

بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع اندازه ذرات رسوب‌های معلق در رودخانه پسیخان استان

گیلان

ملیحه ابراهیمی^۱ - حسین اسدی^{۲*} - آرزو شریفی^۳ - عیسی ابراهیمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

چکیده

بررسی ویژگی‌های فیزیکی ذرات معلق از موضوعات مهم در مطالعه رودخانه‌ها است. یکی از این ویژگی‌ها، توزیع اندازه ذرات رسوب معلق است، که بیان‌گر ارتباط بین منابع رسوب و فرآیندهای رسوب‌گذاری می‌باشد. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع اندازه ذرات رسوب معلق رودخانه پسیخان در استان گیلان می‌باشد. طی دوره زمانی هفت ماهه از مهر ۱۳۹۲ تا فروردین ۱۳۹۳، از دو ایستگاه هیدرومتری (مبارک‌آباد در بالادست و نوخاله در پایین‌دست) نمونه‌برداری صورت گرفت. به این منظور تعدادی نمونه رسوب معلق با فواصل زمانی ۱۵ روزه به روش آنتگراسیون عمقی در شرایط عادی و سیلابی دبی رودخانه برداشت و پس از آماده‌سازی، توزیع اندازه ذرات رسوب به روش پیبت اندازه‌گیری شد. میانگین وزنی قطر ذرات رسوب (MWD) و قطر ذرات با فراوانی ۵۰ درصد (d_{50}) در هر ایستگاه در تاریخ‌های نمونه‌برداری تعیین و منحنی توزیع اندازه ذرات رسم گردید. نتایج نشان داد که مقدار متوسط MWD و d_{50} به ترتیب ۰/۰۶۲ و ۰/۰۵۲ میلی‌متر در ایستگاه مبارک‌آباد و ۰/۰۵۲ و ۰/۰۴۷ میلی‌متر در ایستگاه نوخاله بود. حداکثر MWD و d_{50} به ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۰۶۱ میلی‌متر در ایستگاه مبارک‌آباد مشاهده شد. همچنین مطالعه توزیع اندازه ذرات رسوب نشان داد که ذرات کوچک‌تر از دو میلی‌متر در ایستگاه نوخاله بین ۸۷-۹۹ درصد و در ایستگاه مبارک‌آباد بین ۸۳-۹۴ درصد است. علاوه بر این در اکثر نمونه‌برداری‌ها، بین دبی جریان و اندازه ذرات رسوب معلق ارتباطی وجود نداشت که نشان‌دهنده طبیعت غیرهیدرولیکی و تأثیر متغیرهای متفاوت دیگر مثل منشاء رسوبات، تاریخ و انرژی انتقال، توانایی فرسایش‌پذیری و ته‌نشینی در اندازه ذرات رسوبات معلق در جریان رودخانه‌ای است. همچنین براساس نتایج اندازه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد درشت‌تر از ایستگاه نوخاله می‌باشد که این موضوع را می‌توان به نوع فرسایش موجود در منطقه و برداشت شن از رودخانه نسبت داد. در نواحی بالادست به دلیل کوهستانی بودن احتمال وقوع فرسایش خندقی و زمین‌لغزش بیش‌تر، در حالی که در پایین‌دست فرسایش عمدتاً پاشمانی و ورقه‌ای است. ضمن اینکه با کاهش شیب عمومی رودخانه، ذرات درشت‌تر قبل از رسیدن به ایستگاه نوخاله ته‌نشین می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بار رسوب، روش پی‌پیبت، فرسایش، قطر میانه، میانگین وزنی قطر ذرات

مقدمه

زیستن انسان در کره زمین را نیز تعیین می‌نمایند (۲۰). فرسایش آبی باعث بروز مشکلات فراوانی در زمین‌های کشاورزی و محیط زیست می‌شود (۲۳، ۲۴ و ۲۶). یکی از ویژگی‌های مکانیکی بسیار مهم که تأثیر زیادی بر روی تنش برشی جریان داشته و در فرسایش کنار رودخانه‌ای نیز مؤثر است، توزیع اندازه ذرات رسوب می‌باشد (۲۷). مطالعه توزیع اندازه ذرات رسوب موجود در سامانه‌های رودخانه‌ای از دیدگاه‌های مختلفی از جمله درک رفتار هیدرودینامیکی جریان و رسوب حائز اهمیت است (۳۷). از آن جایی که بار معلق به‌طور متوسط بیش از ۸۵ درصد بار کل حوضه آبخیز را شامل می‌شود (۱۷)، ژئومورفولوژیست‌ها و هیدرولوژیست‌ها رسوب‌های معلق را به دلیل فراهم‌سازی اطلاعات مهمی درباره فرآیند فرسایش و تولید رسوب مد نظر قرار می‌دهند (۴۵). برآورد بار رسوب حوضه آبخیز و تغییرات

مهم‌ترین پدیده در فرآیندهای پوسته زمین جریان آب‌ها است و رودخانه‌ها نه تنها در سیمای کلی زمین نقش دارند، بلکه شکل

۱ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

*- نویسنده مسئول: (Email: ho.asadi@ut.ac.ir)

۳- دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

زمانی آن برای حل مشکلاتی نظیر طراحی سدها و انتقال آلاینده‌ها، طراحی عملیات حفاظتی خاک و تعیین عوامل موثر مدیریت آبخیز و غیره مورد نیاز است (۴۶). فهم بهتر دینامیک توزیع اندازه ذرات، درک فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری را آسان کرده و مدل‌سازی فرسایش را بهبود می‌بخشد. همچنین نحوه انتقال عناصر غذایی و آلوده‌کننده‌ها از زمین‌های کشاورزی و حوضه‌های آبریز به آبراهه‌ها را به آسانی توصیف می‌کند (۳ و ۲۵). ترکیب اندازه ذرات رسوب معلق ارتباط بین منابع، انتقال، نشست و خروجی رسوب معلق را نشان می‌دهد که به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم رسوب در حوضه‌های آبخیز و رودخانه‌ها شناخته می‌شود (۱، ۳۲ و ۳۶).

اندازه ذرات رسوب‌های معلق یکی از ویژگی‌های مهم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی رسوب‌های رودخانه‌ای است که تأثیر فراوانی بر فرآیند رسوب‌زایی و مصرف انرژی دارد و بیان‌گر ترکیب‌های مواد سطح زمین در حوضه آبخیز می‌باشد. این پارامتر یکی از متغیرهای کلیدی در طراحی ابعاد و ویژگی‌های تله‌های رسوب‌گیر می‌باشد. بنابراین تغییرات زمانی اندازه ذرات رسوب معلق رودخانه، فرآیندهای رسوب‌زایی مانند فرسایش، انتقال و ته‌نشینی را هم در حوضه آبخیز و هم در مجاری رودخانه منعکس می‌کند (۴۵، ۴۶ و ۴۷). به همین دلیل پژوهشگران مختلفی در سال‌های اخیر توزیع اندازه ذرات رسوب معلق را از دیدگاه‌های مختلفی مورد توجه قرار داده‌اند. وودوارد و والینگ (۴۴) به بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و انتقال ذرات رسوبی معلق ترکیبی در سامانه رودخانه پرداختند. ویلیامز و همکاران (۴۲) نیز ویژگی‌های اندازه‌ذرات رسوب معلق در رودخانه اگزه^۱ را در مقیاس زمانی گوناگون بررسی کردند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که توزیع اندازه ذرات رسوب معلق تحت شرایط عادی و سیلابی بسیار متفاوت می‌باشد. زو (۴۵) به بررسی ارتباط بین اندازه ذرات رسوب معلق، دبی آب و غلظت رسوب معلق در رودخانه زرد پرداخت. همچنین زو (۴۶) به بررسی ارتباط بین توزیع اندازه ذرات و کاربری اراضی در حوضه آبریز رودخانه دن چین نیز پرداخته است. لنزی و همکاران (۱۸) تغییرات درون سالی رسوب‌های معلق و اندازه ذرات آن‌ها را در حوضه آبخیز آلپ مورد بررسی قرار دادند. هرتیشیا و همکاران (۱۱) ویژگی‌های اندازه ذرات رسوب معلق منتقل شده با برف‌آب‌های ناشی از هیمالیای مرکزی، تغییرات مکانی و منشا اثر آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. والینگ و همکاران (۴۰) به بررسی مؤلفه‌های اندازه ذرات رسوب معلق در رودخانه هومیر و توود^۲ در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف پرداخته و در مقیاس زمانی به بررسی تغییرات دبی در زمان وقوع رگبار و در فصل‌های مختلف و

