نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
تابستان ۱۳۸۷، جلداول، شماره ۲، صفحه ۷۵ تا ۸۶

# تأثیر برداشت شن و ماسه بر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه

سیدحمیدرضا صادقی* [۱]، عبدالواحد خالدی درویشان [۲] و لیلا غلامی [۳]

دریافت مقاله : ۸۴/۱۰/۱۸ پذیرش مقاله : ۸۵/۱۲/۶

**چکیده:**

برداشت مصالح از بستر رودخانه‌ها منجر به تغییرخصوصیات هیدرولیکی و هندسی رودخانه شده و با افزایش گل‌آلودگی و طبعاً انرژی جریان، ضمن تشدید فرسایش و ایجاد مخاطرات زیست‌محیطی، پارامترهای ریخت‌سنجی رسوبات بستر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیق حاضر با هدف بررسی نقش برداشت دو معدن شن و ماسه بر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر در رودخانه "واز" واقع در استان مازندران صورت گرفت. به منظور انجام تحقیق پس از تعیین چهار مقطع قبل و بعد از محدوده‌های برداشت شن و ماسه، رسوبات بستر به روش ترکیبی نمونه-برداری و مجموعه خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر شامل میانگین، جورشدگی، چولگی، کشیدگی، نَما، قطرهای ده، پنجاه و نود درصد، درصد شن، ماسه، سیلت و رس، قطرهای بزرگ، متوسط و کوچک، فاکتور شکل، قطر ظاهری، کرویت، گردشدگی، نسبت پهنی و بافت رسوبات تعیین شد. بررسی نتایج علاوه بر تائید شرایط نسبی هیدرولیکی مشابه در مقاطع قبل و بعد از معادن مورد مطالعه، نشان داد که فعالیت‌های برداشت شن و ماسهٔ رودخانه‌ای بر تمام خصوصیات ریخت‌سنجی بررسی شده به غیر از کرویت و بافت رسوبات تأثیر داشته است.

**کلید واژه ها:** *برداشت شن و ماسه، ریخت‌سنجی رسوبات بستر، گراولومتر، رودخانهٔ واز، استان مازندران*

۱- دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس sadeghi@modares.ac.ir
۲- دانش‌آموخته گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس vahedkhaledi@yahoo.com
۳- دانشجوی گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس lgholami_7777@yahoo.com
*مسئول مکاتبات

**مقدمه**

رسوبات در رودخانه‌ها به دو صورت کلی بار بستر و بار معلق حمل می‌شوند. شن و ماسه رودخانه‌ها که در معرض انتقال مداوم آب قرار دارند منابع مشخصاً مطلوبی از مصالح رودخانه‌ای می‌باشند زیرا مواد ریزدانه آنها همراه با بار معلق توسط جریان آب حمل شده و رسوبات بادوام با دانه‌بندی مناسب بجا گذاشته می‌شود. امروزه برداشت شن و ماسه و یا به عبارت دیگر مصالح رودخانه‌ای در زندگی بشر و فعالیت‌های عمرانی و صنعتی او تأثیر بسزایی پیدا کرده و روزانه هزاران تن از انواع این مصالح از بستر رودخانه‌ها برداشت می‌شود. عدم نیاز به فرآوری زیاد، قابلیت دسترسی راحت و نزدیکی به جاده‌های حمل‌ونقل و محل مصرف از دیگر عواملی است که در بالا بردن ارزش اقتصادی بهره‌برداری از مصالح رودخانه‌ای موثر است. از طرف دیگر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر نیز می‌تواند نشان دهندهٔ کمیت و کیفیت رسوب جدید وارد شده به یک مقطع مشخص از لحاظ قابلیت برداشت شن و ماسه باشد. ضمن اینکه هرگونه تغییر در خصوصیات هندسی و هیدرولیکی مقاطع که بر اثر برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد عواقب متفاوتی از قبیل تخریب زیستگاه‌های آبزیان (Brown et al., 1998)، افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی و تهاجم آب شور (Mass-Plaa et al., 1999)، افت سطح اساس (Marstona et al., 2003) و همچنین تخریب طولی و عرضی کانال رودخانه و سازه‌های احداثی بر آنها (Rinaldi et al., 2005) را به دنبال دارد.

تحقیق در مورد روند و چگونگی تغییرات خصوصیات مختلف رسوبات بستر در طول رودخانه‌ها سابقه‌ای نسبتاً طولانی دارد (Williams, 1983; Williams & Costa, 1988; Kochel & Baker, 1988; Gomez, 2001; Clifford, 2001; Ahmad Bakri et al, 2002; Vignati, 2003; Demir, 2003).

اما تحقیقات راجع به نقش دخالت‌های ناشی از برداشت شن و ماسه در تغییر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه‌ها بسیار محدود است. (Lagasse et al., 1980) با مطالعه‌ای در امریکا، تغییرات معنی‌دار مورفولوژی رودخانه و اندازه ذرات رسوبی را در بازه‌های پایاب رودخانه می‌سی‌سی‌پی در اثر برداشت شن از این رودخانه نشان دادند. (Lee et al., 1993) با مطالعه‌ای در تایوان نشان دادند که برداشت شن و ماسه پایداری بستر رودخانه را تضعیف کرده به طوری که در محل‌های برداشت شن و ماسه گودی‌هایی در بستر رودخانه به وجود می‌آیند که به تدریج موجب چند شاخه‌ای شدن، افزایش گل‌آلودگی، ناپایداری و جابجایی بستر رودخانه می‌شوند. (Healy & Wo, 2002) نیز نشان دادند که یکی از دلایل عمدهٔ ایجاد اختلال در روند تغییرات خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه‌ها، برداشت شن و ماسه می‌باشد که می‌تواند شدت تغییرات طبیعی پارامترهای ریخت‌سنجی رسوبات بستر را کاهش داده و در برخی موارد نیز روند آنها را معکوس نماید. (Rinaldi et al., 2005) تأثیر برداشت رسوبات در کانال‌های آبرفتی پنج رودخانه در ایتالیا و لهستان بر خصوصیات فیزیکی و مدیریتی آنها را بررسی نمودند. ایشان ضمن ارائه اثرات سوء برداشت رسوبات در این رودخانه‌ها بر محدودسازی این گونه اقدامات در مناطق با قابلیت جایگزینی رسوب و مستعد به رسوب‌گذاری تاکید داشتند.

