

بررسی تأثیر شرایط هیدرودینامیک و مورفولوژی رودخانه بهمنشیر بر روی خصوصیات زمین شناسی مهندسی نهشته‌های سری جزر و مدی بهمنشیر

قنبر ملک^۱، ماشاله خامه‌چیان^{۲*}، کاظم مرادی هرسینی^۳

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۹/۲

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۴

چکیده

رودخانه بهمنشیر یک رودخانه جزر و مدی دوسویه در جنوب غربی استان خوزستان می‌باشد که از رودخانه کارون در محلی به نام سه شاخه حفار (محل اتصال رودخانه‌های کارون، اروندرود و بهمنشیر) در نزدیکی خرمشهر منشعب شده و بعد از طی مسیری در حدود ۸۰ کیلومتر به خلیج فارس منتهی می‌گردد. نهشته‌های عهد حاضری که در امتداد این رودخانه وجود دارند، شامل دو افق رسی می‌باشند که توسط یک افق ماسه‌ای - سیلتی از یکدیگر جدا شده‌اند. این نهشته‌ها که در یک محیط جزر و مدی ته نشست یافته‌اند به عنوان سری جزر و مدی بهمنشیر شناخته می‌شوند. مطالعات هیدرودینامیکی و محیط‌رسوبی این رودخانه نشان می‌دهد که جریانات جزر و مدی از طریق رودخانه اروندرود در بالادست و از طریق خلیج فارس در پایین دست وارد رودخانه بهمنشیر می‌شوند. در منطقه میانی رودخانه نیز به علت مورفولوژی مانداری آن، شدت انرژی و تراز جزر و مد کاهش پیدا می‌کند. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر شرایط هیدرودینامیکی و مورفولوژیک خاص این رودخانه بر روی خصوصیات زمین شناسی مهندسی نهشته‌های سری بهمنشیر می‌باشد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در مناطق بالادست و پایین دست رودخانه به علت حضور جریانات جزر و مدی دوسویه، شرایط رسوبی و محیط شیمیایی تقریباً یکسانی به وجود آمده است که این شرایط سبب ایجاد مشابهت‌هایی در خصوصیات زمین شناسی مهندسی از قبیل خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی نهشته‌های سری بهمنشیر شده است. همچنین در منطقه میانی رودخانه به علت کاهش شدت انرژی جریان به دلیل مانداری شدن این قسمت از رودخانه، درصد کانی‌های رسی نسبت به کانی‌های غیررسی افزایش یافته است. همین امر موجب شده خصوصیات زمین شناسی مهندسی منطقه میانی رودخانه نسبت به مناطق بالادست و پایین دست آن تغییرات زیادی نشان دهد.

کلید واژه‌ها: خصوصیات زمین شناسی مهندسی، سری بهمنشیر، شرایط هیدرودینامیکی، مورفولوژی

^۱ - دانشجوی دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

^۲ - دانشیار گروه زمین شناسی مهندسی دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس Khamechm@modares.ac.ir

^۳ - استادیار دانشکده علوم زمین دانشگاه دامغان

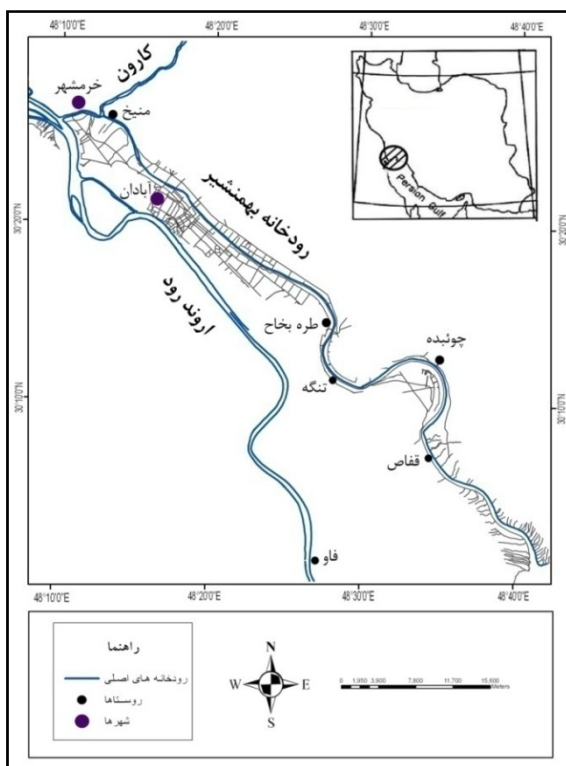
* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

رودخانه بهمنشیر به طول ۸۰ کیلومتر در منتهی الیه جنوب غربی دشت خوزستان واقع گردیده است. این رودخانه در بالادست به رودخانه کارون و کانال حفار (انشعاب دیگر رودخانه کارون) و در پایین دست به خلیج فارس منتهی می گردد که دارای شرایط هیدرودینامیک و مورفولوژی خاصی می باشد. به گونه ای که از دو سمت بالادست و پایین دست تحت تأثیر جریانات جزرومدی قرار دارد (شکل ۱).

در این تحقیق با توجه به شرایط مذکور سعی گردید باگردآوری اطلاعات هیدرودینامیکی رودخانه بهمنشیر و خصوصیات زمین شناسی مهندسی نهشته های عهد حاضر در امتداد این رودخانه، به تأثیر شرایط هیدرودینامیک و مورفولوژیک آن بر روی خصوصیات زمین شناسی مهندسی پرداخته شود.

مطالعات زمین شناسی مهندسی متنوعی در نهشته های کوتاه تر مناطق رودخانه ای و ساحلی صورت گرفته است که از آن جمله می توان به فعالیت های دلگادو و همکاران (Delgado et al., 2003) در خصوص دشت سیلابی رودخانه سگورا واقع در جنوب شرقی اسپانیا، بوزانو و همکاران (Bozzano et al., 2000) در مورد رودخانه تایبر واقع در شهر رم ایتالیا، نهشته های دشت سیلابی رودخانه یانگ در غرب شهر نانچینگ کشور چین (Xia et al., 2006)، نهشته های سست کوتاه تر زون ساحلی در غرب آلبانی (Guri et al., 2000)، رسوبات گلی جزر و مدی (Flemming & Delafontaine, 2000)، رس های دریایی (Sridharan et al., 2004) و بسیاری از فعالیت های دیگر اشاره کرد. همچنین مرادی هرسینی (۱۳۸۶) مطالعات جامع و کاملی در مورد زمین شناسی، محیط رسوبی و زمین شناسی مهندسی نهشته های عهد حاضر محیط های رسوبی مختلف در جنوب دشت خوزستان انجام داده است و برای نخستین بار نهشته های رسوبی رودخانه بهمنشیر را به عنوان نهشته های جزر و مدی سری بهمنشیر معرفی نموده است.



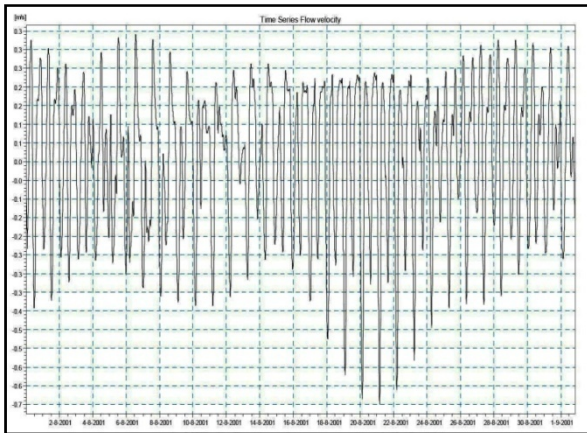
شکل ۱. موقعیت رودخانه جزر و مدی دو سویه بهمنشیر در

جنوب غربی دشت خوزستان

۲. هیدرودینامیک و مورفولوژی رودخانه بهمنشیر

رفتار هیدرولیکی رودخانه بهمنشیر از یک طرف در بالادست، تحت تأثیر رودخانه کارون و نفوذ جزر و مد دریا از طریق اروندرود می باشد به گونه ای که در هنگام وقوع پدیده مد در خلیج فارس، جریانات جزر و مدی توسط رودخانه اروندرود به منطقه بالادست رودخانه می رسد و از طرف دیگر در پایین دست، تحت تأثیر جریانات جزرو مدی خلیج فارس می باشد و این خود پیچیدگی خاصی به این مسئله داده است. بیشتر مطالعات هیدرولیک رودخانه بهمنشیر توسط شرکت های مختلف (به صورت پروژه ای) با استفاده از مدل هیدرودینامیکی MIKE صورت گرفته است. از این رو سعی شده است تا با استفاده از اندازه گیری هایی که توسط این شرکت ها از ایستگاه های مختلف انجام گرفته است، تغییرات تراز جریان مطالعه گردد.

