مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۰۳

صفحات: ۲۴۲ - ۲۲۹

تأثیر خصوصیات خاک و فرسایش بادی بر روی سازه‌های هیدرولیکی رودخانه سیستان

حمید رضا سلوکی[۱]*، فرزانه نوری نهاد[۲]

چکیده

رودخانه سیستان، از رودخانه‌های اصلی دشت سیستان است که بر روی آن سازه‌های هیدرولیکی مختلفی ساخته شده است. در این تحقیق، تعدادی از سازه‌های مهندسی تحت تأثیر فرسایش بادی، مورد بررسی قرارگرفته‌اند. محدوده‌های مورد مطالعه، ورودی آب چاه نیمه‌ها، سدهای کهک، زهک و سیستان و پل نهوراب را شامل می‌شود. در مرحله اول جهت رودخانه در هر محدوده نسبت به جهت باد غالب تعیین شده است و سپس موانع طبیعی و مصنوعی، شامل پوشش گیاهی، ساختمانها و ارتفاعات طبیعی که در مسیر وزش باد بوده؛ مشخص شده است. در مرحله بعد بافت خاک، وزن واحد حجم و چسبندگی خاک زمینهای ساحل رو به باد رودخانه تعیین شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، بخشهای مختلف رودخانه سیستان به صورت موازی، مایل و عمود نسبت به جهت باد غالب قرار گرفته است. بافت خاک عموماً رس سیلتی، همراه با شن، لوم، لوم سیلتی و لوم ماسه‌ای است که در محدوده-های حاشیه رودخانه به لوم و لوم سیلتی تغییر می‌یابد. خاکهای این محدوده عموماً حد روانی کمتر از ۲۵ داشته و دارای چسبندگی ناچیزی هستند. مقاومت برشی زهکشی نشده خاکهای سطحی در طول مسیر رودخانه و در محدوده ساحل رو به باد، کمتر از ۳۰ کیلو پاسکال است. همچنین، وزن واحد حجم خاک، در محدوده مورد مطالعه، بین ۱/۲ تا ۱/۳ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. پوشش گیاهی سواحل رو به باد، در نزدیکی سازه‌های مهندسی، بسیار کم و حداکثر ۲۰ درصداست. نتایج نشان می‌دهد که رسوبات منطقه عمدتاً دانه‌ریز بوده و فاقد چسبندگی هستند و تراکم کمی دارند. بنابر این بر اثر خشکسالی‌های اخیر و کاهش پوشش گیاهی، فرسایش و حمل خاک به شدت افزایش یافته است و سازه‌های مربوط به سد کهک، سد سیستان و پل نهوراب، بیشترین تأثیر پذیری را دارند.

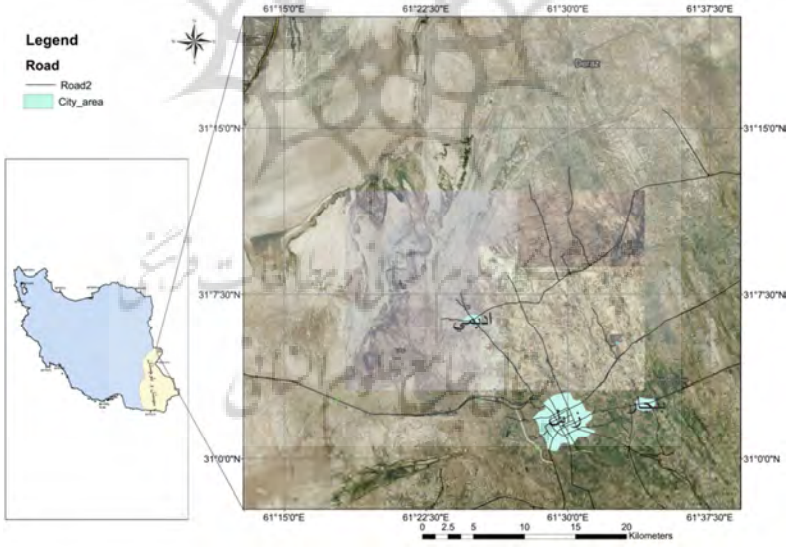
واژگان کلیدی: فرسایش بادی، سازه‌های هیدرولیکی، مقاومت برشی زهکشی.

[۱]- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول) hrsoloki@science.usb.ac.ir

[۲]- کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان m_89_f@yahoo.com

مقدمه

در گذشته سیستان ناحیه‌ی بزرگی بوده که امروزه بخشهای وسیعی از آن درکشور ایران و افغانستان و قسمت ناچیزی از آن در پاکستان واقع شده است (ضیاء توانا،۱۳۷۱). دشت سیستان سرزمینی است تقریباً بیابانی که در برگیرنده رسوبات دلتای رودخانه هیرمند می‌باشد و هم اکنون به صورت کویری خشک و سوزان جولانگاه ماسه‌های روان، شده است (حیدری نسب،۱۳۸۶). مساحت دشت سیستان ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع بوده و ٪۵/۸ از سطح استان را به خود اختصاص داده است (صفدری و شایانفر،۱۳۸۵). این منطقه، بین عرضهای جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طولهای جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی، قرار دارد (اژدری مقدم،۱۳۸۲). سیستان به دلیل واقع بودن در محیط آندروئیک از دریاها و اقیانوسها فاصله زیادی داشته (بریمانی،۱۳۸۳) و فقط رودخانه هیرمند با حوزه آبگیر و حوزه آبریز مجزا به صورت کمربندی درشمال آن قراردارد که حیات و زندگی سیستان نیز به آن وابسته است (بیک محمدی و همکاران،۱۳۸۴). متوسط ارتفاع این دشت از سطح دریا ۴۸۵ متراست و مهمترین مرکز جمعیتی آن شهرستان زابل می‌باشد. شکل شماره۱ موقعیت کلی منطقه را نشان می‌دهد. مطالعات محققین، بیانگر آن است که در بعضی از نقاط دشت سیستان پوشش گیاهی به گونه‌ای است که شرایط برای بیابانزایی، به شدت فراهم است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱: موقعیت کلی منطقه ی سیستان

یکی ازمشکلات بیابانزایی در دشت سیستان، فرسایش بادی و حرکت ماسه بادی‌ها است که به دنبال خشکسالی‌های اخیر اتفاق افتاده است.

