

## تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در رسوبات پشت بندهای اصلاحی متوالی

فرخ اسدزاده<sup>\*</sup>، عباس صمدی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲. استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

### چکیده

بندهای اصلاحی به طور گسترده در پروژه‌های مهار فرسایش اراضی بالادست حوزه‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این سازه‌ها با به دام انداختن بار رسوبی جریان‌های سیلابی، مقدار رسوب ورودی به رودخانه‌های اصلی را مهار کرده و کاهش می‌دهند. رسوبات انباشته‌شده در پشت بندها با کاهش شیب آبراهه امکان استقرار گیاهان و آغاز عملیات بیولوژیکی کنترل فرسایش خاک را فراهم می‌آورند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات انباشته‌شده در پشت بندها نقش مهمی در تعیین رفتار آن‌ها از جنبه‌های مختلف نظیر نگهداشت آب و نفوذ آن در خاک و نگهداشت عناصر غذایی و آلاینده‌ها ایفا می‌نماید. از این رو، هدف از این مطالعه، بررسی تحلیلی ویژگی‌های رسوبات تعدادی از بندهای اصلاحی متوالی بود. برای این منظور ۴ آبراهه در دو منطقه از شهرستان ارومیه در شمال غرب ایران انتخاب شد. نتایج نشان داد که میانگین مقدار شن در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ها بین ۵۴/۴ تا ۸۸/۴ درصد متغیر بوده و بافت نمونه‌های رسوب نیز اغلب شنی تا لوم‌شنی بوده است. به دلیل خروج ذرات ریز رسوبات از سیستم بندهای متوالی، رسوبات پشت بندها در مقایسه با خاک دامنه از نظر عناصر غذایی فقیرتر بوده و میانگین نسبت غنی شدن عناصر  $P$ ،  $K$  و  $N$  در رسوبات به ترتیب برابر با ۰/۵۳، ۰/۶۶ و ۰/۱۶ به دست آمد. در بندهای نیمه‌پر به دلیل وقوع فرآیند ترسیب انتخابی، ویژگی‌های رسوبات در طول آبراهه به شکل منظم تغییر یافته و مقدار رس و عناصر غذایی در بندهای پایین دست بیش تر از بندهای بالادست بود. در مجموع بندها توانایی نگهداشت تمامی ذرات رسوب جریان‌های سیلابی را نداشته و بخش زیادی از ذرات با قطر کم‌تر از ۲ میکرون به صورت بار معلق بندها را ترک می‌نمایند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ویژگی‌های رسوبات شامل،  $pH$ ،  $EC$ ، ماده آلی، فسفر، نیتروژن، پتاسیم، رس، شن و سیلت نشان داد که مقدار شن و سیلت به همراه محتوای عناصر غذایی فسفر، نیتروژن و پتاسیم نقش مهمتری در تبیین ویژگی‌های رسوبات داشته و به عنوان ویژگی‌های کلیدی در تفکیک نمونه‌های رسوب بندها محسوب می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی:** نسبت غنی شدن، توزیع اندازه رسوبات، مدل فردلاند، رسوب‌گذاری انتخابی

### مقدمه

قابلیت تولید اراضی محسوب می‌شوند (Morgan, 2005). به طور کلی کمیت تلفات عناصر غذایی در ارتباط مستقیم با غلظت آن‌ها در خاک‌های بالادست بوده و به سه طریق آبشویی توسط جریان آب نفوذ یافته در خاک، انتقال به صورت محلول توسط رواناب و انتقال از طریق اتصال به ذرات رسوب و حرکت با آن‌ها؛ انجام می‌شود (Baker and Lafren, 1983).

کاهش اثرات زیان‌بار فرسایش خاک از طریق روش‌های مختلفی نظیر استقرار پوشش گیاهی، انجام روش‌های خاک-ورزی حفاظتی، تراس‌بندی و احداث بندهای اصلاحی انجام می‌شود. در بین روش‌های مذکور احداث بندهای اصلاحی در آبراهه‌های اراضی بالادست از مهم‌ترین اقدامات مکانیکی مهار فرسایش خاک است که هدف اصلی از احداث آن‌ها کاهش مقدار رسوب ورودی به رودخانه‌های اصلی و متعاقب آن به پشت

تلفات عناصر غذایی توسط فرسایش خاک از اراضی بالادست از مهم‌ترین اثرات فرسایش خاک از جنبه‌ی اقتصادی و زیست‌محیطی محسوب می‌شود. فرسایش خاک، قابلیت تولید اراضی کشاورزی را از طریق کاهش عمق خاک و تخلیه عناصر غذایی آن تحت تأثیر قرار می‌دهد. با وجود اهمیت تلفات عناصر غذایی از طریق فرسایش خاک، مطالعات اندکی در زمینه‌ی کمی‌سازی آن صورت گرفته و اغلب مطالعات فرسایش خاک معطوف به مدل‌سازی حرکت فیزیکی ذرات خاک بوده است. تخریب ساختمان خاک، کاهش کربن آلی، کاهش عمق خاک و تلفات عناصر غذایی به عنوان چهار عامل اصلی در کاهش

انتشار می‌یابد. بر اساس این یافته‌ها، آن‌ها بر نقش کلیدی بندهای اصلاحی در چرخه‌ی کربن در طبیعت تأکید نموده‌اند. در ایران نیز مطالعات متعددی در رابطه با بندهای اصلاحی صورت گرفته است که اغلب این پژوهش‌ها بر مبنای کاربرد حجم رسوبات پشت بندها به منظور توسعه، واسنجی و نیز اعتبارسنجی مدل‌های برآورد رسوب در حوزه‌های کوچک (Boroshkeh and Arabkhedri, 2015; Hashemi and Arabkhedri, 2008; Hashemi and Arabkhedri, 2010; Boroshkeh and Arabkhedri, 2013) بوده و در آن‌ها، کمتر به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات پشت بندها پرداخته شده است. در معدود پژوهش‌های مربوط به ویژگی‌های رسوبات بندها نیز بیشتر بر بافت و دانه‌بندی رسوبات تأکید شده و محتوای عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های آن‌ها مورد توجه نبوده است. برای نمونه (Hassanli et al., 2009) اقدام به بررسی وضعیت دانه‌بندی ذرات رسوب انباشته شده در بندهای گابیونی واقع در منطقه‌ی درودزن استان فارس نمودند. نتایج آن‌ها نشان دهنده‌ی اهمیت بندهای واقع در پایین‌دست آبراهه در مهار ذرات ریز رسوبات و عناصر غذایی همراه آن‌ها است. Abbasi et al. (2008) نیز با بررسی عملکرد بندهای گابیونی در مناطق بالادست حوزه‌ی سد کارده در مشهد گزارش نمودند که ذرات با اندازه‌های شن درشت و ریز دارای بیشترین فراوانی در نمونه‌های رسوب بندهای گابیونی می‌باشند. پژوهش Shahbazi et al. (2013) در ۱۶ بند اصلاحی در منطقه‌ی طالقان نشان داد که عملکرد بندهای گابیونی در به دام انداختن ذرات ریز رسوب شامل سیلت و رس ضعیف است؛ بر اساس این یافته آن- نفوذناپذیر دارند، تأکید کرده‌اند.

مرور منابع به روشنی نشان می‌دهد که به‌رغم اهمیت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات پشت بندها از نظر نگه‌داشت و نفوذ دادن آب در خاک، فراهم کردن بستر رشد گیاهان به منظور آغاز عملیات بیولوژیکی مهار فرسایش و نیز کنترل آزادسازی آلاینده‌ها و عناصر غذایی در جریان رواناب، توجه چندانی به این ویژگی‌ها نشده و اطلاعات موجود در این زمینه تنها محدود به چند مطالعه‌ی ذکر شده می‌باشد. بر این اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تحلیلی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات نظیر دانه‌بندی، محتوای عناصر غذایی پرمصرف (N، P و K)، مقدار ماده‌ی آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی در تعدادی آبراهه که دارای بندهای متوالی سنگی ملاتی بودند، صورت گرفته است. همچنین در این پژوهش به منظور تعیین نسبت غنی شدن عناصر غذایی و سایر ویژگی‌ها، محتوای رسوبات با محتوای خاک دامنه از حیث ویژگی‌های

مخازن سدها است (Abedini et al., 2012). اما واقعیت این است که بندهای اصلاحی دارای نقشی چند کارکردی در طبیعت هستند؛ به طوری که نگه‌داشت خاک و آب، تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی، استحصال آب، مهار جریان‌های سیلابی و پیشگیری از صدمات ناشی از سیل در اراضی پایین‌دست می‌تواند از پیامدهای احداث این سازه‌ها باشد (Lu et al., 2012). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تجمع رسوبات در پشت این بندها در طول زمان سبب کاهش شیب طولی پروفیل آبراهه‌ها شده و فرصت استقرار گیاهان به منظور شروع اقدامات بیولوژیکی مهار فرسایش و آلودگی را فراهم می‌آورد. نگه‌داشت عناصر غذایی و کربن آلی در پشت بندهای اصلاحی همراه با ذرات رسوب می‌تواند نقشی بسیار مهم در چرخه‌ی این عناصر و نیز قابلیت استقرار گیاهان در پشت آن‌ها داشته باشد (Romero-Diaz et al., 2012; Lu et al., 2012). از سوی دیگر نگه‌داشت ذرات رسوب و عناصر غذایی همراه آن‌ها توسط این سازه‌ها نقش مهمی در کنترل اثرات آلاینده‌ی فرآیند فرسایش خاک داشته و می‌تواند به نوبه‌ی خود از بسیاری از معضلات زیست‌محیطی نظیر به‌پروردگی<sup>۱</sup> در اراضی پایین‌دست را کاهش دهد. اما به‌رغم این اهمیت، تاکنون توجه اندکی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و مقدار عناصر غذایی موجود در رسوبات پشت بندها شده است. Romero-Diaz et al. (2012) به اهمیت مطالعه‌ی رسوبات پشت بندهای اصلاحی اشاره نموده و با انتخاب ۱۸ بند به صورت تصادفی در جنوب شرقی اسپانیا گزارش نمودند که رسوبات پشت بندها از نظر مقدار رس مشابه خاک‌ها بالادست بوده ولی مقدار سیلت آن‌ها نسبت به خاک‌های دامنه‌های بالادست بیش‌تر است بر اساس نتایج آن‌ها بافت رسوبات پشت بندها در اغلب موارد لوم متمایل به سیلتی بوده و در برخی از موارد نیز لوم شنی است. این پژوهش‌گران دریافتند که مقدار عناصر غذایی موجود در رسوبات پشت بندها کم است که دلیل آن می‌تواند وجود محل‌های ترسیب خارج از بند در طول آبراهه و نیز نقش مواد مادری در تولید رسوبات با محتوای کم عناصر غذایی باشد. Lu et al. (2012) در منطقه‌ای به وسعت ۳۷۰۰۰ کیلومترمربع در چین، مقدار کربن ذخیره شده در رسوبات پشت بندها را تخمین زده و گزارش نمودند که بندهای اصلاحی در حدود ۴۲/۳ میلیون تن کربن آلی در خود نگه داشته‌اند که معادل با ۱/۴۸ درصد از کل کربن آلی موجود در ۴۰-۰ سانتی-متری خاک‌های منطقه است. این پژوهش‌گران تخمین زده‌اند که این مقدار کربن آلی، تقریباً برابر با ۴ درصد از کل کربنی است که توسط سوخت‌های فسیلی در کشور چین به اتمسفر

مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

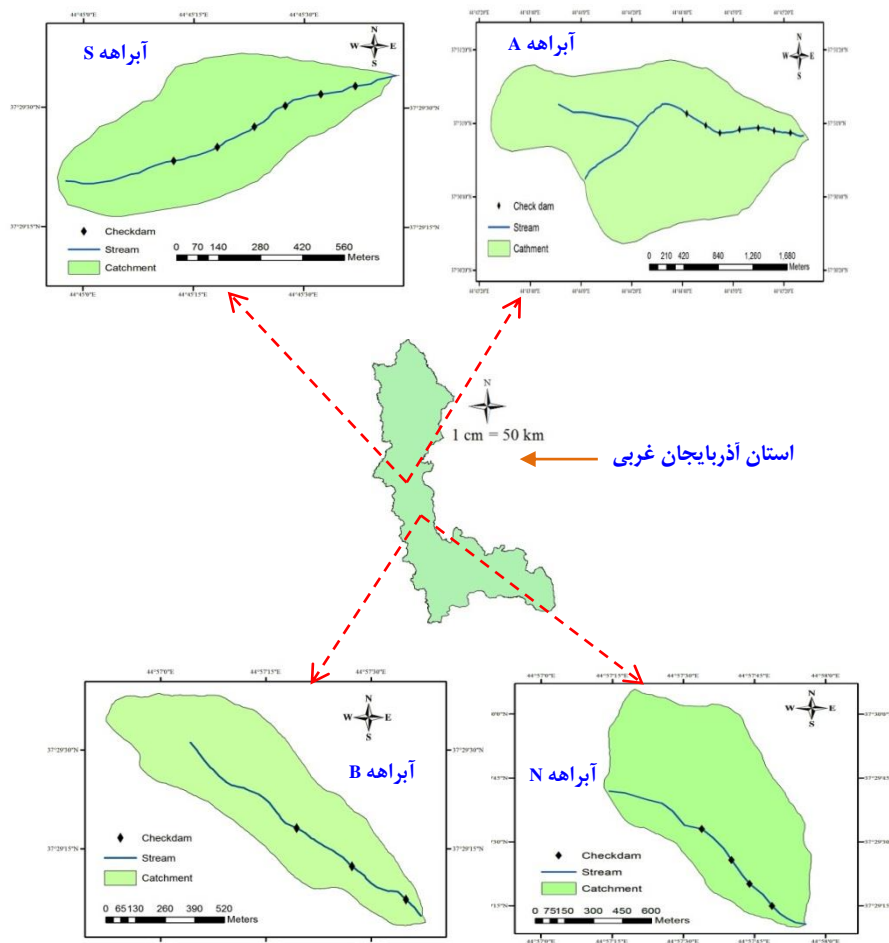
### منطقه مورد مطالعه

به منظور انجام این پژوهش دو منطقه‌ی خلیفتان و نوشان در اطراف ارومیه انتخاب شد. در هر منطقه نیز دو آبراهه که تعدادی بند اصلاحی متوالی روی آن‌ها احداث شده‌اند؛ انتخاب شده و نمونه‌برداری از رسوبات این بندها صورت گرفت. منطقه‌ی خلیفتان در ۴۰ کیلومتری غرب ارومیه واقع شده، میانگین بارش سالانه آن برابر ۵۶۶/۶ میلی‌متر بوده و میانگین سالانه دما نیز برابر با ۶/۸ درجه سانتی‌گراد است. منطقه‌ی نوشان نیز در ۱۰ کیلومتری جنوب غرب شهر ارومیه واقع شده و میانگین بارش و دمای سالانه در این منطقه به ترتیب برابر با ۶۰۵ میلی-متر و ۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب در هر دو منطقه زریک و مزیک است. خاک‌های هر دو منطقه بر اساس Soil Taxonomy به دو رده انتی‌سول‌ها (تحت رده Orthent) و اینسپتی‌سول (تحت رده Xerepts) طبقه‌بندی شده‌اند. در منطقه‌ی خلیفتان دو آبراهه انتخاب شد که به ترتیب با کدهای A (روستای انبی) و S (روستای سلوک) مشخص شدند. در منطقه‌ی نوشان نیز دو آبراهه با کدهای N

(روستای نوشان) و B (روستای بند) انتخاب شدند. آبراهه‌های A، S، N و B به ترتیب دارای ۷، ۶، ۴ و ۳ بند اصلاحی سنگی ملاتی بودند. بندهای موجود در آبراهه‌ها به ترتیب از بند بالادست به طرف بند پایین‌دست شماره‌گذاری شدند. به طوری که اولین بند موجود در بالادست آبراهه با شماره ۱ و بقیه بندها نیز به ترتیب بر اساس آن شماره‌گذاری شدند. به این ترتیب بندهای آبراهه‌ی A از CHA1 تا CHA7، بندهای آبراهه‌ی S از CHS1 تا CHS6، بندهای آبراهه‌ی N از CHN1 تا CHN4 و بندهای آبراهه‌ی B از CHS1 تا CHB3 کدگذاری شدند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی بندهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین در جدول (۱) مختصات جغرافیایی دقیق محل بندها به همراه برخی ویژگی‌های دیگر آن‌ها نظیر ارتفاع و طول دیواره اصلی بند ارائه شده است. انتخاب آبراهه‌ها به نحوی انجام شده که سه سناریوی مختلف در آن‌ها به وقوع پیوسته است به این شکل که بندهای آبراهه‌های A و B نیمه‌پر بوده و همچنان توانایی نگهداشت رسوبات جریان‌های سیلابی را دارند. بندهای آبراهه‌ی N کاملاً پر از رسوبات بوده و بندهای آبراهه‌ی S به‌رغم نیمه‌پر بودن مواجه با فعالیت‌های انسانی از قبیل چرا و نگاهداشت احشام، برداشت رسوبات و عبور و مرور هستند.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های فیزیکی بندهای مورد مطالعه

منطقه	کد آبراهه	کد بند	موقعیت جغرافیایی محل احداث بند				ویژگی‌های فیزیکی بند	
			طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	ارتفاع دیواره (متر)	طول دیواره (متر)	
B		CHB1	۴۴/۹۵۵	۳۷/۴۸۹	۱۵۳۶	۵	۲۶	
		CHB2	۴۴/۹۵۶	۳۷/۴۸۷	۱۵۴۲	۵	۲۳	
		CHB3	۴۴/۹۶۰	۳۷/۴۸۵	۱۴۹۲	۵	۳۳/۵	
N		CHN1	۴۴/۹۶۱	۳۷/۴۹۱	۱۵۰۱	۶/۵	۴۰	
		CHN2	۴۴/۹۶۳	۳۷/۴۸۸	۱۴۸۵	۵	۴۹/۵	
		CHN3	۴۴/۹۶۴	۳۷/۴۸۷	۱۴۸۴	۵	۳۸	
		CHN4	۴۴/۹۶۶	۳۷/۴۸۶	۱۴۵۱	۵	۴۷	
S		CHS1	۴۴/۷۶۵	۳۷/۴۹۹	۱۹۱۹	۴	۲۵	
		CHS2	۴۴/۷۶۶	۳۷/۴۹۹	۱۹۰۱	۴	۱۹	
		CHS3	۴۴/۷۶۹	۳۷/۴۹۹	۱۸۸۲	۴	۱۴	
		CHS4	۴۴/۷۷۰	۳۷/۴۹۸	۱۸۷۳	۴	۱۶	
		CHS5	۴۴/۷۷۴	۳۷/۴۹۷	۱۸۶۵	۴	۲۱	
		CHS6	۴۴/۷۸۰	۳۷/۴۹۶	۱۸۴۶	۴	۳۵	
A		CHA1	۴۴/۷۴۹	۳۷/۵۱۶	۱۹۰۷	۶	۴۵	
		CHA2	۴۴/۷۵۱	۳۷/۵۱۷	۱۸۷۵	۶	۴۱	
		CHA3	۴۴/۷۵۳	۳۷/۵۱۶	۱۸۶۲	۶	۶۳	
		CHA4	۴۴/۷۵۶	۳۷/۵۱۱	۱۸۵۵	۶	۴۱	
		CHA5	۴۴/۷۵۸	۳۷/۵۱۶	۱۸۴۹	۶	۴۹	
		CHA6	۴۴/۷۵۹	۳۷/۵۱۶	۱۸۴۰	۶	۶۰	
		CHA7	۴۴/۷۶۰	۳۷/۵۱۹	۱۸۲۹	۶	۴۹	



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبراهه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی

### نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از هر بند در مکانی نزدیک به دیواره بند و در امتداد آن یک نمونه‌ی مرکب از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه شد (Wang *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 1999). در نمونه‌برداری از بندها دقت شد تا حتی‌الامکان از مناطق نزدیک به دیواره‌ی آبراهه نمونه‌برداری نشود تا از اختلاط خاک‌های مجاور دیواره با نمونه‌های رسوب جلوگیری شود (Romero-Diaz *et al.*, 2012). نمونه‌های رسوب پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. توزیع اندازه‌ی ذرات به روش Gee and Bauder (1986) تعیین شد؛ به این ترتیب که جرم معینی از نمونه‌ها با محلول پراکنش (هگزامتاسفات سدیم) تیمار شده توزیع اندازه ذرات آن با استفاده از روش هیدرومتری و قرائت در زمان‌های ۳۰ ثانیه تا ۴۸ ساعت تعیین شد. با توجه به محدودیت هیدرومتر در تعیین توزیع اندازه ذرات با اندازه شن، نمونه‌های پراکنده شده پس از انجام هیدرومتری روی الک ۰/۵۳ میلی‌متر شستشو داده شده و توزیع ذرات شن جدا شده نیز با استفاده از سری الک‌های ۱،

۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۵ میلی‌متری تعیین شد. در نهایت با توجه به نتایج هیدرومتری و الک، منحنی کاملی از توزیع اندازه ذرات رسوب به دست آمد. قابلیت هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها در عصاره اشباع؛ ماده آلی به روش والکی- بلک؛ ظرفیت تبادل کاتیونی با روش استات سدیم یک مولار؛ فسفر قابل استفاده با روش اولسن؛ پتاسیم قابل استفاده با روش استات آمونیوم یک نرمال (Rowell, 1994) و نیتروژن کل به روش کج‌لدال (Bremner and Mulvaney, 1982) تعیین شدند. به منظور مقایسه ویژگی‌های شیمیایی و توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب با خاک‌های دامنه‌های مشرف به بندها، در هر آبراهه و از حوزه‌ی مربوط به بندها تعداد ۳ نمونه خاک از دامنه‌های مشرف در همان عمق و به همان شکل تهیه شده و خصوصیات نمونه‌های خاک نیز همانند رسوبات تعیین گردید (Hassanli *et al.*, 2009; Romero-Diaz *et al.*, 2012). نمونه‌های خاک دامنه برای آبراهه‌های A، S، N و B به ترتیب با کدهای A(OS)، S(OS)، N(OS) و B(OS) مشخص شدند. در این پژوهش به منظور پیوسته نمودن داده‌های مربوط

درشت‌تر بوده و در کلاس‌های شنی و شن‌لومی قرار می‌گیرند که این مشاهدات با گزارش‌های (Hassanli *et al.*, 2009) و همچنین (Romero-Diaz *et al.*, 2012) مشابهت دارد. به نظر می‌رسد که این اختلاف در نتیجه‌ی این واقعیت باشد که بخش مهمی از ذرات موجود در جریان‌های سیلابی به صورت معلق از بندها عبور نموده‌اند. از سوی دیگر درصد سیلت در خاک دامنه-ی هر چهار آبراهه به نسبت شن و رس بیش‌تر می‌باشد که این امر می‌تواند سبب افزایش حساسیت خاک‌ها نسبت به فرسایش و تشدید تولید رسوب شده باشد (Morgan, 2005). در رابطه با سایر ویژگی‌های شیمیایی مانند مقادیر عناصر غذایی پرمصرف (K و P، N) نیز اختلاف بین رسوبات بندها و خاک دامنه تقریباً هم‌سو با اختلاف در بافت بوده و به موازات درشت‌تر شدن بافت رسوبات در بندها، مقدار عناصر غذایی پرمصرف نیز کاهش یافته است. مقدار کربن آلی در نمونه‌های رسوبات بندها نیز اغلب کم بوده و میانگین آن برای چهار آبراهه بین ۰/۲۷ تا ۰/۸۱ درصد بود. کربن آلی نسبتاً کم در نمونه‌ها می‌تواند در اثر بافت درشت رسوبات و همچنین قابلیت انتقال بالای مواد آلی توسط جریان‌های رواناب سیلابی به دلیل چگالی پایین آن‌ها باشد (Bao *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007; Tejada and Gonzalez, 2008; Onda *et al.*, 2010).

در (Wang *et al.*, 2007) و (Bao *et al.*, 2005) داده‌های خود مقادیر کربن آلی در رسوبات را بین ۰/۲۹ تا ۰/۴۳ درصد گزارش نموده‌اند. به نظر می‌رسد دلیل بیش‌تر بودن نسبی کربن آلی در رسوبات آبراهه‌ی A در مقایسه با سایر آبراهه‌ها، استقرار پوشش گیاهی در رسوبات پشت بندهای پایین‌دست این آبراهه و تأثیر این پوشش در ارتقای ماده آلی باشد. اسیدیته رسوبات نیز اغلب در محدوده‌ی خنثی بود. به طوری که میانگین pH در نمونه‌های رسوب مربوط به هر چهار آبراهه در محدوده ۶/۸-۷/۱ قرار داشت.

رسوب از نظر هدایت الکتریکی در محدوده ۱/۶-۰/۶۸ دسی‌زیمنس بر متر بوده و به عنوان رسوبات غیرشور محسوب می‌شوند که علت آن را می‌توان به بافت سبک شنی و لوم‌شنی در آن‌ها نسبت داد که امکان آبشویی عمقی املاح را فراهم می‌سازد و از سوی دیگر شستشوی رسوبات با جریان‌های رواناب سطحی در آبراهه می‌تواند سبب کاهش هدایت الکتریکی رسوبات شود (Sun and Gu, 2011). مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌ها نیز تابعی از چگونگی تغییرات بافت و ماده آلی بوده و در نمونه‌های رسوب کم‌تر از خاک دامنه است (Romero-Diaz *et al.*, 2012). مقدار نیتروژن که به عنوان یک عنصر کلیدی در رشد گیاهان محسوب می‌شود در ارتباط مستقیم با

به توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رسوب و خاک دامنه، از مدل فردلاند (Fredlund *et al.*, 2000) مطابق معادله‌ی زیر؛ استفاده شد.

(رابطه ۱)

$$F(d) = \left[ \ln \left( \exp(1) + \left( \frac{a}{d} \right)^n \right) \right]^{-m} \times \left[ 1 - \left( \frac{\ln \left( 1 + \frac{d_f}{d} \right)}{\ln \left( 1 + \frac{d_f}{d_m} \right)} \right)^7 \right]$$

در این معادله F(d) فراوانی تجمعی ذرات با اندازه d بوده و a، n، m و  $d_f$  ضرایب معادله هستند که با استفاده از برازش معادله‌ی فوق بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی توزیع اندازه ذرات به دست می‌آیند. برازش مدل مذکور بر روی داده‌های مشاهده‌ای از طریق رگرسیون غیرخطی و با بهینه‌سازی مجموع مربعات خطا با کاربرد نرم‌افزار MATLAB 7.11 انجام شد.

در آبراهه‌های A و S به دلیل وجود تعداد مناسب بند (به ترتیب ۷ و ۶ بند) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در رسوبات بندها با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی<sup>۲</sup> (PCA) مورد تحلیل قرار گرفت. از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به منظور تشخیص مشابهت رسوبات بندهای هر آبراهه از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده شده و برای تأیید نتایج حاصل از خوشه‌بندی و شناخت بهتر روابط موجود بین ویژگی‌های رسوبات، تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی نیز روی داده‌های خصوصیات شیمیایی و فیزیکی رسوبات انجام شد. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار MINITAB 14 انجام شد.

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های رسوب و خاک اصلی

میانگین مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات انباشته شده پشت بندها و خاک اصلی مربوط به دامنه‌های هر یک از آبراهه‌ها در جدول‌های (۲ و ۳) ارائه شده است. از نکات مهم در این جداول کم بودن انحراف معیار ویژگی‌های خاک‌های دامنه‌ی آبراهه‌ها بود که نشان می‌دهد دامنه‌های آبراهه‌ها دارای ویژگی‌های خاک کم و بیش مشابهی هستند. از این رو در مقایسه‌های بعدی میانگین ویژگی‌های خاک دامنه با ویژگی‌های رسوبات هر بند مورد مقایسه قرار گرفته است (Romero-Diaz, *et al.*, 2012). نتایج مربوط به بافت نمونه‌های رسوب و خاک دامنه، نشان می‌دهد که بافت رسوبات در مقایسه با بافت خاک دامنه،

1. Hierarchical Cluster Analysis  
2. Principle Component Analysis

مقدار ماده آلی رسوبات است چرا که بیش از ۹۹ درصد نیتروژن کل اغلب به شکل آلی بوده و از این رو افزایش ماده آلی سبب افزایش در مقدار نیتروژن کل شده است ( Romero-Diaz *et al.*, 2012). مقدار میانگین پتاسیم و فسفر قابل استفاده در رسوبات در مقایسه با خاک دامنه کم بوده و برای فسفر مقدار آن در رسوبات بین ۱/۸-۸/۵ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود.

مقدار ماده آلی رسوبات است چرا که بیش از ۹۹ درصد نیتروژن کل اغلب به شکل آلی بوده و از این رو افزایش ماده آلی سبب افزایش در مقدار نیتروژن کل شده است ( Romero-Diaz *et al.*, 2012).