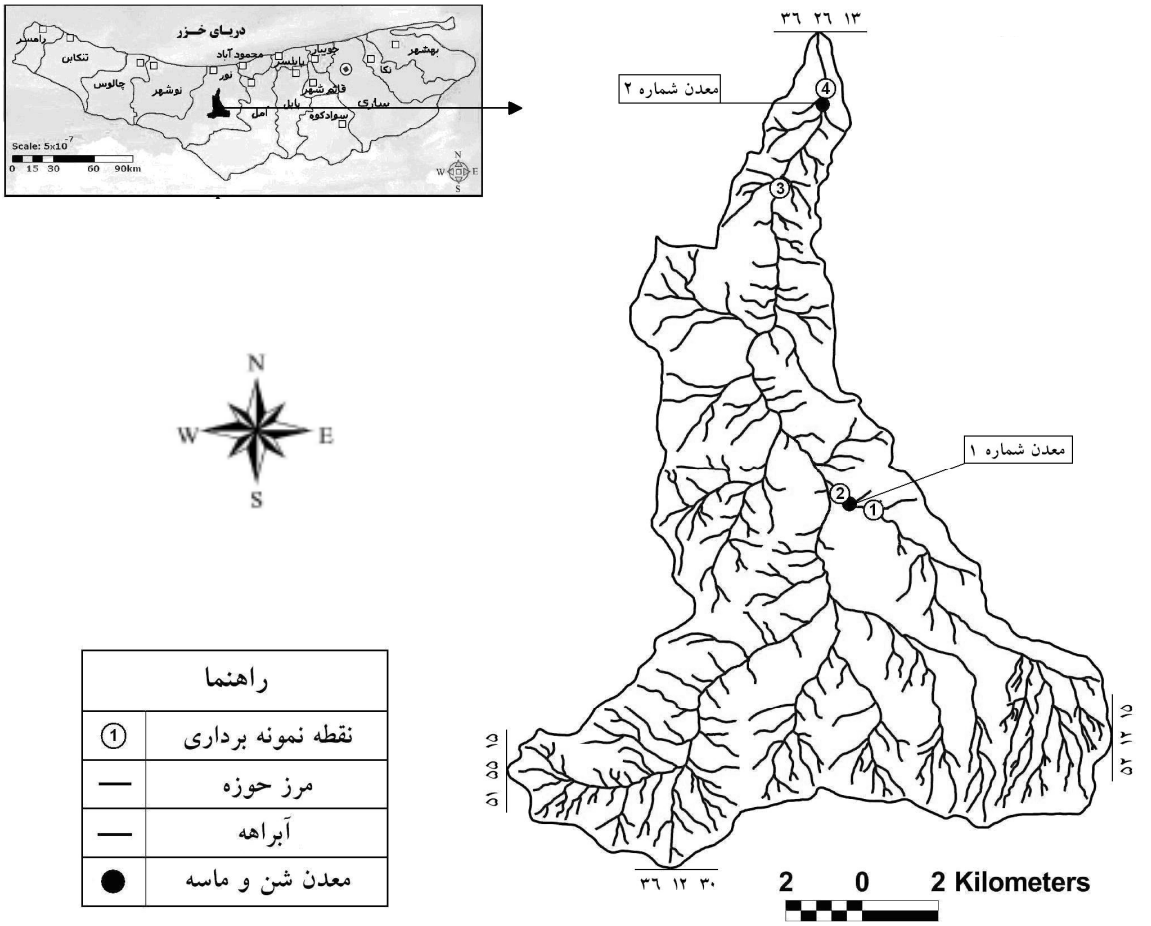
بررسی منابع و پایگاه‌های اطلاعاتی موجود در کشور نیز نشان می‌دهد که تاکنون تحقیق مشخصی در خصوص تغییرات خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر و اثر فعالیت‌های برداشت شن و ماسه بر آنها در هیچ یک از رودخانه‌های ایران انجام نشده است، حال آنکه موضوع بهره‌برداری از منابع قرضه‌ای رودخانه‌ها یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت زیست‌محیطی رودخانه‌های کشور محسوب می‌شود. استان مازندران نیز از این امر مستثنی نبوده و برداشت بی‌رویه و غیراصولی شن و ماسه در اکثر رودخانه‌های استان منجر به افتادگی و آبشار شده که این امر آبگیری رودخانه‌ها در فصل زراعی را با مشکل مواجه نموده است به‌طوریکه جهت آبگیری، تثبیت و نگهداری آنها سالانه مبالغ بسیار زیادی از سوی شرکت آب منطقه‌ای و کشاورزان هزینه می‌شود. از این

رو انجام تحقیقات مرتبط با شناخت مناطق مناسب برداشت شن و ماسه و یا تبیین ساختار اصولی برداشت در جنبه های مختلف کمی و کیفی برای این استان و همچنین سایر مناطق کشور ضروری می‌باشد.

تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط معدن برداشت شن و ماسه و برخی از خصوصیات مهم ریخت‌سنجی رسوبات بستر در رودخانه واز واقع در استان مازندران انجام گردید. در حال حاضر دو معدن برداشت شن و ماسه در بخش‌های میانی و انتهایی مسیر آن و همچنین تفاوت شرایط برداشت شن و ماسه در این معادن وجود دارد. حوزهٔ آبخیز واز با مساحتی معادل ۱۰۲ هکتار در ارتفاعات جنوبی بخش چمستان، از توابع شهرستان نور در استان مازندران در دامنه با مختصات ″۱۵′۵۵°۵۱ تا ″۱۵′۱۲°۵۲ طول شرقی و ″۳۰′۱۲°۳۶ تا ″۱۳′۲۶°۳۶ عرض شمالی واقع شده است (شکل۱). حوزهٔ مذکور با کاهش تدریجی ارتفاع به سمت شمال به مناطق جلگه‌ای دریای خزر متصل می‌شود (خالقی،۱۳۷۷). شیب متوسط حوزه ۴۰٪، حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه نیز ۲۷۰ و ۳۳۵۰ متر و ارتفاع متوسط آن ۱۸۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد(متولی،۱۳۷۴). مهم‌ترین سنگ‌های تشکیل‌دهندهٔ سطح حوزه دولومیت، سنگ آهک، شیل، رس سنگ، سیلت سنگ، ماسه سنگ، آهک‌های شیلی، کنگلومرا، رسوبات آبرفتی (شن، ماسه و قلوه سنگ) می‌باشند. گسل‌های واز علیا (گسل منگل) و گسل‌های شمالی و جنوبی تنگ‌سر از مهم‌ترین گسل‌های موجود در منطقه محسوب می‌شوند. تأثیر نیروهای زمین‌ساختی و عوامل متعدد هوازدگی موجب گردیده تا در پای بعضی از دامنه‌ها ریزش واریزه صورت گیرد و باعث تشکیل حجم قابل ملاحظه‌ای از مواد واریزه‌ای شود که منابع قرضه خوبی برای اقدامات مهندسی، فنی و حفاظتی به حساب می‌آید (خالقی،۱۳۷۷). همچنین یکی دیگر از عوامل اصلی فرسایش خاک در حوزه آبخیز "واز" حرکات توده‌ای است.حرکات توده‌ای درسطح حوزه به صورت لغزش و ریزش قابل رؤیت است که به دلیل وضعیت سنگ‌شناسی، بیشتر در سازند شمشک رخ داده است. مواد آبرفتی موجود در بستر رودخانهٔ واز به واسطه هوازدگی‌های شدید و مکرر تشکیلات زمین‌شناسی منطقه، از کمیت و کیفیت بسیار خوبی برای کارهای عمرانی برخوردار می‌باشد(خالقی،۱۳۷۷).