تغییرات تراز آب و سرعت جریان در امتداد رودخانه در این قسمت سعی شده تا با گردآوری و یکپارچه کردن داده های موجود گزارش های مختلف مطالعات هیدرولیک و خروجی های مدل (MIKE) از ایستگاه ها و مناطق مختلف رودخانه، تغییرات هیدرودینامیکی در امتداد آن بررسی و ارزیابی شود.



شکل ۴. تغییرات سرعت جریان در نزدیکی پل چوئبده (مهندسین مشاور تدبیر ساحل، ۱۳۸۸)

پل چوئبده (منطقه میانی رودخانه)

با استفاده از خروجی‌های به دست آمده از مدل MIKE مقادیر تراز سطح آب و سرعت جریان در منطقه چوئبده در اشکال ۳ و ۴ ارائه شده است.

ایستگاه فاو (منطقه پایین دست)

اطلاعات مورد استفاده در منطقه پایین دست از ایستگاه جزر و مدی فاو (رودخانه اروندرود) که در فاصله ۷۸ کیلومتری از مدخل بهمنشیر قرار دارد، به دست آمده است. با توجه به اطلاعات به دست آمده خروجی‌های مدل MIKE از ایستگاه‌های مختلف در مناطق بالادست، میانی و پایین دست، تغییرات تراز سطح آب و سرعت جزر و مد در جدول ۱ ارائه شده است.

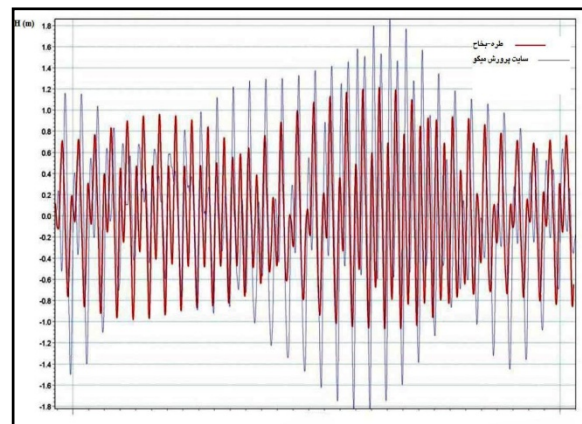
نتایج جدول ۱ بیانگر کاهش تراز و شدت انرژی جریان رودخانه، در منطقه میانی است که این امر می‌تواند در نتیجه مماندگی بودن آن و احتمالاً برخورد جریانات جزرومدی از بالادست و پایین دست رودخانه در این منطقه باشد. میزان ارتفاع جزرومد (H) در بالادست و پایین دست افزایش یافته که این امر به علت دوسویه بودن جزرومد رودخانه بهمنشیر می‌باشد.

ایستگاه منیخ، منطقه بالادست رودخانه

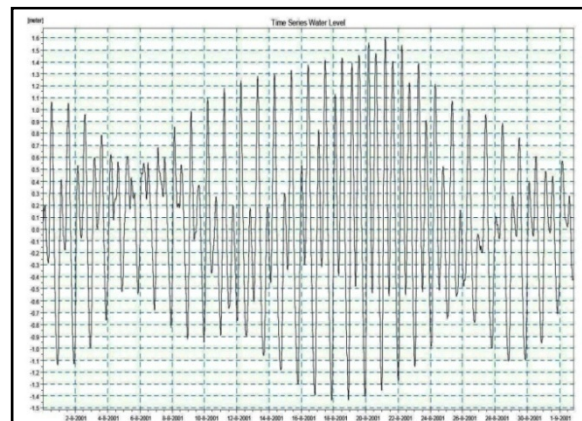
بر اساس اطلاعات ۱۳ ساله از ایستگاه منیخ که به فاصله حدود ۳ کیلومتری از مدخل رودخانه بهمنشیر قرار دارد، میزان تغییرات تراز آب و سرعت جریان مورد بررسی قرار گرفته است.

ایستگاه طره بخاخ، منطقه میانی رودخانه

این ایستگاه در ۲۵ کیلومتر از مدخل رودخانه بهمنشیر واقع شده است. در شکل ۲ نوسانات سطح آب در ایستگاه طره بخاخ و محل سایت پرورش میگو چوئبده، طی دوره یک ماهه (August 2001) ارائه شده است.



شکل ۲. تغییرات تراز آب در نزدیکی طره بخاخ و سایت پرورش میگو (مهندسین مشاور تدبیر ساحل، ۱۳۸۸)



شکل ۳. تغییرات تراز سطح آب در نزدیکی پل چوئبده (مهندسین مشاور تدبیر ساحل، ۱۳۸۸)

جدول ۱. تغییرات متوسط تراز سطح آب و سرعت جریان

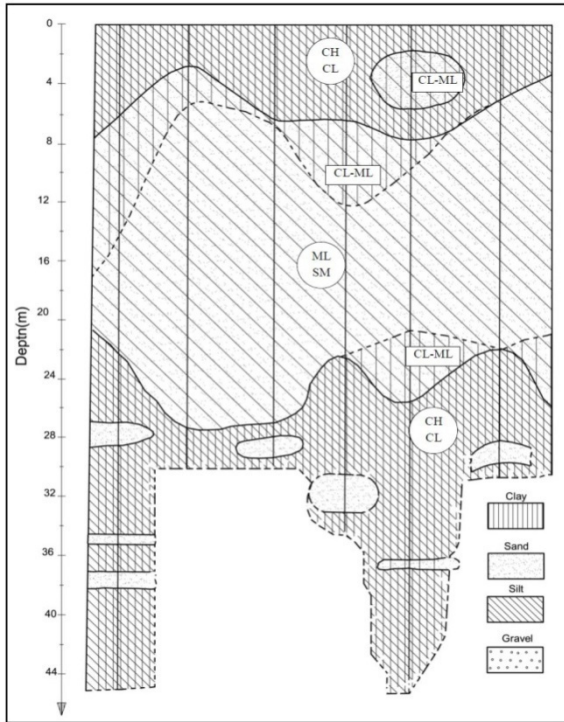
جزر و مد در امتداد رودخانه بهمنشیر

تغییرات تراز جریان (m)				میزان سرعت جریان (m/sec)		عمق (m)
H	MLW	MHW	MSL	حالت جزر	حالت مد	
۳/۷	-۱/۸۵	۱/۸۵	۲/۷۴	-۰/۷۲	+۰/۲۳	۰-۴
۲	-۱	۱	---	---	---	۴-۸
۲/۸	-۱/۴	۱/۴	---	-۰/۷	+۰/۲۵	۸-۱۰
۴	-۲	۲	۱/۷۴	-۱/۰۵	+۰/۷۵	۱۰-۱۲

H=ارتفاع موج یا همان تغییرات تراز آب از حالت جزر تا حالت مد.

MSL=تراز میانگین سطح دریا طی یک پرپود حداقل ۱۸/۶ سال.

MHW=میانگین سطوح مد. MLW=میانگین سطوح جزر.



شکل ۵. نیمرخ نهشته‌های سری جزر و مدی بهمنشیر

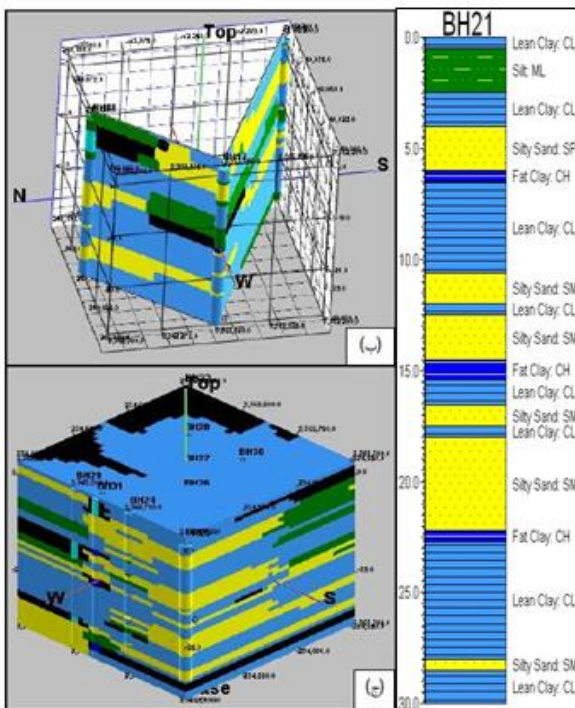
(Moradi Harsini et al., 2007)

۳. نهشته‌های سری جزر و مدی بهمنشیر

مرادی هرسینی و همکاران (Moradi Harsini et al., 2007) با استفاده از لاگ گمانه‌های موجود در امتداد رودخانه بهمنشیر توالی نهشته‌های این رودخانه را که در یک محیط جزر و مدی ته نشست یافته‌اند را به‌عنوان سری بهمنشیر معرفی نموده‌اند (شکل ۵). همان‌طور که از شکل مشخص است وجود یک لایه رسی سیلتی (CL و CL-ML) به ضخامت ۸-۶ متر در بالای سری بهمنشیر و یک لایه ماسه‌ای میانی به ضخامت متغیر ۱۰ تا ۲۰ متر و مجدداً یک لایه رسی پایینی، به عنوان متداول‌ترین وضعیت غالب در سری بهمنشیر می‌باشد.

