

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر پوشش گیاهی سخت (انعطاف‌ناپذیر) و انعطاف‌پذیر بر میزان انتقال رسوب در مجاری روباز

فریبا پرناک<sup>۱</sup> - مجید رحیم پور<sup>۲\*</sup> - کورش قادری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸

### چکیده

یکی از پدیده‌های طبیعی که در اطراف بشر به وقوع می‌پیوندد و از دیرباز دارای اهمیت زیادی بوده است، پدیده انتقال رسوب در رودخانه می‌باشد. این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک و سازه‌های آبی واقع در دانشگاه شهید باهنر کرمان در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۸ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر بر روی یک مدل فیزیکی برای محاسبه میزان رسوب انتقال یافته در جریان کانال باز با پوشش گیاهی سخت و انعطاف‌پذیر، در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق طراحی و اجرا شد. بدین منظور تعداد ۶۸ آزمایش با هدف بررسی تأثیر تراکم و موقعیت قرارگیری پوشش گیاهی بر انتقال رسوب صورت پذیرفت. نقش پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر در این زمینه چشم‌گیرتر بوده است به طوری که نرخ انتقال رسوب را حدود ۷۰ درصد کاهش داده است که نشان دهنده اهمیت پوشش گیاهی در پایداری بستر و سواحل آبراهه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** انتقال رسوب، پوشش گیاهی سخت و انعطاف‌پذیر، مستغرق، غیرمستغرق

### مقدمه

جریان و ویژگی‌های انرژی جنبشی را با استفاده از پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مدل‌سازی شده، بررسی کردند. آزمایش‌ها را با ۵ چگالی مختلف پوشش گیاهی و دو دبی تخلیه که به طور طبیعی در رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد، انجام دادند. اهداف آن‌ها از انجام این تحقیق شامل الف) پی بردن به اثر پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر غیرمستغرق با تراکم‌های مختلف بر روی ساختار جریان ب) معادله بین تنش رینولدز، شدت آشفتگی و تراکم پوشش گیاهی در کانال ج) تأثیرات پوشش گیاهی بر روی ضریب زبری مانینگ و تعیین رابطه آن‌ها بوده است. اکتشافات آن‌ها برای کنترل سیلاب، ترمیم پوشش گیاهی آبی و مدیریت رودخانه در طبیعت مفید واقع شده است. ترمیم آبی (۱۱) حرکت و رفتار پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر و تأثیرات آن بر روی انتقال جریان را با داده‌های آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد. وی از این داده‌های آزمایشگاهی برای نشان دادن تأثیرات غلظت و تراکم ساقه‌ها، جریان مستغرق، جریان متوسط و خصوصیات انتقال جریان در کانال پوشش گیاهی استفاده کرده است. نتایج نشان می‌دهد که هر دو پارامتر غلظت و تراکم ساقه‌ها بر روی پروفیل و انتقال جریان اثر می‌گذارند و جریان مستغرق غالباً روی تبادله مومنت بین لایه پوشش‌های گیاهی و لایه‌های بالای آن اثرگذار است. هاو و همکاران (۶)، حرکت اولیه رسوب با حضور پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مستغرق را با داده‌های آزمایشگاهی بررسی کردند. شبیه‌سازی پوشش‌های

بار رسوبی یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در عملکرد هیدرولیکی و ساختار ریخت‌شناسی رودخانه‌ها تلقی می‌شود. به علاوه اقدامات مهندسی و بهره‌برداری از منابع آب رودخانه‌ها در گروهی آگاهی از کمیت بار رسوبی آنها می‌باشد. از طرفی روش‌های محاسباتی در مهندسی رسوب به دلیل تنوع طبیعت رودخانه‌ها از پیچیدگی و ظرافت خاصی برخوردار است. رز و همکاران (۹) مجموعه‌ای از آزمایشات را در جهت مطالعه اثر پوشش گیاهی آبی مستغرق روی انتقال رسوب، در حضور موج‌های متصاعدی انجام دادند. در این آزمایش‌ها از سه مدل گیاهی سخت، انعطاف‌پذیر و گیاه واقعی، شش فرکانس موج در محدوده  $F = 0.16 - 1.16$  Hz و چهار تراکم پوشش گیاهی استفاده شده است. هدف آن‌ها برقراری رابطه‌ای بین انرژی جنبشی آشفتگی، تنش برشی و انتقال رسوب در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی بود. با توجه به نتایج آن‌ها در چگالی بالای پوشش گیاهی و فرکانس بالاتر، انتقال رسوب کاهش یافته است. لی و همکاران (۸) تغییرات آشفتگی

