

۱. مقدمه

فرسایش خاک فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده (جریان آب یا باد) به مکان دیگر حمل و در ادامه بسته به شرایط در مکان‌های مختلف ترسیب می‌شوند. ذرات رسوب در محیط‌های آبی ترکیبی از ذرات رسوبی موثر^۴ (ذرات ثانویه) و مطلق^۵ (مواد معدنی اولیه) هستند. ذرات موثر را می‌توان ذرات مجزا به همراه مواد آلی، کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هم‌چنین آلاینده‌ها توصیف نمود که در صورت حذف مواد همراه با استفاده از مواد پراکنده‌کننده در آزمایشگاه به ذرات مطلق تبدیل می‌شوند. لذا پویایی انتقال ذرات رسوبی موثر و مطلق متفاوت ارزیابی شده است [۲۳، ۲۴ و ۲۹]. اما ذرات رسوبی موثر از حساسیت بیش‌تری نسبت به ذرات رسوبی مطلق برخوردار هستند [۱۶]. لذا پایش غلظت رسوبات موثر و توزیع اندازه آن‌ها برای افزایش درک و مدیریت فرآیندهای مربوط به فرسایش و رسوب در سامانه‌های طبیعی مثل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مصب رودخانه‌ها و در طرح‌های هیدرولیک، برق آبی، آبیاری و یا حفاظت از سیل اهمیت بیش‌تری نسبت به ذرات رسوبی مطلق دارد [۷]. بر همین اساس، بهبود درک فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب و در نهایت مدل‌سازی فرسایش و هم‌چنین ارتقاء دانش انتقال آلودگی و مواد غذایی از اراضی کشاورزی و مرتعی در آبراه‌ها از طریق درک بهتر پویایی توزیع اندازه ذرات رسوبات موثر صورت می‌گیرد [۲۷].

تغییرات پویایی در خصوصیات رسوبات موثر به‌ویژه در توزیع اندازه ذرات از بسیاری از متغیرها مثل عامل فرسایش‌دهی، نوع هیدرولیک جریان، میزان بارندگی یا جریان، شیب و نوع خاک [۲، ۳ و ۲۲] تأثیر می‌پذیرد. از این متغیرها، عامل بارندگی یک متغیر پویای بسیار مهم و تاثیرگذار در فرسایش خاک محسوب می‌شود [۴، ۱۶ و ۳۶]. به این دلیل عوامل بارندگی و شیب در بسیاری از مدل‌ها و روش‌های ارزیابی خطر از جایگاه مهم‌تری نسبت به سایر عوامل موثر بر فرسایش خاک برخوردار هستند [۱]. اطلاع دقیق و کمی از توزیع اندازه ذرات رسوبی زمینه‌ساز افزایش دقت مدل‌سازی و طبعاً مدیریت صحیح منابع آب و خاک در سطح حوزه‌های آبخیز را به دنبال خواهد داشت. در همین راستا و از

 مروری بر کاربرد علم توزیع اندازه ذرات رسوبی در
 مقیاس‌های مکانی و زمانی

محبوبه کیانی‌هرچگانی^۱، سیدحمیدرضا صادقی^{۲*} و حسین اسدی^۳
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۶

چکیده

بررسی توزیع اندازه ذرات رسوب از دهه ۸۰ میلادی به صورت دانشی جدید برای بررسی فعل و انفعالات ذرات رسوبی در محیط‌های آبی توسط سه گروه از متخصصان علم هیدرولوژی، ژئومرفولوژی و ژئوشیمی مطرح شد. رفع بسیاری از مشکلات مدیریتی در زمینه حفاظت آب و خاک و هم‌چنین محیط زیست با توجه به هدف محققان به‌ویژه در انتقال آلودگی‌ها نیازمند شناخت دقیق پیچیدگی‌های رفتاری توزیع اندازه ذرات رسوبی در محیط‌های مختلف است. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف ارائه اطلاعاتی جامع درباره اهمیت و کاربرد اندازه ذرات رسوب در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی انجام شد. در تحقیق حاضر ابتدا تعریفی از اندازه ذرات از دیدگاه متخصصین مختلف، سپس روش‌های اندازه‌گیری اندازه ذرات رسوب و اهمیت اندازه‌گیری آن‌ها و در نهایت بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع اندازه ذرات رسوب در مقیاس‌های مختلف ارائه شده است. اطلاعات ارائه شده را می‌توان به‌منظور فهم و مدیریت بهتر انتقال رسوبات و مواد غذایی و آلودگی‌های همراه آن‌ها مانند فسفر، آفت‌کش‌ها، فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا و هم‌چنین در بهره‌برداری از سامانه‌های مهندسی مثل آب آشامیدنی، فاضلاب‌ها، رودخانه‌ها و شناخت فرآیندهای فرسایش خاک استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اندازه مؤثر رسوب، اندازه مطلق رسوب، حفاظت خاک، خاک‌دانه، فرسایش آبی

۱. پژوهشگر پس‌دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نویسنده مسئول.