## مواد و روش ها

به منظور ارزیابی نقش معادن شن و ماسه بر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه واز، ابتدا کلیه اطلاعات هیدرولوژی و فیزیوگرافی موجود جمع‌آوری شد. سپس با توجه به مطالعات تکمیلی، انجام بازدیدهای اولیه و تبادل نظر با ساکنین محلی، اقدامات مقتضی در خصوص شناسایی دو معدن مهم برداشت شن و ماسه موجود در حوزهٔ آبخیز واز انجام شد. در ادامه محل‌های نمونه‌برداری رسوب بستر در قبل و بعد از معادن شن و ماسه با توجه به رعایت حداقل فاصله ممکن و همچنین امکان دسترسی و برداشت نمونه شناسایی شد. سپس مختصات جغرافیایی محدودهٔ معادن با استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی تعیین و بر روی نقشهٔ منطقه (شکل ۱) منتقل گردید. با توجه به وجود دو معدن برداشت شن و ماسه یکی در بخش‌های میانی حوزه در انتهای شاخه فرعی بِجِز (Bejez) (معدن شماره۱) و دیگری بر روی رودخانه اصلی واز و در پایین دست حوزه نزدیک به خروجی معدن شماره ۲، در مجموع تعداد۲ مقطع در قبل و۲ مقطع نیز در بعد، از معادن انتخاب گردید به نحوی که بر اساس توصیه(1998) .Brown et al بتوان تغییرات حاصل در خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر را به دخالت‌های ایجاد شده طی برداشت معادن نسبت داد. مقاطع ۱و۲ در بالادست و پایین‌دست معدن شماره۱ به ترتیب با ارتفاع ۱۰۶۵ و ۹۵۲ متر و مقاطع۳و ۴ در بالادست و پایین‌دست معدن شماره۲ به ترتیب با ارتفاع ۴۵۸ و ۳۲۴ متر بالاتر از سطح آبهای آزاد انتخاب شدند. دلیل فاصلهٔ نسبتاً زیاد بین مقطع۳ و معدن شماره۲ عدم امکان دسترسی به رودخانه و یکنواختی نسبی شرایط کانال و دامنه‌های مُشرف به بازهٔ مزبور بوده است. با استناد به تجارب (Fripp & Diplas, 1993)، برداشت نمونه‌ها در تحقیق حاضر به صورت ترکیبی انجام شد.




شکل ۱- شمای کلی حوزه آبخیز واز و موقعیت مقاطع برداشت رسوبات

به این منظور رسوبات مربوطه در محل نمونه‌برداری به عرض تقریباً ۱ متر در طولی برابر با عرض رودخانه در همان مقطع و با عمق حدود ۱۵ سانتی‌متر برداشت و با هم دیگر ترکیب شده و سپس مقدار رسوب مورد نیاز به منظور انجام آنالیزهای لازم از این نمونه ترکیبی برداشت گردید. بر اساس تجارب (Mosley & Tindale, 1985) برداشت نمونه‌ها در هر یک از مقاطع به نحوی صورت گرفت که وزن بزرگترین ذره رسوبی در داخل نمونه بیش از ۵٪ وزن کل نمونه نباشد. در مرحله بعد نمونه‌های رسوب برداشت شده به آزمایشگاه حمل و مواد آلی آنها توسط آب اکسیژنه زدوده شده (Leeder, 1988) با استفاده از کوره با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۲ روز خشک گردید. سپس خصوصیات مهم ریخت‌سنجی رسوبات بستر شامل میانگین (Mean)، جورشدگی (Sorting)، چولگی (Skewness) ، کشیدگی(Kurtosis)، نما (Mode)، قطر ده درصد($d_{10}$)، قطر پنجاه درصد ($d_{50}$)، قطر نود درصد ($d_{90}$)، درصد شن، ماسه و سیلت و رس، قطر بزرگ، قطر متوسط، قطر کوچک، فاکتور شکل(Shape factor) ، قطر ظاهری (Nominal diameter)، کرویت (Sphericity)، گردشدگی (Roundness)، نسبت پهنی(Width ratio) و بافت رسوبات (Sediment texture) اندازه‌گیری و محاسبه شد. برای این منظور ابتدا با استفاده از الک ۳۲ میلی‌متری، ذرات با قطر بزرگتر از ۳۲ میلی‌متر از نمونه رسوب جدا شده و جهت به دست آوردن خصوصیات مربوط به شکل ذرات رسوبی و گردشدگی($R_o$) آنها استفاده شد. برای اندازه‌گیری

سه محور بزرگ(a)، متوسط(b) و کوچک(c) ذرات کوچ‌تر از ۳۲ میلی‌متر از روش الک کردن و برای ذرات بزرگتر از۳۲ میلی‌متر از دستگاه گراولومتر(خالدی درویشان، ۱۳۸۳) استفاده‌گردید. به دست آوردن گردشدگی ذرات به کمک رابطه (۱) صورت گرفت که در آن r شعاع کوچک‌ترین دایره گوشه‌ها در تصویر دانه رسوبی و a، b و c نیز به ترتیب قطرهای بزرگ، متوسط و کوچک دانه می‌باشند (شفاعی-بجستان، ۱۳۷۳).

$$Ro\ \frac{r^3}{abc} = \qquad (۱)$$

برای به دست آوردن r، ده درصد وزنی ذرات بزرگ‌تر از ۳۲ میلی‌متر هر مقطع به صورت تصادفی انتخاب شده و پس از رسم تصاویر آنها بر روی کاغذ، با استفاده از پرگار و کولیس پارامتر r و با داشتن a، b و c در نهایت گردشدگی ذرات تعیین گردید. با داشتن سه محور a، b و c، فاکتور شکل ذرات (SF) نیز با استفاده از رابطه (۲) تعیین گردید. سپس به کمک جدول ۱، ثابت مارکویک (K) تعیین و قطر ظاهری ذره ($N_d$) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد. کرویت ($S_p$) و نسبت پهنی ($W_r$) رسوبات برداشت شده در هر یک از مقاطع نیز به ترتیب با استفاده از روابط (۴) و (۵) محاسبه گردید (شفاعی-بجستان، ۱۳۷۳).

$$SF = \frac{C}{\sqrt{a \times b}} \qquad (۲)$$

$$b = K.N_d \qquad (۳)$$

$$Sp = \frac{N_d}{a} \qquad (۴)$$

$$Wr = \frac{a+b}{2c} \qquad (۵)$$

جدول ۱- رابطه بین ثابت مارکویک و فاکتور شکل

| SF | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ |
|---|---|---|---|---|
| K | ۱/۲۷ | ۱/۱۳ | ۱/۰۵ | ۱/۰ |