به دلیل اینکه جریان آب در رودخانه هیرمند دائمی نمی‌باشد و نیاز به تأمین آب کشاورزی در فصول مختلف سال ضروری است؛ لذا تعدادی کانال، سد و مخازن ذخیره آب در مسیر رودخانه‌های اصلی منطقه از جمله رودخانه سیستان احداث شده است. در زمان‌های خشکسالی که رطوبت خاک‌های منطقه کاهش می‌یابد و زمین‌های

کشاورزی غیر قابل کشت می‌شوند، حرکت ماسه بادی‌های موجود در منطقه باعث می‌شود که کانالهای آبیاری و سازه‌های مهندسی موجود بر روی آنها، در معرض هجوم رسوبات بادی قرار گیرند. علاوه بر آن، رسوبات بادی حمل شده می‌توانند به منابع آبی منطقه وارد شوند و حجم ذخیره آنها را کاهش دهند (نگارش[1] و جدیدالاسلامی[2]، ۲۰۱۳).

شکل (۲) نشان می‌دهد که، ورود رسوبات بادی، باعث انسداد بخشی از رودخانه شده است.

شکل ۲: انسداد بخشی از رودخانه توسط رسوبات بادی، در محل سد کهک

در این تحقیق، تأثیر حرکت رسوبات بادی، برروی سازه‌های هیدرولیکی رودخانه سیستان مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجائیکه شرایط آب و هوایی، وضعیت پوشش گیاهی و خصوصیات مهندسی خاکها می‌تواند بر بسیاری از پدیده‌های طبیعی و سازه‌های مصنوعی یک منطقه تاثیر بگذارد؛ لذا پس از بررسی این عوامل و تعیین فرسایش-پذیری کرانه‌های رودخانه در هر محل، جهت رودخانه نسبت به جهت باد غالب مشخص گردیده و سازه‌هایی که بیشتر در معرض خطر هستند معرفی شده‌اند.

داده‌ها و روش‌ها

در این بخش از پژوهش، شرایط آب و هوایی، وضعیت بادهای غالب منطقه و منابع آبی منطقه بر اساس مطالعات و گزارشات موجود ارائه شده است. همچنین وضعیت سازه‌های هیدرولیکی موجود بر روی رودخانه ی سیستان و پوشش گیاهی منطقه، در بازدیدهای صحرایی، مشخص شده است. علاوه بر آن، بافت، وزن واحد حجم درجا و چسبندگی خاک به وسیله‌ی آزمایشات برجا و آزمایشگاهی تعیین و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

1 -Negaresh
2 - Jadid Aleslami

شرایط آب وهوایی:

ایستگاه زابل، تنها ایستگاه سنوپتیک منطقه و تا حد زیادی معرف دشت سیستان است. میانگین برخی مشخصه های اصلی ثبت شده توسط این ایستگاه در جدول شماره ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: خلاصه وضعیت آب و هوایی منطقه سیستان

بارندگی	**سالیانه ۶۰ میلیمتر+**	**(گندم کار و خادم الحسینی، ۱۳۸۸)**
رطوبت نسبی	**حداقل ۴۴ حداکثر ۵۵**	**(خسروی، ۱۳۶۸)**
روزهای گرم	**بین ۱۰۰ تا ۱۴۰ روز**	**(نوری و همکاران، ۱۳۸۶)**
ساعات آفتابی	**بطورمتوسط ۳۲۰۰ ساعت درسال**	**(نوری و همکاران، ۱۳۸۶)**
تبخیر و تعرق	**۵ مترتبخیرسالانه**	**(خسروی، ۱۳۶۸)**
دما	**حداکثرحرارت مطلق°C ۵۱ حداقل حرارت مطلق °C۱۲-**	**(خسروی، ۱۳۶۸)**
فرسایندگی باد	**بیشترین میزان ۱۰ تیر تا ۹ مرداد**	**(رنجبر و همکاران، ۱۳۸۴)**
اقلیم	**به روش گوسن و سلیانینوف، بیابانی به روش کوپن بسیار گرم با تابستان های خشک**	**(مسعودیان و کاویانی،۱۳۸۶)**

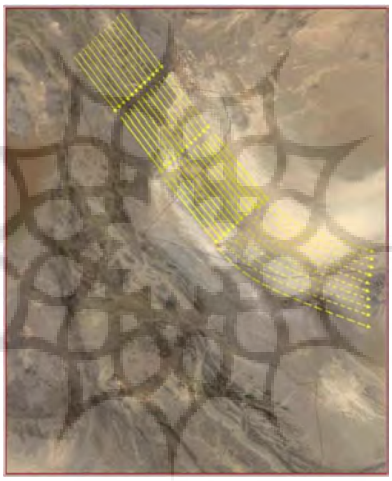
در جدول شماره ۲ بادهای غالب منطقه سیستان نشان داده شده است. وجود این بادها و بادهای دیگر منطقه و خشکسالی های اخیر باعث گردیده که طوفان های گرد و خاک در ایام مختلف سال سطح منطقه را فرا بگیرد (شکل شماره ۳). این بادها نه تنها بر فرسایش بادی موثر هستند؛ بلکه بر دبی رودخانه سیستان نیز موثر هستند(شیخ علی پور[1] و همکاران، ۲۰۱۵).