Email: sadeghi@modares.ac.ir

۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تهران.

4. Effective Sediment Particles

5. Absolute Sediment Particles

آنجایی که ذرات فرسوده خاک به شکل‌های معلق^۱، جهشی^۲ و یا غلطشی^۳ منتقل می‌شود، لذا درک و تفسیر انتقال رسوبات با توجه به نوع دانه‌بندی و تشخیص بافت و نوع ترکیب رسوب حائز اهمیت زیاد می‌باشد. از طرفی نظر به این که توزیع اندازه ذرات رسوب، تابعی از نوع خاص، بزرگی و پایداری فرایندهای حاکم بر تولید آن است، بنابراین عوامل موثر بر تغییر توزیع اندازه ذرات رسوبات از قبیل بارندگی و شدت حائز اهمیت فراوان برای شناسایی شکل‌های حرکتی و فهم و درک مدل‌های فرسایشی و تولید رسوب و انتقال آلودگی‌ها می‌باشد. هم‌چنین از دانه‌بندی ذرات رسوب می‌توان به مسائلی از قبیل منشأ و چگونگی رسوب مواد، مهندسی معکوس در روندیابی فرسایش، تحلیل انتقال فلزات سنگین و رادیونوکلوئیدها، کاربردهای صنعتی و کشاورزی، تحلیل ویژگی‌های زهکشی مناطق رسوب‌گذاری، نحوه انتقال ترکیب‌های آلی، عمل‌کرد فعالیت‌های انسانی بر تولید رسوب و درک فرایندهای حاکم بر تجمیع و انتقال رسوبات موثر [۱۷، ۲۱، ۳۳ و ۳۶] پی برد. با توجه به موارد ذکر شده در اهمیت اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات رسوبی موثر و عدم لحاظ این مهم در مطالعات محیط‌های طبیعی و محیط زیستی تحقیق حاضر با لحاظ این مقوله و به‌منظور ارائه اطلاعات جامع در رابطه با مفاهیم و ویژگی‌های مرتبط با بحث اندازه ذرات رسوب و ارائه پیشینه مطالعات انجام شده در مقیاس‌های مکانی و زمانی انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

مقاله حاضر با هدف معرفی علم بررسی توزیع اندازه ذرات رسوب در محیط‌های آبی و اهمیت آن در علوم محیط زیستی، ژئوشیمی، مهندسی رودخانه، هیدرولوژی و ژئومرفولوژی با بررسی مستندات و مقاله‌های موجود در جهان و ایران انجام پذیرفته است. در این بخش ابتدا اندازه ذرات رسوب از دیدگاه متخصصین در محیط‌های آبی ذکر شده و سپس روش‌های اندازه‌گیری آن در چند دهه اخیر معرفی شده است و در نهایت به‌صورت خلاصه نتایج حاصل از تحقیق‌های آن‌ها ارائه شده است.

۱.۲. توزیع اندازه ذرات

خواص هیدرودینامیکی ذرات رسوب توسط اندازه (قطر)، چگالی و شکل آن‌ها تعیین می‌شود. اندازه ذره به‌عنوان یک عامل فیزیکی نشان‌دهنده خصوصیات هیدرودینامیکی و فعالیت‌های شیمیایی ذرات رسوبی و هم‌چنین به‌عنوان یک متغیر کلیدی در بسیاری از مدل‌های عددی انتقال و پویایی ژئوشیمیایی ذرات رسوبی محسوب می‌شود. بنابراین علم به اندازه ذرات می‌تواند در پیش‌بینی و مدیریت اثرات محیط زیستی انتقال ذرات ریز رسوب کمک کند. ذرات رسوب