برای تعیین توزیع اندازه ذرات و به دست آوردن منحنی دانه‌بندی از کلیه ذرات استفاده شد. بدین صورت که ابعاد و وزن ذرات بزرگ‌تر از ۱۲۸ میلی‌متر به صورت مستقیم در آبراهه اندازه‌گیری و ثبت گردید. ذرات با قطر متوسط بین ۳۲ میلی‌متر و ۱۲۸ میلی‌متر توسط کولیس تعیین بعد شده و وزن آنها در چهار طبقه قطری ۴۵-۳۲، ۶۴-۴۶، ۹۰-۶۵ و ۱۲۸-۹۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. ذرات دارای قطر متوسط کم‌تر از ۳۲ میلی‌متر نیز به روش الک کردن تفکیک و در نهایت وزن گردید. سپس وزن‌های به دست آمده با هدف افزایش سرعت و دقت در بخش دانه‌بندی به ماکروی GRADISTAT تهیه شده در محیط Excel (Blott & Pye, 2001) وارد شده و نهایتا چهار پارامتر میانگین ($M_g$)، انحراف معیار یا جورشدگی ($\sigma_g$)، چولگی ($SK_g$) و کشیدگی ($K_g$) به روش ترسیمی (هندسی) و با استفاده از روابط (۶) الی (۹) محاسبه شد.

$$M_g = \exp\frac{\ln P16 + \ln P50 + \ln P84}{3} \qquad (۶)$$

$$\sigma g = \exp\left(\frac{\ln P16 - \ln P84}{4} + \frac{\ln P5 - \ln P95}{6/6}\right) \qquad (۷)$$

$$SK_g = \frac{\ln P16 + \ln P84 - 2(\ln P50)}{2(\ln P84 - \ln P16)} + \frac{\ln P5 + \ln P95 - 2(\ln P50)}{2(\ln P95 - \ln P5)} \qquad (۸)$$

$$K_g = \frac{\ln P5 - \ln P95}{2/44(\ln P25 - \ln P75)} \qquad (۹)$$

که در آنها $P_5$ الی $P_{۹۵}$ مقادیر وقوع اندازه‌های مختلف ذرات در منحنی تجمعی می‌باشند. اندازه‌های $d_{۱۰}$، $d_{۵۰}$ و $d_{۹۰}$ بر حسب میکرومتر، جایگاه نمونه رسوب آنالیز شده در مثلث بافت و در نهایت منحنی‌های دانه‌بندی و توزیع تجمعی نیز در مقیاس میکرومتر محاسبه و تهیه گردید.

به منظور اطمینان از ثبات نسبی شرایط حاکم بر مقاطع بالادست و پایین دست معادن و امکان انتساب تغییرات ایجاد شده به تأثیرات ناشی از برداشت شن و ماسه، پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مقاطع از قبیل ارتفاع آخرین داغاب، سطح مقطع خیس شده، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی، ضریب زبری، شیب طولی بستر، سرعت جریانی که داغاب آن ثبت شده و همچنین دبی آن برای هر کدام از مقاطع محاسبه گردیدند. پس از به دست آوردن شیب طولی کانال در مقطع و همچنین محاسبه ضریب زبری مؤثر بر جریان سیلابی با استفاده از روش اصلاح شده کووان(Cowan) ( Arcement & Schneider, 1980)، سرعت جریان سیلابی به کمک فرمول

مانینگ تعیین و دبی سیلاب مربوط به آن با توجه به داغاب مشاهده‌ای مشخص گردید. در تعیین ضریب زبری به روش کووان ابتدا ضریب زبری اولیه ($n_b$) با استفاده از $d_{90}$ و روش ژولین (Ahmad Bakri et al., 2002) و در مطابقت با مقادیر توصیه شده ۰/۰۲۸ تا ۰/۰۳۵ برای آبراهه‌های طبیعی با استفاده از رابطه (۷) تعیین شد:

$$n_b = 0/038\ d_{90}^{\frac{1}{6}} \qquad (۷)$$

پس از تعیین ($n_b$)، ضریب زبری اصلاح شده یا نهایی با استفاده از رابطه (۸) برای هر مقطع محاسبه شد:

$$n=(n_b+n_1+n_2+n_3+n_4)m \qquad (۸)$$

که در آن $n_b$ مقدار ضریب زبری پایه برای کانال مستقیم، یکنواخت و هموار و صاف در مواد طبیعی، $n_1$، $n_2$، $n_3$، $n_4$ و $m$ به ترتیب مقادیر اصلاحی مرتبط با نامنظمی سطح کانال، تغییرات در شکل، اندازه و سطح مقطع کانال و جریان، موانع در مسیر جریان، برای اثر رشد گیاهان بر وضعیت‌های جریان و سرعت آن و مئاندری بودن کانال می‌باشند.