یکی از مهمترین این بادها، بادهای ۱۲۰ روزه (لوار) است که به علت استقرار مرکزکم فشارحرارتی در بیابان تهر هند، غالباً درجهت شمال – شمال غربی در منطقه سیستان می وزد. زمان وزش آن از اوایل خرداد تا پایان شهریور ماه میباشد وسرعت آن گاهی به ۱۱۰ تا ۱۲۰ کیلومتردرساعت نیز می رسد. وزش این باد درمنطقه باعث ایجاد طوفان گرد و خاک، طوفانهای حامل ذرات نمک، مانند (NaCl, CaSo4, MgSo4, K2So4) و کانیهای تبخیری(دهمرده بهروز[2] و همکاران، ۲۰۱۷)، انتقال شن‌های روان، فرسایش خاکهای سطحی قابل کشت، پرشدن نهرها وکانالهای آبرسانی والبته تعدیل دما در فصل تابستان می‌شود. یکی دیگر از بادهای این منطقه، باد هفتم (گاو کش) است که در فصل زمستان وزش این بادهای شدید باعث مواج شدن دریاچه وبالا آمدن آب در ساحل آن می‌گردد و برودت هوا را نیز تشدید می‌نماید.

1- Sheikhali pour et al
2 -Dahmardeh behrooz et al

جدول ۲: خصوصیات مهمترین بادهای منطقه سیستان

نام	زمان وزش	جهت	منبع
باد۱۲۰روزه (باد لوار)	اوایل خرداد تا پایان شهریور	شمال و شمال غربی	(خمر[1] و همکاران، ۲۰۱۴)
بادقوس	آذرماه	ــــــــ	(حیدری نسب، ۱۳۸۶)
بادهفتم (بادگاوکش)	درفصل زمستان	شمال به جنوب	(خسروی، ۱۳۸۷)
باد یکم	اواخر اردیبهشت	ــــــــ	(حیدری نسب، ۱۳۸۶)
باد سور	اواخر فروردین	ــــــــ	(حیدری نسب، ۱۳۸۶)



شکل۳: مسیر وزش بادهای ۱۲۰ روزه که روی تصویر سنجنده مودیس ترسیم شده است. *(خسروی، ۱۳۸۷)*

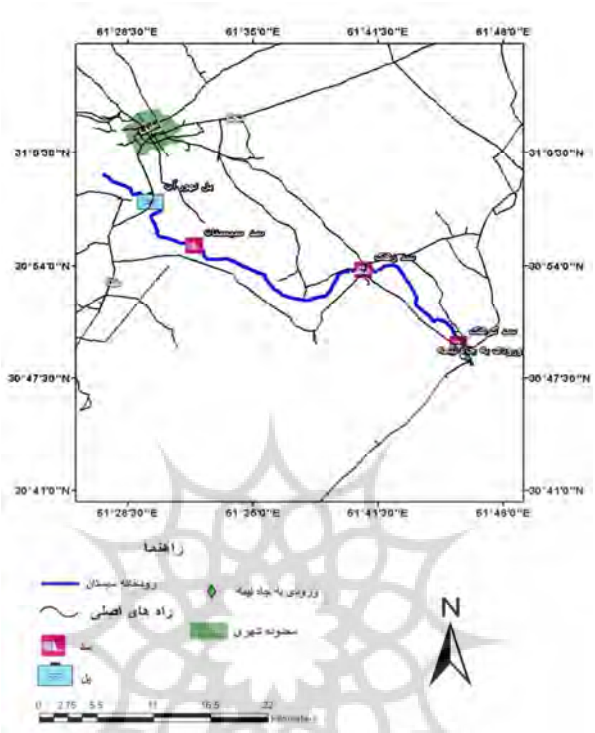
منابع آبی دشت سیستان:

از جمله مهمترین رودخانه‌های سیستان که بخش عظیمی از آبهای سطحی سیستان را تأمین می‌کنند می‌توان به رودخانه هیرمند یا هلمند[2]، رودبندان، رودشور، خاش رود، فراه رود و رودخانه سیستان اشاره نمود. علاوه بر روخانه ها، منابع آب سطحی همچون، دریاچه هامون (دریاچه سیستان) و چاه نیمه ها، نیز به عنوان منابع ذخیره آب، در منطقه وجود دارد. رودخانه هیرمند شاه رگ حیاتی دریاچه هامون و چاه نیمه‌ها و دشت سیستان می‌باشد. به دلیل شرایط زمین‌شناسی دشت سیستان، سفره آب زیرزمینی در محدوده ی مورد مطالعه وجود ندارد (خسروی، ۱۳۶۸).

رودخانه سیستان:

این رودخانه در دشت سیستان قرارگرفته است و یکی از مهمترین رودخانه‌های این دشت می‌باشد. در شکل شماره ۴، تصویر شماتیک رودخانه سیستان و سازه‌های هیدرولیکی روی آن نشان داده شده است.

1 -Khamar et al
2 -Helmand



شکل ۴: موقعیت سازه‌های هیدرولیکی بر روی شکل شماتیک رودخانه سیستان

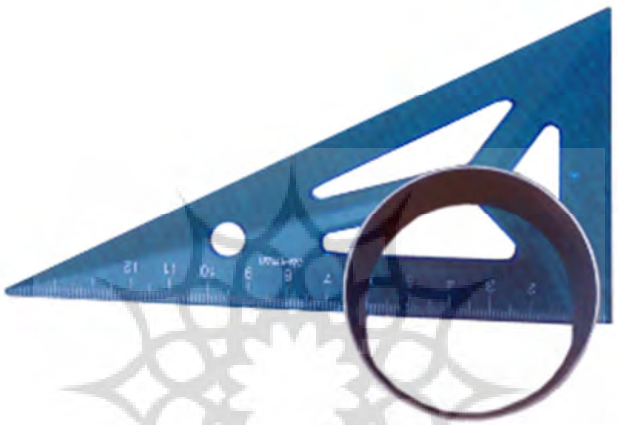
خشکسالی‌های اخیر باعث شده که کیفیت آب این رودخانه تغییر کند و در زمانهای کم آبی مقدار املاح محلول در آن افزایش یابد (میری[1] و همکاران، ۲۰۱۷)، همچنین مقدار رسوبات معلق رودخانه سیستان بین ۱۰ تا ۵۰ گرم در لیتر متغیر است که بخشی از این رسوبات در پشت سد زهک و بخشی از آن در پشت سد سیستان رسوب می‌کند (مطلبیان[2] و حسن پور[3]، ۲۰۱۳).