ترکیبی از ذرات مرکب^۴ یا ذرات رسوبی موثر و ذرات مجزا یا ذرات رسوبی مطلق هستند، که ذرات مرکب بخش قابل توجهی از ذرات رسوب را تشکیل می‌دهند. رسوبات موثر یا مطلق دارای اندازه‌های متفاوتی می‌باشند لذا نیاز است برای نشان دادن خصوصیات دانه‌بندی آن‌ها از توزیع مقادیر رسوب در طبقات قطری متفاوت استفاده شود. به‌طور کلی توزیع اندازه ذرات رسوب متاثر از عواملی نظیر توزیع اندازه ذرات خاک اصلی، میزان و نحوه خرد شدن خاک‌دانه‌ها در حین فرسایش، سرعت ته‌نشینی ذرات در اندازه‌های مختلف و انتقال انتخابی ذرات با اندازه‌های متفاوت می‌باشد [۲ و ۳]. در شرایط طبیعی این تغییرات در اثر تغییر نیروهای فرساینده و عوض شدن شرایط و خصوصیات بستر فرسایشی رخ می‌دهد. به‌طور کلی، در طی و بعد از وقوع فرسایش، توزیع اندازه ذرات در معرض فرسایش تغییر می‌کند. فرسایش آبی ممکن است با ایجاد تغییر در توزیع اندازه ذرات خاک، موجب بازتوزیع اندازه ذرات^۵ موجود در لایه سطحی خاک و در نهایت منجر به تخریب خصوصیات خاک نیز شود [۲۰]. ذراتی که کم‌تر توسط جریان حمل می‌شوند، بیش‌تر در سطح خاک باقی مانده و در مقابل، بستر خاک از ذراتی که بیش‌تر حمل شده‌اند، تخلیه می‌شود [۳] پویایی انتقال ذرات رسوبی بسته به این که موثر باشند یا مطلق متفاوت ارزیابی شده است. اما با توجه به یافته‌های بسیاری از محققین در چند دهه اخیر ذرات رسوبی موثر از حساسیت و پویایی بیش‌تری نسبت به ذرات رسوبی مطلق برخوردار هستند [۱۳ و ۱۶].

۲.۲. اندازه‌گیری خصوصیات اندازه ذرات

امروزه ابزارهایی وجود دارند که امکان تعیین اندازه و توزیع اندازه ذرات و توزیع بار بر سطح ذرات و در نتیجه مطالعه پایداری با استفاده از آنها امکان پذیر است. در میان این ابزارها، دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند آنالیز ذرات را به صورت پخش شده در یک محلول انجام دهند. نکته حائز اهمیت این است که دستگاه‌های متفاوت، بر مبنای مدل‌های فیزیکی متفاوتی پایه‌گذاری شده‌اند، و بنابراین تفاوت‌هایی در ساختار اندازه‌گیری ابزار مختلف وجود دارد. برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات رسوب در سامانه‌های طبیعی روش‌ها و ابزارهایی از گذشته توسعه یافته‌اند که کولتر کانترو^۶ یکی از اولین روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات در حالت تعلیق بود که در دهه ۱۹۷۰ توسط شلدون و همکاران [۲۶]، در محیط‌های دریایی استفاده شد. این روش عموماً در محیط‌های دریایی به‌عنوان روش اندازه‌گیری غلظت‌های الکترولیتی بدون استفاده از پراکنش ذرات کاربرد داشت. نتایج به صورت حجم/حجم غلظت محاسبه و در قالب هیستوگرام‌هایی از لگاریتم غلظت‌های مختلف در مقابل لگاریتم قطر ذرات ارائه می‌شود. حد تشخیص این روش از ۶۳ میکرون تا ۱۲۰۰ میکرون