## نتایج

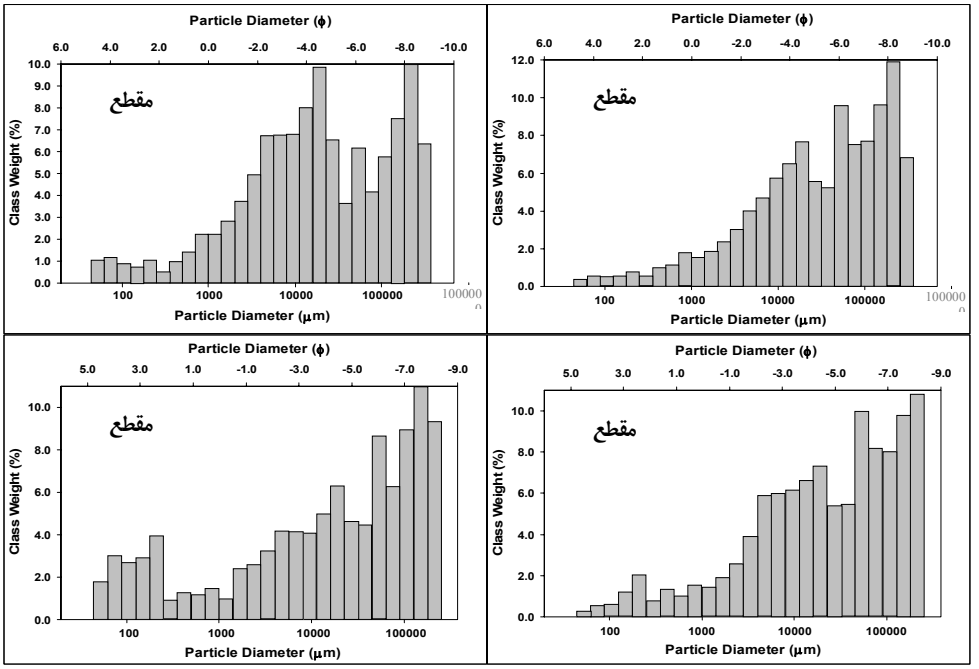
برای رسیدن به اهداف این تحقیق فعالیت‌های گسترده‌ای از جمله محاسبه خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر در ۴ مقطع در طول مسیر رودخانه کوهستانی واز که شامل آنالیزهای دانه‌بندی ۷۱۷/۷۱۱ کیلوگرم رسوبات بستر رودخانه، اندازه‌گیری ابعاد سه گانه بزرگ، متوسط و کوچک ۸۱۹ دانه رسوبی با قطر متوسط بزرگ‌تر از ۳۲ میلی‌متر، اندازه‌گیری قطر کوچک‌ترین دایره محاط بر دانه، قطر بزرگ ترین دایره محیط در دانه و قطر کوچک‌ترین دایره گوشه‌های دانه برای حداقل ده درصد وزنی دانه‌های با قطر متوسط بزرگ‌تر از ۳۲ میلی‌متر، اندازه‌گیری و محاسبه سطح مقطع، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی، ضریب زبری، شیب بستر آبراهه، سرعت و دبی جریان در هر کدام از ۴ مقطع انجام پذیرفت. خصوصیاتی از قبیل شیب بستر کانال، سطح مقطع، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی و ضریب زبری مستقیماً بر رفتار آب در کانال تأثیر می‌گذارند. یکسان بودن نسبی این خصوصیات در یک بازه، مُنجر به تغییرات اندک پارامترهای ریخت‌سنجی رسوبات بستر شده و مقدار این تغییرات نیز با طول بازهٔ انتخابی رابطهٔ مستقیم دارد. به عبارت دیگر در یک بازهٔ کوتاه که خصوصیات هیدرولیکی و هندسی و همچنین دیواره‌های مُشرف به آن از ثبات نسبی برخوردارند، می‌توان تغییرات پارامترهای ریخت‌سنجی رسوبات بستر را به عامل یا عوامل دیگری نسبت داد. خصوصیات هیدرولیکی و هندسی و دیواره‌های مشرف به مقاطع انتخابی نسبتاً یکسان بوده و در نتیجه می‌توان برداشت شن و ماسه را عامل ایجاد تغییرات خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر دانست. جدول۲ خصوصیات هیدرولیکی و هندسی مقاطع را نشان می‌دهد. وضعیت دانه‌بندی رسوبات بستر در مقاطع مورد بررسی در شکل۲ نشان داده شده است. همچنین خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر در مقاطع مورد مطالعه در جدول۳ خلاصه شده است.

## بحث و جمع‌بندی

بررسی داده‌های ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که اگرچه مقادیر متغیرهای هیدرولیکی و هندسی در مقاطع ۱و ۲ از مقاطع ۳ و ۴ کم‌تر است، لکن تغییرات مقادیر متغیرهای مورد نظر در بالادست و پایین‌دست هر یک از معادن مورد بررسی بسیار کم بوده و طبعاً دلالت بر یکسانی نسبی شرایط هیدرولیکی و هندسی مقاطع مورد نظر دارد. از این‌رو طبیعی است عمدهٔ تغییرات ایجاد شده در خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات را می توان به دخالت‌های ناشی از برداشت شن و ماسه در حد واسط مقاطع نسبت داد. همچنین تغییرات زیادی در خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات در حدواسط دو معدن و در طول رودخانه صورت گرفته که متاثر از عواملی از قبیل فاصله از سرآب، لغزش‌های کناری رودخانه و کاربری‌های مختلف بوده لکن در این تحقیق مشخصاً خصوصیات مزبور در نزدیک‌ترین فاصله بالادست و پایین‌دست معادن مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۲- خصوصیات هیدرولیکی و هندسی مقاطع مورد مطالعه

| شماره مقطع | شیب (٪) | دبی (m^3/s) | سرعت جریان (m/s) | شعاع هیدرولیکی (m) | ضریب زبری (n) | محیط خیس شده (m) | سطح مقطع (m^2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۶/۴۰ | ۷۸/۷۰ | ۳/۴۱ | ۱/۰۳ | ۰/۰۷۵۶ | ۲۲/۵۰ | ۲۳/۱۰ |
| ۲ | ۳/۴۰ | ۸۰/۵۸ | ۳/۱۲ | ۱/۱۱ | ۰/۰۶۳۴ | ۲۳/۱۵ | ۲۵/۸۰ |
| ۳ | ۲/۰ | ۱۶۸/۲۳ | ۳/۵۶ | ۱/۵۹ | ۰/۰۵۴۲ | ۲۹/۶۰ | ۴۷/۲۰ |
| ۴ | ۱/۷۰ | ۱۷۱/۶۷ | ۳/۳۹ | ۱/۶۶ | ۰/۰۵۴۰ | ۳۰/۴۰ | ۵۰/۶۰ |




شکل ۲- نمودار توزیع اندازه رسوبات بستر در مقاطع مورد بررسی
( مقاطع ۱ و ۳ در بالادست و ۲ و ۴ در پایین‌دست معادن برداشت شن و ماسه در مسیر رودخانه)

طبق تجارب (Demir, 2003) روند تغییرات طبیعی میانگین اندازهٔ مواد بستری که یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی رسوبات بستر است کاهش تدریجی در جهت پایاب می‌باشد اما معادن شن و ماسه روند کاهش میانگین اندازه مواد بستری را شدت بخشیده است و دلیل این امر نیز رفت و آمد انواع ماشین‌آلات برداشت ممتد و بدون وقفه رسوبات جدید که به مقطع قبل از معدن وارد می‌شوند و همچنین جلوگیری از رسیدن بخش مهمی از این رسوبات به مقطع بعد از معدن به واسطهٔ ایجاد مناطق دِپو و حوضچه‌های تله‌اندازی رسوب می‌باشد. (Lagasse et al. 1980) نیز نشان دادند که برداشت شن وماسه از بستر رودخانه موجب تغییرات معنی‌دار اندازه مواد شده است. مقادیر بالای جورشدگی نشان‌دهنده وجود ذرات با قطرهای مختلف در نمونه رسوب می‌باشد. این پارامتر بر طبق نتایج مطالعات (Demir, 2003) به صورت طبیعی در جهت پایاب افزایش می‌یابد لکن در رودخانه‌های با بستر شنی که رسوب بستر آنها درشت‌دانه است (نظیر رودخانه واز)، فعالیت معادن شن و ماسه به دلیل برداشت مواد درشت دانه و همچنین برجاگذاری و یا اضافه‌سازی دامنه بخصوصی از ذرات ریزدانه در بستر موجب افزایش جورشدگی می‌گردد. (Lee et al. 1993) نیز افزایش گل آلودگی در اثر فعالیت‌های برداشت شن و ماسه از