تأثیر آن در انتقال توزیع اندازه ذرات و ارتباط بین آن‌ها پرداختند. گاوو و همکاران (۱۰) تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب معلق ناشی از فرسایش توده‌ای را در چین بررسی کردند. نتایجی که این پژوهشگران به دست آوردند نشان داد که در اثر فرسایش بخش ذرات اندازه شن از ۷۱ به ۵۰ درصد کاهش یافته، در حالی که بخش رس و سیلت به طور معنی‌داری از ۱/۳ به ۷/۳ و از ۲۷/۵ به ۴۱/۹ افزایش یافته است. که این ریزتر شدن اندازه ذرات باعث حرکت آسان‌تر رسوب به سمت کانال می‌شود. همچنین مشاهده شد که d_{50} و یکنواختی اندازه ذرات رسوب کاهش یافته است، که نشان‌دهنده غیریکنواختی و نامنظمی توزیع اندازه ذرات رسوب معلق می‌باشد. صادقی و سینگ (۳۳) غلظت رسوب معلق، دبی جریان و توزیع اندازه ذرات رسوب را در داده‌های ۲۴ ایستگاه رسوب‌سنجی در امریکا بررسی کردند. بیش‌تر ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌داری در غلظت رسوب معلق روزانه (از ۱۸ ایستگاه؛ یکی افزایش و ۱۷ مورد کاهش)، دبی جریان (از ۱۹ ایستگاه؛ هفت مورد افزایش و ۱۲ مورد کاهش)، و درصد اندازه ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون (از ۱۵ ایستگاه؛ ۵ مورد افزایش و ۱۰ مورد کاهش) نشان داد. صادقی و کیانی هرچگانی (۳۵) تغییرات مکانی و زمانی توزیع اندازه ذرات رسوب معلق را در رودخانه کجور بررسی کرده و مشاهده کردند که تغییرات مکانی و زمانی ماسه و سیلت در رسوبات چشم‌گیر بوده ولی میزان رس تغییر نداشتند است. همچنین کیانی هرچگانی و صادقی (۱۴) در مطالعه‌ای دیگر خصوصیات اندازه ذرات رسوب معلق انتقالی را در جریان پایه و سیلابی رودخانه کجور بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که حداکثر مقدار ماسه در شرایط پایه و حداکثر مقدار لای و رس در شرایط سیلابی به وقوع پیوسته است. در پژوهشی دیگر صادقی و ذاکری (۳۲) توزیع ذرات رسوب معلق را در شرایط مختلف دبی جریان رودخانه با استفاده از دستگاه تعیین قطر لیزری تعیین کردند. نتایج آنها نشان داد که ذرات معلق این رودخانه طی مدت نمونه‌برداری و در شرایط مختلف در بازه قطری ۰/۸۲ تا ۳۵۳/۵۵ میکرون قرار داشته و سهم اصلی ترکیب بار معلق را ذرات سیلت تشکیل داده است.

رودخانه پسیخان از ارتفاعات ۲۸۰۰ متری استان گیلان سرچشمه می‌گیرد، از سرشاخه‌های اصلی سیاه‌مزگی، چوبر (امامزاده ابراهیم) و چناررودخان تشکیل شده است. این رودخانه یکی از اصلی‌ترین رودخانه‌های گیلان است که پس از عبور از روستای پسیخان، در ناحیه شرقی تالاب انزلی تخلیه می‌شود (۲). علی‌رغم اهمیت توزیع اندازه ذرات رسوب، موضوع بررسی تغییرات اندازه ذرات رسوب و به ویژه رسوبات معلق و تغییرات مکانی و زمانی آن سابقه‌ای چندان طولانی در جهان (۱۰) و ایران ندارد (۳۲ و ۳۵). برای مدیریت بهتر و کارآمدتر رودخانه‌ها و مسایل مربوط به آن داشتن اطلاعات از توزیع اندازه ذرات رسوب بسیار ضروری است لذا، هدف از این مطالعه بررسی توزیع اندازه‌ی رسوب معلق در دبی جریان عادی و ارتباط آن

1- Exe

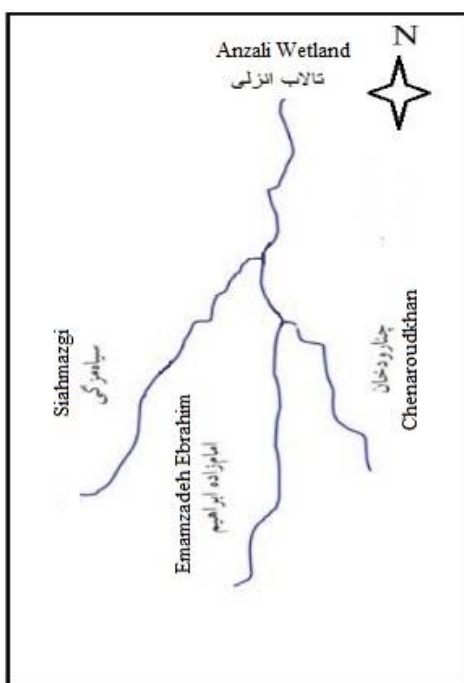
2- Humber and Tweed catchments

سرچشمه می‌گیرد و طولانی‌تر از بقیه شاخه‌های رودخانه پسیخان است، از سرچشمه تا محل الحاق به چویر برابر ۵۴ کیلومتر بوده و از این نقطه تا تالاب نیز حدود ۴۰ کیلومتر می‌باشد. نمونه‌برداری در دو نقطه، یکی در ابتدای دشت به نام ایستگاه هیدرومتری مبارک‌آباد و دیگری در محل پایین‌دست به نام ایستگاه هیدرومتری نوخاله انجام گرفته است (شکل ۲). طی زمان مورد مطالعه براساس اطلاعات اداره کل هواشناسی استان گیلان، میزان بارندگی ماهانه در ایستگاه مبارک‌آباد با عنوان ارتفاعات و هم‌چنین در ایستگاه نوخاله که به عنوان منطقه دشت نام‌گذاری شده است، به تفکیک ماه‌های مورد نظر در جدول ۱ آمده است. برای ارتفاعات در آبان ماه بیش‌ترین مقدار و برای منطقه دشت نیز مهر دارای بیش‌ترین بارندگی می‌باشد. علاوه بر این در ایستگاه مبارک‌آباد ۱۳ درصد از رسوب به صورت بار بستر است و در ایستگاه نوخاله نیز این مقدار تفاوت زیادی نکرده است اما تفاوت در مقدار بار بستر است که در ایستگاه نوخاله سه برابر مقدار رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد است. فرسایش ویژه بدست آمده سالانه در ایستگاه مبارک‌آباد، ۴۶۸/۱۴ تن در هزار بر کیلومترمربع در سال و نیز در ایستگاه نوخاله به میزان ۲۳۵/۴ تن در هزار بر کیلومترمربع در سال گزارش شده است. برآورد رسوب معلق سالانه در ایستگاه نوخاله، ۱۸۳/۷۲ تن در هزار و ایستگاه مبارک‌آباد ۵۶/۸۸ تن در هزار است. برای هر دو ایستگاه بیشترین مقدار رسوب‌های معلق در مهر ماه (نوخاله ۴۱ و مبارک‌آباد ۱۰/۷ تن در هزار) مشاهده شده است (۴).

با بار رسوب و دبی جریان در دو نقطه بالادست و پایین‌دست از رودخانه پسیخان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی رودخانه پسیخان در استان گیلان با طول تقریبی ۹۴/۴۵ کیلومتر و حوضه آبریزی به مساحت ۷۳۵ کیلومتر مربع انجام پذیرفته است که در محدوده طول جغرافیایی ۸' ۴۹° تا ۳۴' ۴۹° طول شرقی و ۵۴' ۳۶° تا ۲۷' ۳۷° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه آبریز پسیخان دارای محیط ۱۶۳/۹۲ کیلومتر می‌باشد. حداکثر ارتفاع در آن ۲۸۰۰ متر و ارتفاع متوسط حوضه، ۶۰۱/۴ متر است. شیب خالص شاخه اصلی، ۳/۰۸ درصد و شیب متوسط حوضه، ۱۹/۶۲ درصد می‌باشد. زمان تمرکز شاخه اصلی ۱۱/۹۶ ساعت و زمان تاخیر آن ۷/۱۶ ساعت گزارش شده است. رودخانه پسیخان مهم‌ترین رودخانه منطقه فومنات می‌باشد و از دو شاخه اصلی با نام‌های چویر (امامزاده ابراهیم) و سیاه‌مزگی و یک شاخه کوچک‌تر با نام چناررودخان تشکیل شده است. دو شاخه اول در حدود ۲ کیلومتر بالاتر از روستای نهمز به یکدیگر متصل شده و شاخه چناررودخان در محل این روستا به رودخانه اصلی می‌پیوندد. جهت جریان در دو شاخه اصلی رودخانه از جنوب غرب و جنوب به سمت شمال بوده که در مسیر شاخه‌های متعدد کوچک دیگری به آنها اضافه می‌گردد. طول رودخانه سیاه‌مزگی که از ارتفاعات ۲۸۰۰ متری



شکل ۱- رودخانه پسیخان و سرشاخه‌های آن
Figure 1- Pasikhan River and its branches



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه پسیخان
Figure 2- Location of hydrometric stations of Pasikhan River

جدول ۱- میزان بارندگی ماهانه در ارتفاعات و دشت محدوده فومنات (میلی‌متر)

Table 1- The monthly rainfall in the highlands and plains of Foumanat (mm)

| | مهر September | آبان October | آذر November | دی December | بهمن January | اسفند February | فروردین March | سالانه Annual |
|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|
| ارتفاعات Highland | 106 | 140 | 125 | 91 | 114 | 117 | 130 | 1236 |
| دشت Plain | 185 | 163 | 144 | 101 | 95 | 92 | 71 | 1271 |

تعیین گردید. لازم به توضیح است که مقدار کل املاح محلول در هر نمونه نیز جداگانه محاسبه شده و از مقدار کل رسوب در هر نمونه کسر گردید تا وزن رسوب واقعی به دست آید.