4. Composite Particles
5. Redistribution
6. Coulter Counter

1. Suspension
2. Saltation
3. Rolling

می‌باشد که دامنه تشخیص کم از محدودیت‌های این روش محسوب می‌شود [۸ و ۲۸]. به دلیل محدودیت‌های روش کولتر کانتر از اواخر دهه ۱۹۸۰ فن‌آوری‌های جدیدی مثل استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی و دستگاه لیزر به دلیل افزایش سرعت و دقت در اندازه‌گیری اندازه ذرات رسوب و خصوصیات آن‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. میکروسکوپ الکترونی ذرات با اندازه کوچک‌تر از ۵۰ یا ۱۰۰ میکرون را می‌تواند تشخیص دهد که استفاده از آن به دلیل استفاده نمونه با غلظت محدود، اندازه‌گیری رسوبات حاصل از محیط‌های طبیعی را با مشکل مواجه می‌کند. اگر ذرات مورد آنالیز در زیر میکروسکوپ دیده شود، تصویری دوبعدی و تنها از تعداد محدودی از ذرات مشاهده می‌شود که شکل این ذرات را نیز قابل تشخیص خواهد بود. هم‌چنین می‌توان طول بیشینه یا طول کمینه یک ذره را اندازه‌گیری کرد. نکته مهم آن است که با استفاده از هر تکنیک (طول بیشینه، طول کمینه، حجم، سطح، ...) می‌توان خواص گوناگون ذرات را آنالیز نمود و بنابراین پاسخ‌های متفاوتی از تکنیک‌های مختلف وجود خواهد داشت که قابل جایگزینی با یکدیگر نخواهند بود. در حال حاضر از آن‌ها برای بررسی و اندازه‌گیری ویژگی‌های ریز ساختاری مواد استفاده می‌شود [۳۴]. لذا لیزرهای با قابلیت بازتاب پرتو متمرکز^۱ و لیزر با قابلیت پراش^۲ توسعه و کاربرد بیشتری پیدا کردند. لیزر اشعه‌ای است که به صورت خطی و مستقیم متصاعد می‌شود و در برخورد با موانع از مسیر خود منحرف می‌شود.

میزان انحراف لیزر به اندازه و حجم مانع بستگی دارد و هر چقدر مانع بزرگ‌تر باشد زاویه انحراف بیشتر خواهد شد. استفاده از این اصل، معیار عملکرد دستگاه دانه‌بندی لیزری می‌باشد [۱۵، ۱۸، ۱۹].

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از مرور پژوهش‌های جهان و ایران درباره اهمیت توزیع اندازه ذرات رسوب در محیط‌های آبی و در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی به صورت خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است.

دقت در نتایج ارائه شده در جدول ۱ بیان‌گر اهمیت بررسی توزیع اندازه ذرات رسوب در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف متناسب با پروژه‌های مدیریتی در دست بررسی به‌ویژه از دیدگاه زیست محیطی، مهندسی رودخانه، فرسایش و حفاظت خاک می‌باشد. موضوع توزیع اندازه ذرات رسوب در آب‌های شیرین، شور، در دلتاهای رودخانه‌ها و هم‌چنین در زمینه بررسی کیفیت آب و در مدل‌سازی‌های فرسایش خاک در جهان طی چند دهه اخیر با استفاده از ابزارهای بسیار دقیق مورد بررسی قرار گرفته است در صورتی‌که در ایران مطالعات محدودی در این‌باره صورت پذیرفته است.

1. Focused Beam Reflectance Measurement (FBRM)
2. Laser Diffraction

با دقت در جدول ۱ می‌توان به این نکته اذعان نمود که در نظر گرفتن انواع مقیاس‌های مکانی و زمانی در بررسی توزیع اندازه ذرات رسوب با توجه به شرایط مختلف حاکم بر هر کدام از این موضوعات و با توجه به پیچیدگی‌های رفتاری که توزیع اندازه ذرات رسوب تحت تاثیر آن شرایط از خود نشان می‌دهند؛ حائز اهمیت فراوان است. تلاش برای درک رابطه دقیق و پیچیده بین خصوصیات توزیع اندازه ذرات رسوب تولیدی و منبع تولید کننده آن‌ها که تحت تاثیر فرآیندهای مختلف فرسایش خاک قرار دارند با توجه به هدف پژوهشگران و متناسب با نیازهای آن‌ها برای اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی در این پژوهش مورد تاکید قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های مختلف درباره خصوصیات توزیع اندازه ذرات رسوب می‌توان به اهمیت نقش این مهم در فهم فرآیندهای محیط زیستی از دیدگاه‌های مختلف اشاره نمود و هم‌چنین تغییرپذیری زیاد خصوصیات توزیع اندازه ذرات رسوب را تحت تاثیر عامل فرساینده (بارش و روان‌آب)، نوع هیدرولیک جریان (صفحه‌ای یا شیاری)، میزان بارش یا جریان و شیب و نوع خاک در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی باید مورد توجه قرار گیرد.