جدول ۳- خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر

| شماره مقطع | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|---|---|---|---|---|
| میانگین (mm) | ۳۳/۱۱۷ | ۲۰/۱۰۵ | ۲۴/۲۲۶ | ۱۲/۳۹۴ |
| جورشدگی | ۶/۲۳۹ | ۷/۶۱۶ | ۶/۶۵۲ | ۱۲/۸۸۰ |
| چولگی | -۰/۲۸۳ | -۰/۰۵۹ | -۰/۲۴۳ | -۰/۳۹۵ |
| کشیدگی | ۰/۹۱۵ | ۰/۸۹۵ | ۰/۹۶۸ | ۰/۹۱۸ |
| نَما (mm) | ۲۱۵/۲۷ | ۲۱۵/۲۷ | ۲۱۵/۲۷ | ۱۵۲/۲۲ |
| $d_{10}$ (mm) | ۲/۱۱ | ۱/۲۲ | ۱/۵۰ | ۰/۱۸ |
| $d_{50}$ (mm) | ۴۲/۲۶ | ۱۸/۴۱ | ۲۸/۲۱ | ۲۳/۸۶ |
| $d_{90}$ (mm) | ۲۲۷/۷۹ | ۲۱۶/۲۵ | ۱۸۰/۹۲ | ۱۷۴/۴۵ |
| شن(٪) | ۹۰/۳۴۱ | ۸۶/۶۱۳ | ۸۸/۵۷۶ | ۷۸/۶۶۵ |
| ماسه(٪) | ۹/۳۲۳ | ۱۲/۴۴۹ | ۱۱/۱۸۷ | ۱۹/۶۲۲ |
| سیلت و رس(٪) | ۰/۳۳۶ | ۰/۹۳۸ | ۰/۲۳۸ | ۱/۷۱۳ |
| قطر بزرگ (mm) | ۷۲/۹۱ | ۶۷/۱۲ | ۷۱/۵۴ | ۷۲/۳۸ |
| قطر متوسط (mm) | ۵۴/۶۶ | ۵۱/۱۵ | ۵۲/۹۰ | ۵۳/۵۰ |
| قطر کوچک (mm) | ۳۷/۸۱ | ۳۴/۹۹ | ۳۳/۳۱ | ۳۴/۱۸ |
| فاکتور شکل | ۰/۵۹۹ | ۰/۵۹۷ | ۰/۵۴۱ | ۰/۵۴۹ |
| قطر ظاهری (mm) | ۵۰/۱۳ | ۴۶/۸۷ | ۴۷/۵۱ | ۴۸/۱۹ |
| کرویت | ۰/۶۸۷۵ | ۰/۶۹۸۳ | ۰/۶۶۴۱ | ۰/۶۶۵۷ |
| گردشدگی | ۰/۱۲۲۴ | ۰/۱۴۸۸ | ۰/۲۳۶۵ | ۰/۲۵۷۲ |
| نسبت پهنی | ۱/۶۹ | ۱/۶۹ | ۱/۸۷ | ۱/۸۴ |
| گروه بافتی نمونه | شنی | شنی | شنی | شنی – ماسه ای |

رودخانه‌ها را عنوان می‌کنند که مبین افزایش مواد ریزدانه به جریان بوده و طبعاً در پائین‌دست به رسوب بستر می‌پیوندد. افزایش مواد ریزدانه به بستر رودخانه‌ها توسط معادن شن و ماسه به روش‌های مختلفی صورت می‌پذیرد که یکی از آنها مسئله رفت و آمد ماشین آلات مورد استفاده در این معادن است که موجب افزایش گل‌آلودگی رودخانه و حمل ذرات ریز به پایین‌دست می‌شود. در معادن برداشت شن وماسه با هدف افزایش تولید اقدام به استفاده از حوضچه‌های رسوب گیر و تراش دادن دیواره‌های رودخانه می‌شود که این روش‌ها نیز موجب افزایش مواد ریزدانه به رودخانه می‌گردند.

اگرچه رودخانه‌ها غالباً دارای چولگی منفی هستند اما قدر مطلق چولگی به صورت روند طبیعی در جهت پایاب کاهش می‌یابد. چولگی منفی با عدد بزرگ‌تر نشان‌دهنده وجود درصد بیشتری از ذرات درشت‌دانه در نمونه رسوب بوده و با افزایش ذرات دانه‌ریز، مقدار چولگی به صفر نزدیک می‌شود. پرشیب‌ترین تغییرات مربوط به قبل و بعد از معدن شماره ۱ می‌باشد. قدر مطلق چولگی در بعد از این معدن نسبت به قبل آن کاهش شدیدی را نشان می‌دهد و این به دلیل کاهش نسبت مواد درشت دانه به مواد ریزدانه در رسوبات بستر اتفاق افتاده است. همچنین درصدی از مواد درشت دانه نیز برداشت شده و به کاهش قدر مطلق چولگی کمک نموده است. اما تغییرات چولگی قبل و بعد از معدن شماره ۲ بر عکس معدن شماره ۱ می‌باشد. به عبارت دیگر هرچند مواد ریزدانه زیادی در اثر معدن به رسوبات بستر افزوده شده است اما به دلیل کاهش میانگین اندازه رسوبات بستر، وزن اختصاص داده شده به رسوبات دانه درشت بیشتر شده و چولگی منفی را افزایش داده است. روند طبیعی کشیدگی رسوبات بستر رودخانه ها در جهت پایاب روندی کاهشی است. معادن شن و ماسه ضمن برداشت و کاهش دامنه‌ای از مواد بستری، موجبات افزوده شدن ذرات ریزتر را فراهم کرده و منحنی توزیع را به حالتی پهن‌تر مبدل می‌نمایند. بنابراین در هر دو مقطع بعد از معادن نسبت به قبل از آنها کشیدگی کاهشی پیدا کرده است.

نَما در مقاطع قبل و بعد از معدن شماره ۱ تغییری نشان نمی‌دهد و این دو مقطع هر دو دارای رسوبات سه نَما (Trimodal) می‌باشند. اما مقاطع قبل و بعد از معدن شماره ۲ دارای رسوبات چند نَما (Multimodal) بوده ضمن اینکه در مقطع بعد از این معدن، نَما کاهش یافته است. این مطلب از طریق کاهش کشیدگی نیز خود را نشان داده است. درصد قابل توجهی از رسوبات این مقطع را مواد ریزدانه به خود اختصاص می‌دهند که در مورد بافت نیز موجب تغییر بافت از شنی به شنی- ماسه‌ای شده اند. همین مواد ریز دانه وزن بیشتری از منحنی توزیع را به سمت چپ کشیده و در نهایت باعث کاهش کشیدگی و کاهش نَما نیز شده‌اند.

