

# برنامه‌ریزی آزمایش‌های رسوب

نشریه شماره ۲۲۲

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استاندارد مهندسی آب

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

جمهوری اسلامی ایران

# برنامه ریزی آزمایشهای رسوب

نشریه شماره ۲۲۲

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استاندارد مهندسی آب

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

۱۳۸۰

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ۸۰/۰۰/۸۰

## فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها  
برنامه‌ریزی آزمایشهای رسوب/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ وزارت  
نیرو، سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب. - تهران: سازمان مدیریت و  
برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۰.  
۳۱ ص:مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛  
نشریه شماره ۲۲۲) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۸۰/۰۰/۸۰)  
ISBN 964-425-308-6

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۵/۹۴۱۲-۵۴/۳۵۸۹ مورخ ۱۳۸۰/۷/۷  
کتابنامه. ص ۳۱.

۱. رسوب - آزمایشها. ۲. رسوب - اندازه‌گیری. الف. سازمان مدیریت منابع آب ایران. دفتر  
استاندارد مهندسی آب. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات.  
ج. عنوان. د. فروست.

ش. ۲۲۲. ۳۶۸/س۲۴ TA

ISBN 964-425-308-6

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۳۰۸-۶

### برنامه‌ریزی آزمایشهای رسوب

#### تهیه‌کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۸۰

قیمت: ۳۰۰۰ ریال

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: موسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



شماره: ۱۰۵/۹۴۱۲-۵۴/۳۵۸۹	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۰/۷/۷	
موضوع: برنامه‌ریزی آزمایشهای رسوب	
<p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت ۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران) به پیوست، نشریه شماره ۲۲۲ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان "برنامه‌ریزی آزمایشهای رسوب" از نوع گروه سوم ابلاغ می‌گردد.</p> <p>دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روشها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.</p> <p>عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، ارسال دارند.</p> <p style="text-align: center;"><b>محمد ستاری‌فر</b> معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان</p>	

## پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است. با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

معاون امور فنی

پاییز ۱۳۸۰

## ترکیب اعضای کمیته

این استاندارد با مشارکت اعضای کمیته فنی شماره ۱۴-۱ (رسوب) تهیه شده است، که اسامی آنها به ترتیب حروف الفباء به شرح زیر می باشد:

خانم زهرا ایزدپناه	دانشگاه شهید چمران	فوق لیسانس آبیاری و آبادانی
آقای فیروز بهادری	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	فوق لیسانس منابع آب
آقای سید محمودرضا بهبهانی	دانشگاه تهران	دکترای منابع آب و خاک
آقای سید جمال الدین پرورده	شرکت تماب	فوق لیسانس هیدرولوژی
آقای ابوالفضل سپهری منش	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس مهندسی منابع آب
آقای محمود شفاعی	مهندسین مشاور دزآب	دکترای هیدرولیک و رسوب
آقای میراحمد میلانی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس هیدرولیک و آبیاری

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۱	۱- معرفی برنامه کار در آزمایشگاههای رسوب
۴	۲- تعاریف مقدماتی
۴	۱-۲ تراکم رسوب (غلظت)
۵	۲-۲ اندازه ذرات رسوب
۷	۲-۳ طبقه‌بندی اندازه ذرات
۷	۲-۴ شکل ذرات رسوب
۱۱	۲-۵ سرعت سقوط ذرات
۱۵	۲-۶ وزن مخصوص و تخلخل
۱۵	۳- برنامه‌ریزی آزمایشهای مربوط به تعیین دانه‌بندی رسوبات
۱۷	۳-۱ تواتر آزمایشهای انجام شده با آب مقطر
۱۹	۳-۲ روشهای آزمایش دانه‌بندی با آب مقطر
۲۲	۳-۳ تواتر و روشهای آزمایش با آب رودخانه
۲۵	۳-۴ آماده نمودن نمونه‌ها برای آزمایشهای دانه‌بندی
۲۶	۴- ترکیب مواد معدنی
۲۷	۵- مواد آلی نمونه‌های رسوب
۲۹	۶- املاح محلول
۳۰	۷- کیفیت آب
۳۱	منابع و مآخذ

## مقدمه :

آزمایشگاههای رسوب به مفهوم استاندارد آن، وظایف معین و برنامه کاری مشخصی را دارد که اهم آنها را می توان در: تعیین غلظت نمونه های رسوبات معلق، نمونه های رسوبات بار بستر رودخانه ها، رسوبات مخازن و تعیین دانه بندی آنها چگالی<sup>۱</sup> دانه های رسوب و غیره دانست. از نظر برنامه آزمایشهای رسوب، منشاء نمونه های رسوبات و محل برداشت نمونه ها مورد نظر است، ولی آنچه بیشتر اهمیت دارد، تجزیه های مختلفی است که باید در آزمایشگاهها روی نمونه ها صورت گیرد. همچنین برداشت تعداد انبوه نمونه ها از محل های مختلف در پروژه های متفاوت نیاز به برنامه خاصی به منظور تحویل، نگهداری و انجام دادن آزمایشها دارد. این نشریه به معرفی برنامه ریزی و آزمایشهایی اولیه ای می پردازد که باید روی نمونه ها انجام گیرد.

اصولاً هر نمونه رسوب وارد شده به آزمایشگاه، به تناسب اهداف مورد نظر، ممکن است تحت آزمایشهای ذیل قرار گیرد:

۱- تعیین غلظت مواد معلق و کیفیت آب نمونه ها

۲- تعیین دانه بندی

۳- تعیین چگالی دانه های رسوب و سایر خصوصیات مکانیکی آن

احتمال دارد آزمایشهای ویژه ای نیز به دلیل تنوع و موردی بودن لازم باشد که در این نشریه بدانها اشاره نشده است. آنچه مورد نظر است، آزمایشهای سه گانه فوق الذکر است که وظیفه اصلی و عمده هر آزمایشگاه رسوب خواهد بود.

## ۱- معرفی برنامه کار در آزمایشگاههای رسوب

به منظور تعیین غلظت نمونه های بار معلق رودخانه ها و تعیین مبانی دانه بندی نمونه های بار معلق، بار بستر و مواد کف رودخانه و رسوبات ته نشین شده در مخازن سدها، باید برنامه ریزی خاصی روی نمونه ها انجام گیرد. ضمن اینکه حذف مواد آلی، املاح محلول از نمونه های رسوبات و تعیین غلظت آنها مورد نیاز است، باید وزن مخصوص ذرات رسوب، خاکهای توده رسوبات ته نشین شده و همچنین شکل ذرات رسوب و کیفیت شیمیایی آب تعیین گردد.

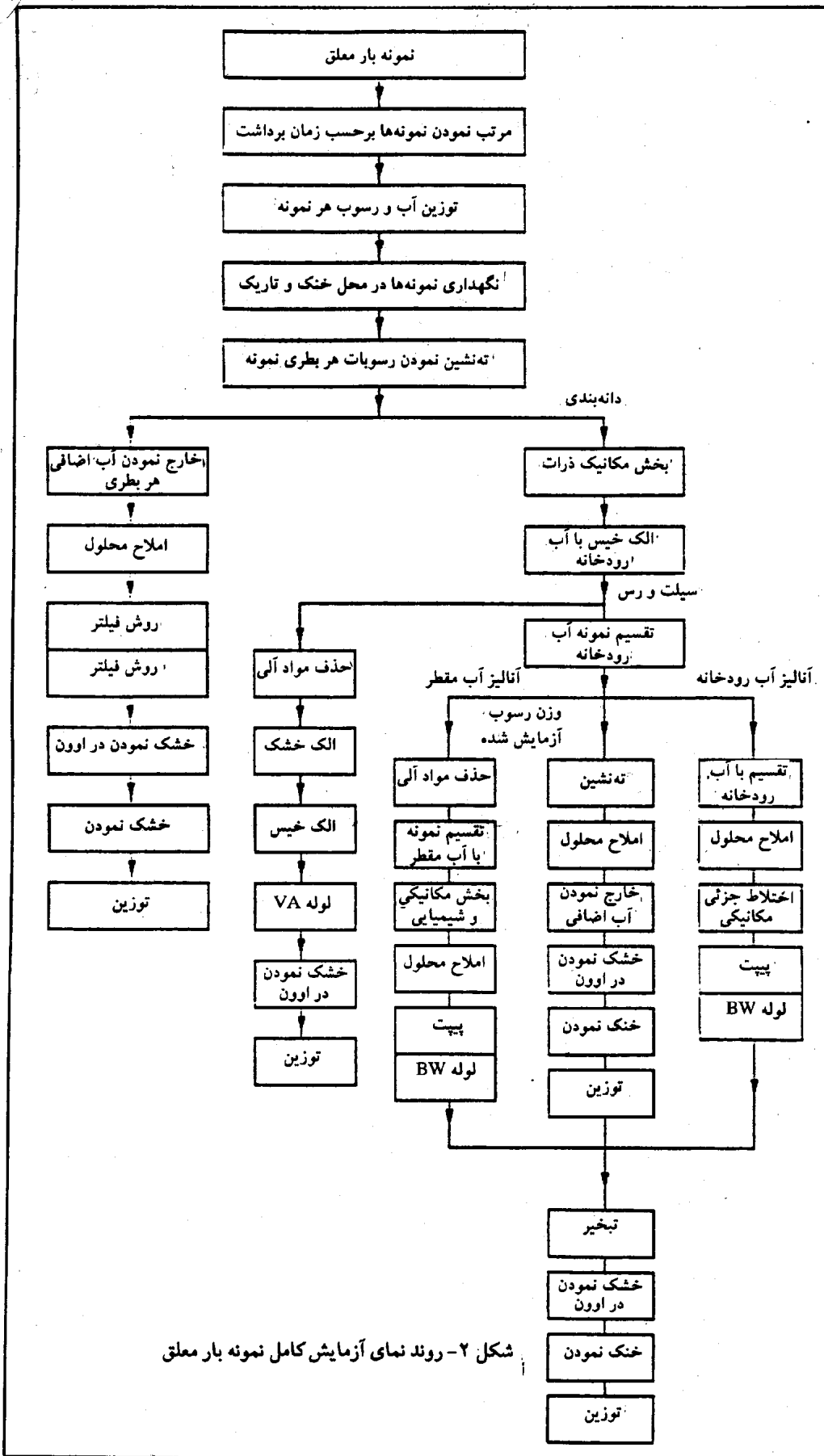
روند نماهای شماره ۱ و ۲ به تشریح این موضوع پرداخته است، به طوری که برنامه کامل تجزیه های مواد کف و بستر در روند نمای شماره ۱ و بار معلق در روند نمای شماره ۲ آمده است. در این روند نماها جعبه هایی که با خط افقی از هم جدا می شوند، نشان دهنده عملیات متناظری است که باید یکی از آنها انتخاب شود. شرح کامل این آزمایشها در نشریه ای تحت عنوان «راهنمای آزمایشهای دانه بندی مواد رسوبی» ارائه شده است.

---

1- Specific gravity







شکل ۲- روند نمای آزمایش کامل نمونه بار معلق

## ۲- مشخصات فیزیکی مواد رسوبی

### ۱-۲ غلظت رسوب<sup>۱</sup>

غلظت رسوب، مقدار رسوب حمل شده توسط جریان آب را در واحد حجم بیان می‌کند و عامل مهمی در مطالعات انتقال رسوب است. تعاریف سه‌گانه زیر غلظت رسوب را تشریح می‌کند [۵].

الف: غلظت حجمی رسوب<sup>۲</sup>  $S_v$ : برابر است با نسبت حجم ذرات رسوب ( $V_s$ ) به حجم کل نمونه رسوب همراه با آب (V)

$$S_v = \frac{V_s}{V} = \frac{S_w}{S_G - S_w (S_G - 1)} \quad (1)$$

که در آن  $S_G$  چگالی<sup>۳</sup> رسوب و  $S_w$  غلظت وزنی رسوب<sup>۴</sup> (جرم) است.