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان  
\*) نویسنده مسئول: (Email: rahimpour@uk.ac.ir)

مورفولوژی آبستتگی بررسی کردند. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که میزان تراکم پوشش و مواد به کار رفته در ساخت مدل‌های آزمایشگاهی، فاکتورهای مهم در تغییرات پروفیل جریان و آبستتگی هستند. بدین صورت که برای گیاهان انعطاف‌پذیر بیشترین آشفستگی تراکم پوشش گیاهی، در نزدیکی سطح بستر رخ می‌دهد و عمق آبستتگی را کاهش می‌دهد. ساجدی‌پور و همکاران (۱۰) با مطالعه تأثیر پوشش گیاهی در مسیر جریان دریافتند که غلظت رسوبات پایین دست نسبت به شرایط بالادست کانال با شیب نسبتاً زیادتری رو به کاهش است و راندمان تله‌اندازی با شیب نسبتاً زیادتری نسبت به وضعیت کانال رو به افزایش می‌باشد. فتحی‌مقدم و همکاران (۵) با استفاده از مدل آزمایشگاهی به بررسی تأثیر پوشش گیاهی غیرمستغرق در آبگذری رودخانه‌ها پرداختند. نتایج حاصله از آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که ضرایب زبری پوشش گیاهی تابعی از شرایط جریان (سرعت و عمق) و همچنین نوع و تراکم پوشش گیاهی هستند. هدف از این تحقیق مدل‌سازی پوشش گیاهی با استفاده از سازه‌های سخت و انعطاف‌پذیر با چگالی‌های مختلف جهت بررسی میزان انتقال رسوب در کانال باز می‌باشد. با توجه به اینکه خصوصیات متفاوت پوشش گیاهی از قبیل تراکم، ترتیب قرارگیری و نوع پوشش بر میزان انتقال رسوب مؤثر می‌باشد، بررسی تأثیر این پارامترها حائز اهمیت است. بدین منظور ۱۶ مدل شامل، دو مدل پوشش گیاهی سخت و انعطاف‌پذیر، دو مدل تراکم موزی و متناوب، دو مدل جریان مستغرق و غیرمستغرق و دو مدل جا به جایی مدل در بالادست و پایین‌دست طراحی گردیده است. برای ارزیابی آزمایش‌ها، چهار آزمایش دیگر به عنوان آزمایش شاهد انجام گردید. هر کدام از تیمارهای فوق با چهار دبی مختلف انجام شدند، که جمعا ۶۸ آزمایش حاصل شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۸ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر در آزمایشگاه هیدرولیک و سازه‌های آبی واقع در دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. جنس دیواره‌های این فلوم از شیشه و کف آن فلزی می‌باشد. نمایی از این فلوم در شکل (۱) قابل مشاهده است.

در بالادست و پایین‌دست فلوم دو مخزن جهت کنترل جریان ورودی و خروجی وجود دارد. جریان چرخشی از طریق مخزن آب زیرزمینی برقرار می‌شود. بدین صورت که آب موجود در مخزن زیرزمینی توسط پمپ‌های تعبیه شده به داخل مخزن بالادست فلوم پمپاژ می‌شود و جریان یکنواخت از طریق مخزن وارد فلوم شده و در انتهای فلوم به مخزن پایین‌دست منتقل می‌گردد. جریان پس از عبور از سرریز مستطیلی که در دیواره انتهای مخزن پایین‌دست تعبیه شده