اندازه های $d_{10}$، $d_{50}$ و $d_{90}$ جزء پارامترهای مربوط به قطر بوده و به صورت طبیعی در جهت پایاب کاهش پیدا می‌کنند. اثر معادن شن و ماسه بیشتر بر $d_{50}$ و $d_{90}$ قابل تشخیص بوده و این تغییرات نیز در مورد معدن شماره ۱ که فعالیت گسترده تری از معدن شماره ۲ دارد مشهودتر است. اندازه‌های سه محوری a ، b و c بعد از معدن شماره ۱ کاهش نسبتا شدیدی را از خود نشان می‌دهند. عواملی همچون حساسیت بالای منطقه به فرسایش، وجود گسل و شیب بالای رودخانه درشت بودن رسوبات بستر قبل از معدن را توجیه می‌کنند در حالی‌که فعالیت شدید معدن و دیگر عوامل ذکر شده در فاصله کمی موجب کاهش پارامترهای مربوط به اندازه‌ها و ابعاد ذرات از جمله $d_{10}$، $d_{50}$ و $d_{90}$ و میانگین اندازه ذرات شده است. در پایین‌دست حوزه در منطقه قبل از معدن شن و ماسه شماره ۲، منطقه حساس به هوازدگی و فرسایش قرار دارد که مشابه بالادست معدن شماره ۱ می‌باشد. این منطقه موجب افزایش مجدد پارامترهای اندازه ذرات شده است اما معدن شماره ۲ اثر معنی‌داری بر اندازه‌های سه محوری ندارد. قطر ظاهری مستقیماً از محور متوسط دانه (b) به دست می‌آید و به همین دلیل با کاهش b در خلال معدن شماره ۱ کاهش یافته و با افزایش b در خلال معدن شماره ۲ افزایش می‌یابد.

معادن برداشت شن و ماسه موجب افزایش درصد ماسه و لای (سیلت و رس) و کاهش درصد شن در مقاطع شده‌اند. فعالیت و رفت آمد ماشین‌آلات مختلف، تولید رسوبات در یک دامنه قطری خاص (ماسه) و همچنین جمع‌آوری رسوبات با دامنه قطری درشت‌تر (شن) برای استفاده در دستگاه سنگ‌شکن، از مهم‌ترین دلایل این تغییرات می‌باشند.

افزایش فاکتور شکل نشان‌دهنده نزدیک شدن ابعاد سه گانه ذرات به همدیگر و حالت کروی یا مکعبی بودن آنها و کاهش آن نشان‌دهنده میله‌ای یا صفحه‌ای شدن ذرات می‌باشد. همانطور که از( جدول ۳) برمی‌آید برداشت شن و ماسه اثر معنی‌داری بر فاکتور شکل رسوبات بستر نداشته است زیرا اندازه‌های سه محوری a، b و c در خلال معادن به یک نسبت تغییر کرده‌اند.

کرویت در مقطع بعد از معادن شن و ماسه نیز نسبت به قبل از آنها تغییر معنی‌دار نشان نمی‌دهد. به عبارت دیگر هرچند که معادن شن و ماسه در اثر فعالیت ماشین‌آلات، موجب نزدیک‌تر شدن ابعاد سه‌گانه دانه‌ها به همدیگر می‌شوند، اما این دانه‌ها اغلب به بستر بر نمی‌گردند و بعد از کاهش شدید ابعاد به عنوان ماسه استخراج می‌گردند و در نهایت کرویت تغییر نمی‌کند. افزایش سطح مقطع و تجاوز به حریم طبیعی رودخانه‌ها و بخصوص تراش دادن دیواره‌ها از روش‌های غیرعلمی و غیراستاندارد در افزایش تولید در معادن برداشت شن و ماسه می‌باشند. به همین دلیل نیز دانه‌هایی به بستر اضافه می‌گردند که ممکن است دارای کرویت بیشتر و یا کمتر از ذرات و یا دانه‌های فعلی بستر باشند و این به شرایط زمان رسوب‌گذاری آنها در مقایسه با شرایط زمان فعلی دارد. بنابراین، این دانه‌ها می‌توانند کرویت را کاهش و یا افزایش دهند. رودخانهٔ فرعی بِجِز دارای سطح مقطع بزرگی بوده و در نتیجه محدوده بالادست معدن شماره ۱ تا فاصله چند صد متر به حوضچه‌ای بسیار کاراً برای تله‌اندازی رسوب رودخانه و همچنین دیواره‌های رها شده و بدون حفاظ آن تبدیل شده است. گردشدگی که نشان‌دهندهٔ از بین رفتن زوایا و گوشه-های تیز در دانه‌ها می‌باشند در جهت پایاب به صورت طبیعی روند افزایشی دارد و به نظر می‌رسد معدن شماره ۲ در این

روند تغییرات محسوسی ایجاد نکرده است. اما معدن شماره ۱ در افزایش شدیدتر این پارامتر اثر داشته است. به طوری که در اثر اضافه شدن مقادیر متنابهی رسوبات دیواره آبراهه در بالادست معدن که تراش دیواره‌ها و برداشت بی‌رویه رسوب کف صورت می‌گیرد این پارامتر در فاصله کوتاهی از ۰/۱۲ به ۰/۱۵ رسیده است. این یافته نشان می‌دهد که دانه‌های اضافه شده به رسوبات بستر از دانه‌های موجود دارای گردشدگی بیشتری می‌باشند. با بررسی میدانی و آزمایشگاهی نیز این مطلب تایید می‌شود. نسبت پهنی در رسوبات بستر مقاطع قبل و بعد از محدوده‌های برداشت شن و ماسه تغییر معنی‌داری نشان نمی‌دهد زیرا هر سه اندازهٔ a، b و c به یک نسبت کاهش یافته‌اند و در نتیجه نسبت پهنی تغییری نشان نمی‌دهد.

بافت رسوبات رودخانهٔ واز اغلب شنی است. اما در مقطع بعد از معدن شماره ۲ بافت به شنی- ماسه‌ای تغییر کرده و این نشان‌دهنده افزایش مواد ریزدانه به رسوبات بستر است که می‌تواند نتیجه کاهش شیب ناگهانی رودخانه در این مقطع و همچنین فعالیت معدن در برداشت دامنه قطری درشت‌دانه و برجای ماندن رسوبات ریزدانه در بستر باشد ضمن اینکه این مقطع در پایین‌دست حوزه نیز قرار داشته و انتظار ریزتر شدن بافت رسوبات منطقی است. بافت رسوبات مقاطع قبل و بعد از معدن شماره ۱ هر دو شنی بوده و تغییری نشان نمی‌دهد. زیرا تغییر بافت مستلزم تغییرات بیشتر در درصد شن، ماسه و لای (سیلت و رس) در رسوبات بوده و به نظر می‌رسد که این تغییرات نیاز به گذشت زمان بیشتری از فعالیت معادن برداشت شن و ماسه داشته باشد. (Healy & Wo, 2002) نیز تأثیر برداشت شن و ماسه بر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه ها را منوط به گذشت مدت زمانی متناسب با دامنه فعالیت معادن شن و ماسه می‌دانند.

همانطور که مشاهده می‌شود در خلال بازه‌ای از رودخانه که برداشت شن و ماسه در آن صورت می‌گیرد تغییرات طبیعی اکثر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر در جهت پایاب رودخانه دچار اختلال شده و گاهی این تغییرات روند معکوس یافته‌اند. (Lee et al. 1993) ، (Lagasse et al. 1980) و (Healy & Wo, 2002) نیز تغییرات معنی‌دار خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر و اختلال در روند تغییرات آنها در اثر برداشت شن و ماسه از رودخانه ها را نشان دادند.