۱-۳. نیمرخ نهشته‌های سری بهمنشیر در امتداد رودخانه

به‌منظور بررسی دقیق‌تر وضعیت افق‌های سری بهمنشیر، سعی گردید تا با استفاده از اطلاعات گمانه‌های مختلف در مناطق بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه نیمرخ‌های دو بعدی، سه بعدی و فانس دیاگرام‌های مناسب رسم شود تا تصویر کاملی از شرایط و تغییرات نیمرخ خاک حاصل گردد. در اشکال ۶ تا ۸ وضعیت نهشته‌های سری بهمنشیر در سه منطقه مذکور به نمایش درآمده است



شکل ۶. الف) لاگ یک گمانه، ب) فانس دیاگرام سه گمانه،

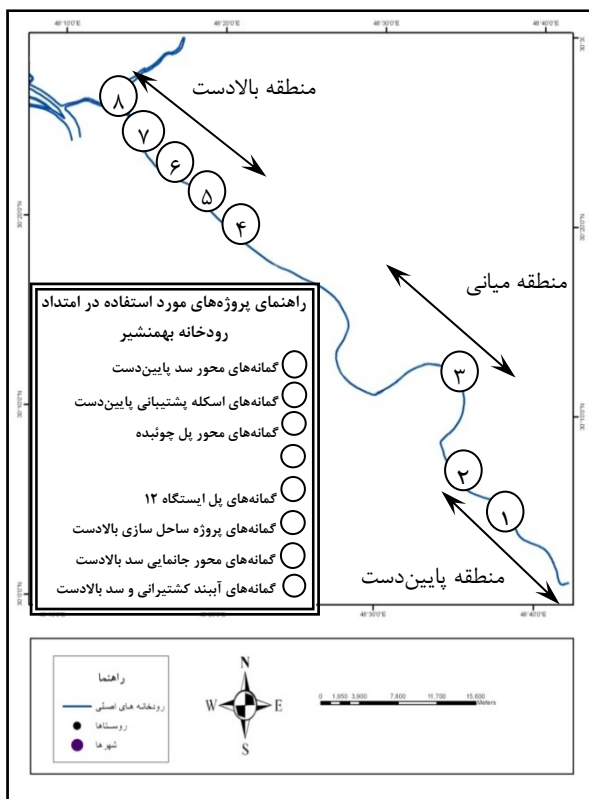
ج) مدل سه بعدی محدوده بالادست رودخانه

این نهشته‌ها بیشتر از نوع CL می‌باشد. علت این امر می‌تواند تغییر در شرایط مورفولوژی رودخانه در منطقه میانی (پیچایی بودن منطقه میانی) و در پی آن کاهش شدت انرژی رودخانه در این منطقه و ته نشست کانی‌های رسی باشد. همچنین شکل ۷ نشان‌دهنده توالی تقریباً کاملی از نهشته‌های سری بهمنشیر که در شکل ۵ نشان داده شده است، می‌باشد.

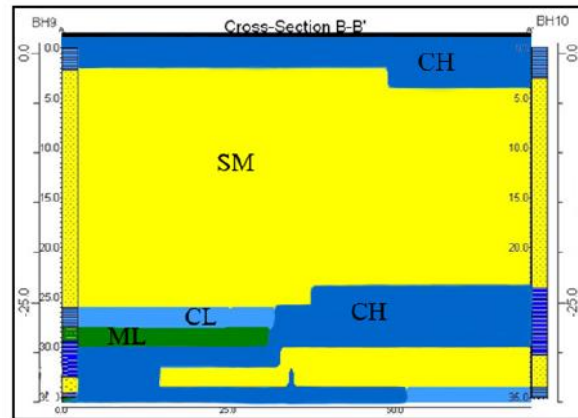
۴. خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های سری بهمنشیر

اطلاعات زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های سری بهمنشیر به دو صورت به دست آمده‌اند:

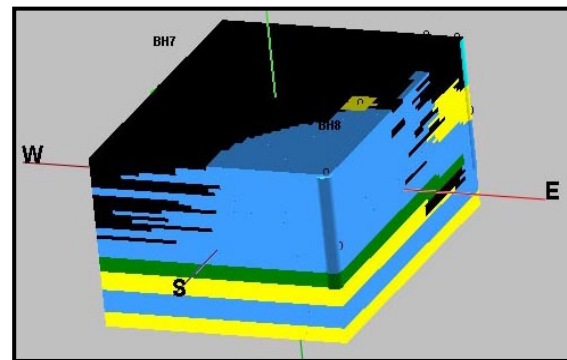
۱- جمع‌آوری اطلاعات از پروژه‌های مختلفی که در امتداد رودخانه انجام شده و یا در دست اجرا می‌باشند که موقعیت آن‌ها در شکل ۹ به نمایش در آمده است. در جدول ۲ نیز اطلاعات کمی داده‌های جمع‌آوری شده، در امتداد رودخانه ارائه شده است (مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران، ۱۳۷۷).



شکل ۹. موقعیت پروژه‌های مختلف در امتداد رودخانه بهمنشیر



شکل ۷. مقطع زمین‌شناسی محدوده میانی رودخانه



شکل ۸. مدل سه بعدی محدوده پایین‌دست رودخانه

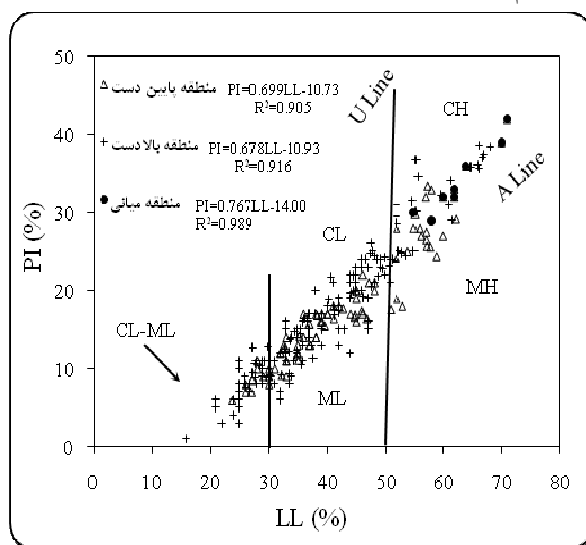
مقایسه مدل سه بعدی ساخته شده از لایه‌های زیر سطحی محدوده بالادست رودخانه بهمنشیر (در نزدیکی خرمشهر) (شکل ۶) و محدوده پایین‌دست (شکل ۸) نشان می‌دهد که به‌طور کلی در نواحی بالادست که شرایط متغیرتری وجود دارد و جریان‌های جزر و مدی از دو جهت و جریان‌های آب شیرین (ورودی از کارون) در این محدوده عمل می‌کنند، تغییر لایه‌بندی بیشتر بوده و لایه‌ها از ضخامت کمتری برخوردارند. به‌طور کلی بر خلاف پایین‌دست رودخانه، در نواحی بالادست ضخامت نهشته‌ها عموماً کمتر از ۵ متر بوده و لایه ضخیم و یکسانی مشابه با پایین‌دست مشاهده نمی‌شود. ضمن اینکه در مدل پایین‌دست (شکل ۸) در عمق بیش از ۲۵ متر، وجود یک لایه ماسه‌ای یکنواخت که احتمالاً می‌توان آن را از نهشته‌های آواری دریای کم عمق دانست، وجود دارد. به‌طور کلی از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست، عمق برخورد به افق ماسه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

نکته قابل توجه دیگر در شکل‌های ارائه شده وجود نهشته‌های رسی از نوع CH در منطقه میانی (شکل ۷) است. در حالی که در مناطق بالادست و پایین‌دست رودخانه، جنس

جدول ۲. اطلاعات کمی داده‌های جمع‌آوری شده در امتداد رودخانه

تعداد گمانه‌ها	حدود آتبرگ	رطوبت طبیعی	Gs	SPT	برش پره‌ای	طبقه بندی خاک	آزمون‌های شیمیایی	تحکیم	تک محوری	سه محوری
۱۰۳	۸۳۷	۳۴۵	۱۷۵	۶۹۱	۹۲	۸۲۷	۴۶۱	۸۴	۱۱۵	۱۰۰

افق سوم از عمق بیش از ۲۵ متری روندی به ماندافق اول دارد.



