدیل آمار غلظت رسوب به دبی رسوب بر اساس دبی جریان ۴۱
۲-۹- برقراری رابطه بین دبی جریان و دبی رسوب بر اساس مدل‌های مختلف ۴۱
۲-۹-۱- روش منحنی سنجه رسوب ۴۱
۲-۱۰- استفاده از منحنی تداوم جریان رودخانه (دبی کلاسه) ۴۲
۲-۱۱- مدل‌های مورد آزمون در برآورد رسوب ۴۲
۲-۱۱-۱- مدلA: برآورد دبی براساس تمامی داده‌های اندازه‌گیری شده بدون تقسیم‌بندی آنها ۴۲
۲-۱۱-۲- مدلB، مدل حد وسط دسته‌ها ۴۲
۲-۱۱-۳- مدل C، مدل منحنی سنجه رسوب ماهانه ۴۳
۲-۱۱-۴- مدل D، مدل منحنی سنجه رسوب فصلی ۴۳
۲-۱۱-۵- مدل E، مدل تفکیک داده‌ها براساس ماه‌های سیلابی و غیر سیلابی ۴۳
۲-۱۱-۶- مدلF، مدل منحنی سنجه رسوب سالانه ۴۳
۲-۱۲- تعیین میانگین درازمدت سالانه رسوب معلق با استفاده از روش‌های دبی جریان ۴۳
۲-۱۲-۱- منحنی تداوم جریان و تلفیق آن با منحنی‌های سنجه رسوب در مدل‌های پیشنهادی ۴۳
۲-۱۲-۲- تلفیق دبی متوسط روزانه و منحنی‌های سنجه رسوب ۴۴
۲-۱۲-۳- تلفیق دبی متوسط ماهانه و منحنی‌های سنجه رسوب ۴۴
۲-۱۳- تعیین میزان بار بستر در هر ایستگاه ۴۵
۲-۱۴- دبی ویژه رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۴۶
۲-۱۵- ارزیابی مدل ها ۴۸
۲-۱۶- انتخاب مدل برتر در برآورد بار معلق ۴۹

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- مقدمه ۵۰
۳-۲- نتایج تست همگنی داده‌ها برای جریان رودخانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۵۰

۳-۳- نتایج کفایت داده‌ها ۵۱
۳-۴- نتایج آزمون حذف داده‌های پرت ۵۱
۳-۵- تقسیم داده‌ها ۵۱
۳-۶- نتایج حاصل از روش‌های منحنی سنجه رسوب ۵۱
۳-۶-۱- برقراری روابط دبی جریان و دبی رسوب براساس مدل‌های پیشنهادی ۵۱
۳-۶-۲- تحلیل انواع منحنی سنجه با استفاده از معیارهای آماری ۵۳
۳-۶-۳- انتخاب بهترین مدل در برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها ۵۴
۳-۷- برآورد بار رسوب معلق درازمدت سالانه با استفاده از روش‌های دبی جریان ۵۵
۳-۷-۱- استفاده از منحنی تداوم جریان و تلفیق آن با منحنی سنجه رسوب ۵۵
۳-۷-۲- استفاده مستقیم از دبی متوسط روزانه و تلفیق آن با منحنی‌های سنجه رسوب ۵۸
۳-۷-۳- تلفیق دبی متوسط ماهانه و منحنی‌های سنجه رسوب ۵۹
۳-۷-۴- بررسی نتایج ایستگاه رسوب سنجی بلده ۵۹
۳-۸- بررسی نتایج ایستگاه قرآن تالار واقع بر رودخانه بابلرود ۶۰
۳-۹- خلاصه نتایج ارزیابی مدل‌ها در ایستگاه‌های رسوب سنجی مورد مطالعه به تفکیک نوع مدل ۶۲
۳-۹-۱- مدل A، مدل یک خطی بدون تفکیک داده‌ها ۶۲
۳-۹-۲- مدل B، حد وسط دسته‌ها ۶۲
۳-۹-۳- مدل C، تفکیک ماهانه ۶۴
۳-۹-۴- مدل D، مدل منحنی سنجه رسوب فصلی ۶۷
۳-۹-۵- مدل E، مدل تفکیک داده‌ها براساس ماه‌های سیلابی و غیرسیلابی ۶۸
۳-۹-۶- مدلF، مدل منحنی سنجه رسوب سالانه ۷۱
۳-۱۰ محاسبه بار بستر ۷۳
۳-۱۱ محاسبه دبی ویژه رسوب کل ۷۴
۳-۱۲ توزیع فراوانی ۷۶
۳-۱۳ طبقه‌بندی دبی ویژه رسوب ۷۸
۳-۱۴ تغییرات فصلی رسوب معلق ۷۹
۳-۱۵ تعیین درصد خطای برآورد روش‌های منحنی سنجه رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۸۱