با استناد به نتایج بدست آمده طی تحقیق حاضر در حوزه آبخیز واز می‌توان جمع‌بندی نمود که به‌رغم شرایط نسبی هیدرولیکی مشابه در مقاطع قبل و بعد از معادن، فعالیت‌های برداشت شن و ماسه رودخانه‌ای بر خصوصیات ریخت‌سنجی میانگین، جورشدگی، چولگی، کشیدگی، نَما، قطرهای ده، پنجاه و نود درصد، درصد شن، ماسه، سیلت و رس، قطرهای بزرگ، متوسط و کوچک، فاکتور شکل، قطر ظاهری، گردشدگی و نسبت پهنی رسوبات بستر تأثیر داشته است. از این رو با توجه به نتایج به دست آمده مبنی بر تأثیر معنی‌دار فعالیت‌های برداشت شن و ماسه در حوزه مورد بررسی بر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه و همچنین نظر به اهمیت و لزوم برداشت و استفاده از مصالح رودخانه و در کنار آن پایداری شیب‌های کناری و زمین‌های زراعی در پایین‌دست رودخانه‌های استان، بکارگیری نتایج حاصل از این تحقیق در حوزه آبخیز واز در بهره‌برداری اصولی از معادن شن و ماسه موجود، پیش‌بینی محل مناسب معادن و کاهش کلی میزان فعالیت‌های برداشت شن و ماسه خصوصا در رودخانه بِجِز توصیه می‌شود. از طرفی مقایسه میزان برداشت فعلی از معادن مذکور با مقادیر پیش‌بینی شده و لحاظ ثبات نسبی شرایط ریخت‌سنجی و تناسب دانه‌بندی رسوبات موجود برای اهداف مختلف در بخش‌های مورد نظر برای ایجاد معدن و نیز ارزیابی تغییرات محتمل ناشی از بهره‌برداری با استفاده از مفاهیم حاکم بر هیدرولیک رسوب مورد تاکید می‌باشد. همچنین انجام تحقیقات دقیق در رابطه با نوع و شیوهٔ بهره‌برداری از معادن شن و ماسه و تأثیر آنها بر تغییر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر به همراه نظارت دائم بر نوع فعالیت‌های جاری در معادن فعال در سایر رودخانه‌های مهم کشور از پیشنهادهای منتج از تحقیق حاضر می‌باشد.

## منابع

خالدی درویشان، عبدالواحد. (۱۳۸۳) بررسی تأثیر برداشت شن و ماسه بر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، ۳۶ ص.

خالقی، پرویز. (۱۳۷۷) نیمرخ جنگلهای خزر (واز رود)، انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع؛ تهران، ۳۸۰ ص.

شفاعی‌بجستان، محمود. (۱۳۷۳) هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران؛ اهواز، ۴۳۸ ص.

متولی، صدرالدین. (۱۳۷۴) مکانیسم فرسایش توده‌ای و روش های پیشگیری و مبارزه با آن در حوزه آبخیز واز بخش چمستان نور، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۴۳ ص.

Ahmad Bakri, A.G., Aminuddin, AB.G., Nor Azazi, Z., Zorkeflee, A. H. and Chang, C.K. (2002), Determination of Manning's Flow Resistance Coefficient for Rivers in Malaysia, 1st International Conference on Managing Rivers in The 21st Century: Issues and Challenges, 104-110.

Arcement, G.J. and Schneider, V.R. (1980), Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficient for Natural Channels and Flood Plains (Metric Version), United States Geological Survey Water-Supply (USGS), Paper 2339.

Blott, S.J. and Pye, K. (2001), Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediment, Earth Surface Processes Landforms, 10(26): 1237-1248.

Brown, A.V., Lyttle, M.M. and Brown, K.B. (1998), Impacts of Gravel Bed Streams, Transactions of the Amrican Fisheries Society, 127(6): 979-994.

Clifford, N.J. (2001), Conservation and the River Channel Environment, In: A. Warren 2 J. R. French (eds) Habitate Conservation, John Wiley and Sons, Ltd, 356: 68-104.

Demir, 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 Centre of Hacettepe University, 33-47.

Fripp, J.B. and Diplas (1993), Surface Sampling in Gravel Stream, Journal of Hydraulic Engineering, 119 (4): 473-490.

Gomez, B. (2001), Downstream Fining in a Rapidly Aggrading Gravel Bed River, Water Resources Research, 37 (6): 1813-1823.

Healy, T. and Wo, K. (2002), Sediment Characteristics and Bed Level Changes in Relation to Sand Extraction and Damming of a Sand-Gravel River: The Lower Waikato River, New Zealand, Journal of Hydrology (NZ) 41(2): 175-196.

Kochel, R.C. and Baker, V.R. (1988), Paleoflood Analysis Using Slackwater Deposits, Flood Geomorphology, John Wiley and Sons Publications: 357- 376.

Lagasse, P.F., Simons, D.B. and Winkley, B.R. (1980), Impact of Gravel Mining on River System Stability, Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division, 106(3): 389-404.

Leeder, M.R. (1988), Sedimentology: Process and Product, Fletcher and Son Ltd, 344 pp.

Lee, H.Y., Fu, D.T. and Song, M.H. (1993), Migration of Rectangular Mining Pit Composed of Uniform Sediments, Journal of Hydraulic Engineering, 119(1): 64-80.

Mass-Plaa, J., Montanerb, J. and Solab, J. (1999), Groundwater Resources and Quality Variations Caused by Gravel Mining in Costeal Streams, Journal of Hydrology, 216: 197-213

Marstona, R.A., Bravard, J.P. and Greenc, T. (2003), Impacts of Reforestation and Gravel Mining on the Malnant River, Haute-Savoie, French Alps, Geomorphology, 55: 65-74.

Mosley, M.P. and Tindale, D.S. (1985), Sediment Variability and Bed Material Sampling in Gravel-Bed Rivers, Earth Surface Processes Landforms, 10(5): 465-482.

Vignati, D. (2003), Characterisation of Bed Sediment and Suspention of the River Po (Italy) During Normal and High Flow Conditions, Water Research, (37): 2847-2864.

Rinaldi, M., Wyzga, B. and Surian, N. (2005), Sediment Mining in Alluvial Channels: Physical Effects and Management Perspecives, River Research and Applications 21(7): 805-828.

Williams, G.P. (1983), Paleohydrological Methods and Some Examples from Swidish Fluvial Environment, Cobble and Boulder Deposits, Geogr. Ann., 65A: 227-243.

Williams, G.P. and Costa, J.E. (1988), Geometric Measurment after a Flood, Flood Geomorphology, John Wiley and Sons Publications: 65-75.