شکل ۱۰. نمودار پلاستیسیته مربوط به نهشته‌های افق رسی نواحی بالادست، میانی و پایین دست رودخانه

این تغییرات به خوبی با ضخامت افق‌های سری بهم‌نشیر که در شکل ۵ به آن اشاره شد، مطابقت می‌کند بگونه‌ای که می‌توان افق اول را به نهشته‌های رسی بالایی، افق دوم را به لایه ماسه‌ای سیلتی و افق سوم را به نهشته‌های رسی پایینی سری بهم‌نشیر مربوط دانست.

شکل ۱۲ الف و ب متوسط خصوصیات فیزیکی مختلف در افق‌های رسی، سیلتی و ماسه‌ای نواحی بالادست، میانی (پیچاب‌ها) و پایین دست رودخانه بهم‌نشیر را نشان می‌دهند. یکی از نکات قابل توجه در شکل ۱۲ الف افزایش پلاستیسیته افق ماسه‌ای در بخش پایین دست رودخانه است که می‌توان نتیجه گرفت افق ماسه‌ای در بالادست بیشتر از نوع SM و در پایین دست از نوع SC می‌باشد.

۲- انجام بازدیدها و آزمون‌های صحرایی از قبیل استفاده از کاوشگر دینامیکی مکتناش پروب و همچنین اخذ نمونه‌های مناسب در امتداد رودخانه و انجام آزمون‌های آزمایشگاهی از قبیل آزمایش‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی بر روی نمونه‌ها.

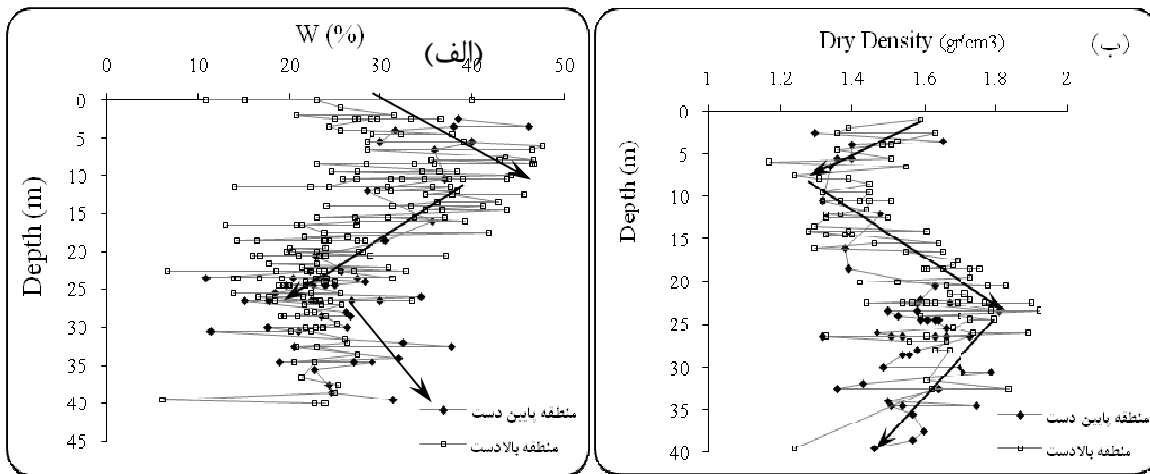
۴-۱. خصوصیات فیزیکی نهشته‌های سری بهم‌نشیر

شکل ۱۰ نمودار پلاستیسیته مربوط به نهشته‌های افق رسی نواحی بالادست، میانی و پایین دست رودخانه بهم‌نشیر را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در این نمودار این است که نمونه‌های رسی متعلق به نواحی بالادست و پایین دست رودخانه، اکثراً در نزدیکی و بالای خط A و در محدوده رس‌های غیرآلی با خاصیت خمیری کم تا متوسط (CL) قرار گرفته‌اند. معادله به دست آمده از توزیع این نمونه‌ها تقریباً یکسان است که این مطلب بیانگر حاکم بودن شرایط رسوبگذاری یکسان در هر دو منطقه می‌باشد. از طرف دیگر نمونه‌های رسی مربوط به منطقه میانی همگی بالای خط A و در محدوده رس‌های غیرآلی با پلاستیسیته بالا (CH) قرار دارند که نشان از تغییر در شرایط رسوبگذاری ناشی از تغییر انرژی محیط نسبت به دو منطقه دیگر دارد.

در شکل ۱۱ الف و ب تغییرات میانگین پارامترهای درصد رطوبت و دانسیته خشک نهشته‌های سری بهم‌نشیر نسبت به عمق در نواحی بالادست و پایین دست رودخانه ارائه شده است. به‌طورکلی با توجه به روند تغییرات درصد رطوبت طبیعی و دانسیته خشک نسبت به عمق، می‌توان ۳ افق را در هر دو بخش بالادست و پایین دست تفکیک نمود.

افق اول از سطح زمین تا عمق حدود ۷ متری، که یک روند افزایش درصد رطوبت (روند کاهش دانسیته خشک) مشاهده می‌شود.

افق دوم از عمق ۷ تا حدود ۲۵ متری، نسبت به افق اول روند معکوس دارد.

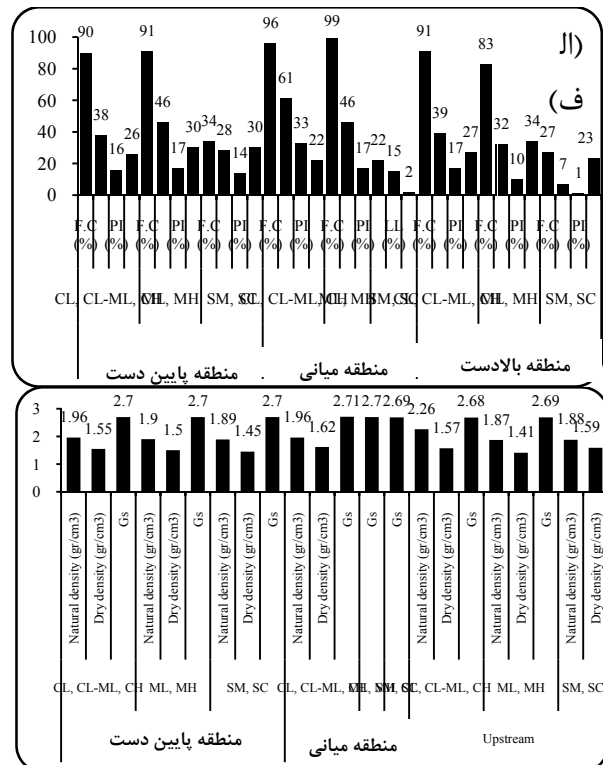


شکل ۱۱. الف) تغییرات درصد رطوبت طبیعی (ب) تغییرات دانسیته خشک در نهشته‌های سری بهممشیر نسبت به عمق