۴. جمع‌بندی

درک و تفسیر انتقال و ته‌نشینی رسوبات با توجه به توزیع اندازه آن‌ها حائز اهمیت زیادی می‌باشد. اندازه ذرات رسوبی موثر و مطلق یکی از خصوصیات مهم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی رسوبات در محیط‌های آبی است که تاثیر فراوانی بر فرآیند رسوب‌زایی و مصرف انرژی دارد و بیان‌گر ترکیبات مواد سطح زمین در حوزه آبخیز و اهمیت آن‌ها در انتقال مواد غذایی و آلودگی‌ها مانند فسفر، آفت‌کش‌ها، فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا می‌باشد. در دهه‌های اخیر برای درک رفتارهای ذرات رسوب و مخصوصاً افزایش دانش مربوط به مدل‌سازی فرسایش با توجه به پیچیدگی‌های فراوان هیدرولوژیکی حوزه آبخیز، با استفاده از ساده‌سازی شرایط در مقیاس‌های کوچک مکانی (پلات) و زمانی یعنی در وقایع بارندگی شبیه‌سازی شده (رگبار) تلاش زیادی‌های زیادی انجام پذیرفته است. که مقایسه نتایج پژوهش‌گران درباره توزیع اندازه ذرات را در شرایط شبیه ساز باران و فرسایش فراهم نموده است. اما در شرایط حوزه آبخیز با توجه به دلایلی که ذکر شد نتایج پژوهشگران به حوزه آبخیز دیگر با مقیاس‌های متفاوت زمانی و مکانی توصیه نمی‌شود. بنابراین بررسی تغییرات مکانی و زمانی توزیع اندازه ذرات رسوب، رفتارهای فرآیندهای رسوب‌زایی مثل فرسایش، انتقال و ته‌نشینی را نسبت به منبع تولیدی تحت تاثیر عوامل مختلف ایجاد رسوب انعکاس می‌دهد. این موضوع به‌ویژه از نظر مدیریتی، مسائل کیفیت و مدیریت آب و هم‌چنین مفاهیم مربوط به فرآیندهای مختلف فرسایش خاک و مدل‌سازی آن از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

جدول ۱. بررسی مطالعات انجام شده درباره توزیع اندازه ذرات رسوب در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی

محققین	سال	مقیاس مورد مطالعه	نتایج
والینگ و مورهد [۳۰]	۱۹۸۹	مکانی: جهانی	میان‌اندازه ذرات رسوب معلق در رودخانه‌های مورد بررسی دارای تغییرات زیاد (کم‌تر از ۱ تا تقریباً ۱۰۰ میکرون) بسته به شرایط مختلف حاکم بر حوزه آبخیز بود. میان‌اندازه ذرات در رودخانه‌های دشتی از ۱۵۰ میکرون در زون توندرا تا کم‌تر از ۴۰ میکرون در جنگل‌های استپی و مناطق جنگلی پهن برگ و در رودخانه‌های کوهستانی از ۶۴ میکرون در استپ و استپ جنگلی تا ۳۷ میکرون در استپ‌های مناطق نیمه بیابانی تغییر می‌کند.
والینگ و همکاران [۳۱]	۲۰۰۰	زمانی: رگبار و فصل‌های مختلف مکانی: حوزه آبخیز	توزیع اندازه ذرات رسوب را در رودخانه توود و هامبر در یک دوره چهار ساله مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که بیش از ۹۵ درصد ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون و کم‌تر از ۵ درصد بزرگ‌تر از ۶۳ میکرون بودند. در وقایع سیلابی ذرات درشت‌تر رسوب کاهش و ذرات ریز رسوب افزایش داشته‌اند، که این تغییرات ناشی از ظرفیت انتقال کانال، میزان تنش برشی جریان و اندازه ذرات رسوبی منابع بالاست رودخانه بوده است.
زو [۳۵]	۲۰۰۲	مکانی: حوزه آبخیز	در دبی بیش‌تر از ۴۰ مترمکعب بر ثانیه یا در غلظت رسوبات معلق بیش‌تر از ۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب، درصد اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر با دبی آب و غلظت رسوبات معلق روند افزایشی و در کم‌تر از این مقادیر روند کاهشی داشته‌اند.
دی استفانو و فروو [۶]	۲۰۰۲	زمانی: روزانه مکانی: حوزه آبخیز	مدل‌سازی ارتباط اندازه ذرات رسوبی مطلق خاک سطح حوزه با اندازه ذرات در خروجی حوزه آبخیز نشان دهنده ارتباط خوب آن‌ها در ذرات با اندازه رس بود. با افزایش دبی میان‌قطر اندازه ذرات افزایش می‌یابد به نحوی که با افزایش دبی از ۸ تا ۸/۵ مترمکعب بر ثانیه میان‌قطر ذرات از ۰/۰۵ به ۰/۱ تا ۰/۱۵ میلی‌متر شامل ذرات ماسه ای درشت (۵۰ درصد) و ذرات شن ریز (۲/۵ درصد) افزایش نشان می‌دهد.
وودوارد و والینگ [۳۴]	۲۰۰۷	زمانی: سالانه مکانی: حوزه آبخیز	طبقات قطری توزیع اندازه ذرات رسوب را طی ۳۶ واقعه سیلابی در چهار زیر حوزه در حوزه آبخیز اگز در انگلستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ۶۰ درصد توزیع اندازه ذرات در طبقه قطری بزرگ‌تر از ۱۶ میکرون قرار دارند.
ویلیامز و همکاران [۳۳]	۲۰۰۷	زمانی: رگبار مکانی: حوزه آبخیز	ویژگی‌های اندازه ذرات رسوبی مطلق و موثر در رودخانه اگز را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که رفتار ذرات رسوبی موثر و مطلق تحت شرایط عادی و سیلابی متفاوت می‌باشد و آشفتگی‌های ایجاد شده در دبی طی رخداد رگبار بر میزان و توزیع اندازه ذرات بار معلق تأثیر به‌سزایی داشت.
هرتشیوا و همکاران [۱۱]	۲۰۱۰	زمانی: فصلی و ماهانه مکانی: حوزه آبخیز	مقادیر متوسط توزیع اندازه ذرات رسوبات معلق در اندازه رس، لای و ماسه در مقیاس فصلی برای هفت سال به‌ترتیب ۵، ۷۱ و ۲۴ درصد مشاهده شد و متوسط دامنه تغییرات مقادیر رس، لای و ماسه در مقیاس ماهانه برای فصل ذوب به‌ترتیب از ۵/۱ تا ۶/۴ درصد، ۲۱/۷ تا ۲۴/۵ درصد و ۱۰/۲ تا ۱۴/۹ درصد به‌دست آمد.
اسدی و همکاران [۴]	۲۰۱۱	زمانی: رگبار مکانی: پلات	ذرات معلق و خزشی بیش‌تر در قدرت جریان کم (کم‌تر از ۰/۱ وات بر متر مربع) و بار بستر شامل انتقال غلطشی اجزاء در قدرت جریان‌های بیش‌تر از حد آستانه ۰/۱ تا ۰/۱۵ وات بر متر مربع رخ داده است.
گرانگتون و همکاران [۹]	۲۰۱۱	زمانی: رگبار مکانی: حوزه آبخیز	ارتباط مثبتی بین اندازه ذرات رسوب و دبی در خروجی حوزه آبخیز کوهستانی با نمونه‌برداری اتوماتیک در شرایط سیلابی به‌دست آمد.
صادقی و همکاران [۲۴]	۲۰۱۳	زمانی: روزانه مکانی: حوزه آبخیز	ارتباط بین فلزات سنگین و توزیع اندازه ذرات رسوب بررسی و نشان داد که فلزات سنگین با ذرت کوچک‌تر از ۶۳ میکرون ارتباط بهتری داشتند.
ونگ و شی [۳۲]	۲۰۱۵	زمانی: رگبار مکانی: پلات	نتایج پژوهش آن‌ها بیان‌گر تأثیرپذیری توزیع اندازه ذرات رسوب از شیب در چهار نوع بافت خاک مختلف با توسعه فرسایش شیاری بود به‌طوری‌که با افزایش شیب ذرات رسوبی بزرگ‌تری نسبت به ذرات رسوبی کوچک‌تر تحت تأثیر نیروی گرانشی زمین منتقل شده است.
هاو و همکاران [۱۰]	۲۰۱۶	زمانی: رگبار مکانی: پلات	نتایج نشان دهنده تشابه توزیع اندازه ذرات مطلق رسوب و خاک مادری و ریزتر بودن توزیع اندازه ذرات رسوبی موثر نسبت به توزیع اندازه ذرات موثر خاک مادری بود. ارائه بهترین رابطه بین دبی جریان و لای در شرایط عادی و بین دبی جریان و ماسه، لای و رس در شرایط رگباری انجام پذیرفت.
کیانی هرچگانی [۲۵]	۱۳۹۱	زمانی: رگبار و روزانه مکانی: حوزه آبخیز	تغییرپذیری توزیع اندازه ذرات رسوب در شرایط مختلف رواناب در مقیاس پلات بررسی شد که بیان‌گر تغییرپذیری بیش‌تر درصد ذرات رس در شرایط مختلف بود.
کیانی هرچگانی و همکاران [۱۲]	۱۳۹۶	زمانی: رگبار مکانی: پلات	