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱- نتیجه‌گیری ۸۳
۴-۲- پیشنهادات ۸۵
منابع ۸۶
چکیده انگلیسی ۱۲۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

۱-۱- نحوه توزیع سرعت جریان و تاثیر آن در انتقال بار معلق و بار بستر ۵
۱-۲- شکل‌های مختلف انتقال مواد رسوبی رودخانه‌ها ۷
۱-۳- سرعت سقوط بر حسب فاکتور شکل(S.F)، اندازه ذره و درجه حرارت آب ۹
۱-۵- فاکتور تصحیح x بر حسب زبری نسبی بستر در رابطه توزیع سرعت اینشتین ۱۰
۱-۶- مقادیر ضریب I_1 بر حسب پارامترهای A و Z ۱۱
۱-۷- مقادیر ضریب I_2 بر حسب پارامترهای A و Z ۱۲
۲-۱- موقعیت رودخانه‌ها وحوضه‌های آبریز استان مازندران ۲۸
۲-۲- موقعیت حوضه آبریز نکارود ۲۹
۲-۳- موقعیت حوضه آبریز تجن ۳۰
۲-۴- موقعیت حوضه آبریز بابلرود ۳۱
۲-۵- موقعیت حوضه آبریز تالار ۳۲
۲-۶- موقعیت حوضه آبریز هراز ۳۳
۲-۷- موقعیت حوضه آبریز چالوس ۳۴
۲-۸- موقعیت حوضه آبریز چشمه‌کیله ۳۵
۲-۹- موقعیت حوضه آبریز سردابرود ۳۶
۲-۱۰- نمودار تغییرات نسبت بار بستر به بار معلق بر حسب شیب رودخانه ۴۶
۲-۱۱- یک حوضه فرضی با دو ایستگاه رسوب‌سنجی ۴۷
۳-۱- منحنی سنجه رسوب معلق حد وسط دسته‌ها ایستگاه بلده ۵۵
۳-۲- منحنی سنجه رسوب معلق حد وسط دسته‌ها ایستگاه قرآن‌تالار ۶۲
۳-۳- نمودار منحنی سنجه رسوب معلق، مدل حد وسط دسته‌ها ۶۳
۳-۴- نمودار منحنی سنجه رسوب معلق، مدل تفکیک ماهانه ایستگاه رسوب سنجی گلورد ۶۵
۳-۵- منحنی سنجه رسوب معلق به روش تفکیک فصلی در ایستگاه کیاکلا ۶۸
۳-۶- منحنی سنجه رسوب معلق ایستگاه آبشار الف) ماه‌های سیلابی ب) ماه‌های غیرسیلابی ۶۹
۳-۷- منحنی سنجه رسوب معلق ایستگاه سفیدچاه الف) ماه‌های سیلابی ب) ماه‌های غیرسیلابی ۷۰
۳-۸- مقایسه درصد رسوب معلق حمل شده ماه‌های سال در ایستگاه آبشار ۷۰
۳-۹- مقایسه درصد رسوب معلق حمل شده ماه‌های سال در ایستگاه سفیدچاه ۷۱
۳-۱۰- منحنی سنجه رسوب معلق سالانه الف) ایستگاه ریگ چشمه ب) ایستگاه سلیمان تنگه ۷۲
۳-۱۱– توزیع فراوانی حوضه‌ها از نظر مساحت ۷۷
۳-۱۲ – توزیع فراوانی حوضه‌ها از نظر متوسط رسوب کل ۷۷
۳-۱۳- توزیع فراوانی حوضه‌ها از نظر دبی ویژه رسوب کل ۷۷
۳-۱۴- توزیع مساحت در کلاس‌های رسوب‌دهی ویژه ۷۸

۳-۱۵- مقایسه درصد رسوب معلق در فصل‌های مختلف سال ۷۹
۳-۱۶ - مقایسه درصد رسوب و دبی جریان در ماه‌های مختلف سال ۸۱
۳-۱۷- میانگین درصد بار معلق حمل شده در فصل‌های مختلف سال در کل حوضه مازندران ۸۱
۳-۱۸ - محاسبه درصد خطای برآورد در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مورد مطالعه ۸۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

۱-۱- چگونگی تاثیرپذیری بار رسوبی حمل شده از خصوصیات ریخت شناسی رودخانه ها ۴
۱-۲- مقادیر α و n در مدل فلمینگ بر اساس نوع پوشش گیاهی ۱۷
۱-۳- عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب به همراه نمرات مربوط به آن در روش PSIAC ۱۹
۲-۱- ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب ۳۷
۳-۱- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های رسوب سنجی رودخانه تجن ۵۲
۳-۲- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه بلده (رودخانه هراز)... ۵۳
۳-۳- رتبه‌بندی مدل‌های منحنی سنجه رسوب در ایستگاه بلده (رودخانه هراز) براساس شاخص‌های آماری ۵۴
۳-۴- محاسبات رسوب معلق درازمدت رودخانه هراز در ایستگاه بلده با استفاده از مدل حد وسط دسته‌ها و منحنی تداوم جریان ۵۶
۳-۵- برآورد بار رسوب معلق سال‌های آماری با روش تلفیق مدل‌های پیشنهادی و دبی متوسط روزانه رودخانه هراز در ایستگاه بلده ۵۸
۳-۶- برآورد بار رسوب معلق سال‌های آماری (تن در سال) با روش تلفیق مدل‌های پیشنهادی و دبی متوسط ماهانه رودخانه هراز در ایستگاه بلده ۵۹
۳-۷- خطای برآورد روش‌های مختلف نسبت به مقدار مشاهده‌ای ۶۰
۳-۸- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه قرآن‌تالار ۶۰
۳-۹- رتبه‌بندی مدل‌های منحنی سنجه رسوب در ایستگاه قرآن‌تالار براساس شاخص‌های آماری ۶۱
۳-۱۰- برآورد بار رسوب معلق سالانه (تن در سال) با روش تلفیق مدل‌های پیشنهادی و روش جریان در ایستگاه قرآن تالار ۶۱
۳-۱۱- برآورد درازمدت بار معلق سالانه (تن در سال) با روش تلفیق مدل حد وسط دسته‌ها و روش‌های دبی جریان ۶۲
۳-۱۲- برآورد درازمدت بار معلق سالانه (تن در سال) با استفاده از تلفیق مدل تفکیک ماهانه و روش‌های دبی جریان ۶۴
۳-۱۳- برآورد درازمدت بار معلق سالانه (تن در سال) با استفاده از تلفیق مدل تفکیک فصلی و روش‌های دبی جریان ۶۷
۳-۱۴- برآورد درازمدت بار معلق سالانه (تن در سال) با استفاده از تلفیق مدل ماه‌های سیلابی و غیرسیلابی و روش‌های دبی جریان ۶۹
۳-۱۵- برآورد درازمدت بار معلق سالانه (تن در سال) با استفاده از تلفیق مدل میانگین سالانه و روش‌های دبی جریان ۷۲
۳-۱۶- محاسبه بار بستر سالانه در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مورد مطالعه ۷۴
۳-۱۷- محاسبات دبی ویژه رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۷۵
۳-۱۸- دسته‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس دبی ویژه رسوب ۷۸

فهرست پیوست

عنوان **صفحه**

جدول ۱- جدول توزیع t استیودنت ۹۰
جدول ۲- نتایج آزمون همگنی ران تست در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه ۹۱
جدول ۳- آزمون کفایت داده‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری موردمطالعه ۹۲
جدول۴- نتایج آزمون تشخیص داده‌های پرت در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۹۳
جدول ۵- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های هیدرومتری بابلرود ۹۶
جدول ۶- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه چالوس ۹۷
جدول ۷- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه چشمه‌کیله ۹۹
جدول ۸- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه سرداب‌رود ۱۰۰
جدول ۹- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه تالار ۱۰۱
جدول ۱۰- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه نکارود ۱۰۲
جدول ۱۱- روابط رگرسیونی دبی جریان-دبی رسوب برای ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه هراز ۱۰۳
جدول ۱۲- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه پل ذغال (چالوس) ۱۰۴
جدول ۱۳- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه دوآب (چالوس) ۱۰۴
جدول ۱۴- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه رزن (هراز)..... ۱۰۵
جدول ۱۵- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه کردخیل (تجن). ۱۰۵
جدول ۱۶- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی دره هریجان (چالوس) ۱۰۶
جدول ۱۷- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه ولی آباد (چالوس) ۱۰۶
جدول ۱۸- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه آبشار (چالوس). ۱۰۷
جدول ۱۹- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه سفیدچاه (نکارود) ۱۰۷
جدول ۲۰- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه ریگ چشمه (تجن) ۱۰۸
جدول ۲۱- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه گرم‌رود (تجن) . ۱۰۸
جدول ۲۲- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه سلیمان‌تنگه (تجن) ۱۰۹
جدول ۲۳- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه هراتبر (چشمه کیله) ۱۰۹
جدول ۲۴- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه قلعه گردن (چشمه کیله) ۱۱۰

جدول ۲۵- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه آبلو (نکارود).... ۱۱۰
جدول ۲۶- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه پنجاب (هراز).... ۱۱۱
جدول ۲۷- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه کرسنگ (هراز). ۱۱۱
جدول ۲۸- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه پل مرگن (چالوس)..... ۱۱۲
جدول ۲۹- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه والت..... ۱۱۲
جدول ۳۰- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه گلورد..... ۱۱۳
جدول ۳۱- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه شیرگاه-تالار..... ۱۱۳
جدول ۳۲- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه شیرگاه-کسیلیان ۱۱۴
جدول ۳۳- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه کیاکلا..... ۱۱۴
جدول ۳۴- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه کلاردشت..... ۱۱۵
جدول ۳۵- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از روشهای منحنی سنجه در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه زوات..... ۱۱۵
شکل ۱- نمودار منحنی سنجه رسوب معلق، مدل حد وسط دسته‌ها..... ۱۱۶
شکل ۲- نمودار منحنی سنجه رسوب معلق، مدل تفکیک ماهانه ایستگاه رسوب سنجی زوات..... ۱۱۷
شکل ۳- نمودار منحنی سنجه رسوب معلق، مدل تفکیک ماهانه ایستگاه رسوب سنجی کلاردشت..... ۱۱۹
شکل ۴- نمودار منحنی سنجه رسوب معلق، مدل تفکیک ماهانه ایستگاه رسوب سنجی ولی آباد..... ۱۲۱
شکل ۵- نمودار منحنی سنجه رسوب معلق، مدل تفکیک ماهانه ایستگاه رسوب سنجی والت..... ۱۲۳
شکل ۶- منحنی سنجه رسوب معلق سالانه الف) ایستگاه گرم‌رود ب) ایستگاه پل مرگن..... ۱۲۵
شکل ۷- منحنی سنجه رسوب معلق مدل میانگین سالانه الف) ایستگاه شیرگاه- کسیلیان ب) ایستگاه شیرگاه- تالار..... ۱۲۵
شکل ۸- منحنی سنجه رسوب معلق مدل میانگین سالانه..... ۱۲۶

چکیده

آگاهی از میزان حمل رسوبات رودخانه ای در پروژه های آبی و مباحث مهندسی منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است. بااین حال تاکنون مطالعات دقیق و جامعی در این زمینه صورت نگرفته است. از روشهای معمول در برآورد بار معلق رودخانه ها، روشهای هیدرولوژیکی می باشد. هدف از انجام این تحقیق، بدست آوردن مناسب‌ترین معادله جهت برآورد بار معلق و تعیین دبی ویژه رسوب کل در حوضه‌های آبریز استان مازندران می‌باشد. در این تحقیق با استفاده شش روش شامل: مدل‌های منحنی سنجه یک خطی، دسته‌بندی داده‌ها بصورت ماهانه، فصلی، سالانه، حد وسط دسته‌ها و ماه‌های سیلابی و غیرسیلابی، انواع معادله های سنجه رسوب تهیه و اقدام به انتخاب بهترین مدل در برآورد بارمعلق گردید. به منظور انجام این پژوهش از آمار متناظر دبی جریان و دبی رسوب که به‌صورت تصادفی در برخی روزهای سال در ایستگاه‌های هیدرومتری اندازه‌گیری می‌شود استفاده شده‌است. همچنین جهت برآورد مقدار متوسط درازمدت بار معلق سالانه، داده‌های متوسط دبی جریان روزانه و ماهانه نیز مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت بهترین مدل در هر ایستگاه با استفاده از شاخص‌های آماری نظیر میانگین مربعات خطا (MSE)، ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطای نسبی برآورد (RME) و ضریب کارایی نش و ساتکلیف (EF) انتخاب گردید. با توجه به ارزیابی ۲۶ ایستگاه هیدرومتری که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفتند مدل سالانه، تفکیک ماهانه و حد وسط دسته‌ها به‌ترتیب بهترین برآورد از بار معلق را دارا بودند. با بررسی درصد رسوب حمل شده در فصول مختلف سال، مشخص گردید عمده رسوبات حوضه‌های آبریز مازندران مربوط به فصل بهار می‌باشد. با محاسبه دبی ویژه رسوب کل در سطح حوضه‌های مورد بررسی، نتایج حاکی از آن بود که حوضه‌های آبریز استان مازندارن از نظر رسوب‌دهی ویژه در محدوده کم تا متوسط قرار دارند. منحنی سنجه رسوب در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مورد مطالعه، برآورد بار معلق را با ۶۵- تا ۲۰ درصد خطا نسبت به مقدار واقعی انجام می‌دهد و بطور متوسط، این مقدار برای تمامی ایستگاه‌ها معادل ۱۸- درصد بدست آمد.

کلمات کلیدی: منحنی سنجه، بار معلق، بار کل، رسوبدهی ویژه، حوضه آبریز مازندران

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

فرسایش فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می شوند. در صورتی که عامل جدا شدن ذرات از بستر و انتقال آنها آب باشد به آن فرسایش آبی گفته می شود. از انواع دیگرفرسایش می توان فرسایش بادی و فرسایش یخچالی را نام برد. در حوضه‌های آبریز، فرسایش آبی مهمترین عامل فرسایش و انتقال رسوب[۱] می باشد. نیروی آب موجب فرسایش خاک و انتقال مواد شامل رس، سیلت، ماسه، سنگریزه و مواد آلی از اراضی حوضه‌ها، کناره ها و کف آبراهه ها و رودخانه ها می‌گردد. در علم مهندسی هیدرولیک به کلیه ذرات اعم از سنگ، خاک و مواد معدنی که در اثر جریان از جایی به جای دیگر منتقل شده اند و یا در حال انتقال می‌باشند رسوب اتلاق می شود. حرکت مواد و مصالح در آبراهه ها را انتقال رسوب گفته و مواد در حال حرکت، بار رسوبی را تشکیل می‌دهند [۲۸]. این رسوبات تولید شده پس از طی مسیرهای پرپیچ و خم حوضه آبریز، سرانجام به پشت سدها و منابع آب می رسند.

تجمع رسوبات در پشت سدها موجب کاهش ظرفیت ذخیره و در نتیجه محدود شدن عمر مخازن می‌شود. هرساله تقریباً ۲۰ میلیارد تن رسوبات توسط رودخانه‌های جهان انتقال یافته و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌گردد [۲۴]. در ایران نیز سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون متر مکعب از گنجایش مفید سدهای مخزنی به علت رسوب‌گذاری کاسته می‌شود [۲۴].

---

[۱] - Sediment

[۱] - PSIAC

آگاهی از میزان مواد جامد رسوب که توسط جریان، حمل و یا ترسیب می گردد، از جمله اطلاعات لازم و اولیه هر پروژه آبی و یکی از عوامل مهم تصمیم‌گیری در مورد احداث سازه‌های آبی در رودخانه‌ها از جمله سدها می‌باشد.

سدها از مهمترین سازه‌های آبی ساخته دست بشر می‌باشند که به منظور کنترل سیلاب، آبیاری، تأمین آب شهری و صنعتی، تولید برق، کنترل رسوب و مقاصد تفریحی ساخته می‌شوند. هنگامی که سدی روی یک رودخانه احداث می‌گردد، علاوه بر آب، رسوبات حمل شده به وسیله رودخانه نیز در مخزن سد ذخیره شده و حجم مخزن سد به تدریج کاهش می‌یابد [۳۲]. این امر باعث افزایش میزان تبخیر برای یک ظرفیت ذخیره مشخص، آب‌گرفتگی و تشکیل باتلاق در اراضی بالادست سد، افزایش قدرت فرسایش رودخانه در پایین دست سد، کاهش حجم کنترل سیلاب مخزن و در برخی موارد حاد باعث ایجاد پدیده روگذری در خلال سیل می‌شود [۵۴]. رسوبات تجمع یافته علاوه بر کاهش حجم مفید ذخیره مخزن، پایداری سد را کاهش داده و بر عملکرد تأسیسات خروجی اثرات نامطلوب می‌گذارند [۱۳].

۱-۲ عوامل موثر در انتقال مواد رسوبی رودخانه ها

۱-۲-۱ حوضه آبریز و خصوصیات فیزیوگرافیک آن

خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز نظیر مساحت، شیب، تراکم آبراهه ها، شکل حوضه و نیمرخ طولی رودخانه بر مقدار رسوب حمل شده در رودخانه ها تاثیر بسزایی دارد. نمیرخ طولی رودخانه ها از جمله شاخص های فیزیوگرافیک می‌باشد که نقش مهمی را در انتقال رسوب ایفا می‌کند. در نواحی بالادست رودخانه ها، شیب زیاد باعث افزایش توان انتقال مواد درشت‌دانه توسط رودخانه شده و به تدریج با کاهش شیب حوضه آبریز در بازه های پایین دست مواد درشت دانه ته نشین شده و رسوبات ریزدانه انتقال می‌یابند. همچنین با افزایش سطح حوضه آبریز به دلیل وجود شاخه ها و شعبات فرعی بیشتر رودخانه ها، مقدار رسوب حمل شده افزایش می‌یابد. در حوضه های کوهستانی وقوع پدیده‌های زمین لغزش و کوه ریزش متداول بوده و نرخ فرسایش خاک شدیدتر می‌شود [۵].