با توجه به داشتن پارامتر اندازه کلاس ذرات و نیز مقدار رسوب در هر کلاس، درصد فراوانی و نیز درصد تجمع ذرات محاسبه شد و منحنی تجمع برای هر کدام از ایستگاه‌ها جداگانه رسم گردید. پس از به دست آوردن درصد تجمع قطر ذرات کوچک‌تر از قطر معین که به صورت روزانه تفکیک شده است، می‌توان نمودار درصد تجمع ذرات را رسم کرد. اندازه قطر ذرات بر اساس تقسیم‌بندی اروپایی، به چهار گروه شن ریز (0.2 mm)، سیلت درشت (0.06 mm)، سیلت متوسط (0.02 mm) و رس (مساوی و کوچک‌تر از 0.006 mm) تقسیم‌بندی شد. قطر میانه d_{50} (قطری از ذرات که ۵۰ درصد ذرات از این قطر کوچکتر هستند) نیز از روی منحنی تجمع

نمونه‌برداری از رسوب معلق به روش انتگراسیون عمقی در دو ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله در شرایط عادی و رخداد سیلاب انجام گرفت. نمونه‌ها به مدت هفت ماه از تاریخ ۹۲/۰۷/۱۵ تا ۹۳/۰۱/۳۱ از قسمت وسط آب رودخانه با ظروف پلاستیکی دو لیتری (۹ و ۱۹) برداشته شد. در شرایط عادی جریان، هر ۱۵ روز نمونه آب رودخانه در حال جریان برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد. توزیع اندازه ذرات رسوب در نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و مراحل آماده‌سازی، بر اساس قانون استوکس و اندازه‌گیری در زمان‌های ۳۰، ۱۸۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۸۰۰، ۳۶۰۰، ۵۴۰۰، ۷۲۰۰، ۹۰۰۰، ۱۰۸۰۰، ۱۶۴۰۰ ثانیه از عمق ۱۰ سانتی‌متری سیلندر به روش پیت تعیین شد (۱۹). مقدار نمونه به داخل ظروف آلومینیومی با وزن اولیه مشخص ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شد. توزیع اندازه ذرات شن ته‌نشین شده نیز به روش جدا کردن با الک

غلظت مشاهده شده، مربوط به نیمه دوم آذر ماه، به مقدار ۱/۱۰ گرم بر لیتر با دبی جریان ۳/۹۸ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. به طور کلی با مقایسه مقدار رسوب در دو ایستگاه در زمان‌های مشابه مشاهده می‌شود که غلظت رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد نسبت به نوخاله کمتر است. این موضوع نشان‌دهنده این است که مقدار رسوب در طول رودخانه افزایش خواهد یافت و تغییرات مکانی در مقدار رسوب مشاهده می‌گردد. علت این افزایش را می‌توان به این صورت بیان نمود که در ابتدای مسیر عامل محدود کننده برای انتقال رسوب عدم وجود ذرات به اندازه کافی است اما در طول مسیر مقدار ذرات وارد شده به رودخانه افزایش یافته است و مساحت بیش‌تری تحت تأثیر حرکت آب قرار گرفته، و در نتیجه در انتهای مسیر مقدار رسوب بیش‌تر است. منشاء تامین رسوبات می‌تواند اراضی شالیزار باشد. تغییر در ویژگی‌های رسوب، در مکان‌های مختلف، حاصل فرایندهای زیادی است که در بیش از یک دوره زمانی اتفاق افتاده است (۱۵). عوامل خاکی، زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی باعث ایجاد این تغییرات هستند. از عوامل مؤثر در ایجاد رسوب و تغییرپذیری زمانی و مکانی آنها می‌توان به فرایندهای مجاری رودخانه، شامل جورشدگی، سایش، شکستگی، تأثیر منابع شاخه‌های فرعی روی ویژگی‌های رسوب رودخانه اصلی، و تغییرپذیری جریان اشاره کرد که در دهه‌های اخیر بسیاری از پژوهشگران آن را مطرح کرده‌اند (۷، ۱۶ و ۳۱). طبق آمار رسوب‌سنجی دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای گیلان برای دوره آماری ۸۱ تا ۹۴، حداکثر غلظت رسوب اندازه‌گیری شده برای ایستگاه‌های مبارک‌آباد و نوخاله به ترتیب ۴۳۱۰ و ۵۸۱۸ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر دبی جریان متناظر آنها به ترتیب ۸۰/۷ و ۳۱۲/۶ متر مکعب بر ثانیه بوده است.

توزیع اندازه ذرات رسوب در ایستگاه‌ها

توزیع اندازه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله به ترتیب در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. در کل نمونه‌برداری‌های انجام شده، مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر در ایستگاه مبارک‌آباد ۹۴-۸۳ و در ایستگاه نوخاله ۹۹-۸۷ درصد است. هم‌چنین ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۶ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله بین ۶۷-۵۰ و ۸۹-۴۷ درصد متغیر است. ضمن اینکه درصد ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۲ و ۰/۰۰۶ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه مبارک‌آباد بین ۳۳-۱۲ و ۱۶-۳ درصد و در ایستگاه نوخاله بین ۶۴-۱۰ و ۲۴-۵ درصد تغییر کرده است.

به دست آمد. مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) بر اساس رابطه ۱ تعیین گردید و در هر ایستگاه هیدرومتری جداگانه محاسبه شد.

نمایه میانگین وزنی قطر ذرات (MWD) از معادله ارایه شده توسط وان‌باول (۳۹) تعیین شد (معادله ۱).

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (1)$$

X_i معادل با میانگین قطر ذرات رسوب در هر قرائت و W_i نیز نسبت وزن رسوب در هر قرائت به وزن کل رسوب می‌باشد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار Excel 2013 استفاده شده است.

نتایج و بحث

دبی جریان و غلظت رسوب

دبی جریان و غلظت رسوب در دو ایستگاه نوخاله و مبارک‌آباد در جدول ۲ آمده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده شده است، بیش‌ترین دبی جریان در ایستگاه نوخاله مربوط به ۹۲/۱۱/۱۵ به مقدار ۵۱/۴ متر مکعب بر ثانیه و کمترین دبی جریان مربوط به اواخر فروردین به مقدار ۵/۲۷ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. زیاد بودن دبی در بهمن ماه را می‌توان به وقوع بارندگی‌های شدید در ماه‌های قبل و اشباع شدن خاک نسبت داد. ضمناً با توجه به رخداد این بارندگی‌ها در فصل زمستان که پوشش گیاهی مناسب در منطقه وجود ندارد، رواناب و در نهایت حجم آب رودخانه افزایش می‌یابد. هم‌چنین پایین بودن دبی فروردین می‌تواند به علت کاهش بارندگی در این ماه و بهبود وضعیت پوشش گیاهی و نهایتاً افزایش نفوذ آب در خاک باشد. بیشترین غلظت رسوب به دست آمده به مقدار ۴/۱۶۲ گرم در لیتر در تاریخ ۹۲/۸/۱۲ و کمترین غلظت رسوب نیز در نیمه دوم آذر ماه مشاهده شده که مقدار آن ۱/۲۷۵ گرم بر لیتر با دبی جریان ۱۹/۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. در فصل زمستان به دلیل بارندگی زیاد و اثر رقت مقدار رسوب به کمترین حد می‌رسد این در حالی است که در سایر زمان‌ها به دلیل کاهش حجم آب مقدار رسوب افزایش پیدا می‌کند.