جدول ۳. متوسط خصوصیات فیزیکی افق‌های رسی سری بهممشیر در امتداد رودخانه

افق	محل پروژه‌ها	D ₅₀ (mm)	FC%	LL%	PI%	W%
افق رس بالایی	۱	۰/۰۰۹	۸۸	۳۵/۲	۱۳	۳۰
	۲	۰/۰۱۰	۸۶/۳	۴۱/۶	۱۷/۳	۳۹/۷
	۳	-	-	-	-	-
	۴	-	-	-	-	-
	۵	۰/۰۱۴	۹۲/۶	۴۳/۳	۱۹/۷	۴۵/۵
	۶	۰/۰۰۷	۹۶/۳	۳۴	۱۲/۹	۳۷/۴
	۷	۰/۰۰۹	۹۳/۲	۳۷	۱۵/۱	۳۰
	۸	۰/۰۱۵	۹۶/۴	۳۵/۷	۱۳/۴	۲۱/۲
افق رس پایینی	میانگین	۰/۰۱۲	۹۰/۹	۳۹	۱۵/۸	۳۴/۱
	۱	۰/۰۱۱	۸۹/۲	۴۰/۳	۱۷/۶	۲۴/۳
	۲	۰/۰۱۰	۹۴/۱	۳۶/۱	۱۴/۳	۲۴
	۳	۰/۰۰۴	۹۶/۴	۶۰/۷	۳۲/۶	۲۱/۶
	۴	۰/۰۰۴	۹۶	۴۲/۲	۱۶/۹	۲۴/۴
	۵	۰/۰۰۹	۹۴/۵	۴۴/۳	۲۱	۲۴/۵
	۶	۰/۰۰۵	۸۵/۸	۳۶/۸	۱۴/۸	۲۰/۳
	۷	۰/۰۱۵	۹۱	۴۰/۸	۱۸/۸	۲۳/۳
۸	۰/۰۰۶	۹۴/۵	۴۶/۱	۲۲/۴	۱۹/۵	
میانگین	۰/۰۰۸	۹۲/۷	۴۳/۴	۲۰/۲	۲۲/۷	

یکی از نکات قابل توجه در جدول ۳ نزدیک بودن درصد رطوبت طبیعی (W) به حدروانی (LL) خاک درافق بالایی و نزدیک بودن رطوبت طبیعی به حدخمیری (PL) در افق پایینی می‌باشد که این مطلب به ترتیب بیانگر وضعیت عادی تحکیم

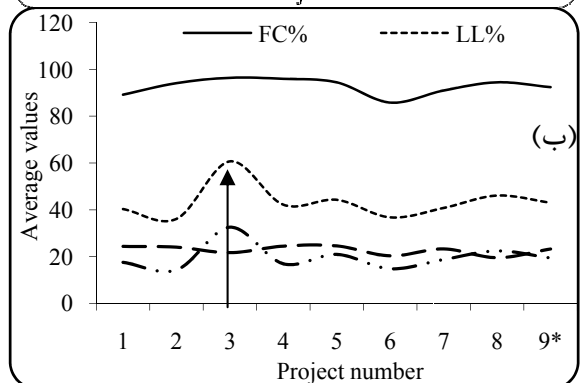
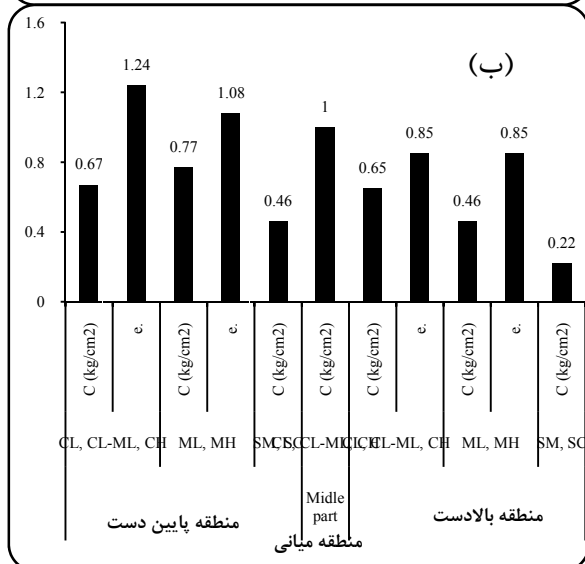
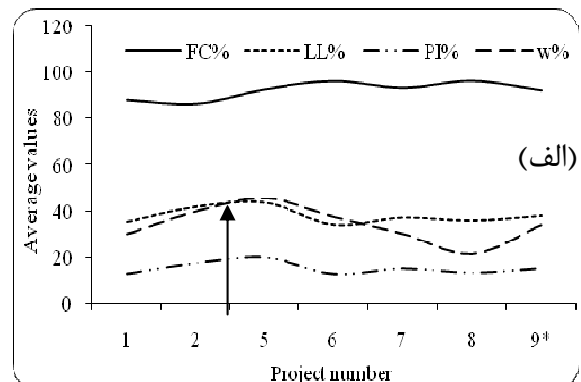
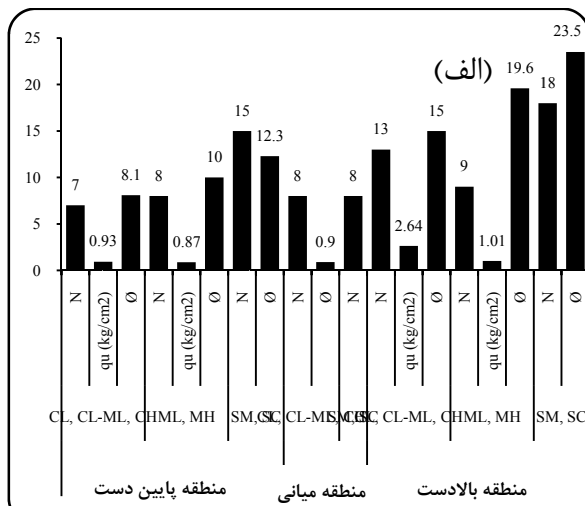


شکل ۱۲. متوسط پارامترهای فیزیکی نهشته‌های مختلف در امتداد رودخانه؛ الف) درصد ریزدانه (Fc)، حدود آتربرگ و درصد رطوبت (ب) دانسیته مرطوب، دانسیته خشک و Gs

در جدول ۳ متوسط خصوصیات فیزیکی افق رسی بالایی و افق رس پایینی سری بهممشیر ارائه شده است. در واقع در این قسمت وضعیت این دو افق رسی نسبت به هم، در امتداد رودخانه مورد مطالعه قرار گرفته است.

یافته بودن افق بالایی و پیش تحکیمی بودن افق پایینی می باشد. در شکل ۳ الف و ب تغییرات متوسط خصوصیات فیزیکی مختلف در امتداد رودخانه (شماره پروژه‌ها) در هر دو افق رسی مشخص شده است. نکته قابل توجه در این شکل‌ها افزایش درصد ریزدانه‌ها (Fc) و حدود آتبرگ در محل پروژه شماره ۳ (واقع در منطقه میانی) می باشد که نشان دهنده تغییر در شرایط رسوبگذاری ناشی از کاهش شدت انرژی رودخانه در این منطقه است.

یافته بودن افق بالایی و پیش تحکیمی بودن افق پایینی می باشد. در شکل ۳ الف و ب تغییرات متوسط خصوصیات فیزیکی مختلف در امتداد رودخانه (شماره پروژه‌ها) در هر دو افق رسی مشخص شده است. نکته قابل توجه در این شکل‌ها افزایش درصد ریزدانه‌ها (Fc) و حدود آتبرگ در محل پروژه شماره ۳ (واقع در منطقه میانی) می باشد که نشان دهنده تغییر در شرایط رسوبگذاری ناشی از کاهش شدت انرژی رودخانه در این منطقه است.



شکل ۱۴. الف و ب) - میانگین خصوصیات مکانیکی

افق‌های سری بهمشر در امتداد رودخانه

شکل ۱۵ مقایسه متوسط برخی از خصوصیات مکانیکی افق‌های رسی بالایی و پایینی سری بهمشر را نشان می دهد. با توجه به شکل ۱۵، مقدار چسبندگی (C)، چسبندگی مؤثر (C')، مقاومت برشی زهکشی نشده (Su)، در افق رس پایینی نیز

شکل ۱۳. تغییرات متوسط درصد ریزدانه، حدود آتبرگ

و درصد رطوبت در امتداد رودخانه الف) افق رس بالایی

سری بهمشر ب) افق رس پایینی سری بهمشر

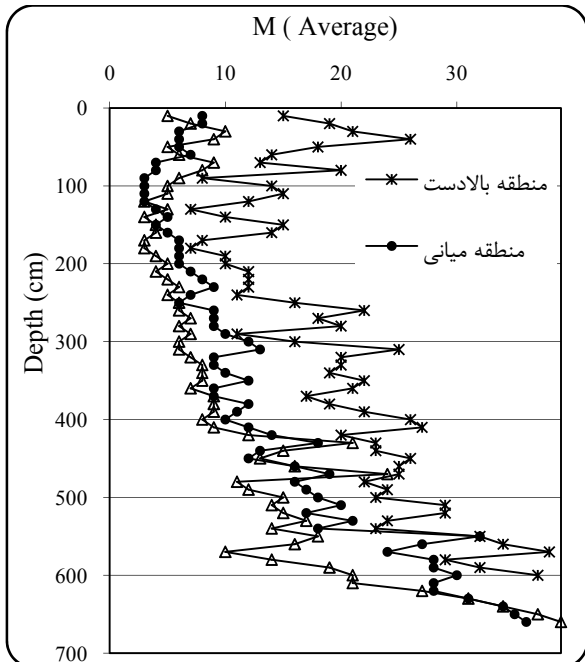
(۹* میانگین پارامترها)