تعیین وزن واحد حجم درجای خاک (γ_d):

باد بر سطح خاک اثر می‌گذارد و باعث فرسایش در سطوح فوقانی آن می شود. بنابراین جهت تعیین وزن واحد حجم درجای خاک، می‌توان از رینگهای کوچک مخصوص استفاده نمود (فولگاتی[4] و همکاران، ۲۰۰۱). در این تحقیق رینگها، کم ضخامت و به شکل استوانه‌هایی با قطر و ارتفاع ۵ سانتیمتر بوده و جنس آن استیل است (شکل ۵). با توجه به ابعاد این نوع رینگ، این امکان فراهم گردید تا بتوان از خاکهای سطحی در اعماق مختلف نیز نمونه جهت انجام آزمایش تهیه نمود. جهت اندازه‌گیری وزن واحد حجم درجا، به دلیل یکنواختی نسبی منطقه، در هر محدوده،

1 - Miri et al
2 - Motallebian
3 - Hassanpour
4 - Folegati et al

۲۰ الی ۲۵ محل انتخاب و در هر محل، ۴ تا ۵ نمونه توسط رینگهای مذکور اخذ شده و پس از تعیین وزن خاک خشک موجود در آنها (در آزمایشگاه)، وزن واحد حجم خاک، بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب، تعیین شده و میانگین محاسبه شده از ۴ تا ۵ نمونه، به عنوان عدد نهایی منظور شده است.



شکل ۵: رینگ استفاده شده جهت تعیین وزن واحد حجم خاک

تعیین چسبندگی خاک:

اندازه‌گیری چسبندگی خاک در آزمایشگاه نیازمند حمل نمونه‌های دست نخورده به آزمایشگاه است. چنانچه نمونه‌ها دارای چسبندگی کمی باشند، تهیه‌ی نمونه‌ی دست نخورده بسیار مشکل است و توصیه می‌گردد که از آزمایشهای برجا استفاده گردد. در خاکهای رسی نرم به دلیل مشکلات نمونه‌گیری، آزمایش‌های برجا نسبت به آزمونهای آزمایشگاهی ارجحیت دارد (کلی تون[1] و همکاران، ۱۹۹۵).

خاکهای سطحی مورد بررسی در این پژوهش علاوه بر تراکم کم، دارای چسبندگی کمی نیز می‌باشند، زمانیکه خاک سطحی است و تنش فشاری بر روی آن صفر است، مقاومت برشی زهکشی نشده‌ی خاک برابر چسبندگی آن است (یوکوای[2]، ۱۹۶۸) برای تعیین میزان چسبندگی خاکها از دستگاه برش پره‌ای جیبی، به همراه پنترومتر جیبی استفاده شده است. دستگاه برش پره‌ای از نوع 16-T0175/A و پنترومتر از نوع 16-T0171 و هر دو ساخت شرکت کنترل[3] ایتالیا می‌باشد. جهت انجام آزمایش از دستورالعمل کارخانه‌ی سازنده استفاده شده است جدول شماره ۳، مشخصات فنی دستگاه‌های فوق را نشان می‌دهد.

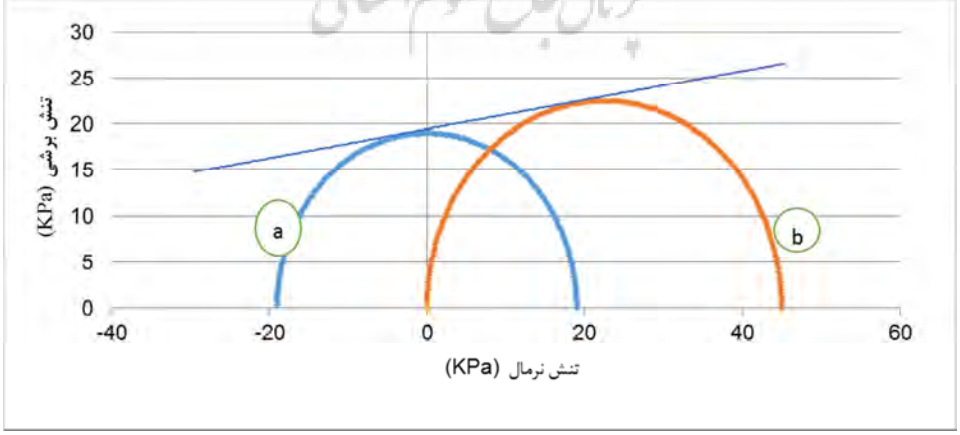
1 -Clayton et al
2 - Yokoi
3 - Control

جدول ۳: مشخصات فنی برش پره‌ای و پنترومتر

برش پره ای		پنترومتر	
تعداد پره	۸	طول کلی (mm)	۱۵۵
ابعاد یک پره (mm)	۵/۲ ×۸ ×۰/۸	حداکثر قطر (mm)	۲۰
طول فنر (mm)	۴۳	قطر نوک (mm)	۶/۳۵
قطر فنر (mm)	۲۷	میزان نفوذ (mm)	۶/۳۵
گشتاور لازم جهت اندازه گیری ۰/۵Kg/cm²	۳۴۱/۹۶±۱۷/۱(N×mm)	مقطع نوک (cm²)	۰/۳۱۶۵
گشتاور اسمی فنر	۱۰۸/۸۴۹N× mm/rad± ٪۵	نیروی لازم برای قرائت ۳ Kg/cm²	۵/۱۰±۰/۲۵Kgf
مقیاس استاندارد اندازه گیری	۰-۱/۰۰Kg/cm²	نیروی لازم برای قرائت ۴/۵ Kg/cm²	۷/۷۱±۰/۲۸Kgf
مقیاس اندازه گیری برای خاکهای سست	۰-۰/۲۰Kg/cm²	فشردگی فنر در نیروی ۴/۵ Kg/cm²	۳۵/۶mm
مقیاس اندازه گیری برای مقاومت بیشتر	۱-۲/۵۰Kg/cm²	فاکتور کالیبره اسمی ی فنر kg/cm²	۰/۲۱۶۶±۰/۰۱Kg/cm²
وزن خالص	۰/۲۰Kg	وزن خالص	۰/ ۱۵۰Kg