گیاهی به صورت سیلندرهای استوانه‌ای انعطاف‌پذیر و در ردیف‌های موازی انجام شد. در این آزمایش‌ها تأثیر پارامترهایی از قبیل تراکم پوشش گیاهی، عمق آب و اندازه دانه‌های رسوبی بر روی حرکت اولیه رسوب بررسی شد. نتایج نشان داده است که سرعت حرکت اولیه رسوبات با کاهش تراکم پوشش گیاهی افزایش یافته است. سرعت حرکت اولیه رسوبات در گیاهان انعطاف‌پذیر خیلی کمتر از زمانی است که بستر رسوبی فاقد پوشش گیاهی بوده است. هوآنگ و همکاران (۷) معادله شاخص تراکم پوشش گیاهی را به صورت زیر ارائه کردند:

$$\lambda = \frac{\pi D^2}{4xy} \quad (۱)$$

که در آن  $D$  قطر پوشش گیاهی، و  $x$ ،  $y$  فاصله بین مدل‌های پوشش گیاهی است.

در ادامه سرعت متوسط جریان را به صورت زیر محاسبه کردند:

$$U = \frac{Q}{Bh \left( 1 - \lambda \frac{h_v}{h} \right)} \quad (۲)$$

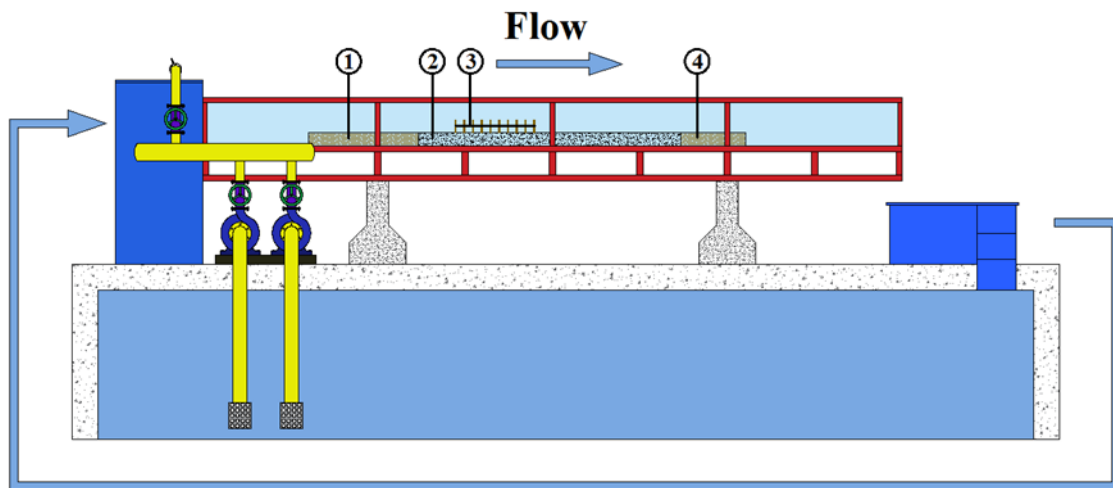
که در آن  $Q$  دبی جریان،  $\lambda$  شاخص تراکم پوشش گیاهی،  $B$  عرض فلوم،  $h_v$  ارتفاع پوشش گیاهی و  $h$  عمق آب می‌باشد. از این معادله برای محاسبه سرعت اولیه حرکت رسوب استفاده شد و پارامترهای  $\lambda$  و  $h_v$  ثابت در نظر گرفته شد. بابتیست (۱) بررسی آزمایشگاهی بر روی انتقال رسوب با پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مستغرق را انجام داد و از پوشش مصنوعی با ۸ سانتی‌متر ارتفاع در یک بستر شنی استفاده نمود. تنش برشی با استفاده از یک مدل عددی 1DV برآورد شد. طبق نتایج به دست آمده تنش برشی بستر تا ۸۰ درصد کاهش یافته است و نرخ انتقال رسوب در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی کاهش یافته است.