۲-۴. خصوصیات مکانیکی نهشته‌های سری بهمشر

در شکل ۱۴ الف و ب متوسط خصوصیات مکانیکی مختلف در افق‌های سری بهمشر ارائه شده است. با توجه به شکل ۱۴ الف مشاهده می شود با عبور از بالادست رودخانه به سمت پایین دست، پارامترهای مقاومتی (عدد SPT و مقاومت تراکمی تک محوره q_u) در تمام افق‌های سری بهمشر کاهش می یابد. این روند نزولی در افق ماسه‌ای نسبت به افق‌های دیگر کمتر است که علت آن افزایش عمق قرارگیری افق

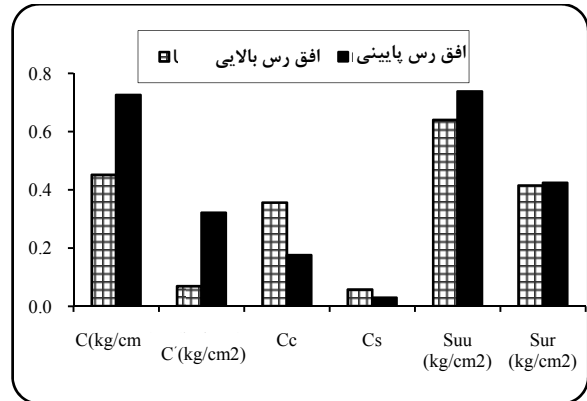
یکی از کاوشگرهای دینامیکی مناسب برای خاک‌های ریزدانه و رسی سست، کاوشگر مکی‌تاش پروب است که بر خلاف آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) معمولاً نیاز به حفر گمانه ندارد. این دستگاه نوع خیلی سبکی از کاوشگرهای دینامیکی است که با توجه به سبک بودن وزن چکش آن، فقط در رسوبات ریزدانه نرم و رس‌های سست ($Cu < 50 \text{ Kpa}$) استفاده می‌شود و جهت تعیین مشخصات مقاومتی آبرفت‌های ریزدانه تا عمق کمتر از ۱۰ متر می‌توان از آن استفاده کرد (خداپرست، ۱۳۸۴).

در شکل ۱۷ مقادیر میانگین تعداد ضربات کاوشگر مکی‌تاش پروب جهت نفوذ ۱۰ سانتی‌متر مخروط دستگاه به داخل زمین (M) در سه منطقه بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه نسبت به عمق ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۱۷ مشخص است مقادیر M از سطح زمین تا عمق ۱ متری افزایش چشم‌گیری می‌یابد علاوه بر این مقادیر M با عبور از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد. همچنین در عمق ۶ الی ۷ متری مقدار تمام ضربه‌ها در هر سه منطقه تقریباً یکسان بوده و تعداد بیشتر از ۳۰ ضربه را نشان می‌دهند.



شکل ۱۷. مقادیر میانگین M در سه منطقه بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه بهمنشیر

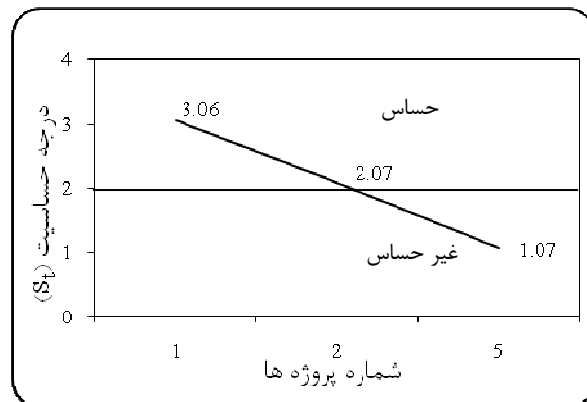
نسبت به افق رس بالایی افزایش یافته است. همچنین نشانه تورم (Cs) و نشانه فشردگی (Cc) افق رس پایینی نیز نسبت به بالایی کاهش یافته است که این امر نشان از افزایش بار سربار موجود بر افق پایینی و پیش تحکیمی بودن این افق دارد.



شکل ۱۵. مقایسه ویژگی‌های مکانیکی در افق رس

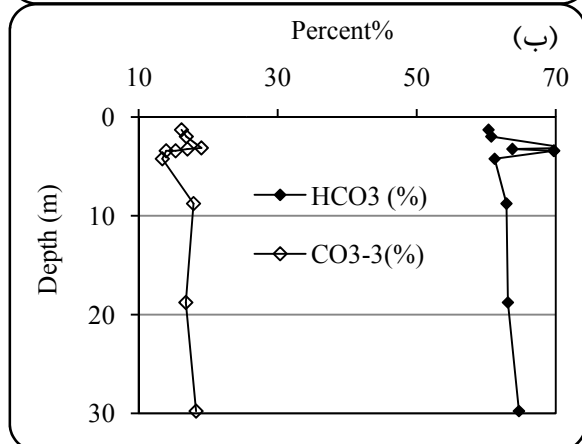
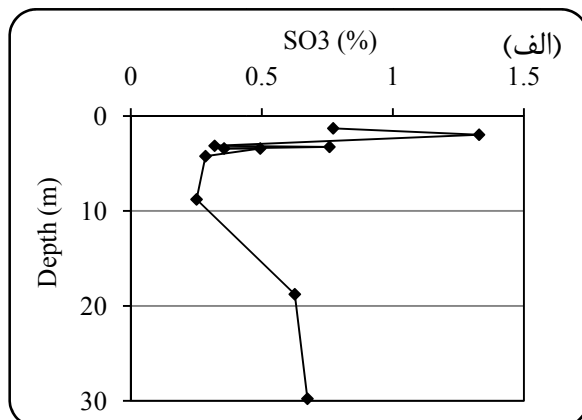
بالایی و پایینی

با توجه به نسبت مقاومت برشی زهکشی نشده دست نخورده، به دست خورده ($St = Su/Sr$) در امتداد رودخانه مشاهده می‌گردد که با عبور از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه، میزان حساسیت خاک در افق رس پایینی افزایش می‌یابد (شکل ۱۶). این درحالی است که این روند در لایه رس بالایی (عادی تحکیم یافته) تغییر خاصی نکرده و این لایه به عنوان خاک‌های غیرحساس تلقی می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش شوری در پایین‌دست و پیش تحکیمی بودن افق رس پایینی، سبب افزایش حساسیت خاک در این منطقه شده باشد.



شکل ۱۶. تغییرات حساسیت افق رس پایینی در امتداد رودخانه (شماره‌های محور افقی بیانگر موقعیت پروژه‌ها می‌باشند)

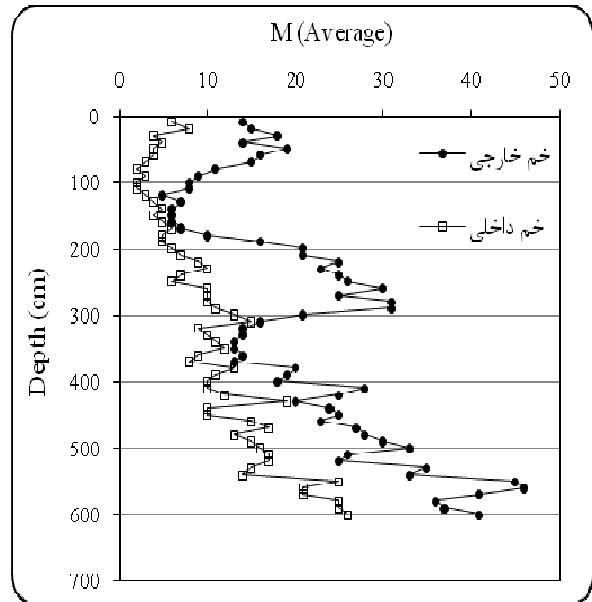
شکل‌ها مشاهده می‌شود که مقادیر سولفید (SO₃-3)، کربنات (CO₃-3) و بی‌کربنات (HCO₃-2) در اعماق سطحی افزایش چشمگیری می‌یابند که این امر می‌تواند به علت بروز پدیده موئینگی در نتیجه بالا بودن سطح آب زیر زمینی (عمق ۲ الی ۱/۵ متری از سطح زمین) و همچنین نرخ بالای تبخیر در منطقه باشد. نکته قابل توجه در این قسمت افزایش پارامترهای مقاومتی از جمله تعداد ضربات زیاد کاوشگر دینامیکی مکتناش پروب (شکل‌های ۱۷ و ۱۸) در اعماق سطحی است که به خوبی با نتایج ارائه شده در شکل ۱۹ الف و ب تطابق دارد و علت آن سیمانی شدن این قسمت از افق خاک در اثر انباشته شدن این عناصر در اعماق سطحی می‌باشد.