روش انجام آزمایش:

در مکان‌هایی که آزمایش وزن واحد حجم درجا انجام شده است؛ آزمایش برش پره‌ای و پنترومتر، نیز به عمل آمده است و در هر محل ۳ نقطه به فاصله‌ی حداکثر ۳ متر از هم در نظر گرفته شده است. تعداد تکرار آزمایشات برای هر کدام از دستگاه‌ها ۵ بار و در رطوبت طبیعی خاک بوده است. سرعت چرخش برش پره‌ای به گونه‌ای بوده است که ظرف مدت ۵ الی ۱۰ ثانیه برش در خاک اتفاق بیافتد. نتایج حاصل از آزمایشها، مقاومت برشی زهکشی نشده‌ی خاک را به صورت مستقیم تعیین می‌کند. با رسم دوایر موهر حاصل از نتایج برش پره و پنترومتر، مقاومت چسبندگی و اصطکاک خاک قابل اندازه‌گیری است(شکل ۶).



شکل ۶: نمودار رسم شده از نتایج برش پره (a)و پنترومتر(b) مربوط به یک نقطه در اطراف سد سیستان

نتایج و بحث

رودخانه سیستان، یک رودخانه مئاندری است که امتداد کلی آن جنوب شرق _شمال غرب است. جهت وزش باد غالب منطقه نیز شمال غرب _ جنوب شرق است به همین دلیل، در این تحقیق بر اساس امتداد و جهت رودخانه نسبت به جهت وزش باد و وضعیت ساحل سمت باد رودخانه، امکان فرسایش بادی و حمل رسوبات به درون رودخانه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

به دلیل مئاندری بودن رودخانه، بخش‌های مختلف رودخانه از نظر امتداد نسبت به باد به سه گروه تقسیم شده‌اند: امتداد موازی، عمود و مایل (جدول ۴). عمود بودن امتداد رودخانه نسبت به جهت وزش باد باعث می‌شود که رسوبات حمل شده؛ پس از ورود به کانال رودخانه در صورتی که دیواره‌های رودخانه دارای شیب زیاد باشند؛ به دام بیفتند. در صورتی که رودخانه موازی جهت وزش باد باشد؛ سد احداث شده بر روی آن و یا پایه‌های پل به عنوان یک مانع، باعث تجمع رسوبات بادی می‌گردد. سد کهک و سد زهک از نظر جهت گیری نسبت به باد، در چنین وضعیتی هستند.

پوشش گیاهی در محدوده‌های مورد مطالعه در ساحل رو به باد بسیار کم و در حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد است. در محدوده سد سیستان، زمینهای کشاورزی وجود دارد که معمولا شخم زده می‌شوند و در صورتی که کشت نشوند؛ بسیار مستعد فرسایش هستند و می‌توانند منشأ حجم زیادی از رسوبات بادی درون کانال رودخانه باشند. آزمایشات انجام شده نشان می‌دهد که مقاومت برشی زهکشی نشده خاکها در محدوده‌ی رودخانه سیستان کمتر از ۲۵ کیلو پاسکال است. جدول ۴ خصوصیات خاک و محیط، در محدوده هر سازه ی هیدرولیکی موجود بر رودخانه سیستان را نشان می‌دهد.

براساس مطالعات خاک‌شناسی (مهندسین مشاور جامع ایران،۱۳۸۳)، بافت خاک دشت سیستان به ۶ نوع تفکیک شده است. خاک‌های رسی سیلت دار، خاک‌های رسی سیلت‌دار همراه با شن وماسه، خاکهای لوم ماسه‌ای، خاک‌های با بافت ماسه‌ای، مناطق دارای بافت متغیر و غیرقابل طبقه‌بندی و مناطق بایر و خشک. در این تحقیق بافت خاک در فاصله حداکثر ۵۰۰ متری رودخانه و در ساحل رو به باد اندازه‌گیری شده تا وضعیت رسوبات حاشیه رودخانه از نظر فرسایش‌پذیری بررسی گردد. بر اساس آزمونهای آزمایشگاهی، نوع خاکها عمدتاً لوم و لوم سیلتی تعیین گردید.

خشکسالی‌های اخیر در دشت سیستان باعث شده تا پوشش گیاهی به طرز چشمگیری کاهش یابد و بر وسعت زمینهای بایر افزوده شود. پوشش گیاهی در سواحل رو به باد رودخانه کمتر از ۲۰ درصد است؛ که در این صورت تاثیر چندانی در جلوگیری از فرسایش بادی ندارد (لی[1] و همکاران، ۲۰۰۳، علی پور و همکاران، ۱۳۹۳).

مطالعات نشان می‌دهد که مقدار مقاومت برشی زهکشی نشده خاکها با مقدار رطوبت حد روانی خاک در ارتباط است (نی لو[2] و همکاران، ۲۰۱۳). به دلیل لومی و سیلتی بودن خاکها، مقدار حد روانی خاکها بسیار کم است و معمولاً از

1 - Li et al
2 - Neelu et al

۲۵ بیشتر نمی‌شود و مقاومت برشی زهکشی نشده خاکها نیز کمتر از ۲۵ کیلو پاسکال است؛ لذا چسبندگی خاکها نیز کم بوده و خاک مستعد فرسایش است. از طرفی نتایج مطالعات قبلی نیز نشان می‌دهد که خاک‌های منطقه با داشتن حد روانی کمتر از ۲۵، فرسایش‌پذیری تا ۴ گرم در هر متر مربع در ساعت دارند (سلوکی، ۱۳۸۹).