11. Haritashya, U. K., A. Kumar, & P. Singh. (2010). Particle size characteristics of suspended sediment transported in melt water from the Gangotri Glacier, central Himalaya — an indicator of subglacial sediment evacuation. *Geomorphology*, 122: 140–152.
12. Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S. H. R. & Asadi, H. (2017). Changeability of concentration and particle size distribution of effective sediment in initial and mature flow generation conditions under different slopes and rainfall intensities, *Watershed Engineering and Management*, 9(2): 205-2016.
13. Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S.H.R. & Asadi, H. (2016): Comparative Analysis of the Effects of Rainfall Intensity and Experimental Plot Slope on Raindrop Impact Induced Erosion (RIIE), *Iranian Journal of Water and Soil Researches*, 46(4): 631-640.
14. Lenzi, M. A., Mao, L. & Comiti. F. (2003). Interannual variation of suspended sediment load and sediment yield in an alpine catchment. *Hydrological Sciences Journal*. 48 (6): 899–915.
15. Liss, S. N., Milligan, T. G., Droppo, I. G., & Leppard, G. G. (2004). Methods for Analyzing Floc Properties. Flocculation in natural and engineered environmental systems, 1-22.
16. Martinez-Mena, M., Castillo, V. & Albaladejo, J. (2002). Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. *Geomorphology*, 45(3-4): 261-275.
17. Montenegro, A. A. A., Abrantes, J. R. C. B., de Lima, J. L. M. P., Singh, V. P. & Santos, T. E. M. (2013). Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, 109: 139–149.
18. Phillips, J. M. & Walling, D. E. (1995). An assessment of the effects of sample collection, storage and resuspension on the representativeness of measurements of the effective particle size distribution of fluvial suspended sediments. *Water Research*, 29: 2498–2508.
19. Phillips, J. M. & Walling, D. E. (1998). Calibration of a Par-Tec 200 laser back-scatter probe for in situ sizing of fluvial suspended sediment. *Hydrological Processes*, 12: 221–231.
1. Armstrong, A., Quinton, J. N., Heng, B. C. P. & Chandler, J. H. (2011). Variability of interrill erosion at low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(1): 97-106.
2. Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W. & Rouhipour, H. (2007a). Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5): 711-724.
3. Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W., Yu, B. & Hussein, J. (2007b). An investigation of flow-driven soil erosion processes at low streampowers. *Journal of Hydrology*, 342(1): 134-142.
4. Asadi, H., Moussavi, A., Ghadiri, H. & Rose, C. W. (2011). Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *Journal of Hydrology*, 406(1): 73-81.
5. Dedkov, A. P., & Moszherin, V. I. (1992). Erosion and sediment yield in mountain regions of the world. *Erosion, debris flows and environment in mountain regions*, 209: 29-36.
6. Di Stefano, C., & Ferro, V. (2002). SW—Soil and Water: Linking Clay Enrichment and Sediment Delivery Processes. *Biosystems Engineering*, 81(4): 465-479.
7. Felix, D., Albayrak, I. & Boes, R. M. (2013). Laboratory investigation on measuring suspended sediment by portable laser diffractometer (LISST) focusing on particle shape. *Geo-Marine Letters*, 33(6): 485-498.
8. Gibbs, R. J. (1982). Floc Stability During Coulter-counter Size Analysis: RESEARCH-METHOD PAPER. *Journal of Sedimentary Research*, 52(2).
9. Grangeon, T., Legout, C., Esteves, M., Gratiot, N. & Navratil, O. (2012). Variability of the particle size of suspended sediment during highly concentrated flood events in a small mountainous catchment. *Journal of Soils and Sediments*, 12(10), 1549-1558.
10. Hao, Y., Yang, Y., Liu, B., Liu, Y., Gao, X. & Guo, Q. (2016). Size characteristics of sediments eroded from three soils in China under natural rainfall. *Journal of Soils and Sediments*, 1-13.