شکل ۱۹. الف) تغییرات (SO₃-3) ب) تغییرات کربنات و بی‌کربنات نسبت به عمق در افق رسی سری بهمنشیر

نتایج آزمون‌های شیمیایی نمونه‌های اخذ شده از مناطق بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به روابط موجود در خصوص خاک‌های واگرا

در شکل ۱۸ نیز مقادیر میانگین M در خم‌های داخلی و خارجی پیچاب رودخانه (منطقه میانی) ارائه شده است. نتایج نشان داده شده در شکل ۱۸ مویید افزایش ضربات در خم‌های خارجی رودخانه نسبت به خم‌های داخلی آن می‌باشد که از علل آن می‌توان به جوان بودن رسوبات ته نشست یافته در خم داخلی، نسبت به رسوبات در حال فرسایش در خم خارجی اشاره کرد.



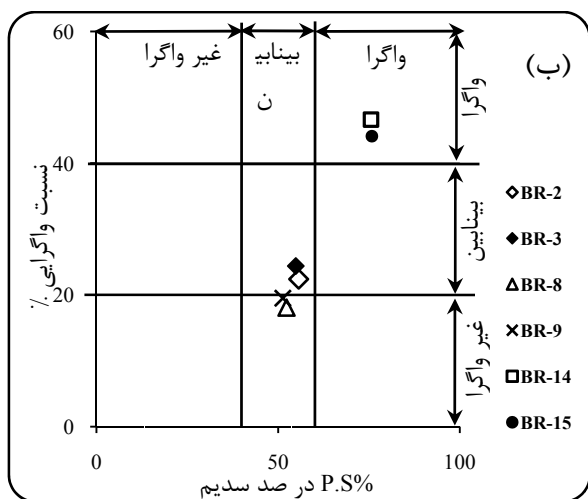
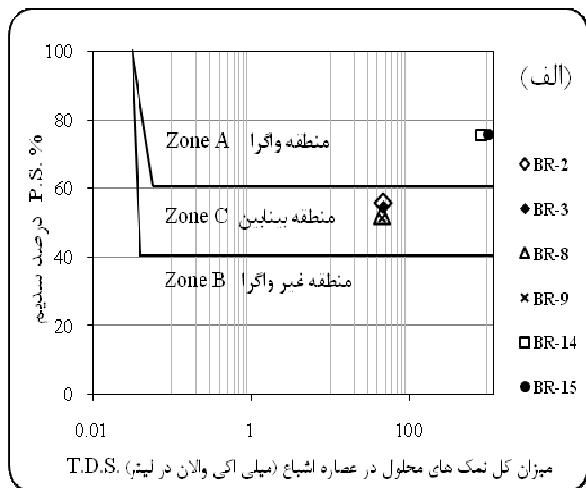
شکل ۱۸. مقادیر میانگین M در خم‌های داخلی و خارجی پیچاب رودخانه بهمنشیر

۳-۴. خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناختی افق رسی سری بهمنشیر

با توجه به اهمیت و تأثیر خصوصیات شیمیایی بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی به ویژه در مورد نهشته‌های ریزدانه، در این بخش نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی افق رسی سری بهمنشیر، در امتداد رودخانه مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا ضمن گردآوری اطلاعات موجود از گزارش‌های مختلف در امتداد رودخانه، نمونه‌های مختلفی که در امتداد رودخانه جمع آوری شده بود نیز تحت آزمایش شیمیایی و آنالیزهای XRD و XRF قرار گرفته‌اند.

شکل ۹ الف و ب نتایج اطلاعات شیمیایی حاصل از گزارش‌های ژئوتکنیکی پروژه‌های مختلف در افق رسی سری بهمنشیر را نسبت به عمق نشان می‌دهند. با توجه به این

جریانات جزر و مدی در منطقه بالادست و افزایش شدت شوری این منطقه از رودخانه نسبت به منطقه میانی می‌باشد که خود گواهی دیگر بر تأثیر شرایط هیدرودینامیکی خاص رودخانه بهمنشیر در خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های آن می‌باشد.



شکل ۲۰. وضعیت واگرایی افق رس بالایی سری بهمنشیر در امتداد رودخانه الف) بر اساس معیار شرارد و همکاران (۱۹۷۶) ب) بر اساس نسبت واگرایی هیدرومتری دوگانه و درصد سدیم

۳-۱-۳-۴. کانی‌شناسی افق رس بالایی در امتداد رودخانه

به‌منظور مشخص کردن کانی‌شناسی نمونه‌های افق رس بالایی سری بهمنشیر از روش پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده گردیده است. تمامی نمونه‌های اخذ شده از منطقه، بعد از

و معیارهای مختلف بررسی اینگونه خاک‌ها و همچنین نتایج آزمون‌های شیمیایی عصاره اشباع که در جدول ۴ ارائه شده، تصمیم بر آن شد که از معیار شیمیایی شرارد و همکاران (Sherard et al., 1976) به‌منظور بررسی وضعیت واگرایی افق رس بالایی سری بهمنشیر، در امتداد رودخانه استفاده شود. همچنین آزمایش هیدرومتری دوگانه طبق استاندارد ASTM- D4221-83a بر روی ۱۵ نمونه انجام گرفت که در جدول ۴ نتایج نسبت واگرایی در برخی از آن‌ها به همراه پارامترهای شیمیایی مورد استفاده در معیارهای مذکور ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج آزمون‌ها و پارامترهای شیمیایی مورد استفاده

در تعیین واگرایی افق رس بالایی در امتداد رودخانه

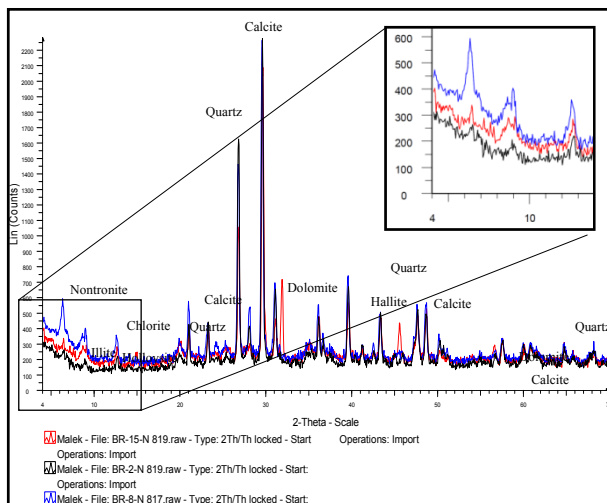
پایین دست		میانی		بالادست		منطقه
BR-15	BR-14	BR-9	BR-8	BR-3	BR-2	نمونه آزمایش
۷۹/۱	۵۳/۴	۴/۳۲	۴/۳۵	۴/۴۲	۴/۴۶	Ec (Ds/m)
۸/۱	۸	۷/۹	۷/۹	۸	۸	PH
۸۰۴	۶۳۴	۲۳/۱	۲۳/۵	۲۵/۸	۲۶/۳	Na ⁺ (meq/lit)
۴۴/۱	۴۶/۶	۱۹/۵	۱۸/۱	۲۴/۴	۲۲/۴	نسبت واگرایی
۱۰۶۰	۸۳۶	۴۵	۴۴/۹	۴۷/۱	۴۷/۲	TDS (meq/lit)
۷۵/۷	۷۵/۵	۵۱/۲	۵۲/۳	۵۴/۸	۵۵/۶	Ps%
۷۱/۲	۶۳/۲	۷	۷/۲	۷/۹	۸/۲	S.A.R

S.A.R = نسبت جذب سدیم، T.D.S = کل املاح محلول، P.S = درصد سدیم.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴ و شکل‌های ۲۰ الف و ب مشخص می‌شود که طبق معیار شرارد نمونه‌های اخذ شده از منطقه بالادست از نظر واگرایی در رده بینابین، منطقه میانی در رده غیرواگرا و پایین‌دست جزو خاک‌های واگرا قرار می‌گیرند.