جدول ۴: خصوصیات خاک و محیط در محدوده سازه‌های هیدرولیکی موجود بر روی رودخانه سیستان

محل	مختصات	امتداد رودخانه*	موانع در ساحل رو به باد	وجود تلماسه	خصوصیات زمین های سمت رو به باد		
					بافت خاک	Yd) (gr/cm³	Cu (Kpa)
ورودی آب چاه نیمه	۴۸۳۰′۳۹″ ۱۰″ ۶۱°۴۶′	تقریباً عمود	پوشش گیاهی اندک	ـــــ	لوم	۱/۲۵	۲۲-۱۹
سد کهک	″ ۳۱ ′ ۴۹ °۳۰ ″ ۳۹ ′ ۴۵ °۶۱	موازی	فاقد هرگونه مانعی	دارد	لوم سیلتی	۱/۲۴	۲۱-۱۸
دیوار حایل (نزدیک روستای ابراهیم آباد)	″ ۶ ′ ۵۰ °۳۰ ″ ۲۷ ′ ۴۵ °۶۱	موازی	زمین های کشاورزی	ندارد	لوم سیلتی	۱/۲۹	۲۰-۱۷
سد زهک	°″ ۴۵ ′ ۵۳ °۳۰ ″ ۴۵ ′ ۴۰ °۶۱	مایل	منطقه مسکونی	ـــــ	ـــــ	-----	ـــــ
سد سیستان	″ ۱۰ ′ ۵۵ °۳۰ ″ ۵۸ ′ ۳۱ °۶۱	مایل	زمین های کشاورزی	ـــــ	لوم	۱/۲۴	۲۵-۱۸
پل نهور آب	″ ۴۲ ′ ۵۷ °۳۰ ″ ۴۴ ′ ۲۹ °۶۱	تقریبا عمود	فاقد هرگونه مانعی	دارد	لوم سیلتی	۱/۲۸	۲۲-۱۷

*** امتداد رودخانه نسبت به جهت باد غالب در نظر گرفته شده است.**

مطالعات پیشین، نشان می‌دهد که نه تنها تالاب خشک شده‌ی هامون، بلکه اراضی تحت تأثیر فرسایش، در دشت سیستان نیز به عنوان منبعی برای تولید رسوبات بادی و گرد و غبار می‌باشند (دانش شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین بادهایی که در منطقه می‌وزند مقدار زیادی از رسوبات بادی را از زمینهای مجاور، به سمت رودخانه سیستان می‌آورند. بافت خاک لوم و لوم سیلتی است و خاک رس خالص در محدوده مورد مطالعه وجود ندارد، سست بودن خاکهای ساحل رو به باد رودخانه و چسبندگی کم آنها باعث تشدید فرسایش و حمل رسوبات به داخل رودخانه می-گردد. همچنین مطالعات صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که عمود بودن یک سازه نسبت به جهت وزش باد، باعث تجمع رسوبات بادی در محل می‌گردد (سلیقه، ۱۳۸۲). بر اساس عوامل فوق و وضعیت شیب دیواره رودخانه سیستان در محدوده‌های مطالعه شده، اثر رسوبات بر سازه‌های هیدرولیکی مشخص شده است (جدول شماره ۵). مطالعه‌ای در این زمینه نشان میدهد که رسوبات درشت تر از ۰/۲۳ میلیمتر قادر نیستند از یک شیب ۲۰ درجه توسط یک باد با سرعت ۳۰ سانتیمتر بر ثانیه عبور کنند (تی سوار[1] و همکاران، ۱۹۹۶). بنابراین رسوبات وارد شده به

1 - Tsoar et al

رودخانه، که توسط باد حمل شده و بخش اعظم آن ماسه است، قادر به ادامه‌ی حرکت بر روی شیب دیواره رودخانه نخواهند بود و در آنجا محبوس می‌گردند.

چهار شاخص، جهت تعیین میزان فرسایش خاک، مد نظر قرار گرفته است. این شاخص ها عبارتند از پوشش گیاهی، وزن واحد حجم برجای خاک، چسبندگی خاک و بافت خاک. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، وزن‌دهی بر اساس اهمیت شاخصها از دید کارشناسی، انجام شده است. در این شرایط، وزن نسبی پوشش گیاهی ۰/۴۶، وزن واحد حجم درجای خاک ۰/۲۸، چسبندگی خاک، ۰/۱۶ و بافت خاک ۰/۱، تعیین گردید.

در مرحله بعد، با استفاده از نرم افزار، اکسپورت چویس[1]، امتیاز هر محل نسبت به فرسایش‌پذیری محاسبه گردید (شکل شماره ۷). در این نمودار، هر چه عدد محاسبه شده، کوچکتر باشد؛ به معنی فرسایش پذیرتربودن خاکهای آن منطقه است. سد زهک، به دلیل قرار گرفتن در منطقه مسکونی، از جهت فرسایش‌پذیری خاک، قابل بررسی نبوده است.