داورپناه جزئی و همکاران (۳) اثر متقابل بستر شنی با تاج مسطح و پوشش گیاهی دیواره بر مؤلفه‌های جریان آشفته را بررسی کرد. از نتایج قابل توجه در این پژوهش این بود که در تلماسه‌های با تاج مسطح بر خلاف نوع تاج تیز، در هر دو حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی، پارامتر سرعت بعد از تاج مسطح مقادیر منفی به خود نمی‌گیرد. تنش‌های رینولدز در حالت وجود پوشش گیاهی نسبت به حالت عدم وجود آن بیشتر بوده که این موضوع را می‌توان به افزایش مقاومت جریان در حضور این پوشش نسبت داد. بررسی آزمایشگاهی اثر تغییر تراکم پوشش گیاهی شاخه‌ای بر ضریب زبری مانینگ توسط ابراهیمی و همکاران (۴) انجام شد. در تحقیق آن‌ها ضریب زبری مانینگ با استفاده از تغییر شیب انرژی، دبی، عمق جریان و تراکم پوشش گیاهی محاسبه شد. نتایج نشان داد که این ضریب ثابت نبوده، بلکه با افزایش تراکم پوشش گیاهی افزایش و با افزایش سرعت و عمق جریان کاهش یافته است. چن و همکاران (۲)، تأثیر مانع‌های مستغرق با چگالی‌های متفاوت را بر روی پروفیل جریان و

است، مجدداً به مخزن زیرزمینی بر می‌گردد و این چرخه جریان همواره ادامه می‌یابد (شکل ۲).



شکل ۱- نمایی از فلوم آزمایشگاهی  
Figure 1- Figure of experimental flume



### Recirculating Flume

شکل ۲- جانمایی فلوم و جریان چرخشی

(۱) کف کاذب بالادست، (۲) بستر رسوبی، (۳) پوشش گیاهی، (۴) کف کاذب پایین دست

Figure 2- Locating of flume and rotational flow

1) Upstream artificial bed. 2) Sedimentary bed. 3) Vegetation 4) Downstream artificial bed

۱ متر و ضخامت ۰/۰۵ متر، در ردیف‌های موازی و متناوب با تراکم‌های مختلف کار گذاشته شدند (شکل ۳).  
به منظور انجام آزمایش‌ها در بستر رسوبی، در طول ۳ متر از فلوم نزدیک انتهای فلوم، به ارتفاع ۰/۱۵ متر رسوب ریخته شد. رسوبات را به صورت لایه لایه در فلوم ریخته و در هر مرحله پس از فشرده‌سازی، لایه‌های بعدی ریخته شد. در مجموع ۵۶۰ کیلوگرم شن درون فلوم آزمایشگاهی ریخته شد. در مرحله اول، بدون وارد کردن مدل پوشش گیاهی در بستر رسوبی، آزمایش‌های شاهد با عبور دادن ۴ دبی مختلف انجام شدند که سرعت میانگین و میزان رسوب انتقال یافته به پایین دست به‌ازای هر دبی اندازه‌گیری شد.

جمعاً ۶۸ آزمایش انجام شده است که میزان حداکثر دبی برابر ۴۰ لیتر بر ثانیه و حداقل آن برابر ۸/۵ لیتر بر ثانیه بوده است. جهت اندازه‌گیری میزان دبی جریان با استفاده از کنتور تعبیه شده در بالادست فلوم میزان حجم جریان ورودی برای هر آزمایش تنظیم و قرائت گردیده و مقادیر دبی از طریق معادله  $Q = V/t$  برحسب متر مکعب بر ثانیه محاسبه شده است. جهت بررسی اثر پوشش گیاهی بر میزان انتقال رسوب دو نوع پوشش سخت و انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شد. برای حالت سخت از میله‌های فلزی به قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر، و برای حالت انعطاف‌پذیر از گیاه نخل مرداب استفاده شد. این مدل‌ها بر روی صفحه‌ای یونولیتی به ابعاد  $۰/۷۸ \times$



الف



ب

شکل ۳- مدل‌های پوشش گیاهی الف) انعطاف‌پذیر ب) سخت

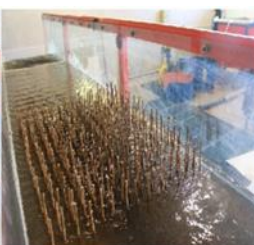
Figure 3- Models of vegetation a) Flexible b) Rigid

به‌جایی مدل‌های پوشش گیاهی و تغییر تراکم‌ها و ترتیب قرارگیری‌ها، برای هرکدام از مدل‌های پوشش گیاهی دو حالت مستغرق و غیرمستغرق بررسی شد.