بیشترین دبی جریان به دست آمده در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نیمه دوم بهمن ماه به مقدار ۹/۸ متر مکعب بر ثانیه و کمترین دبی جریان مربوط به نیمه دوم دی ماه به مقدار ۱/۴۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد (جدول ۲). در مورد غلظت رسوب به دست آمده، بیش‌ترین مقدار، ۲/۶۳۳ گرم در لیتر است که مربوط به نیمه اول فروردین ماه می‌باشد، این در حالی است که مقدار دبی جریان محاسبه شده در این تاریخ، ۱/۷۰ متر مکعب بر ثانیه به دست آمده است. کم‌ترین مقدار

جدول ۲- دبی جریان و غلظت رسوب رخدادهای اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه

Table 2- Flow discharge and sediment concentration of the measured events at the two stations

| تاریخ Date | مبارک آباد Mobarakabad | | نوخاله Nokhaleh | |
|--------------------------|---|---|---|---|
| | غلظت رسوب Sediment concentration (g.L ⁻¹) | دبی جریان Flow discharge (m ³ .s ⁻¹) | غلظت رسوب Sediment concentration (g.L ⁻¹) | دبی جریان Flow discharge (m ³ .s ⁻¹) |
| 92/07/15 (2013.10.07) | - | - | 3.259 | 41.5 |
| 92/08/02 (2013.10.24) | - | - | 2.413 | 29.0 |
| 92/08/12 (2013.11.03) | - | - | 4.162 | 45.3 |
| 92/09/15 (2013.12.06) | 1.293 | 7.13 | 1.576 | 36.5 |
| 92/09/30 (2013.12.21) | 1.101 | 3.98 | 1.275 | 19.6 |
| 92/10/15 (2014.01.05) | 1.329 | 2.24 | 1.809 | 14.9 |
| 92/10/30 (2014.01.20) | 1.429 | 1.43 | 1.479 | 9.49 |
| 92/11/15 (2014.02.04) | 1.538 | 3.68 | 1.284 | 51.4 |
| 92/11/30 (2014.02.19) | 1.595 | 9.80 | 1.420 | 25.3 |
| 92/12/15 (2014.03.06) | 1.477 | 4.90 | 1.360 | 16.9 |
| 93/01/03 (2014.03.23) | - | - | 1.622 | 35.3 |
| 93/01/15 (2014.04.04) | 2.633 | 1.70 | 2.257 | 26.0 |
| 93/01/31 (2014.04.20) | 1.461 | 1.68 | 2.558 | 5.27 |

در مورد ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۶ میلی‌متر نیز کمترین مقدار محاسبه شده در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم آذر ماه با دبی ۳/۹۸ متر مکعب در ثانیه و غلظت رسوب ۱/۱۰۱ گرم در لیتر بوده است. بیش‌ترین مقدار به دست آمده نیز مربوط به نمونه‌برداری نیمه اول فروردین ماه است، که دبی جریان آن ۲/۶۹ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب آن ۲/۶۳۳ گرم در لیتر است. همچنین کمترین مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۶ میلی‌متر در ایستگاه نوخاله در نمونه‌برداری نیمه دوم فروردین ماه با دبی ۵/۲۷ متر مکعب در ثانیه و غلظت رسوب ۲/۵۸۸ گرم در لیتر و بیشترین مقدار آن نیز از نمونه‌برداری نیمه دوم بهمن ماه به دست آمده است. در ایستگاه مبارک‌آباد کم‌ترین درصد ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۲ میلی‌متر در نیمه دوم آذر ماه با دبی ۲/۶۹ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب ۲/۶۳۳ گرم در لیتر و بیشترین مقدار آن نیز در نیمه اول فروردین ماه مشاهده شده است. در ایستگاه نوخاله نیز کمترین مقدار محاسبه شده مربوط به نمونه‌برداری تاریخ ۹۲/۸/۱۲ است، که دبی و غلظت رسوب آن به ترتیب ۴۵/۳ متر مکعب در ثانیه و ۴/۱۶۲

کمترین مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر، در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نمونه‌برداری نیمه اول بهمن ماه است که دبی جریان محاسبه شده در آن ۳/۶۸ متر مکعب در ثانیه و هم‌چنین غلظت رسوب آن نیز ۱/۵۳۸ گرم در لیتر به دست آمده است. بیشترین مقدار به دست آمده نیز مربوط به نمونه‌برداری نیمه اول فروردین ماه است که دارای دبی جریان ۱/۶۹ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب ۲/۶۳۳ گرم در لیتر است. در سایر نمونه‌برداری‌های انجام شده مقدار درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر تقریباً نزدیک به هم به دست آمده است. علاوه بر این در ایستگاه نوخاله کمترین مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم فروردین ماه است که دبی جریان آن ۵/۲۷ متر مکعب در ثانیه و غلظت رسوب ۲/۵۸۸ گرم در لیتر دارد. بیشترین مقدار به دست آمده نیز همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مربوط به چند نمونه‌برداری است که مقدار ۹۹ درصد محاسبه شده است. در بقیه نمونه‌برداری‌های انجام شده مقدار درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر ما بین اعداد ذکر شده می‌باشد.

برای بار بستر زمانی اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند که تنش برشی کمی بالاتر از تنش برشی بحرانی برای حرکت ذرات باشد (۸). بنابراین انتقال انتخابی به طور عمده توسط قدرت هیدرولیکی نیروهای رودخانه کنترل می‌شود. هم‌چنین مطالعات فراوانی وجود دارد که نقش انتقال انتخابی را در روند ریز شدن ذرات رسوب به سمت پایین‌دست نشان می‌دهند (۲۹ و ۳۰). مقدار رسوب حمل شده به اندازه دانه‌های موجود در بستر و کناره‌ها نیز بستگی دارد. مواد رسوبی ریزدانه به مراتب بیش‌تر از دانه‌های درشت حمل می‌شوند. همان‌گونه که ملاحظه شد در بین نمونه‌برداری‌های انجام شده در فواصل زمانی و فصول مختلف در ایستگاه نوخاله، درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطرهای معین نسبت به هم متفاوت است که تنها در قطر کوچک‌تر از ۰/۲ میلی‌متر مقادیر مشابه زیاد دیده می‌شود. اگر مقدار دبی جریان در نمونه‌های اندازه‌گیری شده با روند تغییرات مقدار درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر معین در نظر گرفته شود، نتیجه‌ای مبنی بر این که این دو عنوان اندازه‌گیری وابسته به هم می‌باشند دیده نمی‌شود. نتایج به دست آمده با نتایج هرتیشیا و همکاران (۱۱) که بیان می‌کند بین دبی و اندازه ذرات رسوب معلق ارتباطی وجود ندارد، مطابقت دارد. این مطلب نشان دهنده طبیعت غیرهیدرولیکی و تأثیر متغیرهای متفاوت دیگر مثل منشا رسوب، تاریخ و انرژی انتقال، فرساینده‌گی، فرسایش‌پذیری و ته‌نشینی در اندازه ذرات رسوب معلق در جریان رودخانه‌ای است. ذرات و اجزایی که تحت تأثیر پدیده‌ی فرسایش از بستر اصلی خاک جدا می‌شوند، می‌توانند توسط جریان آب به عنوان مهم‌ترین عامل انتقال به سه صورت بار محلول، بار معلق و بار کف، انتقال یافته و از حوضه خارج شده و رسوب را به وجود آورند (۶).

گرم در لیتر به‌دست آمده است. از نظر درصد ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۰۶ میلی‌متر، کمترین مقدار محاسبه شده در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم آذر ماه و در ایستگاه نوخاله مربوط به نیمه دوم فروردین ماه است. بیش‌ترین مقدار به‌دست آمده نیز در ایستگاه مبارک‌آباد در نیمه اول فروردین ماه مشاهده شده است که دبی جریان ۲/۶۹ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب ۲/۶۳۳ گرم در لیتر است. بیش‌ترین مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه نوخاله نیز مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم بهمن ماه است که دبی جریان آن ۲۵/۳۸ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب آن نیز ۱/۴۲۰ گرم در لیتر است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در نواحی کوهستانی که شیب رودخانه زیاد است، قطعات درشت سنگ به همراه دانه‌های خرد شده شن و ماسه، و در مناطق کوهپایه‌ای و در آستانه ورود به نواحی جلگه‌ای دانه‌های رسوبی با قطر کم دیده می‌شوند (۴۰) مطالعات گذشته حکایت از آن دارد که توزیع اندازه ذرات به شیب رودخانه، شدت جریان آب و انتقال انتخابی ذرات بستگی دارد (۵، ۲۱، ۲۲، ۳۸ و ۴۱). شیب زیاد رودخانه در بالادست توان انتقال را افزایش داده و امکان حمل مواد رسوبی درشت‌دانه را فراهم می‌کند. در قسمت پایین‌دست با کاهش شیب طولی، مواد درشت‌دانه ته‌نشین شده و رسوبات ریزدانه فرصت انتقال پیدا می‌کنند. هم‌چنین از عوامل هواشناسی مؤثر بر انتقال رسوب می‌توان به شدت بارندگی و مدت دوام آن اشاره کرد که در تعیین نرخ فرسایش و انتقال خاک به شبکه آبراهه‌ها اهمیت دارند. ضمن اینکه ویژگی‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌ها نیز بر پدیده انتقال رسوب تأثیرگذار است (۱۳). هم‌چنین از جمله عواملی که بر انتقال رسوب و توزیع اندازه ذرات آن مؤثر است انتقال انتخابی است. انتقال انتخابی

جدول ۳- درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر معین در ایستگاه مبارک آباد

Table 3- The cumulative percentage of particles smaller than a given diameter at the Mobarakabad station

| تاریخ Date | درصد ذرات کوچک‌تر از قطر معین (mm) | | | |
|--------------------------|---|--------|--------|---------|
| | Percentage of particles smaller than the given diameter of (mm) | | | |
| | < 0.2 | < 0.06 | < 0.02 | < 0.006 |
| 92/09/15 (2013.12.06) | 91 | 57 | 15 | 5 |
| 92/10/30 (2014.01.20) | 91 | 59 | 21 | 9 |
| 92/11/30 (2014.02.19) | 92 | 62 | 24 | 11 |
| 92/12/15 (2014.03.06) | 92 | 60 | 21 | 9 |
| 93/01/15 (2014.04.04) | 94 | 67 | 33 | 16 |
| 93/01/31 (2014.04.20) | 92 | 59 | 19 | 8 |