این مسئله که خاک‌های بالادست غیر واگرا نبوده و در رده بینابین قرار گرفته‌اند، حائز اهمیت است که علت آن حضور

فیزیکی و مکانیکی ارائه شده در بخش‌های پیشین به خوبی انطباق دارد. با توجه به مطالب ارائه شده در این بخش، مشخص می‌شود که نوع کانی‌های غیر رسی در تمام مناطق تقریباً یکسان است با این تفاوت که در منطقه پایین‌دست کانی‌های رسی نیز پدیدار می‌شود. در مورد کانی‌های رسی باید گفت که این کانی‌ها در پایین‌دست بیشتر از خانواده اسمکتیت‌ها و در بالادست بیشتر از خانواده کائولینیت‌ها می‌باشند. اما نکته قابل توجه اینست که در مناطق بالادست و پایین‌دست رودخانه، درصد کانی‌های رسی نسبت به کانی‌های غیر رسی کم است در حالی که در منطقه میانی رودخانه، این نسبت زیاد بوده و حضور کانی‌های رسی افزایش یافته است. همین امر سبب گشته تا خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی منطقه میانی با دیگر مناطق رودخانه متفاوت باشد.



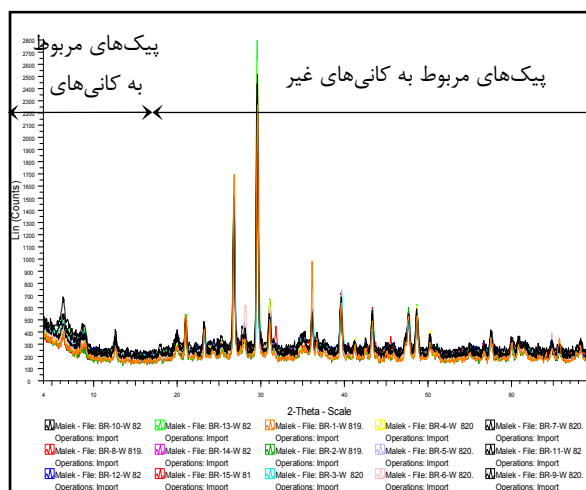
شکل ۲۲. نمودار آنالیز XRD نمونه ۳

(BR-15-N, BR-8-N, BR-2-N) در امتداد رودخانه

۵. نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده مشخص گردید که خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی نهشته‌های سری بهم‌نشیر با یکدیگر مرتبط بوده و همچنین این خصوصیات متأثر از شرایط هیدرودینامیکی و مورفولوژی حاکم بر این رودخانه

شستشو با اسید کلریدریک ۰/۱ مولار و آماده سازی آن‌ها، مورد آنالیز قرار گرفت و پیک تمام نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۲۱ ارائه شده است. در نگاه اول، این شکل بیانگر یکسان بودن کانی‌شناسی و منشاء یکسان نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۲۱. نمودار آنالیز XRD نمونه‌های اخذ شده در امتداد رودخانه

جهت مطالعه دقیق‌تر، نتایج XRD نمونه‌ها در سه منطقه بالادست، میانی و پایین‌دست رودخانه تفسیر شده که در اینجا تنها به شرح سه نمونه از آن‌ها (BR-2-N, BR-8-N, BR-15-N) اکتفا می‌شود. در شکل ۲۲ نمودار XRD هر سه نمونه بالادست (BR-2-N)، میانی (BR-8-N) و پایین‌دست (BR-15-N) ارائه شده است. قبل از هر چیز باید به این نکته اشاره شود که در نمودارهای XRD ارائه شده، محدوده مقدار 2θ (محور افقی نمودار XRD) کوچک‌تر از ۲۰° مربوط به کانی‌های رسی و بزرگ‌تر از ۲۰° مربوط به کانی‌های غیر رسی می‌باشد مهم‌ترین دستاوردی که از شکل ۲۲ حاصل می‌گردد. این نتیجه است که در منطقه میانی، شدت پرتوهای مربوط به کانی‌های رسی نسبت به منطقه بالادست و پایین‌دست افزایش می‌یابد که این مطلب بیانگر افزایش میزان کانی‌های رسی نسبت به دو منطقه دیگر است. این مهم با نتایج خصوصیات

بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست آن از پارامترهای مقاومتی کاسته شده است که از جمله علل آن می‌توان به افزایش شدت شوری در پایین‌دست و در پی آن ته نشست ذرات رسی به صورت ساختار حفره‌دار اشاره کرد. اگرچه انتظار می‌رود که در منطقه بالادست رودخانه نیز به علت حضور جریان‌های جزر و مدی و افزایش نرخ شوری، پارامترهای مقاومتی کاهش یابد ولی برعکس خصوصیات مقاومتی افزایش یافته که از جمله مهم‌ترین علل آن می‌توان به افزایش فعالیت‌های انسانی در منطقه بالادست (خرمشهر-آبادان) و همچنین افزایش سن رسوبات به سمت بالادست رودخانه نیز اشاره کرد.

می‌باشند. شرایط هیدرودینامیک و مورفولوژی خاص رودخانه بهمنشیر سبب گشته تا در منطقه بالادست و پایین‌دست رودخانه، جریان‌های جزر و مدی دو سویه حاکم باشد. این امر باعث به وجود آمدن شرایط رسوبگذاری و محیط شیمیایی تقریباً یکسانی در این مناطق از رودخانه گشته و سبب ایجاد مشابهت‌هایی در خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های سری بهمنشیر در این مناطق شده است. در منطقه میانی رودخانه به علت مورفولوژی ماندیری آن و کاهش تراز و شدت جریان رودخانه، ته‌نشست کانی‌های رسی نسبت به مناطق بالادست و پایین‌دست بیشتر بوده که همین امر سبب تغییر در خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی این منطقه نسبت به مناطق مذکور گشته است. با عبور از

منابع

- خداپرست، م.، ۱۳۸۴. توسعه تکنیک‌های شناسایی ژئوتکنیکی خاک‌ها با کاوشگرهای دینامیکی. رساله دکتری مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- مرادی هرسینی، ک.، ۱۳۸۶. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های محیط‌های رسوبی عهد حاضر در جنوب دشت خوزستان. رساله دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهندسین مشاور تدبیر ساحل، ۱۳۸۸. گزارش توسعه بندر تجاری چوئنده، مطالعات تکمیلی مرحله اول فصل چهارم: مدلسازی ریاضی هیدرولیکی و رسوب چوئنده.
- مهندسین مشاور سازه پردازی ایران، ۱۳۷۷. گزارش ژئوتکنیک و مهندسی پی ابنیه، طرح ساماندهی رودخانه بهمنشیر.
- Bozzano, F., Andreucci, A., Gaeta, M., Salucci, R., 2000. A geological model of the buried Tiber River valley beneath the historical centre of Rome. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 59: 1-21.
- Delgado, J., Alfaro, P., Andreu, J.M., Cuenca, A., Domenech, C., Estevez, A., Soria, J.M., Tomas, R., Yabenes, A., 2003. Engineering geological model of the Segura River flood Plain (SE Spain): a case study for engineering planning. *Engineering Geology*, 68: 171-187.
- Flemming, B.W., Delafontaine, M.T., 2000. Mass physical properties of muddy intertidal sediments. *Continental Shelf Research*, 20: 1179-1197.
- Guri, S., Skrami, J., Duni, L., 2000. Results of geological and engineering studies on the quaternary loose deposits on the Western Coastal Zone (Albania). *Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition*, pp. 116-117.

- Moradi Harsini, K., Khamechiyan, M., Hafezi Moghadas, N., Amini., 2007. Geotechnical properties of Bahmanshir Series, Southwest Khuzestan, Iran. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A, 31: 123-129.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Decker, R.S., 1976. Pinhole test for identifying dispersive soils. Journal of Geotechnical engineering div., ASCE, 102: 69-85.
- Sridharan, A., Raghuvver Rao, P., Miura, N., 2004. Characterization of Ariake and other marine clays. Department of Civil Engineering, India Institute of Science, Bangladesh, India.
- Xia, J., Huang, G.L., Yan, S.B., 2006. Behaviour and engineering implications of recent floodplain soft soil along lower reaches of the Yangtze River in Western Nanjing, China. Engineering Geology, 87: 48-59.