جدول ۲- میانگین درصد ذرات شن، سیلت و رس در رسوبات بندها و خاک دامنه در چهار آبراهه

آبراهه	نمونه	شن	سیلت	رس	طبقه بافتی
		درصد			-
B	خاک دامنه	۲۰/۸±۵/۸	۴۶/۰۷±۴/۷	۳۳/۰۷±۱/۷	Clay loam
	رسوب بندها	۵۴/۴±۲۴/۶	۳۴/۷±۱۵/۳	۱۰/۹±۹/۸	Sandy loam
N	خاک دامنه	۲۹/۴±۴/۳	۴۳/۶±۲/۶	۲۷/۱±۴/۴	Clay loam
	رسوب بندها	۸۸/۴±۲/۹	۷/۷±۲/۵	۳/۹±۲/۳	Sand
S	خاک دامنه	۵۹/۲±۱/۳	۲۹/۰±۵/۵	۱۲/۰±۳/۸	Sandy loam
	رسوب بندها	۵۸/۷±۶/۲	۲۹/۷±۶/۶	۱۱/۷±۴/۷	Sandy loam
A	خاک دامنه	۳۵/۱±۵/۷	۴۴/۰±۷/۶	۲۱/۰±۳/۴	Loam
	رسوب بندها	۶۴/۶±۲۶/۹	۲۷/۷±۲۰/۴	۷/۷±۶/۹	Sandy loam

جدول ۳- میانگین ویژگی‌های شیمیایی در رسوبات بندها و خاک اصلی متناظر با آن در آبراهه‌ها

آبراهه	نمونه	ماده آلی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	CEC	pH	EC
		درصد	mgkgsoil <sup>-1</sup>			cmolkg <sup>-1</sup>	-	dSm <sup>-1</sup>
B	خاک دامنه	۰/۴۹±۰/۰۲	۳۷۲/۰±۲/۵	۱۲/۳±۰/۹	۴۹۰/۰±۲۳/۴	۱۸/۸±۰/۴	۷/۹±۰/۰۲	۱/۳۶±۰/۰۶
	رسوب بندها	۰/۴۰±۰/۰۲۵	۲۷۷/۳±۵۰/۳	۶/۴±۲/۴	۳۲۲/۰±۱۱۲/۶	۱۱/۰±۳/۹	۷/۲±۰/۰۳۳	۱/۳۸±۰/۰۱۹
N	خاک دامنه	۱/۳۷±۰/۰۰۷	۷۴۵/۷±۱۰/۷	۵/۲±۰/۳	۹۸۰/۰±۹/۱	۲/۱۸±۰/۰۴	۸/۲±۰/۰۳	۰/۹۰±۰/۰۰۸
	رسوب بندها	۰/۲۷±۰/۰۰۴	۲۳۶/۰±۳/۸	۱/۸۰±۰/۰۲	۳۲۶/۸±۳۶/۸	۷/۵±۰/۰۸	۷/۱±۰/۰۲۳	۰/۹۵±۰/۰۱۸
S	خاک دامنه	۰/۳۴±۰/۰۰۵	۲۸۱/۸±۲/۵	۹/۹±۰/۰۵	۷۳۰/۳±۱۱/۶	۱۵/۴±۰/۰۲	۷/۸±۰/۰۰۶	۰/۴۸±۰/۰۰۱
	رسوب بندها	۰/۷۰±۰/۰۳۸	۲۵۴/۲±۳۴/۵	۸/۵±۰/۰۸	۵۹۵/۰±۳۰/۲	۱۳/۸±۱/۸	۷/۱±۰/۰۱۰	۰/۶۸±۰/۰۱۵
A	خاک دامنه	۲/۲۳±۰/۰۱۲	۴۷۷/۸±۲/۶	۹/۹±۰/۰۶	۱۸۲۰/۰±۵/۱	۲۴/۸±۰/۰۲	۸/۰±۰/۰۰۵	۰/۹۰±۰/۰۰۸
	رسوب بندها	۰/۸۱±۰/۰۲۴	۲۱۷/۳±۳۷/۹	۷/۲±۳/۲	۶۰۳/۳±۴۲۲/۲	۷/۲±۳/۰	۶/۸±۰/۰۱۰	۱/۶۰±۰/۰۰۸

### نسبت غنی شدن ویژگی‌های رسوبات بندها

به منظور مقایسه‌ی دقیق‌تر و مستقل ویژگی‌های مربوط به رسوبات بندها و خاک دامنه از نسبت غنی شدن<sup>۱</sup> استفاده شد. نسبت غنی شدن هر ویژگی، از تقسیم مقدار آن ویژگی در رسوبات بر مقدار آن در خاک دامنه حاصل شد ( Romero-Diaz *et al.*, 2012; Lu *et al.*, 2012). پس از تعیین نسبت غنی شدن برای هر یک از ویژگی‌های رسوبات در بندهای هر آبراهه، روند تغییرات نسبت غنی شدن در توالی بندهای هر آبراهه به صورت نمودار در شکل (۲) ارائه شد.

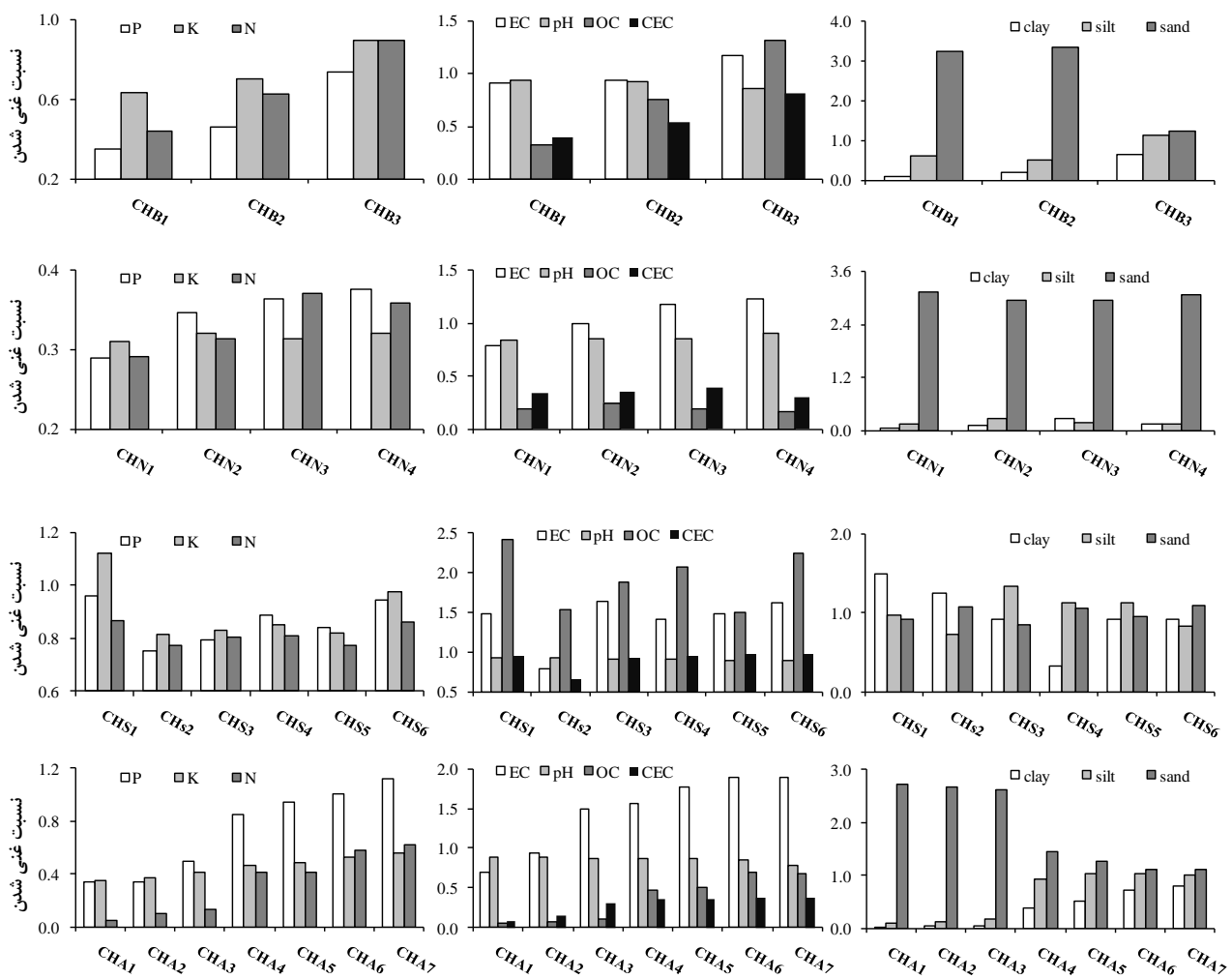
در شکل (۲) مشاهده می‌شود که در آبراهه‌ی B و همچنین آبراهه‌ی A با حرکت از بندهای بالادست به سمت بندهای پایین‌دست، نسبت غنی شدن برای عناصر غذایی پرمصرف N، P و K به طور مرتب افزایش می‌یابد. این افزایش برای ویژگی‌های دیگر نظیر EC، CEC، کربن آلی و سیلت و

رس نیز دیده می‌شود. روند افزایشی نسبت غنی شدن سیلت و رس در این آبراهه‌ها همراه با کاهش نسبت غنی شدن شن در آنها است؛ به عبارت دیگر با حرکت به سمت بندهای پایین‌دست در این دو آبراهه، به تدریج مقدار ذرات شن کاهش و مقدار ذرات رس و سیلت افزایش می‌یابد و در نتیجه با ریزتر شدن ذرات رسوب بر محتوای عناصر غذایی و CEC آنها نیز افزوده می‌شود. این روند افزایشی منظم نسبت غنی شدن در بندهای آبراهه‌ی N دیده نمی‌شود و در این آبراهه نسبت غنی شدن ویژگی‌های رسوب در توالی بندها کم‌وبیش ثابت است. به نظر می‌رسد اختلاف اصلی دو آبراهه‌ی A و B با آبراهه‌ی N در مقدار رسوبات پشت بندهای آنها باشد. بندهای آبراهه‌های A و B نیمه‌پر بوده و در حالی که بندهای آبراهه‌ی N کاملاً پر از رسوب هستند. این امر سبب کاهش کارایی بندهای آبراهه‌ی N در به دام انداختن ذرات ریز رسوب جریان‌های سیلابی شده و در نتیجه تنها ذرات درشت که انتقال آنها توسط جریان رواناب مشکل است در پشت بندها باقی می‌مانند. در حالی که در آبراهه‌های A و B به هنگام وقوع جریان سیلابی، به دلیل نیمه-

1. Enrichment ratio

سمت پایین دست افزایش می‌یابد. اما در آبراهه‌ی S به‌رغم نیمه‌پر بودن بندها ترتیب تغییرات نسبت غنی شدن با آبراهه‌های A و B متفاوت بوده و از نظم خاصی پیروی نمی‌کند. به نظر می‌رسد در این آبراهه دخالت‌های انسانی نظیر عبور و مرو و چرای دام‌ها و نیز برداشت شن و ماسه سبب برهم خوردن نظم طبیعی آبراهه شده و نسبت غنی شدن رسوبات در بندهای متوالی به صورت نامنظم تغییر نماید.