جدول ۴- درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر معین در ایستگاه نوخاله

Table 4- The cumulative percentage of particles smaller than a given diameter at the Nokhaleh station

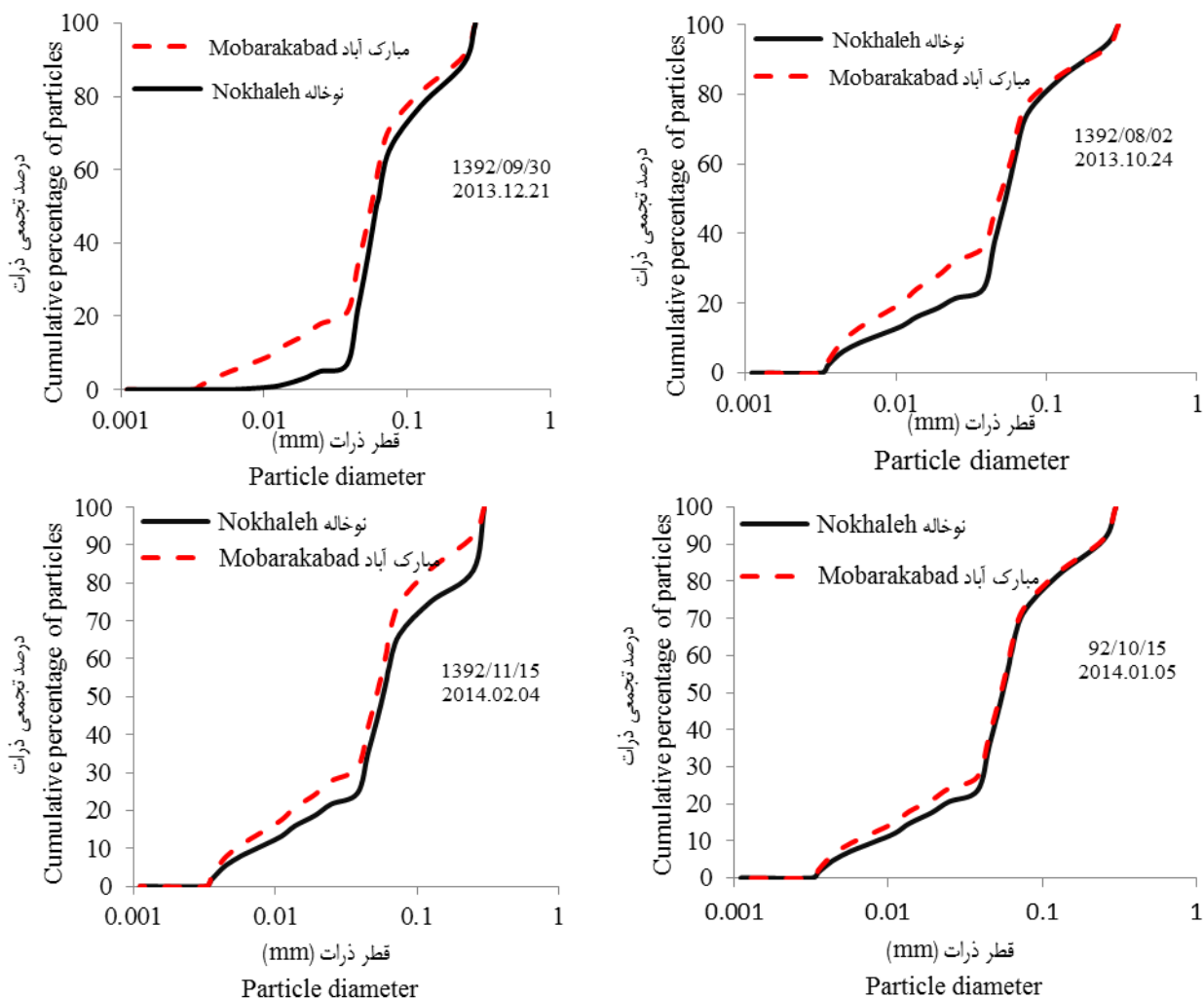
| تاریخ Date | درصد ذرات کوچک‌تر از قطر معین (mm) Percentage of particles smaller than the given diameter of (mm) | | | |
|--------------------------|---|--------|--------|---------|
| | < 0.2 | < 0.06 | < 0.02 | < 0.006 |
| 92/07/15 (2013.10.07) | 97 | 72 | 41 | 20 |
| 92/08/12 (2013.11.03) | 91 | 51 | 10 | 6 |
| 92/09/15 (2013.12.06) | 99 | 64 | 21 | 9 |
| 92/10/30 (2014.01.20) | 99 | 62 | 22 | 10 |
| 92/11/30 (2014.02.19) | 97 | 89 | 64 | 24 |
| 92/12/15 (2014.03.06) | 99 | 62 | 18 | 8 |
| 93/01/03 (2014.03.23) | 98 | 60 | 15 | 6 |
| 93/01/15 (2014.04.04) | 97 | 63 | 22 | 10 |
| 93/01/31 (2014.04.20) | 87 | 47 | 13 | 5 |

سرعت سقوط ذرات کاهش و برعکس با افزایش دما گرانروی آب کاهش و سرعت سقوط ذرات افزایش می‌یابد که احتمالاً این قضیه در مورد دو نمونه‌برداری بهمن ماه صدق می‌کند. یکی دیگر از دلایل درشت‌تر بودن ذرات در ایستگاه مبارک‌آباد را می‌توان به برداشت شن و ماسه در فاصله بین دو ایستگاه نسبت داد. در همین راستا نوحه‌گر و محمودی (۲۳) بیان نمودند که اگر در مسیر رودخانه‌ای استخراج شن و ماسه وجود داشته باشد سبب افزایش فرسایش در بالادست محل برداشت و کاهش اندازه ذرات در پایین دست آن خواهد شد. هم‌چنین جباری و فرضی (۱۲) نیز تغییرات بار رسوبی معلق در پایین دست محل استخراج شن و ماسه در رودخانه رازآور را بررسی کردند. این پژوهشگران بیان کردند که در مکان برداشت شن و ماسه تا فاصله دو‌یست متری میزان بار رسوبی به شدت افزایش خواهد یافت و در فاصله‌ی ششصد متری از محل برداشت به حالت تعادل باز می‌گردد. صادقی و خیرفام (۳۴) نیز تأثیر برداشت شن و ماسه بر میزان انتقال بار بستر و معلق را در رودخانه‌ی کجور واقع در استان مازندران بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نیز نشان داد که پس از برداشت شن و ماسه از این رودخانه بار معلق به میزان ۱۸ تا ۳۳ درصد و بار بستر نیز به طور متوسط ۴۵ درصد نسبت به حالت بدون برداشت افزایش یافته است.

در مجموع نتایج نشان می‌دهد که تقریباً در اکثر نمودارها در ماه‌های گذشته، نمودار ایستگاه نوخاله پایین‌تر از ایستگاه مبارک‌آباد قرار دارد. به طور کلی پذیرفته شده است که توزیع اندازه ذرات رسوب در جهت پایین دست کاهش می‌یابد مگر آنکه موادی از رسوب‌های درشت از شاخه‌های فرعی یا کناره‌ها به رودخانه وارد شود (۲۸، ۳۱ و ۴۱). این نتایج با یافته‌های هرتیشیا و سینگ (۱۱) مطابقت دارد.

مقایسه منحنی‌های توزیع اندازه ذرات رسوب دو ایستگاه

شکل ۳ نمودارهای توزیع اندازه ذرات رسوب دو ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمودار مربوط به ماه آذر نشان از درشت‌تر بودن اندازه قطر ذرات ایستگاه مبارک‌آباد نسبت به ایستگاه نوخاله دارد. اما همان‌گونه که در منحنی دی ماه مشاهده می‌شود دو نمودار تغییر چندانی ندارند. دلیل این امر را می‌توان به عدم تغییرات محسوس شرایط جوی در طول ماه در دو منطقه نسبت داد. با شروع فصل زمستان بارندگی‌های به‌وقوع پیوسته در منطقه کوهستانی به صورت ریزش برف بوده و سرعت جریان به وجود آمده نیز در طول مسیر رودخانه تقریباً نزدیک به هم است که این مسئله باعث می‌شود که درصد تجمعی قطر ذرات در دو نقطه نمونه‌برداری نزدیک به هم باشد. شکل مربوط به بهمن ماه نشان می‌دهد که درصد تجمعی قطر ذرات بین دو ایستگاه در هر نمونه‌برداری اختلاف محسوسی دارد و اندازه ذرات در ایستگاه مبارک‌آباد درشت‌تر از ایستگاه نوخاله است که دلیل آن می‌تواند اوج بارش‌های زمستانی به صورت برف باشد. در مناطق کوهپایه‌ای با کاهش شیب رودخانه و در آستانه ورود به نواحی جلگه‌ای قطر دانه‌های رسوبی کاهش می‌یابد (۶)، که احتمالاً دلیل آن ته‌نشینی ذرات درشت در طول مسیر می‌باشد. سرعت جریان آب‌های حاصل از بارش در حداقل مقدار خود بوده و توان حمل ذرات با قطر درشت را ندارد. بنابراین درصد ذرات رسوب با قطر درشت در بالادست رودخانه بیشتر از مناطق پایین دست است. بر اساس قانون استوکس سرعت سقوط ذرات مختلف در مخلوط آب و رسوب به شعاع ذرات و گرانروی آب بستگی دارد، دمای آب رابطه عکس با گرانروی آن دارد، به گونه‌ای که با کاهش دما گرانروی افزایش و