شکل ۷: نمودار فرسایش پذیری خاک، در این نمودارعدد کوچکتربه معنی فرسایش بیشتر است. ۱) ورودی آب به چاه نیمه ها ۲) دیوار حائل ۳) سد سیستان ۴) پل نهوراب و ۵) سد کهک

جدول ۵: اثر رسوبات بادی بر سازه های هیدرولیکی رودخانه سیستان

محل	عرض بستر و شیب دیواره	میزان ورود رسوبات بادی	اثر رسوبات بر سازه
ورودی آب به چاه نیمه ها	عرض بستر متوسط و شیب دیواره کم	کم	کم
سد کهک	عرض بستر متوسط و شیب دیواره زیاد	زیاد	زیاد
دیوار حائل	دیواره عمودی	کم	بسیار کم
سد زهک	عرض بستر بسیار کم و دیواره عمودی	بسیار کم	بسیار کم
سد سیستان	عرض بستر زیاد و شیب دیواره زیاد	زیاد	زیاد
پل نهوراب	عرض بستر متوسط و شیب دیواره زیاد	زیاد	زیاد

نتایج نشان می‌دهد که سد کهک که در ابتدای رودخانه سیستان قرار دارد؛ و حجم آب ورودی به دشت سیستان تا حد زیادی به این سد وابسته است و سد سیستان به عنوان یکی از سازه‌های مهم پخش آب کشاورزی روستاهای دشت سیستان و پل نهوراب به عنوان مهمترین پل ارتباطی منطقه، در معرض هجوم رسوبات بادی هستند و دبی رودخانه در این مناطق توسط رسوبات بادی کاهش می‌یابد.

1- Expert Choice

نتیجه گیری

در این تحقیق، دو مسئله مد نظر قرار گرفته است. ابتدا میزان فرسایش‌پذیری خاکهای سمت رو به باد ساحل نزدیک به سازه‌های هیدرولیکی، بر اساس پوشش گیاهی و خصوصیات خاک و سپس، شرایط مورفولوژیکی رودخانه و جهت آن نسبت به باد غالب، مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی، به دلیل اینکه رسوبات ریزدانه بوده و چسبندگی و وزن واحد حجم برجای بسیار کمی دارند؛ فرسایش‌پذیری آنها کاملاً امری طبیعی است و کم شدن پوشش گیاهی و رطوبت خاک و نیز وزش بادهای شدید، این مسئله را تشدید می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بر طبق روش تحلیل سلسله مراتبی، فرسایش‌پذیری خاکها از کم تا زیاد متغیر است؛ به طوریکه بیشترین فرسایش‌پذیری مربوط به محدوده‌ی سد کهک(۰/۱۸۵) و کمترین آن مربوط به محدوده‌ی ورودی آب به چاه نیمه‌ها (۰/۲۲۶) می‌باشد. رسوبات حمل شده به سمت رودخانه سیستان، در محل‌هایی که جهت رودخانه، عمود بر جهت وزش باد غالب است و شیب رودخانه زیاد (تقریباً عمودی) است؛ پس از ورود به کانال رودخانه، قادر به خروج از آن نمی‌باشند و در محل تجمع می‌یابند. نهایتاً بر اساس مطالعات انجام شده در این پژوهش، مشخص گردید که سازه‌های هیدرولیکی، سدهای کهک و سیستان و همچنین پل نهوراب، دارای بیشترین تأثیرپذیری از ورود رسوبات بادی به داخل رودخانه می‌باشند که این مسئله، همه ساله هزینه‌های زیادی را جهت لایروبی مسیر رودخانه، تحمیل خواهد نمود.

منابع:

اژدری مقدم، مهدی، (۱۳۸۲). ارزیابی وضعیت موجودشبکه آبیاری وزهکشی سیستان، هشتمین سمینارسراسری آبیاری وکاهش تبخیردانشگاه شهیدباهنر، کرمان. ص۴۵-۳۸

بریمانی، فرامرز، (۱۳۸۳). آثار فزاینده خشکسالی ها در محیط آندروئیک مورد سیستان ایران، مجله اطلاعات سیاسی- اقتصادی، شماره ۲۰۴-۲۰۱، ص ۱۸۶ تا ۱۹۳

بیک محمدی، حسن، نوری زمان آبادی، سید هدایت الله، بذرافشان، جواد، (۱۳۸۴). اثرات خشکسالی های ۷۷-۷۳ بر اقتصاد روستایی سیستان و راهکارهای مقابله با آن، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان ۸۴، ص ۵۴ تا ۷۲

حیدری نسب، مهدی، (۱۳۸۶). نقش باد در ایجاد لندفرم های بادی منطقه سیستان، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۰۴ صفحه.

خسروی، محمود، (۱۳۶۸). اثرات نامساعد بیوکلیمایی ناشی از عوامل طبیعی در دشت سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیا، شماره ۱۳، ص ۱۶۳ تا ۱۸۵

خسروی، محمود، (۱۳۸۷). تاثیرات محیطی اندرکنش نوسان های رودخانه هیرمند با ابدهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۱، ص ۱۹-۴۸

دانش شهرکی، مهدی، شهریاری، علی، گنجعلی، مجتبی، بامری، ابوالفضل، (۱۳۹۵). تغییرات فصلی و مکانی نرخ گرد و غبار حمل شده از روی شهرهای دشت سیستان و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و سوم، شماره ششم، ص ۲۱۵ -۱۹۹

رنجبر، محسن، ایرانمنش، فاضل، دهقان، علی رضا، (۱۳۸۴). نقش پلایاهای سیستان درگسترش طوفانهای غبارزا با استفاده ازتصاویرماهواره ای، نشریه علمی -پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران دوره جدید، سال سوم، شماره۶و۷، ص ۸۱-۷۰

سلوکی، حمید رضا، (۱۳۸۹). بررسی تاثیر متقابل خصوصیات مهندسی خاک و فرسایش بادی در دشت سیستان، رساله دوره ی دکتری دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۴۰ صفحه.

سلیقه، محمد، (۱۳۸۲). توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل، مجله جغرافیا و توسعه، ص ۱۲۲-۱۰۹.

صفدری، مهدی، شایانفر، حجت علی، (۱۳۸۵). بررسی تاثیر طوفان های شن در منطقه سیستان، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت بحران در حوادث غیر مترقبه. ص۲۸۰-۲۷۱.