۱-۲-۲ هواشناسی و هیدرولوژی

شدت بارندگی و مدت دوام آن از جمله عوامل هواشناسی تاثیرگذار در انتقال رسوب می باشد. بطوریکه در بسیاری از مدل‌های فرسایش خاک از جمله مدل پسیاک[۱] و یونیورسال[۲] این دو عامل نیز دخیل می باشند. لانگبین[۳]، در تعیین نرخ فرسایش خاک، بارش متوسط حوضه را بعنوان عامل اصلی معرفی کرده است. در تعیین مقدار انتقال رسوبات رودخانه‌ها، ثبت دبی روزانه و غلظت بار معلق به‌عنوان بخشی از داده‌های هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز می‌باشد [۵].

---

[۱]- PSIAC
[۲]- Universal Soil Loss Equation (USLE)
[۳]- Langbein

۱-۲-۳ ریخت شناسی

براساس بررسی های انجام شده و مطابق با جدول(۱-۱) بار رسوبی رودخانه ها با شکل آنها رابطه‌ی مستقیم دارد. مطابق جدول در رودخانه های پیچانرودی[۱] شدید که نسبت W/D (W عرض رودخانه و D عمق رودخانه) کم‌تر از ۷ باشد عمده بار رسوب انتقال یافته بصورت بار معلق بوده که در نتیجه‌ی آن رودخانه دارای عمق زیاد و عرض کم خواهد بود. به همین ترتیب در رودخانه های مستقیم و شریانی[۲] که نسبت W/Dدر آنها بیش از ۲۵ می باشد بار بستر بخش عمده ای از بار رسوبی را تشکیل می‌دهد و هندسه رودخانه نیز براساس آن شکل می‌گیرد. برای رودخانه‌هایی که حالت مختلط دارند و نسبت W/Dدر آنها بین ۷ تا ۲۵ تغییر می‌کند بار بستر و بار معلق تقریبا سهم برابری را در مقدار بار رسوبی انتقال یافته خواهند داشت [۵].

جدول ۱-۱- چگونگی تاثیرپذیری بار رسوبی حمل شده از خصوصیات ریخت شناسی رودخانه ها

نوع رودخانه	شیب	ضریب تغییرات☆	W/D	درصد رس و سیلت در بستر و کناره‌ها	بار بستر ٪	بار معلق ٪	نوع بار رسوبی
پیچانرودی شدید	کم	>۲/۱	<۷	۹۰ – ۱۰۰	۰ – ۲۰	۸۰ – ۱۰۰	عمدتا بار معلق
پیچانرودی	ملایم	۱/۵ – ۲/۱	۷ – ۲۵	۳۰	۱۵ – ۳۵	۶۵ – ۸۵	مختلط (بار بستر و بار معلق)
مستقیم و شریانی	نسبتا تند	۱ – ۱/۵	>۲۵	۰	۳۵ – ۷۰	۳۰ – ۶۵	عمدتا بار بستر

☆ضریب تغییرات عبارت است از نسبت طول رودخانه به طول دره

۱-۲-٤ دانه بندی و لایه بندی مواد رسوبی بستر و کناره‌ها

میزان حمل مواد رسوبی ریزدانه به مراتب بیشتر از دانه های درشت می باشد. اندازه مواد رسوبی به تبعیت از شیب رودخانه تغییر می‌کند، به‌طوری‌که در رودخانه‌های کوهستانی که شیب رودخانه زیاد می-باشد حمل مواد رسوبی به‌صورت قطعات درشت سنگ‌ها و لاشه سنگ ها به همراه ذرات خرد شده شن و ماسه صورت می‌گیرد و در مناطق کوهپایه‌ای و جلگه ای به‌تدریج با کاهش شیب رودخانه اندازه مواد رسوبی حمل شده نیز کاهش می‌یابد.

براساس اندازه دانه ها مواد رسوبی به دو دسته رسوبات غیرچسبنده یا درشت دانه[۳] و رسوبات چسبنده یا ریزدانه‌ها[۴] تقسیم می شود.