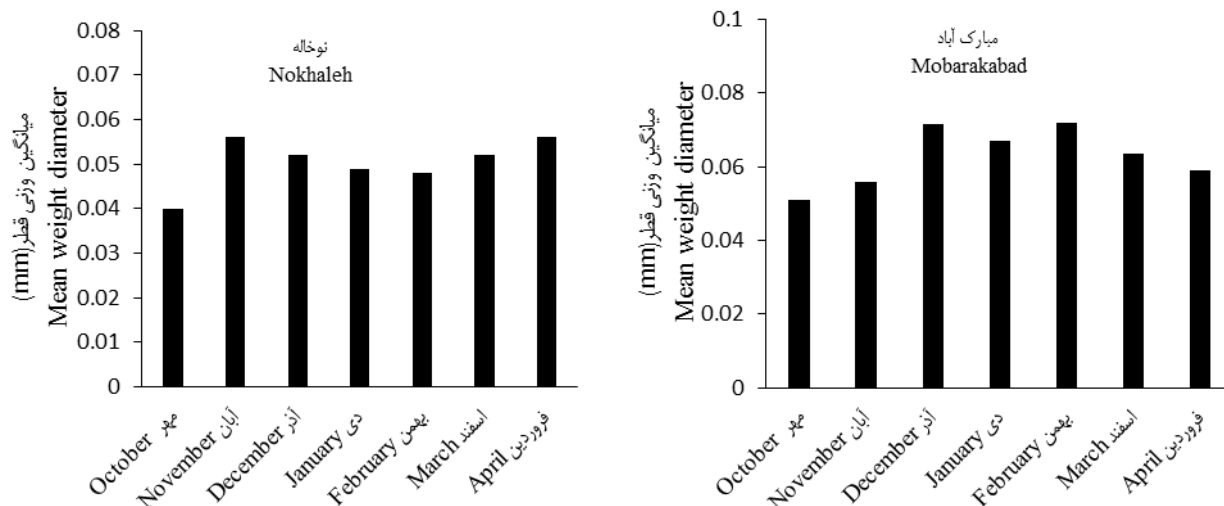


شکل ۳- منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب در دو ایستگاه
Figure 3- Sediment particle size distribution at the two stations

بین ۰/۰۵-۰/۰۷ و در نوخاله بین ۰/۰۴-۰/۰۶ میلی‌متر تغییر می‌کند. متفاوت بودن مقدار میانگین وزنی قطر ذرات رسوب در ایستگاه نوخاله و مبارک آباد، با یافته‌های ویلیامز و همکاران (۴۲) مبنی بر تغییرپذیری زیاد دانه‌بندی رسوبات در مقیاس‌های زمانی و مکانی گوناگون مطابقت دارد. علت تغییرات مشاهده شده در مقدار میانگین وزنی قطر ذرات رسوب در زمان‌های مختلف را می‌توان به اختلاف در میزان بارندگی‌های موجود در تاریخ‌های مورد نظر، تفاوت سرعت جریان ایجاد شده از ورود آب‌های سطحی ناشی از بارندگی و قدرت حمل ذرات رسوب توسط جریان رودخانه‌ای نسبت داد (۲۵).

میانگین وزنی قطر ذرات رسوب در دو ایستگاه

شکل ۴ میانگین وزنی قطر ذرات را در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف هر ماه به صورت جداگانه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ایستگاه مبارک‌آباد میانگین وزنی قطر در ماه‌های آذر و بهمن بالاترین و در مهر ماه کم‌ترین مقدار است. در مورد ایستگاه نوخاله نیز آبان و فروردین بالاترین و مهرماه کمترین مقادیر را نشان می‌دهند. علاوه بر این همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار میانگین به‌دست آمده در ایستگاه مبارک‌آباد که در بالادست مسیر اصلی رودخانه واقع شده است در اکثر نمونه‌برداری‌های انجام شده بیشتر از ایستگاه نوخاله می‌باشد. به‌طوری‌که این مقدار در مبارک‌آباد



شکل ۴- میانگین‌های وزنی قطر ذرات رسوب در ماه‌های مختلف

Figure 4- Comparison of the mean weight diameter of sediment particles in different months

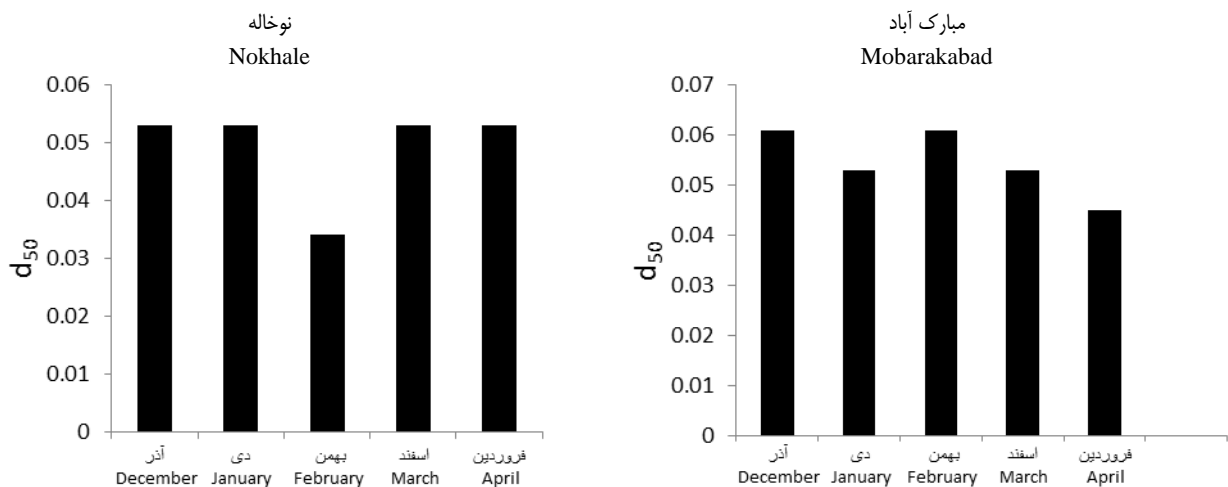
رگبار بر میزان و توزیع اندازه رسوب معلق تأثیر به‌سزایی دارد که با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات ویلیامز و همکاران (۴۲) مطابقت دارد. صادقی و همکاران (۳۱) از d_{90} استفاده کردند و بیان نمودند که در طول رودخانه کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

یکی از ویژگی‌های مهم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی رسوب‌های رودخانه‌ای که تأثیر فراوانی بر فرآیند رسوب‌زایی و مصرف انرژی داشته و بیان‌گر ترکیبات مواد سطح زمین در حوضه آبخیز است، توزیع اندازه ذرات رسوب معلق است. تغییر در اندازه مواد در جهت پایین‌دست رودخانه اطلاعات مهمی را برای علوم مرتبط با حوضه آبخیز فراهم می‌کند که برای طراحی زیرساخت‌های مناسب، بازسازی مناطق تخریب شده و مدیریت صحیح منابع آبی نظیر مخازن ضروری است. آگاهی از توزیع اندازه ذرات رسوب برای طراحی تله‌های رسوب‌گیر و همچنین برآورد و مدیریت انتقال آلاینده‌هایی که همراه ذرات منتقل می‌شوند، کاربرد دارد. در اکثر نمونه‌برداری‌ها در دو ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله، بین دبی جریان و اندازه ذرات رسوب معلق ارتباطی وجود نداشت که می‌تواند به‌دلیل طبیعت غیرهیدرولیکی و تأثیر عوامل دیگر مانند منشأ رسوب، فرسایش‌دهندگی، قابلیت فرسایش و ته‌نشینی در اندازه ذرات رسوب معلق در جریان رودخانه‌ای باشد. مقادیر میانگین وزنی قطر و d_{50} به طور متوسط در ایستگاه مبارک‌آباد $0/062$ و $0/052$ و در ایستگاه نوخاله $0/052$ و $0/047$ میلی‌متر می‌باشد.

قطر میانه d_{50} ذرات رسوب دو ایستگاه

قطر میانه d_{50} ذرات رسوب ایستگاه نوخاله و مبارک‌آباد در شکل ۵ نمایش داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد قطر میانه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد متغیر و مقادیر به‌دست آمده در آن‌ها بین $0/045-0/061$ میلی‌متر تعیین شده است. این در حالی است که در ایستگاه نوخاله در نمونه‌برداری‌های انجام شده مقدار d_{50} ذرات رسوب تقریباً نزدیک به هم و مقدار به‌دست آمده در اکثر نمونه‌ها $0/053$ میلی‌متر است. تنها در یک مورد که در شکل نیز مشخص است مقدار $0/03$ میلی‌متر تعیین گردیده است. والینگ و همکاران (۴۰) به بررسی مولفه‌های اندازه ذرات رسوب‌های معلق در رودخانه هومبر و توود در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف به بررسی تغییرات دبی در زمان وقوع رگبار و در فصل‌های مختلف و تأثیر آن در انتقال توزیع اندازه ذرات و ارتباط بین آن‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که در بعضی ایستگاه‌ها با افزایش دبی، ذرات درشت (d_{50}) افزایش و ذرات ریز کوچک‌تر از دو میکرون کاهش می‌یابد و در بعضی دیگر با افزایش دبی ذرات درشت (d_{50}) کاهش و ذرات ریز افزایش می‌یابد. این در حالی است که در وقایع سیلابی ذرات درشت کاهش و ذرات ریز افزایش داشته‌اند (۴۰). بنابراین به‌طور کلی نتایجی که از مقایسه توزیع اندازه ذرات رسوب دو ایستگاه در بالادست و پایین‌دست رودخانه اصلی حاصل شده است با نتایج تحقیقات ویلیامز و همکاران (۴۳) که مبنی بر تغییرپذیری مکانی اندازه‌ی رسوب‌های معلق است، مطابقت دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نیز دلالت بر تغییرپذیری زیاد دانه‌بندی رسوب در مقیاس‌های زمانی گوناگون داشته است. توزیع اندازه رسوب معلق تحت شرایط عادی و سیلابی بسیار متفاوت می‌باشد و آشفتگی‌های ایجاد شده مثل دبی طی رخداد



شکل ۵- قطر میانه ذرات رسوب در ایستگاه‌های مبارک‌آباد و نوخاله
 Figure 5- The median diameter of sediment particles at Nokhaleh and Mobarakabad stations

داشته است. با توجه به این که این مطالعه در دو ایستگاه هیدرومتری مبارک‌آباد و نوخاله صورت گرفت، پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیش-تری بر روی ایستگاه‌های دیگر موجود در مسیر رودخانه انجام گرفته و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردد. همچنین با توجه به این که توزیع اندازه ذرات رسوب دارای تغییرات زمانی و مکانی می‌باشد، پیشنهاد می‌شود که یک مطالعه بلندمدت با فواصل زمانی و مکانی در فصل‌های مختلف سال صورت گیرد تا تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب و سایر خصوصیات در این فواصل زمانی نیز به دقت مطالعه شود. علاوه بر این توصیه می‌شود که نمونه‌برداری در مکان‌هایی صورت گیرد که تغییرات شیب در آن‌ها شدیدتر است تا تأثیر توپوگرافی از جنبه فرسایشی نیز به طور کامل بررسی شود.

همچنین به طور کلی اندازه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد درشت‌تر بود که این ریزتر بودن رسوب در ایستگاه نوخاله و درشت‌تر بودن آن در ایستگاه مبارک‌آباد را می‌توان به نوع فرسایش نسبت داد. در بالادست به دلیل کوهستانی بودن فرسایش بیش‌تر از نوع خندقی و زمین لغزش، اما در پایین‌دست و به ویژه در اراضی شالیزاری عمدتاً از نوع فرسایش سطحی مانند پاشمانی و ورقه‌ای است. همچنین اندازه ذرات رسوب معلق در رودخانه مورد مطالعه، دارای تغییرات زمانی و مکانی بوده که فرآیندهای رسوب‌زایی مثل فرسایش، انتقال و ته‌نشینی را هم در حوضه آبخیز و هم در کانال رودخانه منعکس می‌کند. توزیع اندازه ذرات رسوب در دو ایستگاه مورد مطالعه، بسیار متفاوت بوده و آشفتگی‌های ایجاد شده مثل دبی در حوضه آبخیز طی رخداد رگبار بر میزان و توزیع اندازه رسوب‌های معلق تأثیر به‌سزایی

منابع

- 1- Abarca M., Guerra P., Guillermo A., Montecinos M., Escauriaza C., Coquery M., and Pastén P. 2017. Response of suspended sediment particle size distributions to changes in water chemistry at an Andean mountain stream confluence receiving arsenic rich acid drainage. *Hydrological Processes* 31: 296–307.
- 2- Ansari Pour A.H., Ebrahimi K., and Omid M.H. 2013. Check the self-purification of river flow with the development and application of mathematical models Case Study: Pasikhan River. *Guilan. Journal of Research in Agricultural Engineering* 14(2): 42-31. (In Persian with English abstract)
- 3- Asadi H., Moussavi A., Ghadiri H., and Rose C.W. 2011. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *Journal of Hydrology* 406: 73–81.
- 4- Asarab Consulting Eng. 2011. Engineering study, Procurement and Construction (EPC) of waterways in Anzali Wetland: Soil Erosion and Sediment. Organization of Agriculture-Jahad of Guilan Province.
- 5- Attal M., and Lave J. 2006. Changes of bed load characteristics along the Marsyandi river central Nepla: implications for understanding hillslope sediment supply, sediment load evolution along fluvial network, and denudation in active orogenic belts. *Geological Society of America Special Paper*, 398: 143-171.
- 6- Danandemehr M.A., and Niksefat GH. 2010. *The Principals of River Engineering*. Second Edition, Dibagaran Press. (In Persian)
- 7- Demur T. 2003. Downstream changes in bed material size and shape characteristics in a small upland stream,

- Cwm Treweryn, in South Wales. *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Center of Hacettepe University, Yerbiiimleri*, 28: 33-47.
- 8- Duan J.G., and Scott S. 2007. Selective bed-load transport in Las Vegas Wash, a gravel-bed stream. *Journal of Hydrology* 342: 320-330.
 - 9- Fernández S., Villanueva U., de Diego A., Arana G., and Madariaga J.M. 2008. Monitoring trace elements (Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn) in deep and surface waters of the estuary of the Nerbioi- Ibaizabal River, (Bay of Biscay, Basque Country). *Journal of Marine Systems* 72: 332-341.
 - 10- Guo W.Z., Xu X., Liu Y., Zhang H., and Zhu M. 2017. Changes in particle size distribution of suspended sediment affected by gravity erosion on the Loess Plateau, China. *Geophysical Research Abstracts* 19: 2017-11271.
 - 11- Haritashya U.K., Kumar A., and Singh P. 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- Jabari A., and Farzi V.H. 2009. Production of sand and sediment transport Razavar results in changing patterns. *Geographical Research Quarterly* 24(2): 145-160. (In Persian with English abstract)
 - 13- Kheirfam H., and Vafakhah M. 2014. Evaluation of gamma test, cluster analysis, discriminant function analysis and Andrews curves methods to separate homogeneous watersheds for regional analysis of suspended sediment. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 4(2): 65-85. (In Persian with English abstract)
 - 14- Kiani Harchegani M., and Sadeghi S.H.R. 2010. Particle size characteristics of suspended sediment transported in River Base and Flood-Flows. *Water and Wastewater Journal* 22(1): 114-117. (In Persian with English abstract)
 - 15- Knighton D.A. 1980. Longitudinal change in size and sorting of stream bed material in our English river. *Geological Society of America Bulletin* 91(1): 55-62.
 - 16- Kodama Y., Daigaku T., and Senta S.J. 2007. Effect of abrasion on downstream gravel size reduction in the Watarase River, Japan: fieldwork and laboratory experiments. *Environmental Research Center, the University of Tsukuba*, 88 Pp.
 - 17- Lee Y.H., and Singh V.P. 1999. Prediction of sediment yield by coupling kalman filter with instantaneous unit sediment graph. *Hydrological Process* 13: 2861-2875.
 - 18- Lenzi M.A., Mao L., and Comiti F. 2003. Inter annual variation of suspended sediment load and sediment yield in an alpine catchment. *Hydrological Sciences Journal* 48(6): 899-915.
 - 19- Mahdavi M. 2011. *Applied Hydrology. Part 1, 7th Edition*. Tehran University Press, 359 Pp. (In Persian)
 - 20- Morisow M. 1968. *Stream; Their Dynamics and Morphology*; Mc. Graw-Hill, New York, N.Y.
 - 21- Muskatirovic J. 2007. Analysis of bedload transport characteristics of Idaho streams and rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 33: 1757-1768.
 - 22- Nino Y. 2002. Simple model for downstream variation of median sediment size in Chilean rivers. *Hydraulic Engineering* 128 (10): 934-941.
 - 23- Nohegar A., and Mahmoudi F.A. 2003. Investigation of effects of harvesting aggregates (sand and gravel) on the river bed and the regime of Minab. *Geographical Studies* 45: 58 -45. (In Persian with English abstract)
 - 24- Ochoa-Cueva P., Fries A., Montesinos P., Rodríguez-Díaz J., and Boll J. 2015. Spatial estimation of soil erosion risk be land-cover change in the Andes of Southern Ecuador. *Land Degradation and Development* 26: 565-573.
 - 25- Ozturk M. 2017. Sediment size effects in acoustic Doppler velocimeter-derived estimates of suspended sediment concentration. *Water* 9(7)529: 2-18.
 - 26- Palacio R.G., Bisigato A.J., and Bouza P.J. 2014. Soil erosion in three grazed plant communities in Northeastern Patagonia. *Land Degradation and Development* 25: 594-603.
 - 27- Parker C., Simon A., and Thorne C.R. 2008. The effects of variability in bank material properties on riverbank stability: Goodwin Creek, Mississippi. *Geomorphology* 101: 533-543.
 - 28- Pizzutom J.E. 1995. Downstream fining in a network of gravel bedded rivers. *Water Resources Research* 31(3): 753-759.
 - 29- Rengers F., and Wohl E. 2007. Trend of grain sizes on gravel bars in the Rio Chagres, Panama. *Geomorphology* 83: 282-293.
 - 30- Rice S. 1999. The nature and controls on downstream fining within sedimentary links. *Journal of Sedimentary Research* 69: 32-39.
 - 31- Sadeghi R.H.S., Khaledi Darvishan A., Vafakhah M., and Gholami L. 2007. Study on changes in morphometric characteristics of bed materials (case study: Vaz watershed, Mazandaran). *Journal of the Iranian Natural Resources* 4: 1197-1185. (In Persian with English abstract)
 - 32- Sadeghi S.H.R., and Zakeri M.A. 2014. Suspended sediment particle size distribution in Kojour River. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 3(2): 73-82. (In Persian with English abstract)
 - 33- Sadeghi S.H.R., and Singh V.P. 2017. Dynamics of suspended sediment concentration, flow discharge and sediment particle size interdependency to identify sediment source. *Journal of Hydrology* 554: 100-110.
 - 34- Sadeghi S.H.R., and Khyrfam H. 2011. The effect takes of sand and gravel on the transport of Suspended load and bed in the river Kojour. *Fifth National Conference of Watershed Management and Soil and Water Resources*

- Management, Kerman, 10 to 11 March, 7. (In Persian)
- 35- Sadeghi S.H.R., and Kiani Harchegani M. 2009. Spatial and temporal changes in the distribution of particle size of suspended sediments of the Kojour River. *Journal of Science and Engineering of Watershed Management of Iran* 3(8): 63-66. (In Persian with English abstract)
- 36- Shi Z.H., Fang N.F., Wu F.Z., Wang L., Yue B.J., and Wu G.L. 2012. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *Journal of Hydrology* 454-455.
- 37- Siakeu J., Oguchi T., Aokic T., Esaki Y., and Jarvie H.P. 2004. Change in riverine suspended sediment concentration in Cental Japan in response to late 20th century human activities. *Catena* 55: 231-254.
- 38- Surian N. 2002. Downstream variation in grain size along an Alpine river: analysis of controls and processes. *Geomorphology* 43: 137-149.
- 39- Van Bavel C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Journal* 14: 20-23.
- 40- Walling D.E., Owens P.H.N., Waterfall B.D., leeks G.J.L., and Wass P.D. 2000. The Particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments. UK. *The Science of the Total Environment*, 251/252: 205-222.
- 41- Whitaker A., and Potts C. 2007. Coarse bed load transport in an alluvial gravel bed stream, Dupuyer Creek, Montana. *Earth Surface Processes and Landforms* 32(13): 1984-2004.
- 42- Williams N.D., Walling D.E., and Leeks G.J.L. 2007. High temporal resolution in situ Measurement of the effective particle size characteristics if fluvial suspended Sediment. *Water Research* 41: 1081-1093.
- 43- Williams N.D., Walling D.E., and Leeks G.J.L. 2008. An analysis of the factors contributing to the settling potential of fine fluvial sediment. *Hydrological Processes* 22: 4153-4162.
- 44- Woodward J.C., and Walling D.E. 2007. Composite suspended sediment particles in river systems: their incidence, dynamics and physical characteristics. *Hydrological Processes* 21: 3601- 3614.
- 45- Xu G. 2000. Grain-size Characteristics of suspended load sediment of the Yellow River, China. *Catena* 43(2): 176-186.
- 46- Xu G. 2002. Implication of relationships among suspended sediment size. Water discharge and suspended sediment concentration: The Yellow River basin, China. *Catena* 49: 289-307.
- 47- Xu G. 2013. Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China. *Catena* 101: 17-23.

The Study of Temporal and Spatial Changes of Suspended Sediment Particles' Size Distribution in Pasikhan River in Guilan Province

M. Ebrahimi¹ - H. Asadi^{2*} - A. Sharifi³ - E. Ebrahimi⁴

Received: 08-10-2018

Accepted: 15-04-2019

Introduction: The study of physical properties of suspended sediments is one of the main topics in river studies. Sediment size distribution is one of the sediment physical properties which indicate the relation between the sediment source and its sedimentation process in watersheds. It is also important for prediction of the load of non-point source pollution, and for planning sediment trap structures. The Anzali Wetland, located on the southern coast of the Caspian Sea in northern Iran, is a large complex of freshwater lagoons with extensive reed-beds, shallow impoundments and seasonal flooded meadows. Environmental conditions in the Anzali Wetland have been degraded due to the increased inflow of sewerage, wastewater and solid waste from the industry, agriculture and urban area, and sediment from the upper stream mountainous area. The lagoon has decreased in size since the 1930s to less than a quarter of its former extent. The aim of the present study was to assess the changes in size distribution of suspended sediment in Pasikhan River as the most important river interring to Anzali Wetland.

Material and Methods: Pasikhan River originates from the South Mountains, has two branches namely Siahmezgi and Imamzadeh Ebrahim. The sampling carried out during a seven month time period (October 2013 to April 2014) at two hydrometric stations; Mobarakabad (upstream) and Nokhaleh (downstream). The samples were collected in 15 days intervals by depth-integration technique at normal condition. Particle size distribution was measured by Pipette method based on Stocks law. The mean weight diameter (MWD) of sediment particles was calculated, the sediment size distribution curve was drawn and the median grain size (d_{50}) was calculated. According to the European classification, the particles size distribution was divided into four groups of fine sand (0.2 mm), coarse silts (0.06 mm), medium silt (0.02 mm), and fine silt and clay (equal to and less than 0.006 mm). The data were compared for each sampling time for both Stations. Flow discharge and suspended sediment load were also determined at each sampling date.

Results and Discussion: At the Nokhaleh station, the maximum observed flow discharge and sediment concentration were 51.4 m³/s and 4.162 g/L, occurred in February 4, 2014 and November 3, 2013, respectively. The highest flow discharge and sediment concentration of the Mobarakabad were 9.8 m³/s and 2.633 g/L which were observed on February 19, 2014 and April 4, 2014, respectively. These changes and differences were partly due to topography and land use differences between upland and lowland and partly due to rainfall pattern. Results showed that the MWD and d_{50} were 0.062 and 0.052 mm on average, respectively at Mobarakabad station, and 0.055 and 0.051 mm, respectively at Nowkhaleh station. The maximum values of MWD and d_{50} were observed to be 0.07 and 0.061 mm, respectively at normal condition at Mobarakabad station. The study of sediment size distribution indicated that the particles smaller than 2 mm comprised 83-94 percent of the suspended sediment at Mobarakabad station, and 87-99 percent at Nokhaleh station. The percentage of particles smaller than 0.02 mm were observed to be 12-33 and 10-64 at Mobarakabad and Noukhaleh stations, respectively. Also the amount of fine silt and clay in suspended sediment were 3-16 and 5-24 percent at these stations. There was not any correlation between flow discharge and sediment concentration or sediment size distribution characteristics.

Conclusion: In most of the samples, there was not any relationship between the flow discharge and particle size distribution of suspended sediment which emphasize on the non-hydraulic nature of sediment transport and the effects of different factors including sediment sources, the season, transport energy, rainfall erosivity, soil erodibility and deposition process. Generally, the size of sediment particles at Mobarakabad station was coarser

1 and 4- Graduate M.Sc. Student and Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

2- Associate Professore, Soil Science Department, University of Tehran

(*- Corresponding Author Email: ho.asadi@ut.ac.ir)

3- Ph.D. Student, Soil Science Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

than Nokhaleh station. This could be due to the type of soil erosion which is different at upstream and downstream. In upstream regions, mainly because of severity of topography and vegetation cover including forest and rangeland, the occurrence of gully erosion and landslide is higher in comparison with surface soil erosion. But in downstream especially in paddy fields, the soil erosion type is mainly splash and sheet erosion. Also the cultivation practices including plowing and paddling of the field usually provides fine particles entering to the river. In addition, the river profile is very gentle at the plain before the Nokhaleh station which resulted in deposition of coarser particles.

Keywords: Erosion, Mean diameter, Mean weight diameter, Pipet method, Sediment load