ب: غلظت وزنی رسوب  $S_w$ : برابر است با نسبت وزن (جرم) ذرات رسوب  $W_s$  ( $M_s$ ) به وزن کل نمونه رسوب همراه با آب  $W$  (M)

$$S_w = \frac{W_s}{W} = \frac{S_m}{\rho_w + (1-1/S_G)S_m} \quad (2)$$

که در آن  $\rho_w$  = جرم مخصوص آب و  $S_m$  غلظت ترکیبی وزن و حجم رسوب<sup>۵</sup> است.

ج: غلظت ترکیبی وزن و حجم رسوب  $S_m$ : برابر است با نسبت وزن (جرم) رسوب  $W_s$  ( $M_s$ ) به مجموع حجم نمونه رسوب همراه با آب (V)

$$S_m = \frac{W_s}{V} = \frac{S_w \rho_w S_G}{S_G - (S_G - 1) S_w} \quad (3)$$

اغلب غلظت رسوب را با قسمت در میلیون (ppm) عنوان می‌نمایند. در این حالت رابطه‌های بالا را باید در عدد  $10^6$  ضرب کرد. معمولاً در مواقعی سیلابی غلظت وزنی رسوب در رودخانه‌های بزرگ بین ۱۰۰۰ ppm تا ۱۰۰۰۰ ppm است.

1- Sediment Concentration

2- Sediment Concentration by Volume

3- Specific gravity

4- Sediment Concentration by Weight

5- Sediment Concentration by mixture of Weight (mass) and Volume

غلظت رسوب به صورت کیلوگرم (وزن) در متر مکعب (حجم) نیز نشان داده می‌شود. ولیکن در بیشتر مواقع بر حسب میلی‌گرم در لیتر بیان می‌شود. منظور از این واحد، وزن رسوبات در واحد حجم مخلوط آب و رسوبات است. برای تبدیل این واحد به واحد قسمت در میلیون ppm از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{mg/L} &= C \times (\text{ppm}) = C \times S_v \times 10^6 & (4) \\ &= C \times S_w \times 10^6 \\ &= C \times S_m \times 10^6 \end{aligned}$$

ضریب C در جدول ۱ داده شده است که در آن ضریب C برای تبدیل مقادیر روابط ۱ تا ۳ به mg/l است:

جدول شماره ۱- ضریب C برای تبدیل مقادیر روابط ۱ تا ۳ به mg/L

ppm	C	ppm	C	ppm	C
۰ - ۱۵۹۰۰	۱/۰۰	۲۳۴۰۰۰ - ۲۵۶۰۰۰	۱/۱۸	۴۱۷۰۰۰ - ۴۳۴۰۰۰	۱/۳۶
۱۶۰۰۰ - ۴۶۰۰۰	۱/۰۲	۲۵۷۰۰۰ - ۲۷۹۰۰۰	۱/۲۰	۴۳۵۰۰۰ - ۴۵۱۰۰۰	۱/۳۸
۴۷۰۰۰ - ۷۶۰۰۰	۱/۰۴	۲۸۰۰۰۰ - ۳۰۰۰۰۰	۱/۲۲	۴۵۲۰۰۰ - ۴۶۷۰۰۰	۱/۴۰
۷۷۰۰۰ - ۱۰۵۰۰۰	۱/۰۶	۳۰۱۰۰۰ - ۳۲۱۰۰۰	۱/۲۴	۴۶۸۰۰۰ - ۴۸۳۰۰۰	۱/۴۲
۱۰۶۰۰۰ - ۱۳۲۰۰۰	۱/۰۸	۳۲۲۰۰۰ - ۳۴۱۰۰۰	۱/۲۶	۴۸۴۰۰۰ - ۴۹۸۰۰۰	۱/۴۴
۱۳۳۰۰۰ - ۱۵۹۰۰۰	۱/۱۰	۳۴۲۰۰۰ - ۳۶۱۰۰۰	۱/۲۸	۴۹۹۰۰۰ - ۵۱۳۰۰۰	۱/۴۶
۱۶۰۰۰۰ - ۱۸۴۰۰۰	۱/۱۲	۳۶۲۰۰۰ - ۳۸۰۰۰۰	۱/۳۰	۵۱۴۰۰۰ - ۵۲۸۰۰۰	۱/۴۸
۱۸۵۰۰۰ - ۲۰۹۰۰۰	۱/۱۴	۳۸۱۰۰۰ - ۳۹۸۰۰۰	۱/۳۲	۵۲۹۰۰۰ - ۵۴۲۰۰۰	۱/۵۰
۲۱۰۰۰۰ - ۲۳۳۰۰۰	۱/۱۶	۳۹۹۰۰۰ - ۴۱۶۰۰۰	۱/۳۴		

## ۲-۲ اندازه ذرات رسوب

از میان مشخصات رسوب، اندازه رسوب بهترین و اصلیتترین خصوصیتی است که مورد توجه قرار می‌گیرد [۱]. به همین دلیل قطر و اندازه ذرات رسوب به صورت مختلف برای هر آزمایش دانه‌بندی قابل تعیین است. الف: قطر اسمی<sup>۱</sup> (قطر نامی) (dn): عبارت است از قطر ذره کروی شکل فرضی که حجم آن مساوی حجم ذره مورد نظر است.

1- Nominal diameter

ب: قطر عبوری از الک<sup>۱</sup> (ds): عبارت است از قطر ذره کروی شکل فرضی است که مساوی با اندازه چشمه‌های الکی باشد که ذره مورد نظر از آن عبور می‌کند. مطالعات نشان داده است که در اغلب مواد طبیعی  $ds = 0.9 dn$  است.

ج: قطر ترسیبی<sup>۲</sup> ( $d_{se}$ ): همان قطر ترسیب (سقوط) استاندارد است که عبارت از قطر ذره کروی شکلی است که وزن مخصوص آن مساوی وزن مخصوص ذره مورد نظر باشد و دارای سرعت سقوط (حد) مساوی با سرعت (حد) ذره مورد نظر در آب مقطر ساکن نامحدود با دمای ۲۴ درجه سانتیگراد باشد.

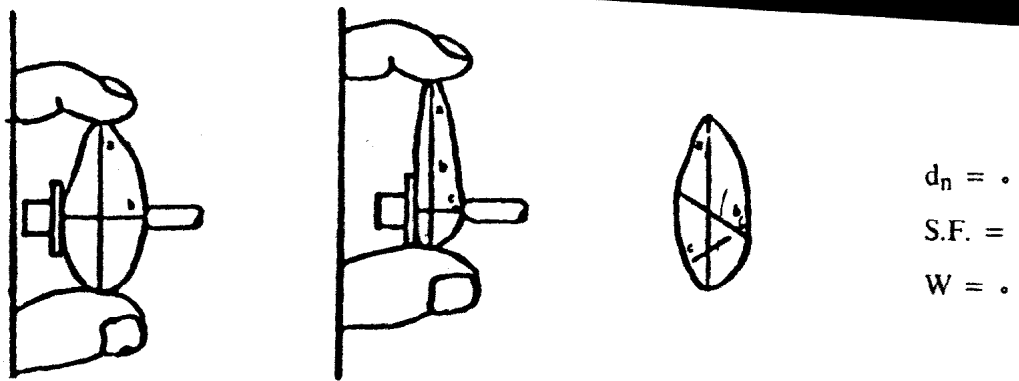
د: قطر سقوط<sup>۳</sup> (df): عبارت از قطر کره معادلی که دارای چگالی ۲/۶۵ است و در آب استاندارد ۲۴ درجه سانتیگراد سرعت سقوطی معادل با سرعت سقوط ذره داشته باشد.

ه: قطر متوسط<sup>۴</sup> (dm): قطر متوسط برای ذرات شن و بزرگتر از آن تعریف می‌گردد. اگر ابعاد یک ذره در سه محور متعامد به ترتیب a (بزرگ)، b (متوسط) و c (کوچک) باشد (شکل ۳). چند تعریف برای قطر متوسط به صورت قطر متوسط موزون<sup>۵</sup> ( $d_h$ ) قطر متوسط حسابی<sup>۶</sup> و قطر متوسط هندسی<sup>۷</sup> ( $d_g$ ) ذیلاً ارائه شده است:

$$d_h = \frac{3abc}{(ab + bc + ac)} \quad (5)$$

$$d_a = (a + b + c)/3 \quad (6)$$

$$d_g = \sqrt[3]{abc} \quad (7)$$



شکل ۳- روش اندازه‌گیری قطر ذرات درشت رسوب و نمایش محورهای متعامد a، b و c

1- Sieve diameter

2- Sedimentation diameter

3- Fall diameter

4- Mean diameter

5- Harmonic mean diameter

6- Arithmetic Meandiameter

7- Geometric mean diameter

## ۳-۲ طبقه‌بندی اندازه ذرات<sup>۱</sup>

ذرات رسوب از نظر اندازه و قطر به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که در جدول شماره ۲ اندازه‌های مختلف ذرات رسوب نشان داده شده است. در این جدول، قطعه سنگ<sup>۲</sup> و قلوه‌سنگ<sup>۳</sup> از رسوبات درشت دانه هستند، که قلوه سنگ و شن<sup>۴</sup> در مطالعه پایداری بستر و خاکریزهای طبیعی یا مصنوعی در مقابل جریان آب و مقاومت در مقابل حرکت آب اهمیت دارند. ذرات ماسه<sup>۵</sup> بیشترین مقدار را در انتقال رسوبات رودخانه‌ها دارا هستند. ذرات ریزدانه یعنی سیلت<sup>۶</sup> و رس<sup>۷</sup> در مسائلی مانند: ته‌نشینی رسوبات در مخازن پشت سدها، جریان‌ات غلیظ و غیره اهمیت بیشتری را پیدا می‌کنند.

## ۴-۲ شکل ذرات رسوب<sup>۸</sup>

شکل ذرات رسوب مستقل از اندازه آنهاست و بستگی به منبع سنگ مادر و نحوه هوازگی آنها دارد و در رفتار جریان آب تأثیر می‌گذارد. تعاریف مختلفی برای تشخیص شکل ذره و تبدیل آن به عواملی که قابل استفاده باشد به کار می‌رود. مهمترین تعاریف عبارتند از:

الف - کرویت<sup>۹</sup>: عبارت است از نسبت مساحت کره هم حجم ذره رسوب به سطح جانبی واقعی ذره رسوب مورد نظر که مقدار آن برای ذرات کروی برابر واحد است و برای سایر ذرات، کمتر از واحد خواهد بود. چون به دست آوردن سطح واقعی ذرات رسوب مشکل است، لذا از نسبت زیر برای بیان کرویت ( $S_p$ ) استفاده می‌شود:

$$S_p = \frac{\text{حجم ذره}}{\text{حجم کره محاط بر ذره}} \quad (۸)$$

اگر قطر ظاهری ذره به  $D$  و بزرگترین محور ذره به  $a$  نشان داده شود، رابطه بالا به صورت ساده زیر تبدیل می‌شود:

$$S_p = \frac{D}{a} \quad (۹)$$

1- Size Classification

2- Boulder

3- Cobbles

4- Gravel

5- Sand

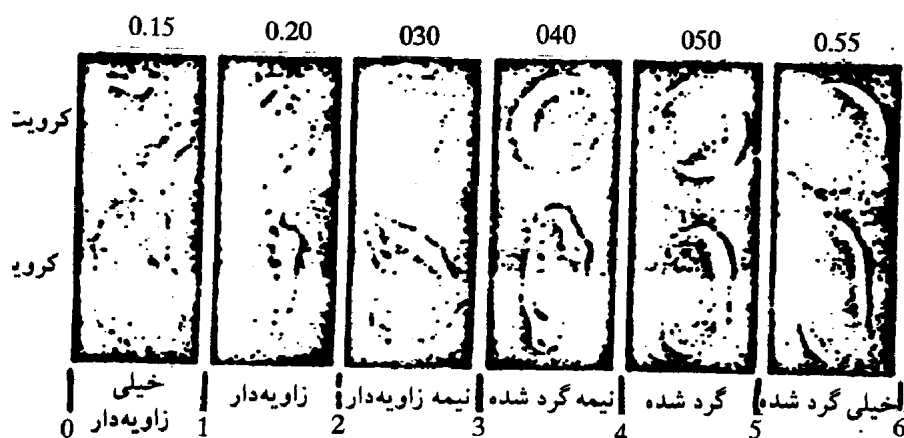
6- Silt

7- Clay

8- Particle shape

9- Sphericity

برای تعیین کرویت ذره به صورت تجربی نمودارهایی وجود دارد که یک نمونه آن در شکل ۴ آمده است [۱]:



شکل ۴- تصاویری از گردشگری دانه‌های ماسه با کرویت کم و زیاد

ب - گردشگری<sup>۱</sup>: عبارت است از نسبت شعاع کوچکترین دایره گوشه‌های ذره به شعاع دایره محاط در تصویر ذره یا شعاع ظاهری ذره. برای بیان نسبت گردشگری رابطه‌های زیر پیشنهاد شده است:

$$\text{ضریب گردشگری} = \frac{r^3}{abc} \quad (10)$$

که  $r$  شعاع کوچکترین دایره گوشه‌های ذره است.

$$\text{ضریب دایره‌ای} = \frac{\text{سطح ظاهری ذره}}{\text{سطح دایره‌ای با قطر } a} = \frac{na^2}{4} \quad (11)$$

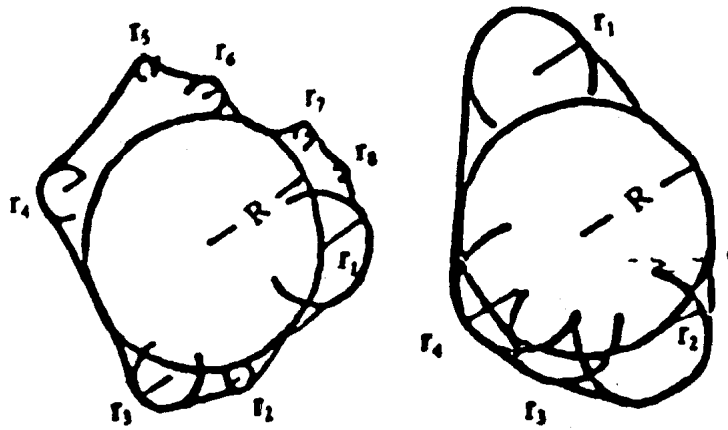
شکل ۵ نمایی از مقاطع دو ذره رسوب را نشان می‌دهد که گوشه‌های ذره و شعاع بزرگترین دایره محاط در ذره را نشان می‌دهد [۳]:

جدول شماره ۲ - طبقه‌بندی ذرات مختلف رسوب برحسب اندازه قطر آنها [۴]

اندازه قطر دانه‌ها (الک)			شماره الک		کلاس Class
میلی‌متر	(میکرون)	(اینچ)	استاندارد تایپر	استاندارد آمریکا	
۴۰۰۰ - ۲۰۰۰	-	۱۶۰ - ۸۰	-	-	Very large boulders
۲۰۰۰ - ۱۰۰۰	-	۸۰ - ۴۰	-	-	Large boulders
۱۰۰۰ - ۵۰۰	-	۴۰ - ۲۰	-	-	Medium boulders
۵۰۰ - ۲۵۰	-	۲۰ - ۱۰	-	-	Small boulders
۲۵۰ - ۱۳۰	-	۱۰ - ۵	-	-	Large cobbles
۱۳۰ - ۶۴	-	۵ - ۲/۵	-	-	Small cobbles
۶۴ - ۳۲	-	۲/۵ - ۱/۳	-	-	Very Coarse gravel
۳۲ - ۱۶	-	۱/۳ - ۰/۶	-	-	Coarse gravel
۱۶ - ۸	-	۰/۶ - ۰/۳	۲ - ۰/۵	-	Medium gravel
۸ - ۴	-	۰/۳ - ۰/۱۶	۵	۵	Fine gravel
۴ - ۲	-	۰/۱۶ - ۰/۰۸	۹	۱۰	Very fine gravel
۲ - ۱	۲۰۰۰ - ۱۰۰۰	-	۱۶	۱۸	Very coarse sand
۱ - ۱/۲	۱۰۰۰ - ۵۰۰	-	۳۲	۳۵	Coarse sand
۱/۲ - ۱/۴	۵۰۰ - ۲۵۰	-	۶۰	۶۰	Medium sand
۱/۴ - ۱/۸	۲۵۰ - ۱۲۵	-	۱۱۵	۱۲۰	Fine sand
۱/۸ - ۱/۱۶	۱۲۵ - ۶۲	-	۲۵۰	۲۳۰	Very fine sand
۱/۱۶ - ۱/۳۲	۶۲ - ۳۱	-	-	-	Coarse silt
۱/۳۲ - ۱/۶۴	۳۱ - ۱۶	-	-	-	Medium silt
۱/۶۴ - ۱/۱۲۸	۱۶ - ۸	-	-	-	Fine silt
۱/۱۲۸ - ۱/۲۵۶	۸ - ۴	-	-	-	Very fine silt
۱/۲۵۶ - ۱/۵۱۲	۴ - ۲	-	-	-	Coarse clay
۱/۵۱۲ - ۱/۱۰۲۴	۲ - ۱	-	-	-	Medium clay
۱/۱۰۲۴ - ۱/۲۰۴۸	۱ - ۰/۵	-	-	-	Fine clay
۱/۲۰۴۸ - ۱/۴۰۹۶	۰/۵ - ۰/۲۴	-	-	-	Very fine clay

مأخذ: لین - کارلسون - پنجمین سمینار IAHR - دانشگاه مینی سوتا - ۱۹۵۳



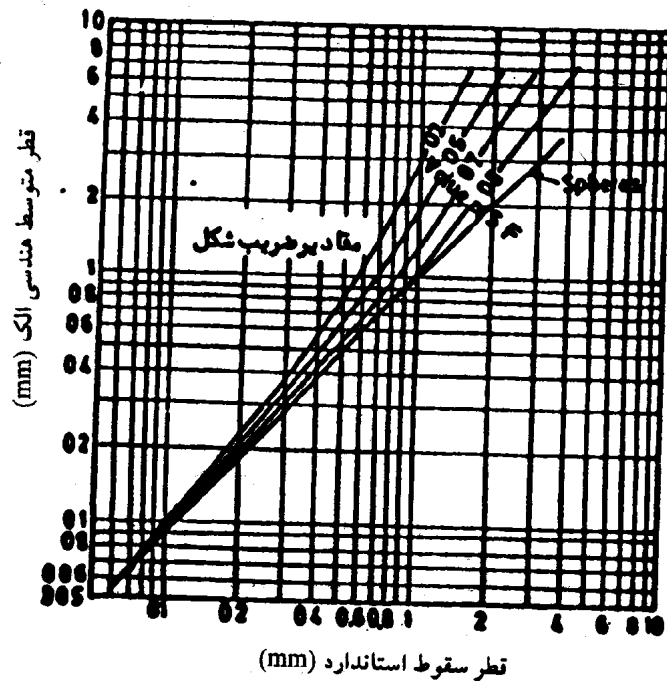


شکل ۵- تصاویری از مقاطع دو ذره که نمایش دهنده شعاع دواير موجود در گوشه‌های ذره و شعاع بزرگترین دایره محاط در ذره است [۳].

ج - ضریب شکل<sup>۱</sup>: عبارت است از نسبت کوچکترین محور ذره رسوب به جذر حاصلضرب اندازه‌های محور متوسط و محور بزرگ ذره [۳] یعنی:

$$S.F = \frac{c}{\sqrt{ab}}$$

در اغلب موارد ضریب شکل برای مطالعه و آزمایش اثر شکل روی سرعت سقوط ذرات مناسب است. برای یک ذره رسوب کروی، ضریب شکل برابر واحد است و برای سایر ذرات کوچکتر از واحد خواهد بود. شکل ۶ رابطه بین قطر الک، قطر سقوط استاندارد و ضریب شکل را نشان می‌دهد [۲]:



شکل ۶- ارتباط بین قطر الک و قطر سقوط استاندارد برای ضرایب

شکل مختلف (ذرات فرسایش یافته طبیعی) [۲]

## ۵-۲ سرعت سقوط ذرات

منظور از سرعت سقوط یک ذره، سرعت نهایی ته‌نشینی آن ذره در آب ساکن نامحدود است. در شرایط استاندارد، این آب به صورت آب مقطر با درجه حرارت ۲۴ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود (شکل ۷). سرعت سقوط ذرات در اندازه، ضریب شکل و درجه حرارت‌های متفاوت آب را ارائه می‌دهد. مجموعه اول منحنیها برای ضریب شکل ۰/۵ و سرعت سقوط ذرات رسوب بین ۰/۲ تا ۱۰۰ سانتیمتر بر ثانیه است. مجموعه دوم منحنیها برای ضریب شکل ۰/۷ و سرعت سقوط ذرات رسوب بین ۰/۱ تا ۱۰۰ سانتیمتر بر ثانیه است و در مجموعه سوم منحنیها، ضریب شکل ۰/۹ و سرعت سقوط ذرات رسوب بین ۰/۱۵ تا ۵۰ سانتیمتر بر ثانیه است. برای تعیین سرعت سقوط ذرات سیلت و رس از رابطه استوکس<sup>۱</sup> به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\omega = 0.545 \frac{(\gamma_s - \gamma_w) d^2}{\mu} \quad (13)$$

در این رابطه:

$\omega$  = سرعت سقوط ذره (cm/sec)

$$\begin{aligned} \gamma_s &= \text{وزن مخصوص ذره (gr/cm}^3) \\ \gamma_w &= \text{وزن مخصوص آب} \\ d &= \text{قطر اسمی ذره (mm)} \\ \mu &= \text{لزجت دینامیکی آب (Poise) که:} \end{aligned}$$

$$\left( \text{Poise} = \frac{\text{dyne.sec}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{gm}}{\text{cm.sec}} \right) \quad (\text{gr/cm}^3)$$

شکل ۸ نمایش ترسیمی معادله ۱۳ را نشان می‌دهد. در صورتی که درجه حرارت آب غیر از ۲۰ درجه سانتیگراد باشد از ضریب تصحیح جدول ۴ استفاده می‌شود.

تعیین سرعت سقوط ذرات بزرگتر از ۰/۰۶۳ میلیمتر (ماسه و شن) با استفاده از منحنیهای شکل ۷ انجام می‌شود. در این منحنیها، علاوه بر قطر اسمی ذره، تأثیرات ضریب شکل (S.F.) نیز در نظر گرفته شده است. ضریب شکل ذرات کوچکتر از ۰/۰۶۳ میلیمتر تأثیر چندانی در سرعت سقوط ندارد. لذا در رابطه ۵ جمله ضریب شکل وجود ندارد. اصولاً رابطه ۱۳ برای ذرات کروی شکل به دست آمده، ولی به همان صورت برای ذرات سیلت و رس قابل استفاده است. وزن مخصوص و لزجت آب مقطر در جدول ۳ داده شده است.

غلظت زیاد رسوب سبب کاهش سرعت سقوط ذرات می‌شود. رابطه بین سرعت سقوط یک ذره در مایع ( $\omega_0$ ) و سرعت سقوط در مایع حاوی رسوب ( $\omega$ ) عبارتست از:

$$\frac{\omega_0}{\omega} = (1 - S_v)^m \quad (14)$$

مقدار عددی  $m$  بین ۲/۲۵ تا ۷ تغییر می‌کند. عدد معمول  $m$  برای سیلت برابر با ۲/۲۵ تا ۴/۶۵ است [۷]. برای مثال سرعت سقوط دو ذره به قطر اسمی ۰/۰۶ میلیمتر و ۰/۱ میلیمتر را در آب مقطر با درجه حرارت ۲۴ درجه سانتیگراد به شرح زیر می‌گردد. ذره با قطر اسمی ۰/۱ میلیمتر دارای ضریب شکل ۰/۹ فرض می‌شود. وزن مخصوص هر دو ذره ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب در نظر گرفته می‌شود: با استفاده از رابطه ۱۳ برای ذره با قطر اسمی ۰/۰۶ میلیمتر:

$$\gamma_w = 0.997 \text{ (gr/cm}^3) \quad \text{وزن مخصوص آب مقطر در } 24^\circ\text{C (جدول ۳)،}$$

$$\gamma_s = 2.65 \text{ (gr/cm}^3) \quad \text{وزن مخصوص ذره رسوب،}$$

$$d = 0.06 \text{ (mm)} \quad \text{قطر ذره رسوب،}$$

$$\mu = 0.925 \times 10^{-2} \text{ (Poise)} \quad \text{لزجت آب مقطر در } 24^\circ\text{C (جدول ۳)،}$$

$$W = 0.545 (\gamma_s - \gamma_w) d^2 / \mu$$

$$= 0.545 (2.65 - 0.997) (0.06)^2 / 0.925 \times 10^{-2}$$

$$= 0.35 \text{ (cm/sec)}$$

با استفاده از شکل ۸ برای ذره با قطر اسمی ۰/۱ میلیمتر:

$$d_n = 0.1 \text{ (mm)}$$

قطر ذره رسوب (داده شده)،

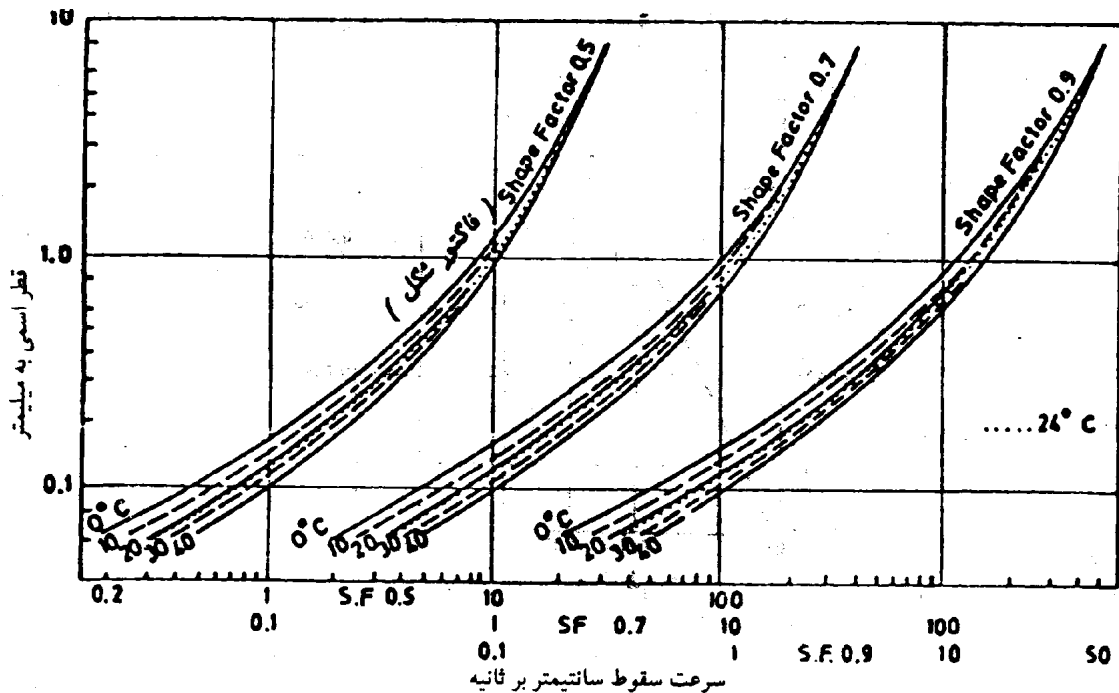
$$S.F. = 0.9$$

ضریب شکل ذره (داده شده)

$$W = 0.80 \text{ (cm/sec)}$$

جدول شماره ۳- خواص آب در فشار اتمسفر

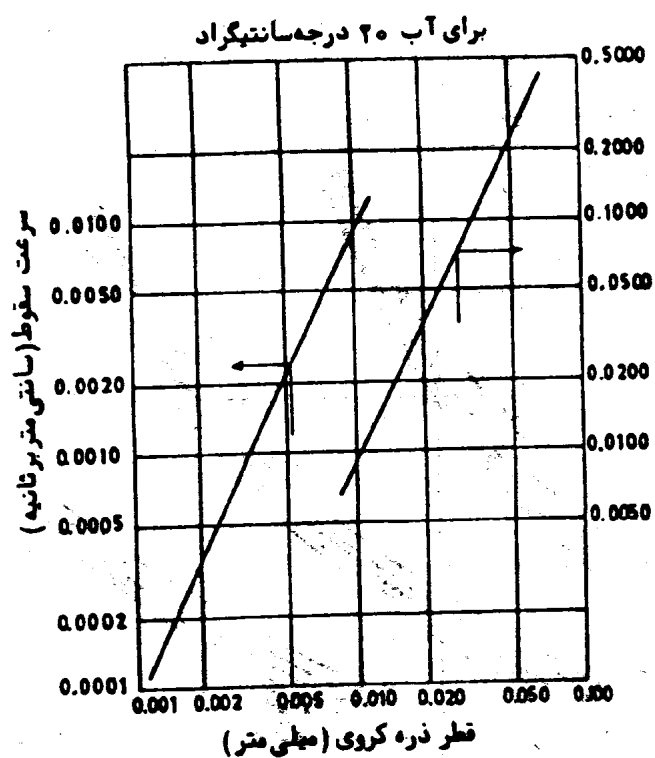
دما		جرم مخصوص		لزجت دینامیکی		لزجت سینماتیکی	
Deg°C	Deg°F	gr/cm <sup>3</sup>	slug/ft <sup>3</sup>	dyne-sec/cm <sup>2</sup>	Ib - sec/ft <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /sec	ft <sup>2</sup> /sec
۰	۳۲	۰/۹۹۹۸۷	۱/۹۴۰	۱/۷۹۴×۱۰ <sup>-۲</sup>	۳/۷۴۶×۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۷۹۴×۱۰ <sup>-۲</sup>	۱/۹۳۰×۱۰ <sup>-۵</sup>
۴	۳۹/۲	۱/۰۰۰۰۰	۱/۹۴۱	۱/۵۶۸	۳/۲۷۴	۱/۵۶۸	۱/۶۸۷
۵	۴۱	۰/۹۹۹۹۹	۱/۹۴۱	۱/۵۱۹	۳/۱۷۲	۱/۵۱۹	۱/۶۳۴
۱۰	۵۰	۰/۹۹۹۷۳	۱/۹۴۰	۱/۳۱۰	۲/۷۳۵	۱/۳۱۰	۱/۴۰۷
۱۵	۵۹	۰/۹۹۹۱۳	۱/۹۴۰	۱/۱۴۵	۲/۳۹۱	۱/۱۴۶	۱/۲۳۳
۲۰	۶۸	۰/۹۹۸	۱/۹۳۷	۱/۰۰۹	۲/۱۰۷	۱/۰۱۱	۱/۰۸۸
۳۰	۸۶	۰/۹۹۶	۱/۹۳۲	۰/۸۰۰	۱/۶۷۰	۰/۸۰۳	۰/۸۶۴
۴۰	۱۰۴	۰/۹۹۲	۱/۹۲۵	۰/۶۵۴	۱/۳۶۶	۰/۶۵۹	۰/۷۰۹
۵۰	۱۲۲	۰/۹۸۸	۱/۹۱۷	۰/۵۴۹	۱/۱۴۶	۰/۵۵۶	۰/۵۹۸
۶۰	۱۴۰	۰/۹۸۳	۱/۹۰۷	۰/۴۷۰	۰/۹۸۱	۰/۴۷۸	۰/۵۱۴
۷۰	۱۵۸	۰/۹۷۸	۱/۸۹۷	۰/۴۰۷	۰/۸۳۰	۰/۴۱۶	۰/۴۴۸
۸۰	۱۷۶	۰/۹۷۲	۱/۸۸۵	۰/۳۵۷	۰/۷۴۵	۰/۳۶۷	۰/۳۹۵
۹۰	۱۹۴	۰/۹۶۵	۱/۸۷۲	۰/۳۱۷	۰/۶۶۲	۰/۳۲۸	۰/۳۵۳
۱۰۰	۲۱۲	۰/۹۵۸	۱/۸۵۸	۰/۲۸۴	۰/۵۹۳	۰/۲۹۶	۰/۳۱۸



شکل ۷- رابطه بین سرعت سقوط و قطر اسمی برای ضرایب شکل مختلف در دماهای متفاوت آب [۷]

جدول شماره ۴- ضریب تصحیح برای سایر دماها

دما (°C)	ضریب تصحیح $\left(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}\right)$	دما (°C)	ضریب تصحیح $\left(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}\right)$
۱۸	۱/۰۵۱	۲۹	۰/۸۱۱
۱۹	۱/۰۲۷	۳۰	۰/۷۹۴
۲۰	۱/۰۰۰	۳۱	۰/۷۷۶
۲۱	۰/۹۷۹	۳۲	۰/۷۶۰
۲۲	۰/۹۵۳	۳۳	۰/۷۴۶
۲۳	۰/۹۳۰	۳۴	۰/۷۲۹
۲۴	۰/۹۰۸	۳۵	۰/۷۱۴
۲۵	۰/۸۸۷	۳۶	۰/۷۰۰
۲۶	۰/۸۶۷	۳۸	۰/۶۷۳
۲۷	۰/۸۴۸	۴۰	۰/۶۴۸
۲۸	۰/۸۲۹		



شکل ۸- رابطه بین سرعت سقوط و قطر ذره کروی کوارتزی براساس معادله استوکس [۷]  
(برای آب ۲۰ درجه سانتیگراد)

## ۶-۲ وزن مخصوص<sup>۱</sup> و تخلخل:

وزن مخصوص ذرات رسوب بستگی به مواد معدنی تشکیل دهنده آنها دارد. برای مثال وزن مخصوص ذرات کربنات<sup>۲</sup> برابر ۲/۸۵، کوارتز<sup>۳</sup> برابر ۲/۶۵، فلداسپات<sup>۴</sup> برابر ۲/۷۶-۲/۵۵، ماگنتیت<sup>۵</sup> برابر ۵/۲۰ گرم بر سانتیمتر مکعب است. [۳] از آنجا که کوارتز معمولاً ماده غالب در رسوبات رودخانه‌ای است. لذا وزن مخصوص ذرات رسوب معمولاً با تقریب، ۲/۶۵ (gr/cm<sup>۳</sup>) بیان می‌شود.

وزن مخصوص اغلب به صورت چگالی تعریف می‌شود که منظور همان نسبت وزن مخصوص ذره به وزن مخصوص آب در ۴ درجه سانتیگراد است.

جدول شماره ۵ وزن مخصوص و تخلخل ذرات ماسه، شن و قطعه سنگ را در اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد. تخلخل رامی‌توان به صورت نسبت حجم فضای خالی نمونه رسوب ( $V_v$ ) به حجم ( $V$ ) آن تعریف نمود، یعنی:

$$n = \frac{100 \times (\text{حجم ذرات جامد رسوب} - \text{حجم کل نمونه رسوب})}{\text{حجم کل رسوب}} = \text{تخلخل}$$

و یا:

$$n = \frac{V - V_s}{V} = \frac{V_v}{V} \quad (15)$$

## ۳- برنامه‌ریزی آزمایشهای مربوط به تعیین دانه‌بندی رسوبات

تعیین دانه‌بندی نمونه‌های رسوبات ارسال شده به آزمایشگاه رسوب یکی از دو وظیفه اصلی آزمایشگاه است. روشهای مختلفی برای دانه‌بندی نمونه‌ای رسوبات وجود دارند که انتخاب هر یک از آنها بستگی به اندازه و وزن ذرات رسوب موجود در نمونه دارد. بنابراین ضروری است که یک سیاست کلی برای انتخاب آزمایش مناسب دانه‌بندی برای هر نمونه خاص مشخص باشد. نکات عمده در تعیین این سیاست شامل: برنامه‌ریزی زمانی آزمایشها، انبار نمودن آزمایشها، اولویت دادن به آزمایشهای خاص و دسته‌بندی نمونه‌هاست.

---

1- Specific weight

2- Carbonate particles

3- Quartz

4- Feldspat

5- Magnetite

جدول شماره ۵- تخلخل و وزن مخصوص ذرات مختلف رسوبات ریز تا درشت [۵]

طبقه بندی و اندازه به mm	ماسه ریز ۰/۱۲۵-۰/۲۵	ماسه متوسط ۰/۲۵-۰/۵	ماسه درشت ۰/۵-۱	ماسه خیلی درشت ۱-۲	شن خیلی ریز ۲-۴	شن متوسط ۴-۸	شن درشت ۸-۱۶	شن خیلی درشت ۱۶-۳۲	قلوه سنگ کوچک ۳۲-۶۴	قلوه سنگ ۶۴-۱۳۰	قلوه سنگ درشت ۱۳۰-۲۵۰
تخلخل	۴۴	۴۳	۴۱	۳۹	۳۷/۵	۳۴/۵	۳۳	۲۷	۲۳	۱۸	۱۷
وزن مخصوص $\text{KN/m}^3$	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۲	۲۲
وزن مخصوص به $\text{lb/ft}^3$	۹۳	۹۴	۹۸	۱۰۱	۱۰۳	۱۰۸	۱۱۱	۱۲۱	۱۲۷	۱۳۰	۱۳۷

تعیین دانه‌بندی رسوبات رودخانه در کلیه جریانهای مختلف و زمانهای متفاوت امکانپذیر نخواهد بود. در عمل فقط می‌توان تعداد محدودی از نمونه‌های برداشت شده را آزمایش کرد و دانه‌بندی رسوبات مربوط به شرایط خاص رودخانه، متناظر با زمان برداشت این نمونه‌ها را تعیین نمود. بنابراین برنامه‌ریزی آزمایشها باید به نحوی صورت گیرد که نتایج حاصل از این آزمایشها معرف و مبین قسمت اعظم شرایط متفاوت حاکم بر رودخانه از نظر دانه‌بندی رسوبات باشد.

دانه‌بندی رسوبات به منظورهای مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال ممکن است از دانه‌بندی برای محاسبه وزن مخصوص رسوبات ته‌نشین شده در مخازن پشت سدها استفاده شود. چنین محاسبه‌ای نیاز به رسم تغییرات قطر میانه<sup>۱</sup> بر حسب میزان رسوبات<sup>۲</sup> تن در روز دارد. یا ممکن است از دانه‌بندی برای محاسبه بار کل<sup>۳</sup> استفاده گردد. همچنین می‌توان به مطالعه نحوه عملکرد رسوبات در محیطها و شرایط مختلف اشاره نمود. این نوع مطالعه، نیاز به تعیین دانه‌بندی با استفاده از آب مقطر و نیز با استفاده از آب رودخانه دارد. به‌طور کلی برنامه‌ریزی تواتر و چگونگی آزمایشهای دانه‌بندی به میزان زیادی بسته به نوع استفاده از نتایج این آزمایشها دارد و در رابطه با آن تعیین می‌گردد. آنچه که در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد، برنامه‌ریزی آزمایشهای دانه‌بندی کلی و متداول روی نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاههای دوره‌ای و روزانه است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که تواتر آزمایشهای دانه‌بندی باید به‌طوری باشد که بتوان بین نتایج حاصله از تجزیه و تحلیل نمونه‌های برداشت شده تقریباً همزمان از نقاط مختلف و نمونه‌های برداشت شده از یک نقطه در زمانهای مختلف ارتباط منطقی برقرار نمود و مقایسه به عمل آورد.

### ۳-۱ تواتر آزمایشهای انجام شده با آب مقطر

آنچه که در این قسمت ذکر می‌گردد نکاتی مربوط به تواتر آزمایشهای دانه‌بندی با استفاده از آب مقطر به عنوان ماده ته‌نشینی<sup>۴</sup> است، در این نوع آزمایشها از به هم پیوستن ذرات حین ته‌نشینی ممانعت به عمل می‌آید و عموماً برای جلوگیری از پیوستن ذرات رس و نیز ذرات سیلت از مواد شیمیایی پخش‌کننده<sup>۵</sup> استفاده می‌گردد. در مقابل آزمایشهایی وجود دارند که در انجام دادن آنها از آب رودخانه استفاده می‌شود تا بتوان شرایط طبیعی موجود برای پیوستن ذرات به همدیگر را ایجاد نمود<sup>[۳]</sup>. به تواتر این آزمایشها در قسمت بعدی اشاره خواهد گردید.

1- Median size

2- Sediment load

3- Total load

4- Settling Medium

5- Chemical Dispersion



همه نمونه‌ها باید با روش تجمع در عمق<sup>۱</sup> برداشت شوند تا بتوان آزمایش‌های دانه‌بندی را با اخذ نتایج صحیح انجام داد. نمونه‌های برداشت شده از یک مقطع باید معرف خصوصیات مربوط به آن مقطع باشد. لذا توصیه می‌شود که نمونه‌برداری با روش قائم‌الفاصله<sup>۲</sup> انجام گیرد (توصیف مفصل این روشها در نشریه استاندارد دیگری ارائه خواهد شد) البته می‌توان نمونه‌برداری را از ارقامهای منطبق بر مراکز تعداد مکفی سطوح با جریان مساوی<sup>۳</sup> نیز انجام داد. اگر نمونه‌برداری فقط از یک قائم که عموماً نزدیک به مرکز تجمع صورت می‌گیرد، شرایط این قائم باید معرف محدوده وسیعی از شرایط جریان در مقطع باشد<sup>[۳]</sup>.

انتخاب نمونه‌ها برای آزمایش باید با مطالعه شرایط صورت گیرد. اگر برنامه‌ای برای ایستگاه موردنظر قبلاً اجرا می‌شده است، این برنامه می‌تواند راهنمای خوبی باشد. اگر چنین برنامه‌ای وجود ندارد، باید انتخاب بر مبنای مطالعه شرایط رودخانه در طول سال انجام گیرد. برای این منظور می‌توان از فرم ۱۱۰ - SPS که مربوط به آزمایش‌های تعیین غلظت بار معلق است استفاده نمود. این فرم کم و بیش اطلاعاتی در مورد رژیم رسوب رودخانه مشخص می‌کند. برای سال اول، معمولاً اطلاعات موجود در مورد رژیم رسوب، ناقص است لذا می‌توان بعضی نمونه‌ها را تا روشن شدن این اطلاعات در بطری آبیندی شده و در محل تاریک تا پایان سال نگهداری نمود و سپس در صورت لزوم آنها را آزمایش کرد.

برای ایستگاههای روزانه، باید حداقل ۵ الی ۶ نمونه در طول سال برای دانه‌بندی آزمایش شوند. این نمونه‌ها باید طوری انتخاب گردند که معرف شرایط رسوبات در رژیمهای مختلف جریان باشند. برای ایستگاههای جدیدالتأسیس نمونه‌های بیشتری با حدود ۳۰ نمونه در سال باید آزمایش شوند تا اطلاعات کافی از دانه‌بندی رسوبات به ویژه در جریانهای سیلابها بدست آید. از نتایج حاصله می‌توان استنتاجهای لازم را به عمل آورد و تعداد آزمایشها را در سالهای بعدی به تدریج کم نمود. در رودخانه‌های با جریان کم، در خشکسالیها و در مواردی که غلظت رسوبات بسیار کم است، تعداد آزمایشها می‌تواند کمتر از حد داده شده در فوق باشد.

برای ایستگاههای دوره‌ای، باید حداقل ۱/۵ نمونه‌های برداشت شده تحت آزمایش دانه‌بندی قرار گیرد. رقم دقیق بستگی به تواتر نمونه‌برداری، شرایط رودخانه و کاربرد نتایج دارد. در صورت امکان لازم است این رقم تعیین و در برنامه ایستگاه منظور گردد.

---

1- Depth Integrated

2- Equal Trasite Pate

3- Equal Discharge Increment

فرم ۱۱۰ - SPS اطلاعات مربوط به غلظت رسوبات، نمونه‌های برداشت شده با روش تجمع در عمق<sup>۱</sup>

نام رودخانه _____ محاسبه شده توسط _____ کنترل شده توسط _____									
									تاریخ
									زمان
									ارتفاع شاخص
									ایستگاه نمونه برداری
									دمای آب و هدایت ویژه
									توضیحات
								کل	وزن نمونه
								ظرف	
								خالص	
									شماره ظرف
								کل	وزن رسوبات
								ظرف	
								خالص	
								تصحیح املاح محلول	
								خالص	
									غلظت

در محاسبات بار کل نیاز به دانه بندی رسوبات بار معلق با غلظت متوسط در زمان مورد نظر خواهد بود. بنابراین لازم است آزمایشهای دانه بندی روی نمونه‌هایی نیز صورت گیرد که زمان برداشت آنها منطبق بر زمانی است که در آن محاسبات بار کل انجام خواهد گرفت.

### ۲-۳ روشهای آزمایش دانه بندی با آب مقطر

محدودیت‌های روشهای مختلف آزمایشهای دانه بندی، در دستورالعمل هر آزمایش خاص داده شده است. آنچه در

1- Sediment Concentration Notes, Depth Integrated Samples (short form)

اینجا ذکر می‌گردد، مقدار، غلظت نمونه و حدود اندازه ذرات مناسب برای هر روش است. این اطلاعات در جدول شماره ۶ داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که برای هر روشی چه تعداد بطری نمونه لازم است و یا اینکه تقسیم نمونه باید صورت بگیرد یا نه و بالاخره برای اندازه معین ذرات چه روش آزمایشی مناسب است :

جدول شماره ۶- راهنمای آزمایشهای دانه‌بندی

روش	( $\phi$ ) اندازه ذرات (mm)	غلظت محلول (mg/lit)	مقدار رسوب (gr)
الک	۰ - ۰/۰۶۲	.....	< ۰/۰۵
لوله VA	۰/۰۶۲ - ۲/۰	.....	۰/۰۵ - ۱۵/۰
پیپت	۰/۰۰۲ - ۰/۰۶۲	۲۰۰۰ - ۵۰۰۰	۱/۰ - ۵/۰
BW(+)	۰/۰۰۲ - ۰/۰۶۲	۱۰۰۰ - ۳۵۰۰	۰/۵ - ۱/۸

(+) می‌توان با این روش تا قطر (mm) ۰/۳۵ را نیز دانه‌بندی نمود، ولی دقت آزمایش کمتر خواهد گردید. غلظت محلول لازم و مقدار رسوب متنظراً زیادتر خواهد بود.

( $\phi$ ) ارقام ذکر شده در این ستون اغلب به عنوان مرز بین رس، سیلت و ماسه شناخته می‌شود. برای یادآوری پاره‌ای استانداردها در جدول شماره ۷ ذکر می‌گردند:

در جدول شماره ۸ نیز اطلاعات دقیقتری در خصوص روش لوله VA و مشخصات این آزمایش ارائه شده است.

جدول شماره ۷- چند نمونه از استانداردهای بین‌المللی

	استاندارد USDA	استاندارد فرانسوی	استاندارد UNIFIED	استاندارد AASHO	استاندارد شوروی	استاندارد آلمانی
ماسه	۰/۰۵۰-۲/۰۰ mm	۰/۰۵۰-۲/۰۰	۰/۰۷۴-۵/۰۰	۰/۰۷۴-۵/۰۰	۰/۰۵۰-۰/۲۰	ماسه ۰/۰۶-۲
لای	۰/۰۰۲-۰/۰۵۰ mm	۰/۰۰۲-۰/۰۵۰	< ۰/۰۷۴	< ۰/۰۷۴	۰/۰۰۵-۰/۰۵	لای ۰/۰۰۲-۰/۰۶
رس	< ۰/۰۰۲ mm	< ۰/۰۰۲	x	(لای و رس)	< ۰/۰۰۵	رس ۰/۰۰۲ <

در آزمایشهای با آب مقطر باید ترتیباتی اتخاذ نمود که حداقل امکان از پیوستن ذرات به یکدیگر جلوگیری شود. معمولاً ترکیبی از روشهای ذکر شده در جدول شماره ۶ برای آنالیز یک نمونه به کار می‌رود. هرگاه تعداد زیادی نمونه باید در آزمایشگاهی آنالیز شود، بهتر است از روش لوله VA - پیپت استفاده نمود. روش لوله VA نسبت به روش الک ار جحیت دارد. زیرا نتایج را بر حسب قطر ته‌نشینی تعیین می‌کند که برای محاسبات رسوب مناسبتر است. در

هر صورت برای مقایسه قطر ته‌نشینی با قطر واقعی لازم است ۲ الی ۳ نمونه و یا ۱۰٪ الی ۱۵٪ نمونه‌ها (هر کدام که بزرگتر است) برای سال اول و دوم هر ایستگاه با الک نیز تجزیه و تحلیل گردد. اگر آزمایشگاهی در مقیاس کوچکتری فعالیت می‌کند و مجهز به لوله VA نیست، ناگزیر باید دانه‌بندی ذرات درشت را با روش الک تعیین شود. در این مورد نیز توصیه می‌شود ۳ الی ۴ نمونه برای هر ایستگاه در سال برای تجزیه و تحلیل با لوله VA به آزمایشگاههای مجهزتر ارسال گردد.

باید دقت شود که مقدار کافی نمونه برای آزمایش پیپت برداشت شود. در غیر این صورت ناگزیر باید از روش لوله BW برای دانه‌بندی ذرات ریز استفاده نمود که وقت بیشتری لازم دارد. وقت اضافی که صرف برداشت نمونه به مقدار مکفی می‌گردد، معمولاً خیلی کمتر از وقت صرف شده برای تجزیه و تحلیل لوله BW و تصحیح محاسبات رسوب بر مبنای نتایج حاصله از این روش است.

جدول شماره ۸- راهنمای آزمایش لوله VA\*

مقدار نمونه		حداکثر اندازه ذرات		لوله رسوب	
وزن خشک (gr)	حجم ماسه (ml)	قطر سقوط (mm)	قطر الک (mm)	طول (cm)	قطر (mm)
۰/۰۵-۰/۸	۰/۰۳-۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۱۲۰	۲/۱
۰/۴۰-۲	۰/۲۰-۱/۲	۰/۳۵	۰/۴۰	۱۲۰	۳/۴
۰/۸۰-۴	۰/۵-۲/۴	۰/۵۰	۰/۶۰	۱۲۰	۵
۱/۶-۶	۱-۴	۰/۷۰	۱	۱۲۰	۷
۵-۱۵	۳-۹		۲	۱۸۰	۱۰

لوله BW علی‌الاصول می‌تواند تا قطر ته‌نشینی ۰/۳۵ میلی‌متر ماسه را تعیین کند. بنابراین باید ذرات ماسه بزرگتر از قطر مذکور با الک‌تر قبلاً از نمونه جدا شوند. در صورتی که تمام ذرات ماسه (تا قطر ۰/۰۶۲ میلی‌متر) از نمونه جدا شده و فقط ذرات لای و رس با این روش دانه‌بندی شوند، دقت نتایج بیشتر شده و اجرای آزمایش سهلتر صورت خواهد گرفت. ذرات ماسه جدا شده را می‌توان با روش VA دانه‌بندی کرد. در صورتی که وسایل لازم برای لوله VA در اختیار نباشد، می‌توان از روش الک استفاده نمود.

در اغلب موارد، صرف‌نظر از روش تجزیه و تحلیل (ترجیحاً لوله VA - پیپت، الک - پیپت، لوله VA - لوله BW، الک، لوله BW به ترتیب اولویت)، تعیین مقدار ذرات با اندازه‌های زیر کافی است، به ویژه اگر قطر میانه در محدوده اندازه ماسه قرار گرفته باشد.

(mm) ۲/۰، ۱/۰، ۰/۵۰، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵، ۰/۰۶۲، ۰/۰۱۶، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۲ اگر قطر میانه در محدوده اندازه سیلت قرار گیرد، علاوه بر اندازه‌های فوق، باید قطرهای ۰/۰۸ و ۰/۰۳۱ میلی‌متر نیز تعیین گردند. با استفاده از روش لوله BW می‌توان به سهولت اندازه‌های دیگری را نیز از منحنی اودن<sup>۱</sup> تعیین نمود. (این روش در نشریه شماره ۱۹-الف طرح استاندارد آب آمده است).

آنالیز پیپت نیاز به ۵۰۰ الی ۱۰۰ میلی لیتر محلول با غلظت ۲۰۰۰ الی ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارد (جدول شماره ۶). اگر مقدار نمونه به حدی نیست که بتوان ۵۰۰ میلی لیتر محلول با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه نمود. ناگزیر باید آنالیز پیپت ساده را انجام داد. اگرچه این نوع تجزیه و تحلیل توصیه نمی‌شود، ولی یادآوری می‌گردد که آنالیز پیپت ساده را می‌توان با حتی ۲۰۰ میلی لیتر محلول انجام داد، البته فقط قطرهای ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۱۶ میلی‌متر قابل تعیین خواهند بود. با کاهش حجم محلول، با کاهش تعداد قطرها و به کار بردن ارتفاع برداشت ۳ الی ۵ سانتیمتر یا کمتر، می‌توان تجزیه و تحلیل پیپت ساده را با نمونه‌هایی به وزن حتی ۰/۴ گرم نیز به خوبی انجام داد. در صورتی که از این روش استفاده نشود، باید ناگزیر از روش لوله BW استفاده کرد که وقت گیرتر است و احتمالاً دقت نتایج آن نیز کمتر خواهد بود. در عوض قطرهای زیادی قابل تعیین است و نمونه کمتری لازم دارد.

بعضی نمونه‌ها دارای ذرات رسی هستند که به ذرات درشت‌تر می‌چسبند و اجازه جدانمودن ماسه تمیز را از نمونه با روش الک‌تر نمی‌دهند. در این گونه موارد استفاده از روش اولتراسونیک توصیه می‌گردد.

### ۳-۳ تواتر و روشهای آزمایش با آب رودخانه

پیش‌بینی عملکرد رسوبات در محیط طبیعی رودخانه مشکل است و طبیعتاً ایجاد شرایط این محیط در آزمایشگاه مشکلتر خواهد بود. زیرا ذرات رس، احیاناً ذرات ریز سیلت به یکدیگر و گاهی به ذرات درشت‌تر می‌چسبند و همین امر پیش‌بینی خواص رسوبات را ناممکن می‌سازد. به ویژه آنکه اطلاعات ما در مورد کانیهای رس کامل نیست. به‌طور کلی می‌توان گفت که اگر املاح محلول در آب رودخانه کم باشد، یا بین کاتیونهای موجود، سدیم کاتیون غالب باشد، ذرات کم و بیش به صورت انفرادی عمل می‌کنند و بحث فعلی و اصولاً آزمایشهای دانه‌بندی با آب رودخانه در این مورد مصداق ندارد و مورد نیاز نیست. در غیر این صورت باید به این پدیده توجه شود.

استفاده از روش ته‌نشینی برای تعیین دانه‌بندی براساس تعریف قطر ته‌نشینی استوار است. منظور از قطر ته‌نشینی یک ذره، قطر ذره کروی شکلی است که دارای همان وزن مخصوص است و سرعت سقوط نهایی آن معادل سرعت سقوط ذره اصلی است. در محیط رودخانه و یا در آزمایشهای دانه‌بندی با آب رودخانه این تعریف به هم می‌خورد.

1- Oden Curve

زیرا اولاً ذرات موجود، هر چند به صورت سست هستند، ولی به‌رحال به یکدیگر چسبیده و ایجاد توده‌هایی را می‌کنند که اندازه و جرم مخصوص آنها با زمان تغییر می‌کند. این توده‌ها سریعتر از ذرات منفرد تشکیل‌دهنده آنها و کندتر از کره با قطر اسمی معادل ته‌نشین می‌گردند. ثانیاً اندازه توده‌ها مرتباً در حین ته‌نشینی بزرگتر می‌شود، لذا شتاب آنها نه تنها کاهش پیدا نمی‌کند، بلکه ممکن است حتی زیادتر شود و در نتیجه به سرعت ته‌نشینی نهایی نمی‌رسند. هرکدام از این توده‌ها دارای وزن مخصوصی بین وزن مخصوص آب و ذرات تشکیل‌دهنده آن توده، هستند و به علت شکل بی‌نظم در حین سقوط تحت اثر نیروی مقاومت ناشی از سطح مقطع، علاوه بر نیروی مقاومت ناشی از چسبندگی آب قرار می‌گیرند. بدین ترتیب پیش‌بینی قطر ته‌نشینی آنها تقریباً غیرممکن است.

تشکیل توده‌ها و پایداری آنها بستگی به عوامل متعددی از قبیل: درجه آشفستگی آب<sup>۱</sup> پتانسیل زتای ذرات رس<sup>۲</sup> نوع و غلظت املاح محلول آب، نوع کانیهای رس، نوع یونهای جذب شده به ذرات رس قبل از ورود به رودخانه و غلظت رسوبات دارد. لذا ایجاد شرایط طبیعی رودخانه در آزمایشگاه بعینه امکانپذیر نیست. ارتباط داخلی متغیرهای فوق به وضوح نشان می‌دهد که نتایج به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل نمونه‌ها با آب رودخانه، عمدتاً قابل جمع‌بندی نیست. در بعضی رودخانه‌ها این نتایج بسیار متغیر است و بستگی به رقوم آب رودخانه و سایر عوامل نیز دارد. برعکس در بعضی رودخانه‌ها، نتایج نسبتاً یکنواخت است و مبین تجمع یکنواخت ذرات در شرایط هیدرولوژیکی متفاوت است. به‌طور مشابه آزمایشهای دانه‌بندی با آب رودخانه برای بعضی رودخانه‌ها نتایج متفاوت و برای بعضی، نتایج یکنواخت نشان می‌دهند. [۷]

می‌توان گفت که آزمایشهای دانه‌بندی با آب رودخانه، برای رودخانه‌هایی که شرایط تجمع ذرات در آنها وجود ندارد، لازم نیست. در هر صورت حتی در این موارد نیز باید طی دو سال اول تأسیس ایستگاه،<sup>۱</sup> نمونه‌ها علاوه بر آزمایش با آب مقطر، با آب رودخانه نیز تجزیه و تحلیل شوند. بعد از آن می‌توان تعداد این آزمایشها را بسیار کم کرد و یا حذف نمود. مگر آنکه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در رژیم رودخانه مشاهده شود. در مورد رودخانه‌هایی که رسوبات آنها خاصیت تجمع نشان می‌دهند، باید آزمایشهای دانه‌بندی با آب رودخانه به موازات آزمایشهای با آب مقطر انجام گیرد. [۷]

وقتی هر دو نوع تجزیه و تحلیل روی نمونه‌ای صورت می‌گیرد، باید از تقسیم نمونه استفاده گردد. برداشت دو نمونه جداگانه از شرایط مشابه، یکی برای آب مقطر و دیگری برای آب رودخانه توصیه نمی‌شود. اگر دو یا سه نمونه از نظر مقدار لازم باشد، ابتدا باید آنها را مخلوط کرد و سپس بعد از تقسیم تجزیه و تحلیل‌های آب مقطر و آب رودخانه را انجام داد. [۲]

روش پیپت برای تجزیه و تحلیل آب رودخانه توصیه می‌شود. ارتفاعهای برداشت در جدول شماره ۹ داده شده‌اند. غلظت رسوبات کمتر از ۰/۰۶۲ میلی‌متر باید در محدوده ۲۰۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد.

اندازه ۰/۰۶۲ میلی‌متر نباید به وسیله پیپت تعیین گردد. بلکه استفاده از لوله VA و یا الک توصیه می‌شود. زیرا آشفته‌گی ایجاد شده بر اثر به هم زدن اولیه محلول، قبل از اولین برداشت، اغلب تا زمان ته‌نشینی ذرات مذکور باقی می‌ماند. بدین ترتیب سرعت ته‌نشینی نهایی به دست نمی‌آید. زیرا هر نوع تمایلی به تجمع طبیعی بر اثر آشفته‌گی کاهش پیدا می‌کند [۳].

جدول شماره ۹- زمان برداشت لوله پیپت بر حسب دما، ارتفاع برداشت و قطر ذرات

۰/۰۰۲		۰/۰۰۴		۰/۰۰۸		۰/۰۱۶		۰/۰۳۱				۰/۰۰۲		قطر ذرات (میلی‌متر)		
		۵		۱۰		۱۰		۱۰		۱۵		۱۰	۱۵	ارتفاع برداشت (میلی‌متر)		
دقیقه	ساعت	دقیقه	ساعت	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	ثانیه	ثانیه	زمان برداشت	
															درجه حرارت (C)	
۲۷	۲	۵	۴	۱۹	۶۱	۴۰	۳۰	۴۰	۷	۵۵	۱	۵۲	۲	۲۹	۴۴	۲۰
۲۴	۲	۰	۴	۵۰	۵۹	۵۸	۲۹	۲۹	۷	۵۲	۱	۴۸	۲	۲۸	۴۲	۲۱
۲۰	۲	۵۴	۴	۲۲	۵۸	۱۳	۲۹	۱۸	۷	۵۰	۱	۴۵	۲	۲۷	۴۱	۲۲
۱۷	۲	۱۸	۳	۵	۵۷	۳۴	۲۸	۸	۷	۴۷	۱	۴۱	۲	۲۷	۴۰	۲۳
۱۴	۲	۱۸	۳	۴۱	۵۵	۵۲	۲۷	۵۸	۶	۴۵	۱	۳۸	۲	۲۶	۳۹	۲۴
۱۱	۲	۳۸	۳	۲۵	۵۴	۱۴	۲۷	۴۸	۶	۴۲	۱	۳۴	۲	۲۵	۳۶	۲۵
۸	۲	۳۸	۳	۱۲	۵۳	۳۸	۲۶	۳۹	۶	۴۰	۱	۳۰	۲	۲۵	۳۷	۲۶
۵	۲	۲۸	۳	۲	۵۲	۲	۲۶	۳۱	۶	۳۸	۱	۲۷	۲	۲۴	۳۶	۲۷
۲	۲	۲۴	۳	۵۲	۵۰	۲۸	۲۵	۲۲	۶	۳۵	۱	۲۳	۲	۲۴	۳۶	۲۸
۵۹	۱	۱۹	۳	۴۲	۴۹	۵۳	۲۴	۱۳	۶	۳۳	۱	۱۹	۲	۲۳	۳۵	۲۹
۵۷	۱	۱۵	۳	۴۲	۴۸	۲۲	۲۴	۶	۶	۳۱	۱	۱۶	۲	۲۳	۳۴	۳۰

\* این جدول برای ذرات کروی شکل با وزن مخصوص ۲/۶۵ و شتاب ثقل ۹۸۰ سانتیمتر بر مجذور ثانیه و لزجت آب بین

(۲۰°C) و ۰/۰۱۰۰۸۷ و (۳۵°C) تنظیم شده است [۳].

به استثناء موارد نادر توصیه می‌شود که اندازه  $0.02$  میلیمتر که معرف کانیهای رس است، تعیین گردد. باید توجه نمود که رقم یاد شده مرز کاملاً دقیق بین کانیهای رس و سایر کانیها نیست و کانیهای غیررسی کوچکتر از این مقدار و کانیهای رسی بزرگتر از آن نیز کم و بیش دیده می‌شود، ولی درصد آنها کم است و این مرز را با تقریب می‌توان قبول نمود.

در بعضی موارد علاوه بر تجزیه و تحلیل دانه‌بندی با آب مقطر و آب رودخانه، از تجزیه و تحلیل سومی هم استفاده می‌شود که آن انجام دادن آزمایشهای دانه‌بندی با آب رودخانه در شرایط متوسط آب سالیانه<sup>۱</sup> است. این شرایط متوسط نسبت به کیفیت شیمیایی آب با رعایت تأثیرات مقدار جریان مربوط به کیفیت شیمیایی سنجیده می‌شود. چنین آبی با آزمایشهای شیمیایی و با در نظر گرفتن آمار سالیانه کیفیت آب تهیه می‌گردد. نمونه‌های رسوبات باید به سه قسمت تقسیم گردیده و سپس تجزیه و تحلیلهای دانه‌بندی با سه روش آب مقطر، آب رودخانه با شرایط متوسط سالیانه روی آنها صورت گیرد.

### ۳-۴ آماده نمودن نمونه‌ها برای آزمایشهای دانه‌بندی

آماده نمودن نمونه‌ها برای هر آزمایش دانه‌بندی، در دستورالعمل مربوط به آن آزمایش داده شده است. آنچه در این مبحث آورده می‌شود، عملیات اضافی برای آزمایش با آب رودخانه است. عملیات اختلاط نمونه‌ها، تقسیم، الک‌تر و سایر اقدامات لازم باید با آب رودخانه صورت گیرد. به کار بردن آب مقطر، مواد پخش‌کننده منعقدکننده شیمیایی، حذف مواد آلی با مواد اکسیدکننده و سایر روشها و بالاخره پخش ذرات به روش مکانیکی مجاز نیست. به هم زدن ذرات به منظور خارج کردن رسوبات از بطری به میزان جزیی اشکالی ندارد. قبل از هر تجزیه و تحلیل باید محلول را به مدت نصف زمان توصیه شده برای تجزیه و تحلیل با آب مقطر، با دست به هم زد. بدین ترتیب برای تجزیه و تحلیل پیپت، این زمان ۳۰ ثانیه و برای لوله BW برابر ۹۰ ثانیه خواهد بود.

برای تقسیم نمونه‌ها یکی از دوروش تقسیم‌کننده جونز - اوتو<sup>۲</sup> (نوع تجدیدنظر شده) و تقسیم‌کننده لوله BW توصیه می‌گردد. در صورتی که نمونه محتوی ماسه نباشد، هر دوروش قابل استفاده است، ولی اگر نمونه محتوی ماسه باشد، دقت کمی و کیفی تقسیم‌کننده لوله BW کمتر از روش جونز - اوتو خواهد بود.

در بعضی موارد، نمونه‌ها باید چندین بار تقسیم شوند تا مقدار مورد نیاز برای ایجاد محلول لازم (طبق جدول شماره ۶) به دست آید. برای تعیین تعداد تقسیمات، مهارت و تجربه کافی لازم است. در بعضی موارد بهتر است نمونه‌های لازم برای تعیین غلظت قبلاً جدا شوند.

1- Weighted Yearly Average Water

2- Jones Otto



تجزیه و تحلیل نمونه‌های محتوی ذرات با ته‌نشینی بسیار آرام، اغلب بسیار وقت‌گیر است. یک نمونه، معمولاً متشکل از ۲ الی ۱۲ بطری (هرکدام حدود ۴۰۰ گرم) مخلوط آب و رسوبات است. بعد از انجام دادن عمل ترکیب یا اختلاط نمونه‌ها، باید رسوبات ته‌نشین گردند تا بتوان تجزیه و تحلیلها را با آب مقطر انجام داده و یا عمل تقسیم برای این تجزیه و تحلیلها (آب مقطر رودخانه) را شروع کرد. بنابراین دو زمان ته‌نشینی قبل از هر تجزیه و تحلیل لازم است یکی قبل از اختلاط نمونه‌ها و دیگری قبل از تقسیم نمونه‌های مخلوط شده. باید مدت زمان کافی به ته‌نشینی اختصاص داده شود. در مواردی که تجزیه و تحلیل باید سریع صورت گیرد، روش زیر توصیه می‌شود:

- رسوبات تا مدتی که وقت اجازه می‌دهد ته‌نشین گردند.
- با استفاده از فیلتر لوله‌ای برکفلد<sup>۱</sup> یا فیلتر لوله‌ای مشابه و یک دستگاه مکنده، آب رودخانه از هر بطری تا حد ممکن که رسوبات ته‌نشین شده منقلب نشوند، مکیده شود. ذرات ریز به سطح خارجی فیلتر چسبیده و آب از فیلتر عبور می‌کند.
- ذرات چسبیده به جداره فیلتر با آب رودخانه شستشو شده<sup>۲</sup> و محلول حاصله که مقدار اندکی آب دارد ذخیره می‌شود تا هنگام ترکیب نمونه‌ها، به آن اضافه شود.
- روش دیگر برای نمونه‌هایی که ذرات ریز آن ته‌نشین نمی‌شود، به صورت زیر توصیه می‌گردد:
- نمونه چند روزی نگهداشته می‌شود تا رسوبات درشت آن ته‌نشین شود.
- با احتیاط زیاد،  $\frac{2}{3}$  الی  $\frac{3}{4}$  آب روی رسوبات ته‌نشین شده با سیفون از بطری خارج می‌گردد.
- غلظت ذرات ریز در آب خارج شده تعیین می‌گردد.
- تجزیه و تحلیل‌های لازم روی رسوبات ته‌نشین شده طبق معمول صورت می‌گیرد (تجزیه و تحلیل با آب رودخانه) با این تفاوت که در هر برداشت تصحیح لازم بر حسب غلظت ذرات ریزی که قبلاً جدا شده‌اند. روی نتایج به عمل می‌آید. واضح است این تصحیح، به صورت اضافه کردن رقم مربوط خواهد بود. در صورتی که در تصحیح مربوط به املاح محلول، باید رقم مربوطه از نتیجه کاسته شود. این تصحیح روی نتایج تجزیه و تحلیل با آب مقطر همان نمونه نیز باید صورت گیرد.

محدودیت این روش این است که آثار فیزیکی و شیمیایی ذرات ریز برداشت شده، روی بقیه رسوبات اعمال نمی‌شود.

#### ۴- ترکیب مواد معدنی

ذرات ماسه عمدتاً از جنس کوارتزند. البته کانیهای دیگری مانند: گارنت<sup>۳</sup> و ماگنتیت و غیره نیز به میزان اندکی به صورت ذرات ماسه دیده می‌شوند. کانیهای اخیر سنگین تر از کوارتز هستند. ذرات رس، سیلیکاتهای آلومینیوم و یا آهن و منیزیم هستند که به انواع مختلفی چون: کائولینیت<sup>۴</sup>، مونت موریلونیت<sup>۵</sup>، ایلیت<sup>۶</sup> و غیره دیده می‌شوند. باید

1- Berkefeld

2- Back Wash

3- Garnet

4- Kaolinite

توجه کرد که اغلب ذرات رسوب اعم از: رودخانه‌ای و بادی، از کانیهای معدنی به وجود آمده‌اند، لذا انواع کانیهای معدنی در رسوبات دیده می‌شوند که به مرور بر اثر هوازدگی و فرسایش آبی، مواد سست‌تر به صورت ذرات ریزدانه رسوب یا مواد محلول جدا می‌شوند و ذرات پایدارتر باقی می‌مانند که خود قسمتی از ذرات درشت رسوبات را تشکیل می‌دهند.

## ۵- مواد آلی نمونه‌های رسوب

مواد آلی موجود در نمونه‌های رسوب می‌توانند در طیف وسیعی از هوموس فوق‌العاده ریز کلونیدی تا ذرات درشت‌تر گیاهی و کربن به صورت ذغال گسترده باشند. وجود مواد آلی در آزمایشهای تعیین غلظت رسوبات معمولاً تأثیر چندانی ندارد. زیرا منظور از غلظت نمونه‌های رسوب وزن مواد خشک نمونه به حجم یا وزن مخلوط آب و رسوبات است. از طرف دیگر مواد آلی در نتایج آزمایشهای دانه‌بندی و تعیین وزن مخصوص نمونه‌ها تأثیر قابل ملاحظه دارند و باید در نظر گرفته شود.

تعیین مقدار کمی مواد آلی برای نصف نمونه‌هایی که با آب مقطر دانه‌بندی می‌شوند، توصیه می‌شود. در تمام نمونه‌هایی که با آب رودخانه دانه‌بندی می‌شوند، باید مقدار مواد آلی تعیین گردد. البته هر دو توصیه فوق در مواردی صادق است که مقدار مواد آلی از ۰.۵٪ مقدار مواد رسوبی بیشتر باشد. در دانه‌بندی نمونه‌های رسوبات با آب رودخانه، نباید مواد آلی را قبل از دانه‌بندی حذف نمود. زیرا برای حذف مواد آلی لازم است که آنها را تجزیه کرد و همین تجزیه باعث ایجاد دی‌اکسیدکربن، آب و یونهای تشکیل‌دهنده مواد آلی می‌گردد. واضح است این مواد کیفیت آب رودخانه و در نتیجه خاصیت تجمع و انعقاد یا لخته‌شدن<sup>۷</sup> ذرات در آب را به‌طور محسوسی تغییر می‌دهند.

از طرف دیگر در تعیین دانه‌بندی ذرات رسوب با آب مقطر، معمولاً سعی می‌شود که به طرق مناسب، ذرات را کاملاً از هم مجزا و به‌طور یکنواخت در آب پخش نمود. لذا ضروری است حتی مقادیر کم مواد آلی نیز قبل از آزمایش از نمونه حذف گردند. زیرا مواد آلی به‌ویژه به شکل هوموس کلونیدی مانند یک ماده چسبنده بین ذرات عمل می‌کند و مانع پخش و مجزاشدن کامل آنها می‌شوند. برای حذف مواد آلی روشهای متفاوتی وجود دارد که از بین آنها می‌توان روش زیر را توصیه نمود:

مقدار ۵ میلی‌لیتر از محلول شش درصد هیدروژن پراکسید<sup>۸</sup> به هر گرم وزن خشک نمونه موجود در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه می‌گردد. بعد از به‌هم‌زدن کامل سوسپانسیون می‌توان ذرات درشت و به‌هم پیوسته مواد آلی را به شرطی

5- Montmorillonite

6- Illite

7- Flocculation

8- Hydrogen Peroxide

که ذرات رسوب به آنها چسبیده نباشد از سطح سوسپانسیون جدا کرد. اگر اکسیداسیون مواد آلی کند باشد، لازم است در طول واکنش، آن را در ۹۳ درجه سانتیگراد حرارت داده و گاهی به هم زد. برای تکمیل اکسیداسیون ممکن است اضافه نمودن مجدد مقدار دیگری از محلول هیدروژن پراکسید ضروری باشد. بعد از اتمام واکنش می توان رسوبات را دو یا سه مرتبه با آب مقطر شستشو داد.

برای حذف مواد آلی از نمونه هایی که دارای مقدار قابل توجهی کربن به صورت ذغال هستند، لازم است محلولی از بروموفورم<sup>۱</sup> و آستون<sup>۲</sup> با چگالی ۱/۹۵ تهیه گردد و نمونه رسوب در آن به هم زده شود. با این عمل نمونه به دو قسمت تقسیم می گردد. قسمتی که محتوی ذرات ذغال با چگالی کمتر از ۱/۹۵ است، به صورت شناور در می آید، و قسمت دیگر که حاوی ذرات رسوب با چگالی بیشتر از ۱/۹۵ است، ته نشین می شود قسمت ته نشین شده باید دانه بندی شود.

به علت آثار نامعلوم احتراق روی ذرات رسوب، حذف مواد آلی از طریق سوزاندن آنها توصیه نمی شود. برای مثال در یک مورد ۸۳ نمونه رسوبات محتوی ذغال به روش فوق (شناوری) تجزیه گردید. نتایج نشان داده است که ۷۲٪ وزنی کل نمونه ها سنگین تر از  $1/95 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$  و ۲۸٪ سبکتر از آن بوده است. احتراق هر دو قسمت در درجه حرارت ۸۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت (یا اتمام فرآیند احتراق) باعث می شود که ۲۵٪ خاکستر در قسمت سبکتر از ۱/۹۵ و ۶۱٪ خاکستر در قسمت سنگین تر از ۱/۹۵ باقی بماند. از این آزمایش ممکن است نتیجه گرفته شود که قسمت سنگین تر جدا شده با روش شناوری هنوز محتوی ۳۹٪ مواد آلی است، ولی واقعیت این است که درصد مواد آلی در این قسمت بسیار کمتر است و قسمت اعظم خاکستر به جا مانده، نه از مواد آلی، بلکه از احتراق و تجزیه بعضی ذرات معدنی موجود در رسوبات و تبخیر رطوبت آنها ناشی شده است.

یکی از اشکالاتی که در دانه بندی بعضی نمونه ها پیش می آید، این است که گاهی لازم است ذرات سیلت و رس نمونه ای، هم با آب مقطر و هم با آب رودخانه دانه بندی گردد. بدیهی است قبل از تجزیه با آب مقطر باید مواد آلی نمونه حذف شوند. استفاده از هیدروژن پراکسید باعث می گردد که نه تنها مواد آلی نمونه که ذرات را به هم می چسباند، بلکه قسمتی از ترکیبات معدنی خود ذرات نیز که همان نقش را دارند از بین برود و در نتیجه تفاوت بین نتایج دو تجزیه را نمی توان فقط به کیفیت آب و مواد آلی چسبنده نسبت داد، بلکه قسمتی نیز به خاطر از بین رفتن ترکیبات معدنی چسبنده خاک است. توصیه می شود در این گونه موارد سه نوع تجزیه دانه بندی صورت گیرد، که عبارتند از:

- تجزیه با آب مقطر و با پخش شیمیایی و مکانیکی ذرات به وسیله هیدروژن پراکسید
- تجزیه با آب مقطر و با پخش شیمیایی و مکانیکی ذرات بدون استفاده از هیدروژن پراکسید
- تجزیه با آب رودخانه بدون پخش شیمیایی یا مکانیکی ذرات

با این روش نه تنها آثار آب رودخانه در خاصیت تجمع ذرات معلوم می‌شود، بلکه آثار مواد آلی آب نیز روی این خاصیت تجمع به‌دست می‌آید.

## ۶- املاح محلول

اصطلاح املاح محلول، به باقیمانده بدون آب<sup>۱</sup> مواد حل شده در آب (غیر از گازها و مایعات فرار) اطلاق می‌شود. در عمل مقدار کمی مواد محلول بستگی به روش تعیین آنها دارد. اطلاعات مربوط به املاح محلول، در تجزیه رسوبات به سه طریق مورد استفاده قرار می‌گیرد که عبارتند از:

- تعیین غلظت رسوبات به روش تبخیر<sup>۲</sup>: اگر مقدار املاح محلول باقیمانده در ظرف تبخیر همراه با رسوبات نسبتاً زیاد و یا مقدار رسوبات کم باشد، باید تصحیح مربوطه صورت گیرد تا وزن خالص رسوبات بدون املاح محلول به‌دست آید.

- دانه‌بندی با آب رودخانه یا آب مقطر. مقدار املاح محلول باید معلوم باشد تا تصحیح مربوط روی نتایج تجزیه دانه‌بندی صورت گیرد.

- دانه‌بندی با آب رودخانه. مقدار املاح محلول باید معلوم باشد تا بتوان آثار آن را در خاصیت تجمع ذرات به‌دست آورد.

برای تعیین مقدار یا غلظت املاح محلول از روش باقیمانده تبخیر<sup>۳</sup> استفاده می‌گردد. حجمی از آب رودخانه که باقیمانده تبخیر آن از ۲۰۰ میلی‌گرم کمتر است به آرامی حرارت داده می‌شود تا رطوبت آن تبخیر گردد و باقیمانده به‌حالت خشک برسد. آنگاه باقیمانده در کوره با درجه حرارت (°C) ۱۱۰ به‌مدت یک ساعت قرار داده می‌شود و سپس در دسیکاتور خنک و بلافاصله توزین می‌شود. از آنجا که بیشتر نمکهای موجود در باقیمانده تبخیر خاصیت هیگروسکپی<sup>۴</sup> دارند باید جاذب<sup>۵</sup> مناسبی انتخاب شود. بدین منظور آلومین<sup>۶</sup> با شاخص رطوبت توصیه می‌گردد. باقیمانده خشک باید هرچه سریعتر توزین گردد. در هر دسیکاتور باید بیشتر از چند ظرف محتوی باقیمانده خشک قرار داده شود؛ زیرا احتمال آلودگی با هوای خارج در حین توزین وجود دارد. به هیچ عنوان نباید ظروف محتوی باقیمانده املاح محلول در دسیکاتوری قرار داده شود که در آن ظروف محتوی رسوب وجود دارد، مگر آنکه ذرات رسوبات عمدتاً از نوع ماسه باشند.

1- Anhydrous

2- Evaporation

3- Residue - on - evaporation

4- Hygroscopic

5- Desiccant

6- Alumina

غلظت املاح محلول از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\text{غلظت املاح محلول (mg/lit)} = \frac{\text{gr} \times 10^6 \text{ باقیمانده خشک}}{\text{میلی لیتر (حجم نمونه)}}$$

جواب حاصله باید به تقریب نزدیکترین عدد صحیح بیان شود، و در بالاتر از ۱۰۰۰ میلیگرم در لیتر باید به صورت نزدیکترین عدد چهاررقمی با آخرین رقم صفر (XXXX) بیان گردد.

## ۷- کیفیت آب

در ارتباط با آزمایشهای رسوب سنجی پاره‌ای از خواص شیمیایی آب مانند : pH؛ غلظت‌های کلسیم، بیکربنات، سدیم، پتاسیم و منیزیم نیز باید اندازه‌گیری شوند. این تجزیه‌ها باید برای کلیه نمونه‌های آب و رسوبی صورت گیرد. که برای تجزیه و تحلیل دانه‌بندی با آب مقطر و آب رودخانه تقسیم می‌شوند، حجمی از آب رودخانه به میزان حداقل ۲۰۰ میلی لیتر قبل از تقسیم نمونه آب و رسوب باید برداشت شده و در یک بطری آببندی شده برای تجزیه کیفی نگهداری شود. این برداشت لازم است بلافاصله قبل از آزمایش دانه‌بندی صورت گیرد تا آثار نگهداری آب و رسوب نیز در کیفیت آب ملحوظ گردد.

طبیعی است نتایج حاصله بیانگر کیفیت آب نمونه‌های نگهداری شده است و نه کیفیت آب رودخانه در زمان برداشت. لذا زمان نگهداری نمونه‌ها را باید به حداقل ممکن کاهش داد.

آزمایشهای کیفی آب با وسائل استاندارد آزمایشگاه شیمی صورت می‌گیرد. لذا ذکر روشهای این آزمایشها در چارچوب برنامه آزمایشگاه رسوب ضروری نخواهد بود.

## منابع و مأخذ :

- 1- شفاعی؛ بحستان، محمود (۱۳۷۳) هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران - اهواز.
- 2- Daryl Simons & Fuat Senturk, 1995 Sediment Transport Technology, Water Resource Publications.
- 3- Harold P.Guy, 1973 "Laboratory Theory and methods for Sediment Analysis", Techniques of Water - Resources Investigations of the United States Geological Survey, USBR.
- 4- Lane, E. W., and E.J. Carlson 1953 "Some Factors Affecting the Stability of Canals Constructed in Coarse Granular Materials" Proc. 5 th IAHR Congress, University of Minnesota.
- 5- Maidment, D.R. 1992 " Hand Book of Hydrology" - Mc Graw - HillINC. PP.12.1-12.61.
- 6- Garde, R.J, and K.G. Rangaraju, 1993 "Regime Criteria for Alluvial Streams" J.Hydraulic, Eng, Vol. 89,no. Hy - 6 PP 153-164.
- 7- U.S.Inter-Agency committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation" 1963 Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams," Report No. 14.

Islamic Republic of Iran

# **Planinng of Sediment Experimentation**

**No: 222**

Management and Planning Organization  
Office of the Deputy for Technical Affairs  
Bureau of Technical Affairs and Standards

Ministry of Energy  
Water Engineering Standards Plan  
Iran Water Resourses Management Organization

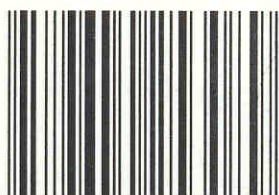
2001/2002

## این نشریه

با عنوان برنامه‌ریزی آزمایش‌های رسوب در برگیرنده مبانی کار در آزمایشگاه‌های رسوب، برنامه‌ریزی آزمایش‌های مربوط به تعیین دانه‌بندی رسوبات و نهایتاً آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آزمایش دانه‌بندی می‌باشد. علاوه بر آن تعیین ترکیب مواد معدنی، آلی، املاح محلول و کیفیت آب نمونه‌های مورد آزمایش نیز بخشی از مطالب نشریه را شامل می‌شود.

معاونت امور پشتیبانی  
مرکز مدارک علمی و انتشارات

ISBN 964-425-308-6



9 789644 253089