

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مکانیک رسوب

در آبراهه‌های روباز و مخازن سدها

مؤلفین:

دکتر علی خسرو نژاد

پژوهشگر دانشکده علوم و مهندسی دانشگاه مینه‌سوتا

دکتر عاطفه پرورش‌ریزی

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران



نشر نوآور

سرشناسه	: خسرو نژاد، علی، ۱۳۵۶-
عنوان و نام پدیدآور	: مکانیک رسوب در آبراهه‌های روباز و مخازن سدها/ مولفین علی خسرو نژاد، عاطفه پرورش ریزی.
مشخصات نشر	: تهران: نوآور، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۱۶۸ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۳۴-۹
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: مخزن‌های آب -- رسوبگذاری
موضوع	: رسوب‌زدایی
موضوع	: رسوب -- انتقال
موضوع	: رسوب
شناسه افزوده	: پرورش ریزی، عاطفه، ۱۳۵۵ -
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ م ۵/خ ۳۹۶ TD
رده بندی دیویی	: ۸۶۰۹۷۳/۶۲۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۶۲۶۱۰

مکانیک رسوب در آبراهه‌های روباز و مخازن سدها

علی خسرو نژاد- دکتر عاطفه پرورش ریزی
نوآور
۵۰۰ نسخه
محمدرضا نصیرنیا

مؤلفین:

ناشر:

شمارگان:

ناظر چاپ:

نوبت چاپ:

شابک:



نشر نوآور

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۳۴-۹

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخرآزی، خ شهدای ژاندارمری
نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶
۹۲-۹۱۹۱۶۴۴-۶۲۳۸۳-۰۹۱۲۶
www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نبش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی ایلاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴
فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۳۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵
فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸ - ۶۶۴۰۲۵۷۹
فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱

حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

مقدمه

در مهندسی هیدرولیک، مطالعه مکانیک رسوب که در آن ساز و کارهای انتقال و عوامل موثر بر انتقال رسوبات در کانالها و مجاری روباز، مخازن سدها و سواحل و بنادر مورد بررسی قرار می‌گیرد، از چند دیدگاه اهمیت دارد: الف) در هیدرولیک مجاری فرسایشی، داشتن دانش لازم و آشنایی با پدیده‌های موثر در انتقال رسوبات می‌تواند منجر به ارائه راهکارهای مناسب برای ساماندهی رودخانه‌ها، کنترل سیلاب، طراحی کانال‌های پایدار، طراحی مناسب آبگیرها و همچنین طراحی مناسب حوضچه‌های رسوبگیر در مسیر رودخانه‌ها شود. ب) برای انجام تخمین مناسب از حجم رسوب‌گذاری در مخازن سدها و همچنین طراحی راهکارهای مناسب رسوب‌زدایی آنها لازم است تا شناخت کاملی از ساز و کار انتقال رسوبات از حوضه‌های آبریز بالادست به مخزن و نحوه جابجایی رسوبات در مخزن و عوامل موثر بر آنها وجود داشته باشد. ج) در زمینه مهندسی سواحل و بنادر، کسب دانش مکانیک رسوب اولین گام در طراحی مناسب سازه‌های کنترل انتقال رسوب در دو راستای عمود و موازی ساحل، و سازه‌های حفاظت سواحل و بنادر و همچنین پیش‌بینی فرآیند انتقال رسوب در سواحل و بنادر است. در این راستا مهمترین مسائلی که دنبال می‌شوند عبارتند از چگونگی شرایط تعادلی از لحاظ جابجایی رسوبات بسترهای فرسایشی، تخمین میزان گذاشت و برداشت رسوب، مطالعه و پیش‌بینی آبستگي در اطراف سازه‌های هیدرولیکی و تعیین پارامترهایی که بر این فرآیندها موثرند. اغلب روابطی که تا کنون توسعه یافته‌اند براساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی و یا میدانی بدست آمده‌اند. علت این موضوع را می‌توان در پیچیدگی‌های موجود در ساز و کار انتقال رسوب و پارامترهای موثر بر آن جستجو نمود. برای مثال اندرکنش بین یک جریان آشفته (که خود با روابط تجربی-تحلیلی قابل محاسبه است) و یک مرز فرسایشی چیزی نیست که قابل شبیه‌سازی و پیش‌بینی با استفاده از معادلات ساده شده باشد. بنابراین در حد دانش امروز، انجام پیش‌بینی مذکور مستلزم استفاده از نتایج مطالعات تجربی می‌باشد که بخش‌هایی از کتاب حاضر نیز از این منابع، اقتباس شده است. قسمت‌هایی از کتاب نیز حاصل تحقیقات و مطالعات نویسندگان است. مطالب کتاب به گونه‌ای ارائه شده‌اند که خواننده ابتدا با مفاهیم کلیدی و پایه آشنا شود و سپس به مفاهیم تخصصی‌تر اشاره می‌شود. اختصار و توجه به مطالب اصلی و پایه در این کتاب مدنظر بوده است، تا خواننده بتواند بدون مراجعه به منابع تفصیلی در این زمینه، یک برداشت کلی از مسائل مختلف مکانیک رسوب داشته باشد. بنابراین مطالعه این کتاب، مخاطبان عزیز را قادر می‌سازد تا مفاهیم را از قسمت‌های پایه شروع کرده و ضمن یادگیری آنها به توانایی در تحلیل مسائل تکمیلی در زمینه انتقال رسوب در آبراهه‌ها و مخازن سدها دست یابند.