پر بودن بندها، جریان در پشت بند متوقف شده و در نتیجه امکان ترسیب مواد ریز دانه نیز به وجود می‌آید و به تدریج با حرکت به سمت بندهای پایین دست، ذرات ریز بیش‌تری امکان ترسیب یافته و متعاقب آن نسبت غنی شدن ذرات رس و سیلت افزایش می‌یابد و با توجه به ارتباط مستقیم بین مقدار رس نمونه‌ی رسوب با محتوای عناصر غذایی و همچنین CEC آن، نسبت غنی‌شدن این ویژگی‌ها هم به طور مرتب با حرکت به



شکل ۲- تغییرات نسبت غنی شدن ویژگی‌های رسوب در آبراهه‌های مورد مطالعه

غذایی اصلی غنی‌تر است. دلیل این امر در وهله اول درشت بودن ذرات رسوب نسبت به خاک اصلی و کم بودن محتوای ماده آلی رسوبات نسبت به خاک اصلی است. چرا که با افزایش اندازه ذرات و کاهش مقدار ماده آلی مقدار عنصر غذایی در رسوب کم شده و به تبع آن نسبت غنی شدن کاهش می‌یابد (Lal, 2005; Zhang et al., 2005; Martinez-mena et al., 2012; Tesfahunegn and Velk, 2013).

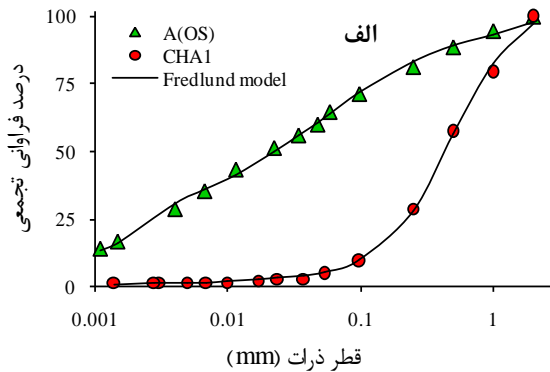
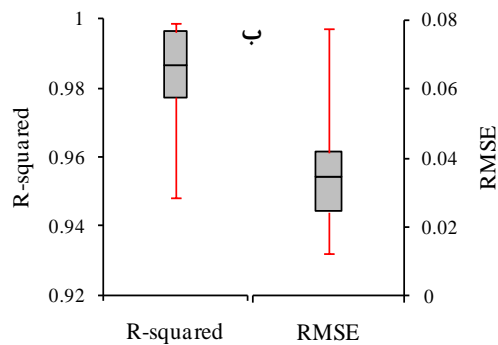
نکته مهم در رابطه با نسبت غنی شدن ویژگی‌های رسوب و به ویژه عناصر غذایی، این است که این نسبت در بیش‌تر مواقع کم‌تر از یک بوده و مقدار متوسط آن در تمامی بندها برای عناصر P، K و N به ترتیب برابر با ۰/۵۳، ۰/۶۶ و ۰/۶ است. همچنین میانگین نسبت غنی شدن برای کربن آلی نیز برابر با ۰/۸۷ است. این امر نشان می‌دهد که خاک دامنه یا همان خاک اصلی نسبت به نمونه‌های رسوب از نظر عناصر

رسوب بیش تر باشد مقدار فسفر و نیتروژن موجود در آن نیز افزایش می‌یابد. در رابطه با نسبت غنی شدن عناصر غذایی در رسوبات پشت بندها Romero-Diaz *et al.*, (2012) به طور متوسط مقادیر ۰/۸، ۱/۰، ۰/۵، ۱/۰ را به ترتیب برای عناصر کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم گزارش نموده‌اند.

#### توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رسوب و خاک اصلی دامنه

به منظور بررسی و مقایسه توزیع اندازه ذرات نمونه‌های رسوب در بندهای متوالی و خاک دامنه، ابتدا با کاربرد مدل فردلاند منحنی توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها به صورت پیوسته درآمد. نتایج نشان داد که مدل فردلاند توانایی بسیار مطلوبی در پیش‌بینی توزیع اندازه ذرات رسوب و خاک دارد به طوری که میانگین  $R^2$  و RMSE برای مدل مذکور در نمونه‌ها به ترتیب برابر با ۰/۹۸۴ و ۰/۰۳۱ بود. در شکل (۳) چگونگی برازش مدل فردلاند بر دو نمونه‌ی منتخب و همچنین نمودار جعبه‌ای مربوط به مقادیر  $R^2$  و RMSE حاصل از برازش مدل فردلاند بر داده‌های توزیع اندازه ذرات نشان داده شده است. این شکل به روشنی بیانگر قابلیت بالای این مدل در تعیین توزیع پیوسته‌ای از اندازه‌ی ذرات نمونه‌های مورد بررسی است.

پژوهش‌گران در تحقیقات خود مقادیر نسبت غنی شدن عناصر غذایی در رسوبات را بیش از یک گزارش نموده‌اند (Ghadiri and Rose, 1991; Haregeweyn *et al.*, 2008; Chartier *et al.*, 2013)، در حالی که مقادیر مشاهده شده در این مطالعه در بیش تر موارد کم تر از یک است. به نظر می‌رسد این تفاوت به این دلیل باشد که در مطالعاتی که مقدار نسبت غنی شدن بیش از یک گزارش شده است؛ مطالعه اغلب با استفاده از شبیه‌سازی باران و یا رواناب صورت گرفته و فرآیند فرسایش غالباً به شکل فرسایش ورقه‌ای و شیاری بوده و در نتیجه فرآیند انتقال ذرات به صورت انتخابی صورت می‌گیرد که این امر سبب می‌شود اغلب ذرات ریز که نسبت به توده‌ی اصلی خاک دارای مواد غذایی بیش تری هستند به صورت رسوب تبدیل شوند. در حالی که در آبراهه‌های بزرگ و دامنه‌های شیب‌دار فرآیند فرسایش خندقی نیز حاکم است که می‌تواند ذرات بزرگتر را جابجا نماید. از سوی دیگر در آبراهه‌های مورد مطالعه تمامی ذرات رسوب نگهداری نمی‌شوند و عملاً بخشی از ذرات ریز به صورت معلق بندها را ترک می‌نمایند که این امر سبب کاهش محتوای عناصر غذایی در رسوبات پشت بندها می‌شود. نتایج پژوهش Zhang *et al.*, (2011) نیز نشان می‌دهد که بخش رس خاک به راحتی توسط رواناب جابجا می‌شود و هرچه میزان رس در نمونه‌های

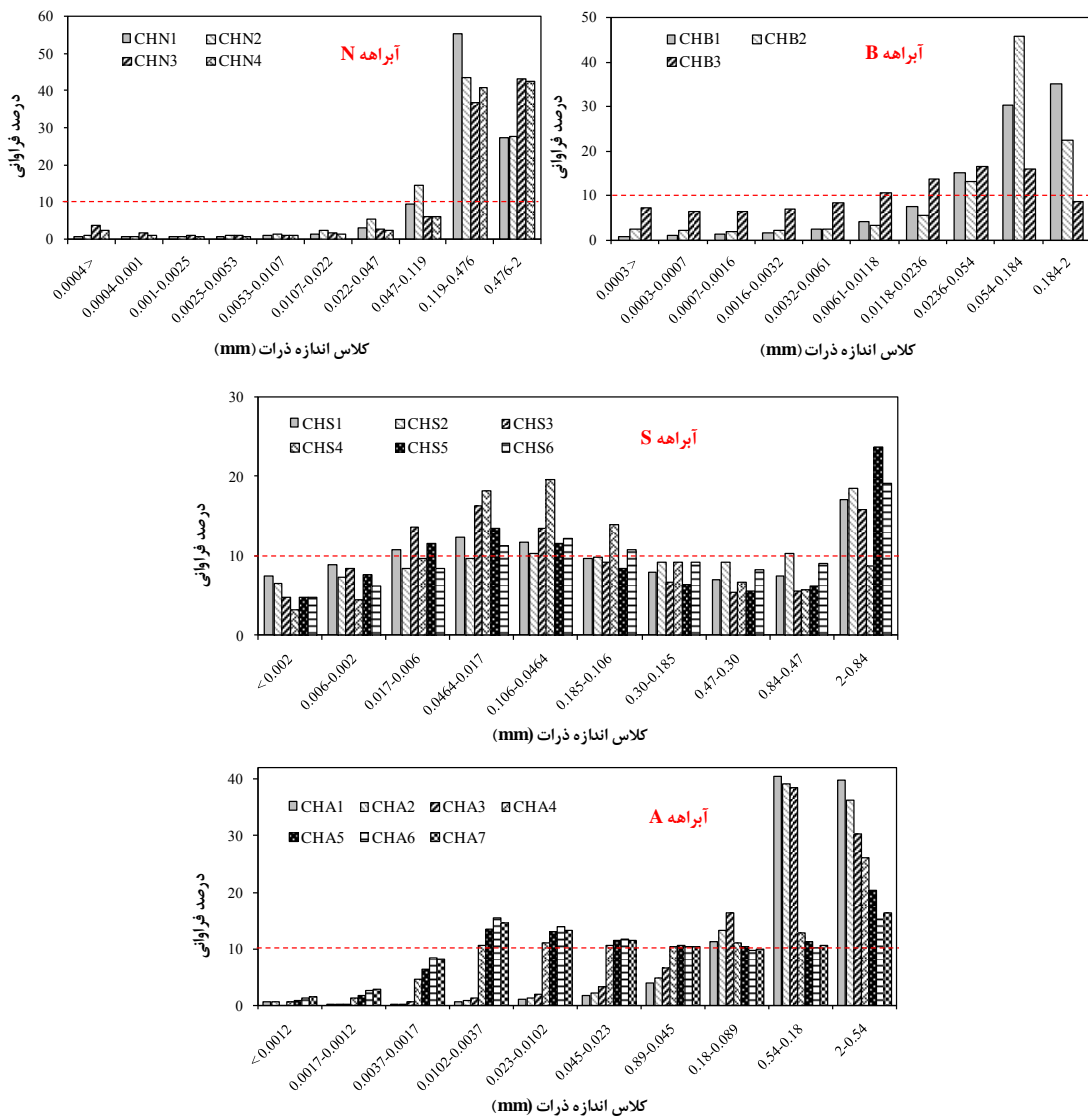


شکل ۳- برازش مدل فردلاند بر توزیع اندازه ذرات دو نمونه منتخب (الف)؛ نمودار جعبه‌ای مقادیر  $R^2$  و RMSE مدل فردلاند در نمونه‌ها (ب)

دامنه‌ی قطر ذرات متناظر با هر کلاس از روی منحنی تجمعی اندازه ذرات برازش داده شده، استخراج شد. سپس درصد جرمی متناظر با هر یک از این کلاس‌های ده‌گانه قطر ذرات، از منحنی‌های توزیع تجمعی ذرات رسوب بندهای آن آبراهه استخراج شد. که نتایج آن به تفکیک آبراهه‌ها در شکل (۴) ارائه شده است.

پس از پیوسته نمودن توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها؛ به منظور مقایسه‌ی اندازه ذرات رسوب پشت بندهای متوالی و نیز خاک اصلی دامنه، از روش پیشنهاد شده توسط Asadi *et al.*, (2011) استفاده شد. برای این منظور ابتدا منحنی پیوسته‌ی توزیع تجمعی اندازه ذرات خاک اصلی دامنه برای هر آبراهه بر اساس درصد جرمی ذرات، به ۱۰ طبقه مساوی تقسیم شد و





شکل ۴- مقایسه‌ی درصد کلاس‌های ده‌گانه اندازه ذرات در نمونه‌های رسوب پشت بندها با خاک اصلی دامنه در هر آبراهه (خط چین در نمودارها نشان دهنده‌ی فراوانی کلاس‌ها در خاک دامنه و برابر با ۱۰ درصد است)

در این شکل محدوده‌ی طبقه‌های ده‌گانه اندازه‌ی ذرات در محور افقی نشان داده شده‌اند به طوری که این کلاس‌های اندازه‌ی، هر کدام در خاک اصلی دارای فراوانی ۱۰ درصد می‌باشند. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در آبراهه‌ی B و آبراهه‌ی A توالی منظمی از تغییرات اندازه ذرات رسوب در بندها مشاهده می‌شود. برای نمونه در آبراهه‌ی B در بندهای CHB1 و CHB2 فراوانی ۷ کلاس اولیه ذرات، نسبت به خاک اصلی کمتر است. این امر نشان دهنده‌ی کمتر بودن فراوانی ذرات ریز رسوب در این بندها نسبت به خاک اصلی است. در حالی که در بند CHB3 که در پایین‌دست آبراهه واقع شده است، فراوانی ۴ کلاس اول اندازه‌ی نسبت به خاک اصلی کم بوده است. در بند CHB3 توزیع اندازه ذرات به‌گونه‌ای است که شباهت زیادی به خاک دامنه دارد در حالی که در بندهای

توزیع اندازه ذرات بسیار متفاوت با خاک دامنه بوده و فراوانی ذرات با اندازه‌ی درشت بیشتر از خاک دامنه و فراوانی ذرات ریز بسیار کمتر از خاک دامنه است. در مجموع بندهای بالادست در به دام انداختن ذرات در اندازه شن کارآمد عمل کرده‌اند. برای نمونه در بند CHB2، ذرات با کلاس اندازه‌ی ۰/۱۸۴-۰/۰۵۴ میلی‌متر که در محدوده‌ی ذرات شن خیلی ریز تا شن متوسط هستند در حدود ۴۸ درصد از جرم رسوب را به خود اختصاص داده‌اند و یا اینکه در بند CHB1 تقریباً ۶۵ درصد از جرم ذرات رسوب در محدوده‌ی دو کلاس انتهایی قرار داشته و قطری بیش از ۰/۰۵ میلی‌متر دارند. این بدان معنی است که بخش‌های درشت رسوبات در بندهای بالادست گرفتار شده و کمتر به بندهای پایین‌دست منتقل می‌شوند. توجه به توزیع اندازه ذرات بند CHB3 که در پایین‌دست آبراهه واقع شده است

نشان می‌دهد که توزیع فراوانی ذرات با کلاس‌های اندازه‌ی مختلف در این نمونه با خاک اصلی دامنه مشابهت زیادی دارد. در آبراهه‌ی A نیز فراوانی ذرات در چهار بند انتهایی CHA4 تا CHA7 شبیه خاک دامنه بوده ولی در بندهای بالادست یعنی CHA1 تا CHA3 فراوانی ذرات درشت بسیار بیش‌تر از خاک دامنه است. مقایسه توزیع اندازه ذرات در این دو آبراهه نشان می‌دهد که با حرکت از بندهای بالادست آبراهه به سمت بندهای پایین‌دست، ذرات رسوب به‌تدریج ریزتر شده و شباهت بیش‌تری به خاک دامنه پیدا می‌کنند. با توجه به نیمه‌پر بودن بندهای این دو آبراهه و اینکه در هنگام وقوع جریان‌های سیلابی این بندها توانایی نگه‌داشت ذرات رسوب را دارند؛ می‌توان نتیجه گرفت که این الگوی تغییر اندازه ذرات رسوب در توالی بندها در اثر فرآیند رسوب‌گذاری انتخابی صورت گرفته است. به این ترتیب که در هنگام وقوع جریان‌های سیلابی و ورود آن به توالی بندهای نیمه‌پر، ابتدا ذرات درشت رسوبات در بندهای بالادست ترسیب یافته و با حرکت به سمت پایین‌دست آبراهه و کاهش سرعت جریان در اثر بندهای پایین‌دست، ذرات ریز نیز به‌تدریج فرصت ترسیب پیدا می‌کنند. با وجود ریزتر شدن توزیع رسوبات در بندهای انتهایی و شباهت آن‌ها به خاک دامنه، هنوز هم بافت رسوبات بندهای پایین‌دست اندکی درشت‌تر از خاک دامنه است که این امر نشان دهنده‌ی این واقعیت است که توالی بندها قابلیت نگه‌داری تمامی ذرات رسوب را در خود نداشته و بخشی از ذرات خاک اصلی که به رسوب تبدیل شده‌اند به شکل بار معلق توسط آبراهه به اراضی پایین‌دست منتقل می‌گردند. با توجه با ارتباط تنگاتنگ توزیع اندازه ذرات با محتوای عناصر غذایی می‌توان گفت که نتایج این بخش تغییرات نسبت غنی شدن عناصر غذایی پرمصرف در توالی بندها را توجیه می‌نماید.

در آبراهه‌ی N که بندهای آن به طور کامل از رسوبات پر شده‌اند، فراوانی کلاس‌های اندازه‌ی ریز (۷ کلاس اول) در هر چهار بند بسیار کم‌تر از خاک اصلی دامنه است در حالی که در کلاس‌های اندازه‌ی درشت و در ذرات با قطر بیش از ۰/۱۱ میلی‌متر (شن ریز تا شن خیلی درشت) فراوانی ذرات در نمونه‌های رسوب به‌مراتب بیش از خاک اصلی دامنه است. این نتایج مؤید کارایی بسیار پایین بندهای پر در نگه‌داشت ذرات رسوب بوده و نشانگر این واقعیت است که بندهای پر به‌رغم تغییر در شیب طولی آبراهه و کند کردن سرعت جریان سیلاب، به دلیل عدم توانایی در نگه‌داشت جریان، امکان مهار ذرات ریز رسوب را نداشته و این ذرات اغلب به شکل بار معلق این بندها را ترک می‌کنند. در آبراهه‌ی S نیز نظم خاصی در توزیع اندازه ذرات رسوبات در توالی بندها دیده نمی‌شود. به نظر می‌رسد

فعالیت‌های بشری از قبیل برداشت شن و ماسه در این آبراهه و مخلوط شدن خاک‌های اطراف دامنه با رسوبات پشت بندها، باعث شده تا به رغم نیمه‌پر بودن بندها توالی رسوب‌گذاری مشاهده شده در آبراهه‌های B و A در این آبراهه وجود نداشته باشد. بررسی منابع نشان می‌دهد که تاکنون در مطالعه بندهای اصلاحی به وضعیت آن‌ها از نظر پر و یا نیمه‌پر بودن اشاره‌ای نشده است، با این حال (Romero-Diaz *et al.*, 2012) نیز به درشت بودن بافت ذرات رسوب پشت بندها در مقایسه با خاک دامنه اشاره نموده‌اند. به‌علاوه نتایج این بخش یافته‌های (Hassanli *et al.*, 2009) مبنی بر کارایی بندهای واقع در پایین‌دست آبراهه در به دام انداختن ذرات ریز رسوب را تأیید نموده و اضافه می‌نماید که فرآیند ترسیب انتخابی ذرات رسوب در توالی آبراهه‌ها بیش‌تر در بندهای آلی و یا نیمه‌پر که توانایی نگهداشت جریان سیلابی را دارند، دیده می‌شود و در بندهای پر تقریباً تمامی ذرات در ابعاد کوچک‌تر از شن ریز (کوچک‌تر از ۰/۱ میلی‌متر) بندها را ترک می‌نمایند. از این رو تخلیه رسوبات پشت بندهای پر به عنوان یک عمل ضروری برای جلوگیری از ورود ذرات رسوب ریز سیلابی به منابع آب سطحی پایین‌دست، بایستی مدنظر قرار گیرد.

#### خوشه‌بندی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ویژگی‌های رسوبات

به منظور تحلیل دقیق‌تر ویژگی‌های رسوبات؛ روش‌های آماری چند متغیره شامل خوشه‌بندی سلسله مراتبی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده قرار داده شد. هدف اصلی از کاربرد این روش‌ها تشخیص ویژگی‌های اصلی در تفکیک نمونه‌های رسوب موجود در توالی بندها از یکدیگر بود. نتایج مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که برای آبراهه‌ی A، PC1 و PC2 به ترتیب با مقادیر ویژه<sup>۱</sup> برابر با ۹/۰۸ و ۰/۵۶ مجموعاً قادر به تبیین ۹۶/۵ درصد تغییرات در داده‌های مشاهده‌ای بودند که در این بین PC1 به تنهایی ۹۰/۸ درصد از تغییرات ویژگی‌های رسوبات بندهای آبراهه‌ی A را تبیین می‌نماید. با توجه به اینکه فقط در PC1 مقدار ویژه بیش از یک (۹/۰۸) است، می‌توان گفت که بیش‌تر ویژگی‌ها و تغییرات رسوبات را با این مؤلفه می‌توان تحلیل نمود. در شکل (۵-الف) نمودار توزیع وزن‌های<sup>۲</sup> مربوط به ویژگی‌های رسوبات حول PC1 و PC2 نشان داده شده است.