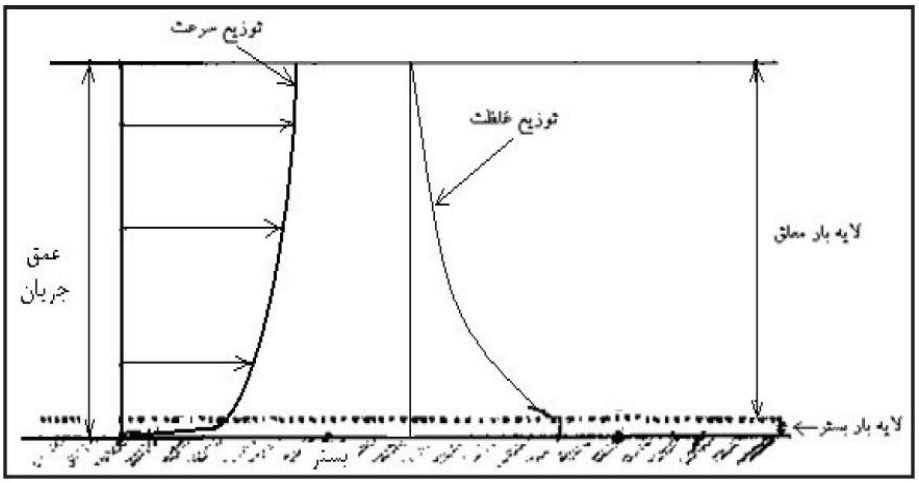
رسوبات درشت دانه غیرچسبنده شامل : شن، ماسه، قلوه سنگ و نظایر آن می‌باشند و رس و سیلت ریز نیز از عناصر اصلی گروه رسوبات ریزدانه و چسبنده تلقی می شوند [۵].

۱- Meandering River
۲- Braided River
۳- Noncohesive Sediments or Coarse Sediment
٤ - Cohesive Sediment or Fine Sediment

۱-۲-۵ هیدرولیک جریان

سرعت جریان، عمق آب، شیب خط انرژی، تنش برشی و دبی جریان را می‌توان از جمله عوامل تاثیرگذار در تعیین بار رسوبی نام برد. در شکل(۱-۱) تأثیر سرعت بر انتقال بار معلق و بار بستر نشان داده شده است. مطابق با شکل به دلیل کاهش سرعت در نزدیکی بستر انتقال مواد در این ناحیه به صورت بار بستر بوده و با افزایش سرعت در لایه های بالایی از بستر، شرایط انتقال رسوب به صورت بار معلق فراهم می گردد.

عوامل هیدرولیکی تاثیرگذار بر نحوه انتقال رسوب بسیار گسترده بوده به‌طوری‌که جریان‌های زیربحرانی و فوق بحرانی هر یک شرایط متفاوتی را جهت انتقال و جابجایی مواد رسوبی فراهم می‌آورند [۵].



شکل ۱-۱- نحوه توزیع سرعت جریان و تاثیر آن در انتقال بار معلق و بار بستر [۲]

۱-۲-۶ زمین شناسی

خصوصیات زمین شناسی در تغذیه مواد رسوبی رودخانه ها نقش موثری را ایفا می‌کنند. درصورتی که سطح حوضه آبریز از سازندهای سخت و مقاوم تشکیل شده باشد نرخ فرسایش در آنها کم و به تبع آن میزان انتقال رسوب کمتر صورت می‌گیرد. در مقابل وجود تشکیلات زمین‌شناسی سست و فرسایش-پذیر مانند لایه های رس و سیلت، فرسایش خاک زیاد شده و بار رسوبی رودخانه نیز افزایش می‌یابد [۵].

۱-۲-۷ کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نوع خاک

فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی از جمله عوامل موثر در فرسایش خاک و افزایش بار رسوبی رودخانه ها می‌باشد. گسترش شهرها، فعالیت‌های کشاورزی، احداث راه‌ها و سایر امور عمرانی باعث ناپایداری خاکدانه ها شده و بر اثر وقوع بارندگی و رواناب سطحی از بستر خود جدا می‌شوند و به شبکه‌ی آبراهه‌ها انتقال می‌یابند.