نویسندگان لازم می‌دانند از خانم مهندس شهرزاد کاویانی به دلیل همکاری در بازخوانی و قالب‌بندی کتاب و از نشر نوآور به دلیل اهتمام در نشر کتب مهندسی آب قدردانی کنند. بدیهی است که کتاب حاضر عاری از اشکال نیست، لذا ضمن تشکر از توجه دقیق خوانندگان گرامی، خواهشمند است نظرات اصلاحی خود را به مولفین انتقال دهند.

فهرست مطالب

فصل اول: مبانی مکانیک رسوب

- ۱-۱- مقدمه
- ۲-۱- ویژگیهای فیزیکی آب
 - ۱-۲-۱- چگالی آب
 - ۲-۲-۱- لزجت (گرانروی) آب
 - ۳-۲-۱- کشش سطحی آب
- ۳-۱- ویژگیهای فیزیکی دانه رسوب
 - ۱-۳-۱- اندازه دانه‌های رسوب
 - ۲-۳-۱- دانه‌بندی مصالح رسوبی
 - ۳-۳-۱- شکل دانه‌های رسوب
 - ۴-۳-۱- چگالی دانه‌های رسوب
 - ۵-۳-۱- سرعت سقوط دانه‌های رسوب
 - ۶-۳-۱- چگالی کل مصالح رسوبی
- ۴-۱- هیدرولیک جریان در آبراهه‌های روباز
- ۵-۱- ساز و کار پخش و انتقال در جریان آشفته
- ۶-۱- آستانه حرکت دانه رسوب
 - ۱-۶-۱- پارامترهای مؤثر بر آستانه حرکت ذرات رسوب
 - ۷-۱- آستانه حرکت مصالح سنگی

فصل دوم: ساز و کارهای انتقال رسوب و تشکیل فرم‌های بستر

- ۱-۲- مقدمه
- ۲-۲- ساز و کارهای انتقال رسوب
- ۳-۲- فرم‌های بستر
 - ۱-۳-۲- محاسبه ارتفاع و طول موج شکل‌های بستر
 - ۲-۳-۲- پیش‌بینی شکل بستر
 - ۳-۳-۲- مقاومت بستر در مقابل جریان در حضور شکل‌های بستر
- ۴-۲- جریان و انتقال رسوب در قوس‌ها

فصل سوم: انتقال رسوبات از جنس مصالح بستر

- ۱-۳- مقدمه
- ۲-۳- بار بستر
 - ۱-۲-۳- روابط قطعی محاسبه بار بستر
 - ۲-۲-۳- روابط احتمالاتی برای محاسبه بار بستر
 - ۳-۲-۳- عوامل مؤثر بر بار بستر
- ۳-۳- بار معلق
- ۴-۳- بار کل
- ۵-۳- مقایسه روشهای مختلف برآورد بار رسوبی

فصل چهارم: معادلات حاکم بر انتقال رسوب در بسترهای فرسایشی

- ۱-۴- مقدمه
- ۲-۴- دسته‌بندی معادلات انتقال رسوب

۳-۴- معادله پخش- انتقال غلظت رسوب

فصل پنجم: رسوب‌گذاری در مخازن سدها

۱-۵- مقدمه

۲-۵- فرآیند رسوب‌گذاری در مخازن

۳-۵- الگوهای توزیع رسوب در مخازن سدها

۴-۵- پیش‌بینی نحوه توزیع رسوب در مخازن سدها

۱-۴-۵- هیدروگرافی مخازن

۲-۴-۵- مدلسازی فیزیکی و آزمایشگاهی

۳-۴-۵- مدلسازی عددی

۴-۴-۵- روشهای تجربی

فصل ششم: سازوکارهای انتقال و روشهای تخلیه رسوب مخازن سدها

۱-۶- مقدمه

۲-۶- رسوب‌زدایی مخزن در زمان کم آبی رودخانه با عملیات شاس (فلاشینگ)

۳-۶- رسوب‌زدایی با جریان سیلاب

۴-۶- تخلیه جریان‌های غلیظ

۵-۶- رسوب‌زدایی مخزن با روش هیدروساکشن

۱-۵-۶- اجزاء مکانیکی و هیدرولیکی مورد استفاده در هیدروساکشن

۲-۵-۶- پیشینه تاریخی استفاده از روش هیدروساکشن

۳-۵-۶- طرح هیدرولیکی عملیات هیدروساکشن

۴-۵-۶- امکان‌سنجی عملیات رسوب‌زدایی هیدروساکشن

فصل هفتم: شبیه‌سازی انتقال و تخلیه رسوب در مخازن سدها

۱-۷- مقدمه

۲-۷- مدلسازی فیزیکی رسوب‌زدایی مخزن

۳-۷- مدلسازی عددی رسوب‌زدایی مخزن

۱-۳-۷- مدل‌های یک‌بعدی

۲-۳-۷- مدل‌های دوبعدی

۳-۳-۷- مدل‌های سه‌بعدی

۴-۷- مطالعه موردی شبیه‌سازی عددی رسوب‌زدایی مخزن سد سفیدرود

۱-۴-۷- معادلات حاکم بر مدل عددی مورد استفاده

۲-۴-۷- نتایج شبیه‌سازی عددی رسوب‌زدایی مخزن سد سفیدرود

فصل هشتم: انتقال رسوب در لوله‌ها و مجاری تحت فشار

۱-۸- مقدمه و تعاریف

۲-۸- سرعت بحرانی

۳-۸- افت هد

فهرست نشانه‌ها و نمادها

منابع و مأخذ

فرهنگ اصطلاحات فارسی به انگلیسی کتاب

فهرست شکلها

- شکل (۱-۱) ذره در حال سقوط در سیال و نیروهای وارد بر آن
- شکل (۲-۱) دیاگرام آلبرتسون برای محاسبه ضریب دراگ بر حسب عدد رینولدز و فاکتور شکل ذره
- شکل (۳-۱) دیاگرام محاسبه سرعت سقوط ذرات رسوب کوچکتر از ۱۰۰ میکرومتر در دماهای مختلف آب (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۴-۱) دیاگرام محاسبه سرعت سقوط ذرات رسوب بزرگتر از ۱۰۰ میکرومتر در دماهای مختلف آب (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۵-۱) نمای شماتیک میدان جریان دوبعدی
- شکل (۶-۱) نمای شماتیک نواحی زیر لایه لزج، توزیع لگاریتمی سرعت و ناحیه انتقالی
- شکل (۷-۱) نیروهای وارد بر ذره رسوب قرار گرفته در بستر
- شکل (۸-۱) دیاگرام شیلدز برای محاسبه آستانه حرکت دانه‌های رسوب
- شکل (۹-۱) نتایج بررسی‌های محققین مختلف در ارتباط با آستانه حرکت ذرات رسوب (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۱۰-۱) دیاگرام محاسبه تنش برشی بحرانی بر حسب قطر دانه‌های رسوب (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۱۱-۱) دانه رسوب بر روی بستر صاف که در آن α برابر با صفر است
- شکل (۱۲-۱) دانه رسوب بر روی بستر دارای شیب طولی برابر با α
- شکل (۱۳-۱) دانه رسوب بر روی بستر دارای شیب عرضی برابر با β
- شکل (۱۴-۱) مقایسه سرعت بحرانی با استفاده از روابط مختلف برای مصالح سنگی
- شکل (۱-۲) موقعیت لایه‌های بار بستر و بار معلق
- شکل (۲-۲) انتقال رسوب به شکل بار بستر و قبل از پیدایش شکل بستر در رژیم پایین جریان (بستر مسطح)
- شکل (۳-۲) شکل بستر ریپل در رژیم پایین جریان
- شکل (۴-۲) نمایی از شکل بستر دیون و شیب‌های بالادست و پایین‌دست مربوط به آن
- شکل (۵-۲) شکل بستر دیون و ریپل‌های شکل گرفته روی آن به همراه جوشش جریان در سطح آزاد در اثر رسیدن گردابه‌ها به سطح آزاد جریان (در رژیم پایین جریان)
- شکل (۶-۲) شکل بستر دیون و جوشش جریان در سطح آزاد در اثر رسیدن گردابه‌ها به سطح آزاد جریان (انتهای رژیم پایین جریان)
- شکل (۷-۲) شکل بستر مسطح که در اثر شسته شدن امواج دیون ایجاد می‌شود
- شکل (۸-۲) شکل بستر آنتی‌دیون در رژیم جریان بالا
- شکل (۹-۲) شکل بستر شوت و آبگیر در رژیم جریان بالا
- شکل (۱۰-۲) دیاگرام طبقه‌بندی شکل بستر (فن راین، ۱۹۸۹)
- شکل (۱۱-۲) دیاگرام طبقه‌بندی شکل بستر فن دن برگ و فن گلدر (۱۹۸۹)
- شکل (۱۲-۲) دیاگرام طبقه‌بندی شکل بستر (انگلاند و هانسن، ۱۹۶۶)
- شکل (۱۳-۲) دیاگرام طبقه‌بندی شکل بستر (سیمون و ریچاردسون، ۱۹۶۶)

- شکل (۲-۱۴) تغییرات تنش برشی ناشی از زبری بستر و شکل بستر با سرعت جریان (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۲-۱۵) تغییرات تنش برشی و فشار در بستر جریان با شکل بستر دیون (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۲-۱۶) مقاومت در برابر جریان در اثر وجود شکل بستر (انیشتاین و بارباروسا، ۱۹۵۲)
- شکل (۲-۱۷) تغییرات Θ با Θ' (انگلوند و هانسن، ۱۹۶۷)
- شکل (۲-۱۸) ضریب شکل دیون γ_{dune} (ون راین، ۱۹۸۴)
- شکل (۲-۱۹) نمای شماتیک آبراهه ماندری و مشخصات آن
- شکل (۲-۲۰) سازوکار و نحوه پیشروی مئاندر
- شکل (۲-۲۱) نحوه شکل‌گیری دریاچه رها شده اوکسبا
- شکل (۲-۲۲) شکل‌گیری جریان سه‌بعدی هلیکالی در قوس آبراهه‌ها (گرف، ۱۹۸۵)
- شکل (۲-۲۳) نمای شماتیک بالآمدگی آب در قوس بیرونی خم آبراهه
- شکل (۳-۱) نمای بالای کانال‌های همگرا و واگرا
- شکل (۳-۲) فرم دیگرامی روابط قطعی بار بستر (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۳-۳) احتمال فرسایش مصالح رسوبی بر حسب پارامتر شیلدز مؤثر (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۳-۴) محاسبه انتگرال‌های I_1 و I_2 (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۳-۵) اثر اندازه دانه‌های رسوب بر روی نرخ بار بستر (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۳-۶) شیب‌های رو به بالا و پایین و علامت‌های منفی و مثبت در رابطه (۳-۲۹)
- شکل (۳-۷) ضریب اصلاحی بار بستر برای شیب طولی (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۳-۸) نسبت بار بستر در راستای طولی و عرضی (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۳-۹) نمای شماتیک پروفیل‌های سرعت، غلظت رسوب و حاصلضرب
- شکل (۳-۱۰) تأثیر پارامتر تعلیق بر پروفیل غلظت رسوب در عمق (وانومی، ۱۹۴۶)
- شکل (۳-۱۱) تأثیر پارامتر تعلیق بر پروفیل غلظت رسوب در عمق (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۳-۱۲) تقسیم عمق جریان به اجزاء عمق و پروفیل‌های سرعت و غلظت رسوب
- شکل (۳-۱۳) محاسبه پارامتر F در رابطه بار معلق (فن راین، ۱۹۹۳)
- شکل (۵-۱) نمای شماتیک رسوب‌گذاری در مخزن سد
- شکل (۵-۲) مراحل رسوب‌گذاری در مخزن
- شکل (۵-۳) الگوی رسوب‌گذاری دلتایی
- شکل (۵-۴) الگوی رسوب‌گذاری نواری
- شکل (۵-۵) الگوی رسوب‌گذاری گوه‌ای
- شکل (۵-۶) الگوی رسوب‌گذاری یکنواخت
- شکل (۶-۱) نمای شماتیک شاس تحت فشار از طریق تخلیه‌کننده‌های عمقی
- شکل (۶-۲) نمای شماتیک تخلیه جریان سیلاب حاوی مقادیر زیاد رسوبات
- شکل (۶-۳) نمای شماتیک تخلیه جریان غلیظ از دریچه‌های تحتانی سد
- شکل (۸-۱) نمای شماتیک شکل انتقالی شبه همگن
- شکل (۸-۲) نمای شماتیک شکل انتقالی ناهمگن

۸ / مکانیک رسوب در آبراهه‌های روباز و مخازن سدها

شکل (۳-۸) نمای شماتیک شکل انتقالی بستر متحرک

شکل (۴-۸) نمای شماتیک شکل انتقالی بستر ثابت- متحرک

شکل (۵-۸) افت هد در مجاری با جریان حاوی رسوب بر حسب سرعت جریان که با منحنیهای هم غلظت رسوب مشخص می‌شود (دوراند، ۱۹۵۳)

شکل (۶-۸) تغییرات F_L با قطر ذرات رسوب بر حسب غلظت رسوبات معلق در مجرای تحت فشار (دوراند، ۱۹۵۳)

شکل (۷-۸) دیاگرام مودی برای محاسبه ضریب افت اصطکاکی در مجرا با جریان صاف

شکل (۸-۸) افت فشار در مجاری برای قطر مصالح ۰/۴۴ میلیمتری (دوراند، ۱۹۵۳)

شکل (۹-۸) افت فشار در مجاری برای قطر مصالح ۲/۰ میلیمتری (دوراند، ۱۹۵۳)

شکل (۱۰-۸) دیاگرام دوراند برای محاسبه افت هد اصطکاک اضافی (دوراند، ۱۹۵۳)

شکل (۱۱-۸) دیاگرام دوراند (۱۹۵۳) برای محاسبه افت اصطکاک اضافی برای دو نوع ماده معلق در جریان

شکل (۱۲-۸) دیاگرام دوراند (۱۹۵۳) برای محاسبه افت اصطکاک اضافی برای دو نوع پوشش مجرا

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فهرست جدولها

- جدول (۱-۱) تغییرات چگالی آب در دماهای مختلف
- جدول (۲-۱) تغییرات لزجت سینماتیک آب در دماهای مختلف
- جدول (۳-۱) طبقه بندی دانه‌های رسوب بر حسب اندازه‌شان، توسط مرکز ژئوفیزیک ایالات متحده
- جدول (۴-۱) ρ و β بر حسب شرایط مختلف بهره‌برداری از مخزن سد و جنس مصالح رسوبی
- جدول (۵-۱) ρ بر حسب شرایط بهره‌برداری از مخزن سد یا مصالح رودخانه‌ای و جنس مصالح رسوبی
- جدول (۶-۱) اثر چسبندگی بر روی سرعت بحرانی
- جدول (۴-۱) معادلات حاکم بر میدان جریان و انتقال رسوب از نظر ابعاد مسئله
- جدول (۵-۱) حجم ذخیره، میزان نیروی برقایی تولیدی و اتلاف حجم مخزن در اثر رسوبگذاری در سدهای بزرگ جهان

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول

مبانی مکانیک رسوب

۱-۱- مقدمه

در آغاز بحث مکانیک و انتقال رسوب لازم است تا ویژگیهای آب، دانه‌های رسوب، میدان جریان و همچنین اندرکنش دانه‌های رسوب و هیدرولیک جریان مورد مطالعه قرار گیرند. در ابتدای این فصل به این موارد اشاره شده است و در انتهای فصل نیز موضوع آستانه حرکت ذرات رسوب، به دلیل اهمیت ویژه آن مورد بحث قرار می‌گیرد. در واقع آستانه حرکت ذره را می‌توان شروع اندرکنش جدی بین میدان جریان و ذرات رسوب دانست که در بسترهای فرسایشی رخ می‌دهد. پس از شروع حرکت دانه رسوب، شکل‌های انتقالی بار بستر و بار معلق و اندرکنش این دو حالت انتقالی، در محل لایه فعال بار بستر رخ می‌دهند. در حال حاضر در مطالعه و بررسی تحلیلی سازوکارها و عوامل مؤثر بر انتقال رسوب، به دلیل ماهیت پیچیده مسئله و عدم شناخت کافی از این پدیده، از نتایج مطالعات آزمایشگاهی - تجربی برای بررسی و شناسایی آستانه حرکت دانه‌های رسوب استفاده می‌شود.

۱-۲- ویژگیهای فیزیکی آب

۱-۲-۱- چگالی آب^۱: یکی از مهمترین ویژگیهای آب و نشان‌دهنده جرم آب در واحد حجم است. این کمیت در کتاب حاضر با نماد ρ نشان داده شده و واحد آن نیز kg/m^3 است. چگالی آب در دماهای مختلف تغییر کرده و همانطور که در جدول (۱-۱) آمده است بطور کلی با افزایش دما چگالی آب کاهش می‌یابد. با این وجود به دلیل آنکه این تغییرات بسیار ناچیز هستند، در محاسبات مربوط به انتقال رسوب از این تغییرات صرف‌نظر شده و چگالی آب برابر با 1000 kg/m^3 در نظر گرفته می‌شود.

^۱ Water Density

جدول (۱-۱) تغییرات چگالی آب در دماهای مختلف

۳۲	۲۱	۱۶	۱۲	۴	۰	دما (درجه سانتی گراد)
۹۹۵	۹۹۸	۹۹۹	۹۹۹/۵	۱۰۰۰	۹۹۹/۸۷	چگالی آب (کیلوگرم بر متر مکعب)

۱-۲-۲- لزجت (گرانروی) آب^۱: به دو صورت لزجت دینامیکی، μ ، (معمولاً بر حسب Ns/m^2) و لزجت سینماتیکی، ν ، (معمولاً بر حسب m^2/s) در نظر گرفته می‌شود. لزجت دینامیکی آب به عنوان ضریب تناسب گرادیان سرعت و تنش برشی در جریان‌های لایه‌ای شناخته می‌شود که رابطه آن به شکل زیر است:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1-1)$$

لزجت‌های دینامیکی و سینماتیکی با رابطه $\nu = \mu/\rho$ با یکدیگر نسبت دارند و هر دو به شکل معنی‌داری تابع درجه حرارت محیط هستند. نحوه این تغییرات در جدول (۲-۱) آمده است.

جدول (۲-۱) تغییرات لزجت سینماتیکی آب در دماهای مختلف

۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	دما (درجه سانتی‌گراد)
۰/۱۶۵	۰/۱۷۲	۰/۱۸	۰/۱۹	۱/۰۱	۱/۱۴	۱/۳۱	۱/۵۲	۱/۷۹	لزجت سینماتیکی آب (متر مربع بر ثانیه) تقسیم بر $۱۰^{-۶}$

۱-۲-۳- کشش سطحی آب: یکی از ویژگی‌های فیزیکی آب و در واقع بیان‌کننده نیرویی است که باید بر واحد طول سطح آب وارد شود تا آن را از هم گسیخته نماید. کشش سطحی آب در فشار اتمسفریک و برای آب در مجاورت هوا برابر با $۰/۰۷۴$ نیوتن بر متر است. تغییرات این کمیت عمدتاً ناچیز و قابل اغماض است.

۱-۳-۳- ویژگی‌های فیزیکی دانه رسوب

مهمترین ویژگی‌های دانه رسوب که در بحث مکانیک رسوب اثرگذارند، عبارتند از: اندازه دانه‌ها، شکل دانه‌ها، چگالی دانه‌ها، سرعت سقوط دانه‌ها و تخلخل که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

۱-۳-۱- اندازه دانه‌های رسوب

یکی از مهمترین ویژگی‌های مصالح رسوبی است که بطور معنی‌داری بر روی آستانه حرکت دانه رسوب اثر می‌گذارد. جدول (۳-۱) طبقه‌بندی رسوبات را که توسط مرکز ژئوفیزیک ایالات

^۱ Water Viscosity

متحد^۱ ارائه شده است و در آن رسوبات برحسب اندازه‌شان در یکی از گروه‌های رس، سیلت، ماسه، شن و قلوه سنگ قرار می‌گیرند، نشان می‌دهد.

جدول (۱-۳) طبقه بندی دانه‌های رسوب بر حسب اندازه، توسط مرکز ژئوفیزیک ایالات متحده

نوع رسوب	اندازه دانه بر حسب میلی‌متر
قلوه سنگ درشت	۱۳۰ تا ۲۵۰
قلوه سنگ ریز	۶۴ تا ۱۳۰
شن خیلی درشت	۳۲ تا ۶۴
شن درشت	۱۶ تا ۳۲
شن متوسط	۸ تا ۱۶
شن ریز	۴ تا ۸
شن خیلی ریز	۲ تا ۴
ماسه خیلی درشت	۱ تا ۲
ماسه درشت	۰/۵ تا ۱
ماسه متوسط	۰/۲۵ تا ۰/۵
ماسه ریز	۰/۱۲۵ تا ۰/۲۵
ماسه خیلی ریز	۰/۰۶۲ تا ۰/۱۲۵
سیلت درشت	۰/۰۳۱ تا ۰/۰۶۲
سیلت متوسط	۰/۰۱۶ تا ۰/۰۳۱
سیلت ریز	۰/۰۰۸ تا ۰/۰۱۶
سیلت خیلی ریز	۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۸
رس درشت	۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۴
رس متوسط	۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲
رس ریز	۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱
رس خیلی ریز	۰/۰۰۰۲۵ تا ۰/۰۰۰۵

تعاریف مختلفی از قطر یک دانه رسوب وجود دارد. برای مثال می‌توان گفت که قطر دانه رسوب برابر قطر کره‌ای (D_s) است که چگالی آن با چگالی دانه رسوب یکی است و همچنین سرعت سقوط این کره با سرعت سقوط دانه رسوب در سیالی با دمای مشخص، برابر است. از تعاریف دیگر می‌توان به قطری اشاره داشت که درصد وزنی مشخصی از مصالح رسوبی، دارای قطر و اندازه‌ای کوچکتر از آن هستند. این قطر با d_n نمایش داده می‌شود و در آن n درصد وزنی مصالح با اندازه کوچکتر را نشان می‌دهد. مثلاً d_{50} قطر ذره‌ای است که پنجاه درصد مصالح

^۱ United States Geophysics Center

رسوبی از آن کوچکترند و به آن، قطر معرف مصالح^۱ اطلاق می‌شود. طبق تعریف دیگری نیز یک قطر اسمی برای دانه‌های رسوب در نظر می‌گیرند و آن را برابر با قطر کره‌ای با حجمی برابر با حجم دانه‌های رسوب اختیار می‌کنند.

برای محاسبه اندازه دانه‌های رسوب با ابعاد بزرگتر مانند مصالح رسوبی شن و ماسه‌های درشت، از آزمایش الک‌کردن مصالح استفاده می‌شود و با تعیین d_n ، نسبت به تعیین اندازه دانه‌ها اقدام می‌شود. همچنین برای تعیین اندازه دانه‌های مصالح رسوبی از جنس ماسه ریز و سیلت از آزمایش‌های رسوبگذاری^۲ و یا اندازه‌گیری با میکروسکوپ استفاده می‌شود. در آزمایش رسوبگذاری بر اساس قانون استوکس^۳، که طبق آن در حالت جریان لایه‌ای دو عامل نیروی وزن ذره، به عنوان عامل سقوط ذره در سیال و نیروی اصطکاکی، به عنوان نیروی مقاوم در برابر سقوط ذره، با یکدیگر برابرند، نسبت به تعیین قطر دانه‌ها اقدام می‌شود. در این آزمایش با اندازه‌گیری مدت زمان سقوط ذرات رسوب در داخل ظرفی با ارتفاع معین، سرعت ذرات رسوب بدست آمده و از آن برای تعیین قطر دانه‌ها با استفاده از رابطه مربوط به قانون استوکس استفاده می‌شود. باید توجه داشت که قانون استوکس تنها برای ذرات کوچکتر از ۵۰ میکرومتر صادق بوده و برای ذرات بزرگتر باید از روشهای دیگر استفاده د.

۱-۳-۲- دانه‌بندی مصالح رسوبی

این خاصیت مربوط به مصالح رسوبی، نشان‌دهنده توزیع قطر دانه‌های رسوب بوده و غالباً به صورت قطر دانه و درصد وزنی مربوط به آن مشخص می‌شود. دانه بندی رسوبات با استفاده از آزمایش الک‌کردن مصالح و یا رسوبگذاری تعیین می‌شود. توزیع تجمعی اندازه دانه‌ها را می‌توان برای هر نوع مصالحی با استفاده از توزیع لوگ نرمال انجام داد. با داشتن قطر و درصد وزنی مربوط به آن، قطر متوسط مصالح رسوبی با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$d_m = \frac{\sum_i p_i d_i}{\sum_i p_i} \quad (2-1)$$

که در این رابطه p_i درصد مصالح با قطر d_i را نشان می‌دهد و d_m نیز قطر متوسط مصالح رسوبی را نشان می‌دهد. برای تعیین قطر متوسط هندسی مصالح نیز می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

^۱ Median Diameter

^۲ Sedimentation

^۳ Stokes

$$d_g = [d_{84} \cdot d_{16}]^{1/2} \quad (3-1)$$

که در این رابطه d_{84} و d_{16} به ترتیب نشان‌دهنده قطری که ۱۶ و ۸۴ درصد مصالح رسوبی از آنها کوچکترند و d_g نیز قطر متوسط هندسی را نشان می‌دهد. یکی دیگر از پارامترهای مورد استفاده در بررسی ویژگیهای فیزیکی دانه‌های رسوب، انحراف معیار یا ضریب یکنواختی (σ_g) مصالح رسوبی است که نشان‌دهنده میزان یکنواختی مصالح است. در ادامه مشخص می‌شود که این پارامتر چه نقش مهمی در بحث تسلیح^۱ دانه‌های رسوب دارد. ضریب یکنواختی، با استفاده از رابطه (۴-۱) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_g = \left[\frac{d_{84}}{d_{16}} \right]^{1/2} \quad (4-1)$$

۱-۳-۳- شکل دانه‌های رسوب

شکل دانه‌های رسوب، یکی دیگر از ویژگیهای با اهمیت مصالح رسوبی بوده و بطور معنی‌داری بر روی آستانه حرکت دانه‌های رسوب اثر دارد. همچنین دانه‌های مسطح رسوبی سرعت سقوط کمتر و دانه‌های گردگوشه سرعت سقوط بیشتری دارند و به همین دلیل این ویژگی بر سرعت سقوط ذرات رسوب نیز اثرگذار است. برای دسته‌بندی دانه‌های رسوب از لحاظ شکل دانه‌ها از مفاهیمی چون کرویت دانه‌ها که برابر با نسبت مساحت سطح بیرونی دانه به مساحت سطح بیرونی کره‌ای که هم حجم آن است و همچنین فاکتور شکل دانه استفاده می‌شود. فاکتور شکل دانه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$s.f. = \frac{c}{a \cdot b} \quad (5-1)$$

که در آن a ، b و c به ترتیب نشان‌دهنده بزرگترین، میانه و کوچکترین ابعاد طولی دانه رسوب در جهت‌های محورهای مختصات هستند. برای دانه رسوبی با شکل کاملاً کروی، فاکتور شکل دانه برابر یک و برای دانه رسوب ماسه طبیعی، فاکتور شکل در حدود ۰/۷ است.

۱-۳-۴- چگالی دانه‌های رسوب

این ویژگی دانه‌های رسوب، بطور مستقیم در محاسبات مربوط به انتقال رسوب وارد می‌شود. از آنجاکه بیشتر مصالح رسوبی از تجزیه و خرد شدن سنگها بوجود آمده‌اند، چگالی مصالح رسوبی به جنس آن مصالح که به جنس سنگ تشکیل‌دهنده آن بر می‌گردد، بستگی دارد.

^۱ Armoring