ضیاء توانا، محمد حسن، (۱۳۷۱). ویژگی های محیط طبیعی چاله سیستان، مجموعه مقالات جغرافیایی جشن نامه دکتر محمد حسن گنجی، انتشارات گیتا شناسی، شماره ۲۱۷، تهران، ص ۲۱۳ ـ۱۸۵

علی پور، حمید، هاشمی نسب، سیده نگار، هاتفی اردکانی، امیر حسین، غلام نیا، اعظم، شهنواز، یاسر، (۱۳۹۳)"بررسی پتانسیل فرسایش بادی و رسوبدهی با استفاده از روش IRIFR در منطقه میاندشت اسفراین" نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره ۲، ص ۹۲-۷۷

گندم کار، امیر، خادم الحسینی، احمد، (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات بارش در زابل. آمایش محیط، , دوره ۲, شماره ۶ ; ص ۶۵-۷۶.

مسعودیان، سید ابوالفضل، کاویانی، محمد رضا، (۱۳۸۶). اقلیم شناسی ایران، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۸۲ صفحه.

مهندسین مشاور جامع ایران، (۱۳۸۳). مطالعات جامع بیابانزدائی و مقابله با فرسایش بادی دشت سیستان، ۴۶۲ صفحه.

نوری، غلامرضا، اربابی، طیبه، نوری، سهیلا، ۱۳۸۶، تالاب هامون حیات سیستان، انتشارات سپهر، ۱۴۷ صفحه.

هاشمی، زهره، پهلوانروی، احمد، مقدم نیا، علیرضا، جوادی، محمدرضا، میری، عباس (۱۳۹۳): ارزیابی پتانسیل بیابان زایی بااستفاده از مدل IMDPA در دشت سیستان (مطالعهٔ موردی: زهک)، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال سوم، شماره پنجم، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۴۹ - ۶

Clayton, C. R. I.; Matthews, M. C.; Simons, N. E., 1995, Site Investigation, 2nd ed.: Halstead Press, New York, 424 p. The online version, available at http://www.geotechnique.info

Dahmarde Behrooz, R., Esmaili- Sari, A., Bahramifar, N., Kaskaoutis, D.G., 2017, "Analysis of the TSP, PM10 concentrations and water-soluble ionic species in airborne samples over Sistan, Iran during the summer dusty period". Atmospheric Pollution Research, 8, 3, 403-4017

Folegatti; M. V., Camponez do Brasil; R. P. Favaro Blanco, F. (2001). "Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a kandiudalfic eutrudox and a typic hapludox1". Scientia Agricola, 58, 4, 833-838,

Khamar, G.A., Kiani, A., Shahverdi, D., (2014). "Assessment and study about the effect of Sistan 120 – day wind on urban design in Zabol". International Journal of Advanced Scientific and Technical research, vol 2(4): 159- 172

Li, F. R., Zhang, H., Zhang, T. H., Shirato, Y., (2003). Variation of sand transportation rates in sandy grasslands along a desertification gradient in northern China". Catena. 53, 255-272

Miri, A., Piri, J., Kisi, O., (2017)." Spatial monitoring and zoning water quality of Sistan River in the wet and dry years using GIS and geostatistics" volume 135, 38-50

Motallebian, M, Hassanpour, F, (2013). "A Study of The Locus of The Erosion and Sedimentation in Sistan River Using HEC-RAS Model". International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4(10): 1377- 1386

Neelu Das, Binu Sarma, Shashikant Singh, Bidyut Bikash Sutradhar4, (2013). " Comparison In Undrained Shear Strength Between Low And High Liquid Limit Soils", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)

Negaresh, H, Jadid Aleslami, M (2013). " Determining the Origin of Aeolian Sediments of Chah Nimeh4 Located at the Sistan Plain, Iran", Research Journal of Environmental and Earth Sciences 5(9): 516-524,

Sheikhali Pour, Z., Hassan Pour, F., Azimi, V.(2015)," Comparison of artificial intelligence methods in estimation of suspended sediment load (Case Study: Sistan River)", J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2),41- 60

Tsoar, H., White, B., Berman, E.(1996)." The effect of slopes on sand transport - numerical modeling", Landscape and Urban Planning, 34, 171- 181

Yokoi, H. (1968). "Relationship between soil cohesion and shear strength", Soil Science and Plant Nutrition, Vol. 14(3): 89-93.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Effect of soil characteristics and wind erosion on hydraulic structures of Sistan River

Hamid Reza Soloki*[1], Farzane Noori Nahad[2]

Received: 29-10-2017 Accepted: 21-06-2018

Abstract

Sistan River is one of the main rivers in Sistan plain which has the various hydraulic structure built upon it. Parts of the river and its structures have been influenced by the entrance of sediments into the river's bed which are due to several reasons such as drought, extreme wind, and transportation of fine sediments. The research regions included the water entrance to Chahnime, Kohak dam, Zahak Dam, Sistan Dam, and Nohrab Bridge. In the first stage, the direction of the river in respect to dominant wind and the condition of shores facing wind are studied, and the natural and artificial obstacles, such as vegetation, natural heights, and buildings, which were in the path of the wind, were determined. In the second stage, soil texture, dry unit weight and soil coherence of shores facing wind were measured. Based on the research, the Sistan River direction was parallel, oblique, and perpendicular in respect to the dominant wind direction. The soil texture was mainly silty clay with gravel, loam, and loamy sand. However, the soil texture changed at the riversides to loam and silty loam. The liquid limit of the studied soils was lower than 25 with little soil coherence. The undrained shear strength of surface soils within the path of the river and its shores were determined less than 30 kPa. Also, the range of dry unit weight of soil in the studied area is between 1.2gr/cm^3 to 1.3gr/cm^3 and its vegetation indicated vegetation was lower than 20% near the engineering structures. The results of this study indicate that the, Kohak dam, the Sistan dam, and Nohrab bridge, have the most impact on erosion and transport of wind sediments.

Keywords: wind erosion, hydraulic structures, undrained shear strength.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1]*- Assistant Professor of Geology, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
Email: hrsoloki@science.usb.ac.ir

[2]- Graduated in Engineering Geology from Islamic Azad University, Zahedan Branch