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار مطلق وزن‌ها، مربوط به عناصر غذایی N، P و K و

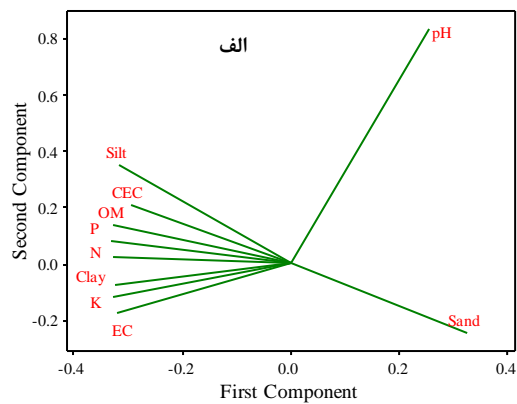
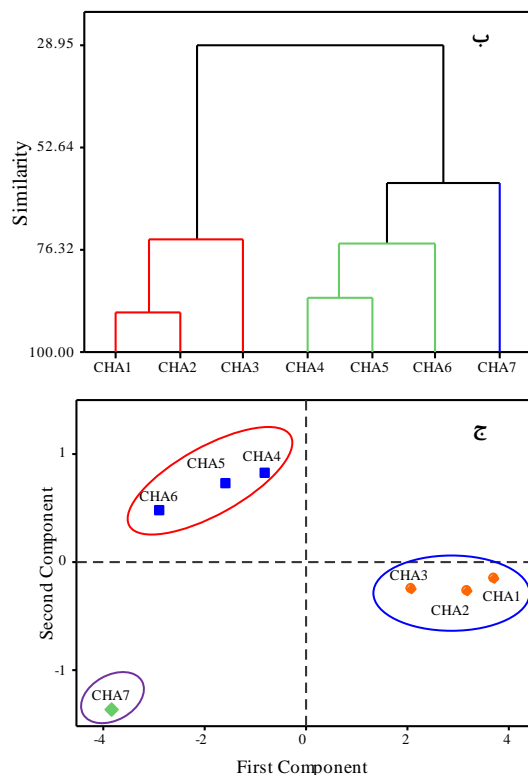
1. Eigenvalue  
2. Loading

همان‌گونه که در بخش قبل نیز ذکر شد، ترسیب انتخابی در این آبراهه سبب شده تا تغییرات تمام ویژگی‌های رسوبات در طول آبراهه روند منظمی را طی کرده و بندهای متوالی به شکل کاملاً سلسله‌وار و پشت سر هم در گروه‌های مجزایی جای گرفته باشند.

در آبراهه‌ی S به دلیل اثرات ناشی از فعالیت‌های بشری، تغییرات ویژگی‌ها رسوبات، نظم مشاهده شده در آبراهه‌ی A را نداشت. در این آبراهه سه مؤلفه‌ی اول دارای مقادیر ویژه‌ی بیش از یک بودند و مجموعاً در حدود ۸۹/۱ درصد از تغییرات ویژگی‌های رسوبات را تشریح می‌نمایند. در جدول (۳) مقادیر مربوط به وزن هر یک از ویژگی‌های رسوبات در مؤلفه‌های سه‌گانه ارائه شده است. فسفر و نیتروژن در PC1، سیلت در PC2 و شن در PC3 در مقایسه با ویژگی‌های دیگر دارای بالاترین وزن بوده و در تفکیک بندها از یکدیگر تأثیر بیش‌تری داشتند؛ بنابراین در این بند نیز اهمیت عناصر غذایی پرمصرف و همچنین بافت رسوبات در مقایسه با سایر ویژگی‌ها تأیید می‌شود.

همچنین شن و سیلت است که این امر نشان دهنده‌ی اهمیت این خصوصیات و نقش بیش‌تر آن‌ها در تفکیک نمونه‌های رسوب از یکدیگر است. به منظور تفکیک و دسته‌بندی بندها بر اساس ویژگی‌های رسوبات، از نمودار شاخه‌ای<sup>۱</sup> (شکل ۵-ب) به دست آمده از روش خوشه‌بندی استفاده شد و برای تأیید نتایج حاصل از آن، نمودار پراکنش امتیازهای<sup>۲</sup> ویژگی‌های رسوبات حول PC1 و PC2 (شکل ۵-ج) به کار برده شد. شکل‌های (۵-ب و ۵-ج) به روشنی نشان می‌دهند که هفت بند موجود در آبراهه از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در سه گروه مجزا قرار گرفته‌اند به نحوی که بندهای بالادست CHA1، CHA2 و CHA3 با مشابهت بیش از ۷۵ درصدی در یک گروه بوده و بندهای میانی CHA4، CHA5 و CHA6 نیز با مشابهت تقریبی برابر با ۷۶ درصد در یک گروه جای گرفته‌اند. آخرین بند پایین‌دست، CHA7، نیز به تنهایی و مستقل از بندهای دیگر یک گروه را به خود اختصاص داده است. به نظر می‌رسد،

1. Dendrogram
2. Score



شکل ۵- توزیع وزن‌های اختصاص داده شده برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بندهای آبراهه‌ی A مولفه‌های اصلی اول و دوم (الف)؛ دسته‌بندی بندهای آبراهه A بر مبنای روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (ب) و نمودار توزیع اوزان بندهای اصلاحی نسبت به مولفه‌های اصلی اول و دوم (ج)

در بندهای متوالی این آبراهه منظم نیست. بر اساس نمودار شاخه‌ای، بندهای CHS2 و CHS5 در یک گروه بوده و بندهای CHS3 و CHS4 نیز در یک گروه قرار دارند. از سوی دیگر اولین بند بالادست، CHS1، و آخرین بند پایین‌دست، CHS6، نیز جدا

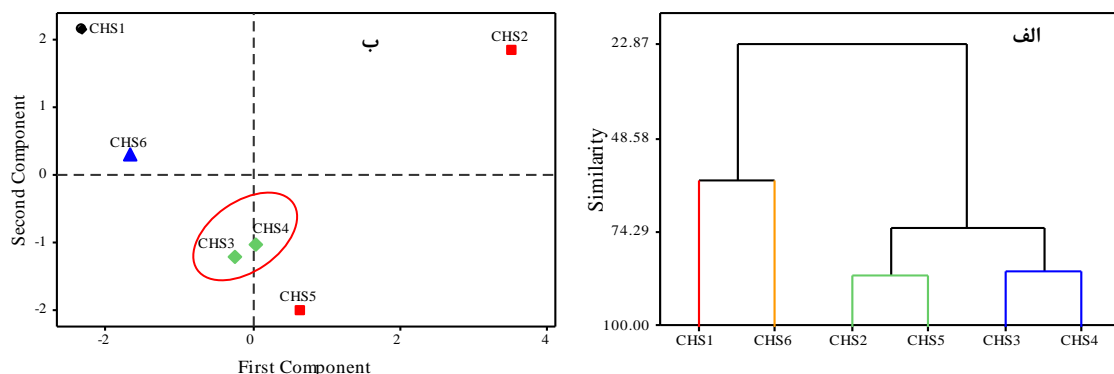
نتایج مربوط به دسته‌بندی بندهای اصلاحی آبراهه S بر اساس روش خوشه‌بندی و پراکنش امتیازهای ویژگی‌ها حول PC1 و PC2 در شکل (۶) نشان داده شده است. این نتایج به روشنی بیانگر این واقعیت است که تغییرات ویژگی‌های رسوبات

این است که در این بند PC3 نیز به دلیل داشتن مقدار ویژه بیش از یک (جدول ۴) نقش مهمی در دسته‌بندی رسوبات دارد. اما در نمودار دوبعدی (۶-ب) فقط دو مؤلفه‌ی اول و دوم نشان داده شده‌اند که با این کار در واقع بخشی از اطلاعات از دست رفته‌اند. از این رو عملاً نتایج دو تصویر (۶-الف و ۶-ب) تا حدودی با هم متفاوت است.

از بندهای دیگر در گروه‌های مجزایی جای گرفته‌اند. این نتایج به روشنی مؤید این نکته است که فعالیت‌های بشری در طبیعت نظیر برداشت رسوبات، عبور و مرور و نیز چرای دام‌ها، نظم طبیعی مورد انتظار که در بندهای نیمه‌پر و در اثر فرآیند ترسیب انتخابی مشاهده می‌شود را از بین برده است. از نکات دیگر در شکل (۶) تطابق کم نمودار شاخه‌ای با نمودار پراکنش امتیازهای ویژگی‌ها حول PC1 و PC2 است که دلیل این امر

جدول ۴- ماتریس وزن‌های مربوط به ویژگی‌های رسوبات آبراهه‌ی S به همراه مشخصات مؤلفه‌های اصلی

متغیر	PC1	PC2	PC3
فسفر	-۰/۴۳۰	۰/۱۱۳	-۰/۲۷۲
پتاسیم	-۰/۳۷۶	۰/۳۵۷	۰/۰۱۸
نیتروژن	-۰/۴۲۷	۰/۲۴۴	۰/۱۱۹
هدایت الکتریکی	-۰/۴۱۸	-۰/۲۸۸	-۰/۰۴۸
اسیدیته	۰/۱۵۸	۰/۳۸۶	-۰/۳۸۰
کربن آلی	-۰/۲۸۷	-۰/۲۸۶	-۰/۳۲۳
ظرفیت تبادل کاتیونی	-۰/۴۱۳	-۰/۲۹۷	۰/۰۸۶
رس	-۰/۰۲۵	۰/۴۲۹	-۰/۲۳۰
سیلت	-۰/۱۲۳	-۰/۴۴۰	-۰/۳۴۵
شن	۰/۱۵۲	۰/۱۴۴	۰/۶۴۱
مقادیر ویژه	۴/۱۷	۲/۹۱	۱/۸۲
درصد واریانس	۴۱/۷	۲۹/۱	۱۸/۲
درصد تجمعی واریانس	۴۱/۷	۷۰/۹	۸۹/۱



شکل ۶- دسته‌بندی بندهای آبراهه S بر مبنای روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (الف)؛ و نمودار پراکنش بندهای اصلاحی نسبت به مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (ب)

های سیلابی از سیستم توالی بندهای اصلاحی است (Shahbazi et al., 2013; Romero-Diaz et al., 2012). بر اساس یافته‌های این تحقیق می‌توان گفت که ویژگی‌های رسوبات در توالی بندهای اصلاحی بسته به شرایط بندها از نظر پر و یا نیمه‌پر بودن و یا در معرض دخالت‌های بشری قرار گرفتن، می‌تواند متفاوت باشد. اختلاف بافت رسوبات با خاک دامنه، در آبراهه‌های دارای بندهای نیمه‌پر با حرکت به سمت بندهای پایین‌دست کاهش یافته و در نتیجه به موازات آن ویژگی‌های

### نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات پشت بندهای متوالی در چهار آبراهه مورد بررسی قرار گرفته و با خاک دامنه‌های مشرف به بندها مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در مجموع رسوبات انباشت شده در پشت بندها از نظر بافت نسبت به خاک دامنه‌های مجاور درشت‌تر هستند. درشت بودن بافت رسوبات پشت بندها در مقایسه با خاک دامنه نشان دهنده‌ی خروج بخشی از ذرات ریز رسوب توسط جریان-

روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان دهنده‌ی این واقعیت است که در بین ویژگی‌های مختلف رسوبات، محتوای شن و سیلت و همچنین عناصر غذایی پرمصرف نقش مهمی در تفکیک ویژگی‌های رسوبات بندها از یکدیگر دارند. بر اساس نتایج خوشه‌بندی، وجود فرآیند ترسیب انتخابی در سیستم بندهای نیمه‌پر به روشنی اثبات شده و می‌توان گفت که با حرکت به سمت پایین‌دست آبراهه، اهمیت بندها از نظر نگاه‌داشت عناصر غذایی و ذرات ریز رسوب فزونی می‌یابد. با این حال حتی در آبراهه‌های نیمه‌پر، بخشی از ذرات ریز توسط جریان‌های سیلابی از سیستم بندها عبور داده می‌شوند. عبور ذرات ریز از سیستم بندها نشان می‌دهد که به‌رغم کارایی بندهای اصلاحی در کاهش خطرات ناشی از فرسایش، مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی آب‌ها و پر شدن مخازن سدهای بزرگ در اراضی پایین‌دست همچنان تداوم داشته و برای کاستن از این اثرات نامطلوب استفاده از روش‌های بیولوژیکی مهار فرسایش خاک در اراضی بالادست ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

## REFERENCES

- Abbasi, A., Sedigh, R. and Ahar, M.H. (2008) Investigation of the check dams effects in controlling fine sediments. In: Proceedings of 6th National Conference on Watershed Engineering and Management. 20-21 February. University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- Abedini, M., Md-Said, M.A. and Ahmad, F. (2012) Effectiveness of check dam to control soil erosion in a tropical catchment (The Ulu Kinta Basin). *Catena*, 97, 63-70.
- 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.
- Baker, J.L., Laflen, J.M. (1983) Water quality consequences of conservation tillage. *Journal of Soil & Water Conservation*, 38 (3), 186-193.
- Bao, Y.X., Wu, F.Q. and Tan, H.C. (2005) Distribution characteristics of soil nutrients in Dam Land. *B. Soil & Water Conservation*, 25 (2), 12-15
- Boroshkeh, E. and Arabkhedri, M. (2013) Regression model for estimating annual sediment yield of small waresheds in West Azerbaijan. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4(4): 170-178. (In Farsi)
- Boroshkeh, E. and Arabkhedri, M. (2015) Evaluation of MPSIAC and EPM empirical models in western Azarbayjan provincebased on sediment surveying behind small dams. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(3): 265-273. (In Farsi)
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982) Nitrogen-Total. In: A.L. Page and R.H. Miller (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp: 595-624.
- Chartier, M.P., Rostagno, C.M. and Videla, L.S. (2013) Selective erosion of clay, organic carbon and total nitrogen in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 88, 43-49.
- Fredlund, M.D., Fredlund D.G. and Wilson, G.W. (2000) An equation to represent grain size distribution. *Canadian Geotechnical Journal*, 37, 817-827.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986) Particle-size Analysis. In A. Klute (ed): *Methods of soil analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Madison, Wis., 393-394.
- Ghadiri, H. and Rose, C.W. (1991) Sorbed chemical transport in overland flow. II. Enrichment ratio variation with erosion processes. *Journal of Environmental Quality*, 20, 634-641.
- Haregeweyn, N., Poesen, J., Deckers, J., Nyssen, J., Mitiku, Haile, Govers, G., Verstraeten, G. and Moeyersons, J. (2008) Sediment-bound nutrient export from micro dam catchments in Northern Ethiopia. *Land Degradation and Development*. 19, 136-152.
- Hashemi, S.A.A. and Arabkhedri, M. (2008) Evaluation of EPM Model by Sediment Measurement in Reservoirs of Small Dams. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 11 (42):345-

فیزیکی و شیمیایی رسوبات بندهای پایین‌دست این آبراهه‌ها شباهت بیش‌تری به خاک دامنه نشان می‌دهد که این امر یافته‌های Hassanli *et al.*, (2009) را مبنی بر کارایی بندهای پایین‌دست در به دام اندازی ذرات ریز رسوب را تأیید می‌نماید. در سیستم بندهای پر، به دلیل عدم کارایی کافی در کاهش سرعت جریان‌های سیلابی، ذرات ریز تماماً از سیستم توالی بندها عبور کرده و بافت رسوبات حتی در بندهای پایین‌دست نیز همچنان شنی است. تحلیل توزیع اندازه ذرات رسوب نیز نشان می‌دهد که در بخش اعظم ذرات با اندازه کم‌تر از ۰/۱ و ۰/۰۲ میلی‌متر به ترتیب در بندهای پر و نیمه‌پر، از سیستم خارج شده و به سمت اراضی پایین‌دست حرکت می‌کنند. از آنجایی که عناصر غذایی پرمصرف اغلب جذب ذرات کلوئیدی و با قطر کم‌تر از ۰/۰۲ میلی‌متر می‌شوند، نسبت غنی شدن عناصر غذایی پرمصرف در اغلب موارد کم‌تر از یک بوده و روند تغییرات آن‌ها در توالی بندها نیز به موازات توزیع اندازه ذرات رسوب است (Martinez-Mena *et al.*, 2012; Romero-Diaz *et al.*, 2008). تحلیل‌های آماری ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی در بندها با استفاده از

355. (In Farsi)
- Hashemi, S.A.A. and Arabkhedri, M. (2010) Sediment measurement in reservoirs of small dams for evaluation of MPSIAC model in Semnan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 1(2): 25-34. (In Farsi)
- Hassanli, A. M., Esmaeli Nameghi, A. and Beecham, S. (2009) Evaluation of the effect of porous check Dam location on fine sediment retention (a case study). *Environ Monit Assess*. 152, 319-326 .
- Lal, R.(2005) Influence of soil erosion on carbon dynamics in the world. In: E.R. Roose, (Eds.). *Soil erosion and carbon dynamic* (23-37). Boca Raton: CRC press.
- Martinez-Mena, M., Lopez, J., Almagro, M., Albaladejo, J., Castillo, V., Ortiz, R. and Boix-Fayos, C. (2012) Organic carbon enrichment in sediments: Effects of rainfall characteristics under different land uses in a Mediterranean area. *Catena*. 94, 36-42.
- Morgan, R.P.C. (2005) *Soil Erosion and Conservation*, 3rd edition. Blackwell Publishing, Oxford, 304 pp
- Onda, Y., Gomi, T., Mizugaki, Sh., Nonoda, T. and Roy, C.S. (2010) An Overview of the Field and Modelling Studies on the Effects of Forest Devastation on Flooding and Environmental Issues. *Hydrological Processes*. 24, 527- 534.
- Romero-Diaz. A., Marín-Sanleandro, P. and Ortiz-Silla, R. (2012) Loss of soil fertility estimate from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. *Catena*, 99, 42-53.
- Rowell, D.L. (1994) *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Scientific & Technical. ISBN: 0 582 08784 8. 350 p.
- Shahbazi, A., Ahmadi, H. and Nazari Samani, A.A. (2013) Investigation of sediments deposition in streams and its impact on the volume of reservoir (Case study: Taleghan region). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 7(2): 259-269. (In Farsi)
- Sun, W.Y. and Guo, S.L. (2011) The spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors in hilly region of the Loess Plateau. *Acta Ecol. Sin*. 31, 1604–1616.
- Tejada, M. and Gonzalez, J.L. (2008) Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*. 145, 325-334.
- Tesfahunegn, G.B. and Velk, P.L.G. (2013) Assessing Sediment-Nutrient Export Rate and Soil Degradation in Mai-Negus Catchment, Northern Ethiopia. ISRN, *Soil Science*, Article ID 748561, 10 page.
- Wang, X.L., Guo, S.L., Ma, Y.H., Huang, D.Y. and Wu, J.S. (2007) Effects of land use type on soil organic C and total N in a small watershed in loess hilly-gully region. *Chinese J. App. Ecol*. 18, 1281–1285.
- Zhang, C.E., Wang, S.Q. and Deng, X.P. (1999) Primary fertility and approaches of improving fertility in Yaner Gully watershed of North Yan'an area. *Bull. Soil & Water Conservation*, 19 (5), 15–20.
- Zhang. F., He, X., Gao, X. and Tang, K. (2005) Effects of erosion patterns on nutrient loss following deforestation on the Loess Plateau of China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 108, 85–97.
- Zhang, G.H., Liu, G.B., Wang, G.L. and Wang, Y.X. (2011) Effects of vegetation cover and rainfall intensity on sediment-associated nitrogen and phosphorus losses and particle size composition on the Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*. 66(3), 192-200