29. Walling, D. E. & Moorehead, P. W. (2004). The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: An Overview. *Hydrobiologia*, 176/177: 125-149
30. Walling, D. E., & Moorehead, P. W. (1989). The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview. In *Sediment/Water Interactions* (pp. 125-149). Springer Netherlands.
31. Walling, D. E., Ph. N. Owens, B. D. Waterfall, G. J. L. Leeks, & P. D. Wass. (2000). The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *Science of the Total Environment*. 251/252: 205-222.
32. Wang, L., Shi, Z. H., Wang, J., Fang, N. F., Wu G. L. & Zhang, H. Y. (2014). Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: a case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 512: 168-176.
33. William, N. D., Walling, D. E. & Leeks, G. J. L. (2007). High temporal resolution in situmeasurement of the effective particle size characteristics of fluvial suspended Sediment. *Water Research*, 41: 1081–1093.
34. Woodward, J. C. & D. E. Walling. (2007). Composite suspended sediment particles in river systems: their incidence, dynamics and physical characteristics. *Hydrological processes*. 21: 3601–3614.
35. Xu, J. (2002). Implication of relationships among suspended sediment size, water discharge and suspended sediment concentration: the Yellow River basin. China. *Catena*. 49: 289– 307.
36. Zhang, G. H., Liu, G. B., Wang, G. L. & Wang, Y. X. (2011). Effects of vegetation cover and rainfall intensity on sediment-bound nutrient loss, size composition and volume fractal dimension of sediment particles. *Pedosphere*, 21(5): 676-684.
20. Pieri, L., Bittelli, M., Hanuskova, M., Ventura, F., Vicari, A. & Rossi Pisa, P. (2009). Characteristics of eroded sediments from soil under wheat and maize in the North Italian Apennines. *Geoderma*, 154: 20-29.
21. Poizot, E., Méar, Y. & Biscara, L. (2008). Sediment trend analysis through the variation of granulometric parameters: A review of theories and applications. *Earth-Science Reviews*, 86: 15–41.
22. Rose, C. W., Yu, B., Ghadiri, H., Asadi, H., Parlange, J. Y., Hogarth, W. L. & Hussein, J. (2007). Dynamic erosion of soil in steady sheet flow. *Journal of hydrology*, 333(2): 449-458.
23. Sadeghi, S. H. R. & Kiani-Harchegani, M. (2012). Effects of sand mining on suspended sediment particle size distribution in Kojour Forest River. Iran, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 1637-1646.
24. Sadeghi, S. H. R. Kiani Harchegani, M. & Younesi, H (2013): Suspended sediment concentration and particle size distribution, and their relationship with heavy metal content. *Journal of Earth System Science*, 121(1):63-71.
25. Sadeghi, S. H. R. & Kiani-Harchegani, M (2012). Changeability of relationship between flow competence and suspended sediment particle size distribution in Kojour River, *Water Engineering*, 5: 41-49.
26. Sheldon, R. W., Prakash, A., & Sutcliffe, W. H. (1972). The size distribution of particles in the ocean. *Limnology and oceanography*, 17(3), 327-340.
27. Tromp-van Meerveld, H. J., Parlange, J. Y., Barry, D. A., Tromp, M. F., Sander, G. C., Walter, M. T. & Parlange, M. B. (2008). Influence of sediment settling velocity on mechanistic soil erosion modeling. *Water Resources Research*, 44(6). W06401.
28. Walker, P. H., Woodyer, K. D., & Hutka, J. (1974). Particle-size measurements by Coulter Counter of very small deposits and low suspended sediment concentrations in streams. *Journal of Sedimentary Research*, 44(3), 673-679.

**Abstract****An Overview on Application of Sediment Particle Size Distribution Science
in Temporal and Spatial Scales**M. Kiani Harchegani¹, S. H.R Sadeghi*² and H. Asadi³

Received: 2017/01/06 Accepted: 2017/08/28

Investigation of sediment particle size distribution (SPSD) was considered as a new science to investigate the SPSD interactions in fluvial systems by hydrologists, geomorphologists and geochemists since 1980s. Accurate understanding of complexities of SPSD behavior in different environments will help overcoming management problems in soil and water conservation as well as pollutants transferring in the environment. This study was conducted to provide comprehensive information about the importance and application of SPSD in different spatial and temporal scales. The present study at first provided the definition of SPSD from different perspectives of scientists, then introduced the SPSD measurement methods and finally, investigated SPSD variation at different spatial and temporal scales. Such information could be used for better understanding and management of transport of sediment and sediment-associated nutrients as well as contaminants such as phosphorus, pesticides, heavy metals and pathogenic agents. In addition, the results are useful in engineering projects such as drinking water, wastewaters and rivers and is valuable to identify the soil erosion processes.

Keywords: *Absolut sediment size, Effective sediment size, Soil aggregate, Soil conservation, Water erosion.*

1. PostDoc, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University.
2. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Corresponding author, Email: sadeghi@modares.ac.ir
3. Associated professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran.