دانشگاه یزد

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران - منابع آب

برآورد بار رسوب بستر با استفاده از روش درختان تصمیم‌گیری رگرسیونی و مقایسه با روش‌های تجربی

استادان راهنما:

دکتر نصرت الله امانیان

دکتر علی طالبی

استاد مشاور:

مهندس جواد محجوبی

پژوهش و نگارش:

پریسا حجه بخش

خرداد ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

خانواده عزیزم که همواره به شوق شادمانیشان سعی در تحصیل علم نموده‌ام.

همسر مهربانم که عاشقانه مرا حمایت کرد و دلگرمی داد.

همه عزیزانی که در این جایگاه بودنم را به قدر ذره و یا کمتر از آن به آن‌ها مدیونم.

تقدیر و تشکر

ابتدا خالق بی همتا و مهربان را سپاس می گویم از اینکه مرا مورد لطف و مرحمت خود قرار داد همانگونه که هر لحظه زندگیم بی لطف او نگذشته است، و سپس از بندگان عالم و فرزانه ای که او خود به یاریم فرستاد، تا این ره به مقصد برسد، کمال قدردانی و تشکر را می نمایم. از جمله این عزیزان اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر امانیان و آقای دکتر طالبی که همواره با چهره ای گشاده مرا از راهنمایی های ارزنده خود بهره مند گردانیدند، و نیز از جناب آقای مهندس محجوبی، مشاور محترم که با سطح دانش والای خود یاریگر اینجانب بودند، تشکر می نمایم.

همچنین بر خود لازم می دانم از آقای مهندس سلمانیان کارشناس محترم آب منطقه ای ارومیه و آقای مهندس حمزه پوری، جهت در اختیار قرار دادن داده های مورد نیاز، سپاسگذاری کنم. و نیز کمال تشکر را از همه عزیزانی که مرا در این پایان نامه یاری نمودند و مجال نام بردن اسامی آن ها در این مختصر نمی گنجد، دارم.

امید است لطف الهی یاریگر همه دوستان و همراهانم در این پژوهش قرار گیرد.

چکیده

بررسی پدیده رسوب و برآورد رسوب حمل شده توسط رودخانه اهمیت خاصی دارد و گسترش شیوه‌های نوین تخمین رسوب که دارای سهولت کاربرد باشند در این میان نقش مهمی خواهد داشت. از آنجا که روشهای تجربی در برآورد رسوبات اعم از معلق، بستر و بارکل بسیار پرکاربردند تحقیقات بسیاری در زمینه این روابط انجام شده است اما تاکنون در ایران با روش درخت تصمیم برآورد بار بستر انجام نگردیده است. بنابراین برآن شدیم تا در این تحقیق با استفاده از شیوه‌ی درختان تصمیم‌گیری رگرسیونی، بار رسوب بستر را برآورد کنیم و سپس با بار رسوب بستر برآورد شده با چند روش تجربی رایج (مثل روابط میر پیتر مولر، شیلدز، اینشتین براون، شوکلیچ و...) مقایسه کنیم تا میزان کارایی این روش در مقابل شیوه‌های رایج برآورد رسوب مشخص گردد.

جهت انجام این تحقیق از داده‌های ایستگاه یل یزدکان واقع بر رودخانه قطورچای در استان آذربایجان غربی که رودخانه‌ای کوهستانی با بستر شنی است و حجم رسوبات بالایی حمل می‌کند، استفاده نموده‌ایم. بعد از بررسی صحت و پالایش داده‌ها، طول دوره آماری برابر با ۸ سال (۱۳۸۰-۱۳۸۸) و ۷۶ داده در نظر گرفته شد. از این میزان داده‌ها ۸۰٪ آن برای آموزش و ۲۰٪ آن برای آزمون مورد استفاده قرار گرفته‌است. بهترین ترکیب ورودی که بهترین انطباق نتایج را نشان داد، شامل دبی آب متناظر (همزمان با برداشت رسوب)، دبی رسوبات معلق متناظر، عمق آب و سرعت جریان می‌باشد. دبی رسوب بستر تنها متغیر خروجی بوده‌است.

مقایسه نتایج درختان رگرسیونی با فرمول‌های تجربی، حاکی از دقت بیشتر درخت تصمیم در برآورد رسوبات بستر می‌باشد.

کلمات کلیدی: درختان رگرسیونی، بار بستر، روش‌های تجربی، برآورد رسوب

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه و کلیات	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- اهداف تحقیق	۴
۱-۳- فرضیات تحقیق	۴
۱-۴- اهمیت و ضرورت تحقیق	۴
۱-۵- کلیات	۵
۱-۶- تعاریف	۷
۱-۷- طبقه‌بندی رسوبات انتقالی	۹
۱-۷-۱- انتقال بار بستر	۱۱
۱-۷-۲- روش‌های محاسبه بار بستر	۱۱
۱-۷-۲-۱ تعیین بار بستر در شرایط وجود آمار	۱۲
۱-۷-۲-۲- تعیین بار بستر از بار معلق	۱۳
۱-۷-۲-۳- تعیین بار بستر از معادلات تئوریک	۱۳
۱-۷-۳- دستگاه‌های نمونه‌برداری بار رسوب بستر رودخانه	۲۳
۱-۷-۳-۱ نمونه‌برداری بار کف به‌صورت مستقیم	۲۳
فصل دوم : پیشینه تحقیق	
۲-۱- مقدمه	۲۷
۲-۲- مطالعات انجام شده در زمینه انتقال رسوب بستر با روابط تجربی	۲۷
۲-۳- مطالعات انجام شده در زمینه انتقال رسوب با روش‌های هوش مصنوعی	۳۲
فصل سوم : داده‌ها و روش‌ها	

۳-۱- مقدمه ۳۹
۳-۲- منطقه مورد مطالعه ۴۰
۳-۲-۱- مواد بار کف بازه پل یزدکان ۴۱
۳-۲-۲- ضریب زبری ۴۲
۳-۳- رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه ۴۴
۳-۴- داده کاوی ۴۴
۳-۴-۱- ساختار درخت تصمیم ۴۵
۳-۴-۲- یادگیری درخت تصمیم ۴۶
۳-۴-۳- انواع درختان تصمیم ۴۷
۳-۴-۳-۱- توقف الگوریتم و ایجاد درخت بهینه ۴۹
۳-۵- استفاده از روش درخت تصمیم در برآورد انتقال رسوب ۵۱
۳-۵-۱- پارامترهای ورودی خروجی ۵۲
۳-۵-۲- روش ایجاد درخت تصمیم با توابع متلب ۵۲
۳-۶- بررسی اعتبار مدل ۵۳
فصل چهارم : نتایج و بحث
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- بررسی داده‌ها ۵۶
۴-۳- نتایج روش‌های تجربی ۵۸
۴-۴- نتایج مدل درخت تصمیم ۶۱
۴-۴-۱- تعیین بهترین ترکیب ورودی ۶۱
۴-۴-۲- تعیین درخت بهینه ۶۸
۴-۵- مقایسه نتایج مدل درخت تصمیم رگرسیونی و روش‌های تجربی ۷۲

فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری ۷۴

۵-۲- پیشنهادات ۷۶

پیوست

قوانین درخت تصمیم بهینه ۷۹

داده ها ۸۰

منابع و مراجع

فهرست منابع و مراجع ۸۳

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
۱-۱ نحوه جابجایی مواد رسوبی در بستر رودخانه و مفهوم لایه بار بستر	۸
۱-۲ نمودار تجربی نسبت بار بستر به بار معلق در رودخانه‌ها [بهادری]	۱۳
۱-۳ شمای مدل بار بستر دوبویز [یانگ،۱۹۹۶]	۱۴
۱-۴ نمودار کالینسکی برای تعیین بار بستر [راهنمای برآورد بار رسوب بستر و معلق، ۱۳۸۸]	۲۱
۱-۵ دستگاه هلی- اسمیت برای برداشت رسوب کف	۲۵
۳-۱ شمایی از منطقه مورد مطالعه	۴۱
۴-۱ افزایش بار معلق با افزایش دبی جریان	۵۷
۴-۲ افزایش بار کل با افزایش دبی جریان	۵۷
۴-۳ افزایش بار کف با افزایش دبی جریان	۵۷
۴-۴ خطوط برازش شده روی بار رسوب کف، معلق و کل	۵۷
۴-۵ (الف) نسبت بار معلق به بار کل، (ب) نسبت بار کف به بار کل	۵۸
۴-۶ مقایسه نتایج برآورد هفت روش تجربی	۵۹
۴-۷ همبستگی مقادیر رسوب بستر برآورد درخت تصمیم به ازای ۹ مدل ورودی و مقادیر مشاهداتی	۶۲
۴-۸ درخت تصمیم مدل ۵	۶۵
۴-۹ تغییر ضریب همبستگی به ازای هر سطح هرس درخت تصمیم	۶۹
۴-۱۰ تغییر جذر میانگین مربعات خطا به ازای هر سطح هرس درخت تصمیم	۶۹
۴-۱۱ درخت تصمیم حداکثربدون اعمال هرس	۷۰
۴-۱۲ درخت تصمیم بهینه که سه سطح آن هرس شده است	۷۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
۱-۱ معیار معلق شدن دانه‌های رسوب در رودخانه‌ها بر اساس نظرات محققین مختلف	۹
۳-۱ خصوصیات فیزیکی مواد بستری و بار کف بازه پل یزدکان – رودخانه قطور	۴۲
۳-۲ ورودی‌ها و خروجی‌های در نظر گرفته شده برای الگوریتم درخت تصمیم	۵۲
۴-۱ نتایج روش‌های تجربی با داده‌های آزمون درخت تصمیم	۶۱
۴-۲ تعیین بهترین ترکیب ورودی درخت تصمیم با نحوه انتخاب داده ساده	۶۶
۴-۳ تعیین بهترین ترکیب ورودی درخت تصمیم با نحوه انتخاب داده ترتیبی	۶۷
۴-۴ هرس درخت تصمیم نهایی	۶۸
۴-۵ مقایسه نتایج بهترین مدل درخت تصمیم و بهترین روش تجربی	۷۲

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

هرساله هزاران تن مواد جامد از سطح حوضه‌های آبخیز شسته شده و از محلی به محل دیگر انتقال می‌یابند. به طوری که در سال بیش از ۲۰ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان انتقال و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌گردد و در سال نیز بالغ بر ۱۰۰ میلیون متر مکعب از گنجایش سدهای مخزنی در ایران نیز به خاطر رسوبگذاری کاسته می‌شود (کاظمی،۱۳۸۷).

به‌دلیل اهمیت رسوب‌گذاری در کشور در ایستگاه‌های آب‌سنجی غلظت یا آلودگی جریان توسط وزارت نیرو اندازه‌گیری می‌شود. داده‌های به دست آمده در مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با منابع آب، فرسایش و رسوب و مسائل زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهمترین کاربرد این داده‌ها در برآورد میزان رسوبدهی رودخانه است که به دلیل کاربرد روش‌های تجربی، دقیق و مطمئن نیست. تعداد کم نمونه‌ها (به خصوص در زمان‌های سیلابی) و مناسب نبودن روش‌های نمونه‌گیری باعث شده است تا برآوردهای رسوبدهی همواره با شک و تردید همراه بوده و گاهی کارشناسان برآوردهای متفاوتی از یک رودخانه داشته باشند (محمدی استاد کلایه، ۱۳۸۱).

کشور ما با دارا بودن رودخانه‌های متعدد پتانسیل بالایی جهت ایجاد سد در نقاط مختلف دارد که در موارد متعددی بهره‌وری مخزن سد به واسطه انباشتگی رسوبات کاهش یافته و یا اصلا قابل غیر قابل استفاده شده است. از طرفی همه ساله سیل در نقاط مختلف کشور باعث ایجاد خسارت های فراوانی می‌گردد، که علت پدید آمدن سیل در موارد قابل توجهی، کاهش یافتن ظرفیت حمل آب توسط مقطع رودخانه به دلیل انباشتگی رسوبات می‌باشد (نظم آرا، ۱۳۸۵).

رودخانه‌های ما در مقایسه با رودخانه‌های جهان بدلیل شرایط آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و فشار بیش از حد به اراضی حوضه های آبخیز، رسوبات بالاتری را حمل می کنند، که همواره آسیب‌ها و خسارات زیادی به دنبال دارد و مهمترین آن ها عبارتند از: تخریب پل‌ها و سازه های کنار رودخانه، عمیق‌تر شدن بستر کانال‌ها، پر شدن کانال‌های آبرسانی، کاهش عمق رودخانه‌ها، رسوبگذاری در مخازن پشت سد و کاهش ظرفیت مخزن و بسیاری موارد دیگر که این

خسارات باعث می شوند که هزینه‌های زیادی به مردم و دولت تحمیل شود (رفاهی ۱۳۷۵). برآورد بار رسوبی در رودخانه‌ها یکی از مهمترین و مشکل‌ترین قسمت های مطالعات انتقال رسوب و مهندسی رودخانه است.

لذا بررسی پدیده رسوب و برآورد رسوب حمل شده توسط رودخانه اهمیت خاصی داشته و گسترش شیوه‌های نوین تخمین رسوب که دارای سهولت کاربرد باشند در این میان نقش مهمی خواهد داشت. از آنجا که روشهای تجربی در برآورد رسوبات اعم از معلق، بستر و بارکل بسیار پرکاربردند تحقیقات بسیاری در زمینه این روابط انجام شده است اما تاکنون در ایران با روش درخت تصمیم در زمینه بار بستر این برآورد انجام نگردیده است. استفاده از روش درختان تصمیم گیری به عنوان روشی نو و ابزاری قدرتمند و قابل اعتماد می‌تواند یاری‌گر مسئولان و مهندسان امور آب برای برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع آبی کشور باشد.

درختان تصمیم ابزاری است که قابلیت پاسخ گویی به مسائل پیچیده و غیر خطی را دارد و از آنجایی که در علوم دیگر از جمله برق و الکترونیک که اساساً شامل مسائل غیر خطی هستند به خوبی از عهده حل مسائل برآمده است لذا پای این ابزار جدید به علوم مهندسی باز شده است. جواب‌های منطقی و قابل قبولی که در این زمینه با استفاده از درختان تصمیم‌گیری گرفته شده است مارا برآن داشت که دید خود را به ورای روش‌های سنتی و متداول گسترش دهیم و درصدد استفاده از هوش مصنوعی (درختان تصمیم را می‌توان به عنوان شاخه‌ای از علم هوش مصنوعی دانست) برای حل مسائل رسوب برآئیم. بنابراین برآن شدیم تا در این تحقیق با استفاده از شیوه‌ی درختان تصمیم‌گیری، بار رسوب بستر را برآورد کنیم و سپس با بار رسوب بستر برآورد شده با چند روش تجربی رایج و داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی بار رسوب مقایسه کنیم تا کارایی این روش در مقابل شیوه‌های رایج برآورد رسوب مشخص گردد.

پس از بیان اهداف و ضرورت پژوهش در این فصل، در فصل بعدی خلاصه‌ای از

تحقیقات انجام شده در زمینه برآورد رسوبات و روش‌های هوش مصنوعی به‌کار برده شده در ایران و جهان را آورده‌ایم، و در فصل سوم به بیان کلیاتی راجع به رسوب و نیز روش‌های موجود برای برآورد بار رسوب بستر پرداخته‌ایم. فصل چهارم به توضیح روش درختان رگرسیونی و فصل پنجم هم به داده‌ها و روش‌ها و توضیح نحوه کار و اطلاعات میدانی تحقیق اختصاص دارد. در نهایت در فصل ششم به بیان نتایج و دستاوردهای پژوهش، مشکلات و پیشنهاداتی جهت تحقیقات آتی آورده‌ایم.

۱-۲- اهداف تحقیق

این تحقیق در راستای ارزیابی کارایی یکی از الگوهای مدل درختان تصمیم گیری در پیش‌بینی و برآورد رسوبات بستر رودخانه نسبت به روشهای تجربی موجود جهت برنامه ریزی و مدیریت صحیح صورت می‌گیرد.

۱-۳- فرضیات تحقیق

۱- روش درختان تصمیم گیری رگرسیونی جهت تخمین رسوبات بار بستر از دقت کافی برخوردار است.

۲- روش درختی قادر به یادگیری فرآیند انتقال دبی رسوب و کاهش اثرات داده‌های پرت و تولید قانون است.

۱-۴- اهمیت و ضرورت تحقیق

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. به علاوه در مواردی که اهداف کشتیرانی در رودخانه مد نظر است برای انجام عملیات لایروبی ضروری است مقدار رسوب حمل شده توسط رودخانه پیشاپیش مشخص گردد. از طرفی رودخانه‌ها منبع مناسبی برای تامین مصالح مورد نیاز طرح‌های عمرانی قلمداد شده و برداشت شن و ماسه از دیرباز در این عرصه متداول بوده است. همچنین موارد عدیده‌ای از طراحی تاسیسات انتقال آب، شبکه‌های آبیاری، حوضچه-های ترسیب، تصفیه‌خانه‌های آب و نظایر آن را می‌توان برشمرد که جملگی با مساله رسوب رودخانه‌ها ارتباط نزدیک دارند. به لحاظ اهمیت و نقش پدیده انتقال رسوب در عرصه‌های مختلف مهندسی تعیین کمیت بار رسوبی از دیرباز مورد توجه متخصصین مسائل رودخانه-ای 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 (یانگ، ۱۹۹۶).

۱-۵- کلیات

کلمه رسوب[1] از واژه لاتین سدیمنتوم[2] به معنی روی هم قرار گرفتن یا رسوب کردن می‌باشد. رسوبات، موادی هستند که توسط فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی از پوسته سخت

[1] -Sediment
[2] -Sedimentum

زمین جدا شده‌اند. این مواد از نظر اندازه از تخته سنگ‌ها تا مواد ریز کلوئیدی و از نظر شکل از کاملا گرد تا تیزگوشه متغیر هستند. همچنین از نظر وزن مخصوص و کانی‌های تشکیل دهنده‌شان متفاوت هستند ولی عنصر دائمی همه آن‌ها کوارتز و کانی‌های رسی است. کانی‌های رسی که در اصل ورقه‌ای هستند تحت تاثیر محیط‌های نمکی به توده‌های کوچک تغییر شکل می‌دهند، از این رو رفتار متفاوتی بین رسوبات رسی و ماسه‌ای وجود دارد. جریان آب در یک کانال تا جایی کناره‌ها و کف را فرسایش می‌دهد که توان جریان امکان حمل را می‌دهد.

برآورد مقدار مواد رسوبی که یک جریان مشخص قادر به حمل آن است یکی از موضوعات اصلی تحقیقات رسوب می‌باشد که دربسیاری از پروژه های مهندسی همچون برنامه ریزی و طراحی منابع ذخیره آب، مورفولوژی و تغییرات بستر رودخانه برآورد رسوب سالیانه برای آبگیرهای رودخانه، طراحی و نگهداری کانالهای آبیاری پایدار، حفاظت سواحل، لایروبی کانالها و غیره حائز اهمیت می باشد.

در مقایسه با شاخه های دیگر علم هیدرولیک، پیشرفت انجام شده در زمینه انتقال رسوب بسیار کمتر بوده است و دلیل آن ارتباط پیچیده تعداد زیادی از پارامترهای رسوب و جریان آب می‌باشد که تداخل و تاثیر متقابل آنها فرموله کردن پدیده انتقال را مشکل می سازد. مقدار رسوب عبوری در یک مقطع از رودخانه ممکن است به ترکیبی از اثرات عمق و عرض جریان، شیب انرژی، دما و خصوصیات سیال، تلاطم جریان آب و طیف وسیعی از اندازه، شکل، چگالی، چسبندگی و غلظت ذرات رسوب بستگی داشته باشد. معرفی یک مدل ریاضی که همهٔ این پارامترها بعلاوه تغییراتشان در جهات طولی و عرضی رودخانه را در بر گیرد کار بسیار مشکلی است. به همین دلیل تقریباً همه‌ی معادلات بر آورد بار رسوب موجود برای شرایط ساده جریانهای یکنواخت دائمی و تعادل انتقال رسوب بدست آمده اند که این شرایط در رودخانه های طبیعی خیلی کم اتفاق افتاده و بنابراین دبی رسوب برآورد شده باتوجه به فرضیات ساده کننده مذکور دقیق نمی باشد.

یکی دیگر از مشکلات در توسعه معادلات برآورد بار رسوب، وجود بی‌دقتی ها و نااطمینانی در داده‌های انتقال رسوب می باشد و این به دلیل محدودیت ابزارهای اندازه گیری و تعداد نمونه‌ها از

جریان انتقال رسوب می باشد.

۱-۶- تعاریف

رسوبات بر مبنای شیوه انتقال آن‌ها در رودخانه به دو دسته معلق و بستر قابل تفکیک‌اند و بر مبنای منشأ ذرات، به دو دسته بار شسته[۱] و بار مواد بستر[۲] تقسیم می‌شوند.

در ابتدا قبل از بحث در مورد روش‌ها و تئوری انتقال رسوب اشاره به مفاهیم زیر مفید است:

لایه بستر[۳]: به لایه‌ای از جریان آب اطلاق می‌شود که ضخامت آن چند برابر اندازه ذرات رسوب بوده و بلافاصله بالای بستر جریان قرار دارد.

بار بستر[۴]: به رسوباتی که درون لایه بستر بصورت پرش، غلتیدن و یا لغزش روی بستر در حرکت هستند اطلاق می‌شود (شکل ۱-۱).

دبی بار بستر: مقدار حجم بار بستر عبوری از یک سطح مقطع مشخص در واحد زمان می‌باشد.

مواد بستر: مخلوط مواد رسوبی است که بستر رودخانه از آن‌ها تشکیل شده است.

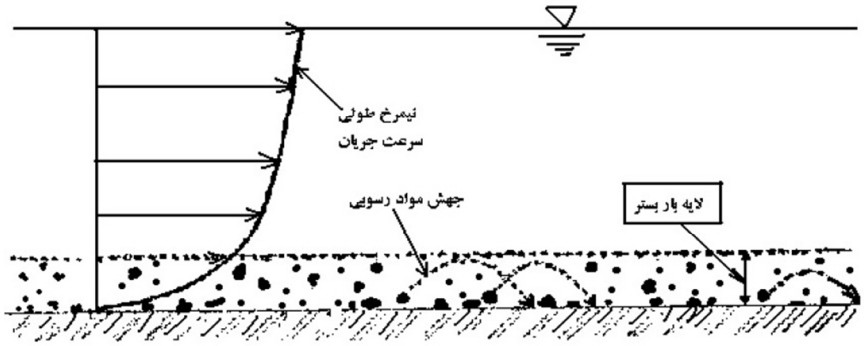
بار مواد بستر: آن قسمت از دبی کل رسوب که مشتمل بر ذراتی است که در بستر رودخانه یافت می‌شوند. در واقع مجموع بار بستر و بار معلق است. از جمله خصوصیات شاخص بار مواد بستر این است که به تبعیت از شرایط هیدرولیک جریان دارای ظرفیت حمل رسوب مشخصی می‌باشد.

بار معلق[۵]: به رسوباتی اطلاق می‌شود که درون آب و بالاتر از لایه‌ی بستر در حرکت هستند و وزن آن‌ها توسط جریان آب حمل می‌شود و به مدت زمان قابل توجهی به صورت معلق در آب

[1] Wash Load
[2] Bed Material Load
[3] Bed Layer
[4] Bed load
[5] Suspended Load

در حرکت باشند.

بار شسته: مواد رسوبی ریزدانه است که در اثر بارندگی از سطح خاک حوضه آبخیز فرسایش یافته و وارد شبکه آبراهه‌ها می‌گردد.



شکل ۱-۱) نحوه جابجایی مواد رسوبی در بستر رودخانه و مفهوم لایه بار بستر

لایه بستر با پارامترهای ضخامت لایه (δ_b) ، غلظت رسوبات (غلظت جرمی، غلظت حجمی) و دبی رسوب (دبی جرمی و دبی حجمی) مشخص می‌شوند.

دبی کل رسوبات (معلق و بستر)، در یک نقطه $q_s = \int_0^h c_s u_s d_z$ است که c_s غلظت رسوبات، u_s سرعت افقی رسوبات و h عمق جریان است. برای دبی رسوبات معلق سرعت رسوبات تقریبا با سرعت جریان برابر است ($u_s \approx u$). اما در مورد ذرات بستر، بار بستر آرامتر از جریانی که آن را احاطه کرده است، حرکت می‌کند.

دبی کل بار بستر q_b است:

$$q_b = \int_0^{\delta_b} c_s u_s d_z = (c_s)_b (u_s)_b \delta_b \qquad (۱-۱)$$

نرخ انتقال بار بستر (ϕ)، اغلب بدون بعد از روی دبی حجمی رسوب بیان می‌شود:

$$\phi = q_b \left[\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d^3\right]^{-\frac{1}{2}} \qquad (۱-۲)$$

q_b دبی رسوب بستر،

ρ و ρ_s به ترتیب چگالی ویژه آب و رسوب،

g شتاب جاذبه زمین و

d قطر میانه ذرات رسوب می‌باشد.

۱-۷- طبقه‌بندی رسوبات انتقالی

حرکت ذرات رسوب به سه صورت انجام می‌شود:

غلتش و لغزش

جهش و پرش

معلق گونه

وقتی که سرعت برشی بستر از مقدار بحرانی تجاوز می‌کند، ذرات مواد بستر شروع به غلتیدن در تماس با بستر می‌کنند. با اضافه شدن مقدار سرعت برشی، این ذرات به حالت پرش‌های منظم در امتداد بستر می‌جهند و حرکت می‌کنند. زمانی که سرعت برشی بستر شروع به تجاوز از سرعت سقوط ذرات می‌کند، آن‌گاه نیروی بالابرنده بر وزن ذره غالب شده و ذره به حالت معلق در می‌آید.

معیارهای مختلفی توسط محققین برای معلق شدن دانه‌های رسوب ارائه شده است که بیشتر آن‌ها نسبت سرعت برشی (V_*)، به سرعت سقوط دانه‌ها (w_0) را مبنایی برای معلق شدن ذرات قرار داده‌اند. در جدول (۱-۱) دیدگاه محققین مختلف ارائه شده است:

جدول ۱-۱) معیار معلق شدن دانه‌های رسوب در رودخانه‌ها بر اساس نظرات محققین مختلف[چانسن،۱۹۹۹]

نام محقق	معیار معلق شدن دانه‌های رسوب	ملاحظات
بگنولد- ۱۹۶۶ (Bagnold)	$V^*/w_0>1$	-
وان راین- ۱۹۸۴ (Van Rijn)	$V^*/w_0>4/[(G_s-1)gD_s/v^2]^{1/3}$	$1<[(G_s-1)gD_s/v^2]^{1/3}<=10$
	$V^*/w_0>0.4$	$[(G_s-1)gD_s/v^2]^{1/3}>10$
رادکیوی- ۱۹۹۰ (Raudkivi)	$V^*/w_0>0.5$	آغاز جهش دانه‌ها[1]
	$V^*/w_0>1.2$	معلق شدن فراگیر دانه‌ها
ژولین- ۱۹۹۵ (Julien)	$V^*/w_0>0.2$	آغاز معلق شدن دانه‌ها
	$V^*/w_0>2.5$	معلق شدن فراگیر دانه‌ها
سومر و همکاران- ۱۹۹۶ (Sumer etal.)	$V^{*2}/(G_s-1)gD_s>1$	$0.13<D_s<3mm$

در این جدول، V_* سرعت برشی جریان (متر بر ثانیه)، w_0 سرعت سقوط دانه‌ها (متر بر ثانیه)، G_s چگالی دانه‌های رسوب، D_s قطر دانه رسوب (متر)، g شتاب ثقل و v لزجت سینماتیکی آب (متر مربع بر ثانیه)، می‌باشد.

عموماً حرکت ذرات به دو شکل غلتش و جهش انتقال بار بستر نامیده می‌شود و حرکت ذرات در حالت تعلیق، انتقال بار معلق گفته می‌شود. بار معلق گاهی ممکن است شامل ذرات ریز سیلت باشد که به جای مواد بستر، از حوضه شسته شده اند و بار شسته نامیده می‌شود.

بار بستر و بار معلق می‌توانند همزمان باشند، اما ناحیه انتقالی بین آن‌ها به خوبی تعریف نشده است.

در واقع تفاوت بین رسوب معلق و رسوب کف در تناوب تماس با مواد بستر است، بطوری که بار بستر بصورت مدام با دانه‌های کف در تماس است. اگر رسوبات به اندازه‌ای درشت باشند که به آسانی به حالت تعلیق در نیایند، به صورت جریان ورقه‌ای توسط تنش‌های با انرژی زیاد منتقل می‌شوند. این تعریفی است که بگنولد[2] دنبال می‌کند و بخشی از رسوباتی که بصورت جهش منتقل می‌شوند را این‌گونه در بر می‌گیرد.

از آن‌جا که قوانین حاکم بر حرکت مواد رسوبی در هریک از حالات فوق متفاوت است، روش‌های ارزیابی میزان بار رسوبی نیز مجموعاً بر حسب مکانیزم حرکت به صورت جداگانه (بار

[1] Saltation
[2] Bagnold