بعد از انجام آزمایش‌های شاهد، با توجه به شکل (۴) و (۵) مدل‌های پوشش گیاهی به صورت جداگانه و به ترتیب در ابتدا و انتهای بستر رسوبی قرار داده شدند و آزمایش‌های مربوطه انجام شد. زمان متوسط برای انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شد. با جا



ب. سخت موازی مستغرق



الف. سخت موازی غیرمستغرق



ت. سخت متناوب مستغرق



ب. سخت متناوب غیرمستغرق

شکل ۴- تراکم‌ها و ترتیب قرارگیری پوشش گیاهی سخت

Figure 4- Density and arrangement of rigid vegetation

a) Rigid, Parallel, Emergent b) Rigid, Parallel, Submerge c) Rigid, Irregular, Emergent d) Rigid, Irregular, Submerge



شکل ۵- تراکم ترتیب قرارگیری پوشش گیاهی انعطاف پذیر  
Figure 5- Density and arrangement of flexible vegetation

a) Flexible, Parallel, Emergent b) Flexible, Parallel, Submerge c) Flexible, Irregular, Emergent d) Flexible, Irregular, Submerge

به منظور فراهم آوردن شرایط مستغرق در قسمت انتهایی فلوم (محل ریزش جریان به مخزن پایین دست) سرریزی به ارتفاع ۲۳ سانتی متر تعبیه شد. پارامترهای پوشش گیاهی به صورت علامت اختصاری در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- علائم اختصاری پوشش گیاهی سخت و انعطاف پذیر

Table 1- Abbreviation signs of rigid and flexible vegetation

R: Rigid, F: Flexible, P: Parallel, I: Irregular, S: Submerge, E: Emergent, U: Upstream, D: Downstream

نام اختصاری Abbreviation name	نام اصلی Principal name	نام اختصاری Abbreviation name	نام اصلی Principal name
RPS <sub>U</sub>	سخت متناوب مستغرق بالادست	RPS <sub>U</sub>	سخت موازی مستغرق بالادست
RIS <sub>D</sub>	سخت متناوب مستغرق پایین دست	RPS <sub>D</sub>	سخت موازی غیر مستغرق پایین دست
RIE <sub>U</sub>	سخت متناوب غیرمستغرق بالادست	RPE <sub>U</sub>	سخت موازی غیرمستغرق بالادست
RIE <sub>D</sub>	سخت متناوب غیرمستغرق پایین دست	RPE <sub>D</sub>	سخت موازی غیرمستغرق پایین دست
FIS <sub>U</sub>	انعطاف پذیر متناوب مستغرق بالادست	FPS <sub>U</sub>	انعطاف پذیر موازی مستغرق بالادست
FIS <sub>D</sub>	انعطاف پذیر متناوب مستغرق پایین دست	FPS <sub>D</sub>	انعطاف پذیر موازی مستغرق پایین دست
FIE <sub>U</sub>	انعطاف پذیر متناوب غیرمستغرق بالادست	FPS <sub>U</sub>	انعطاف پذیر موازی غیرمستغرق بالادست
FIE <sub>D</sub>	انعطاف پذیر متناوب غیرمستغرق پایین دست	FPE <sub>D</sub>	انعطاف پذیر موازی غیرمستغرق پایین دست

## نتایج و بحث

(Sediment Transport) رسوب انتقال یافته به پایین دست فلوم بر حسب کیلوگرم، Fr پارامتر بی بعد فرود و  $\lambda$  شاخص تراکم پوشش گیاهی می باشد که طبق رابطه (۱) محاسبه شده است. لازم به ذکر است برای محاسبه تراکم پوشش گیاهی انعطاف پذیر از قطر مؤثر ( $D_{effective}$ ) استفاده گردیده است. همچنین میزان رسوبات خروجی و براساس رابطه زیر بی بعد شده اند:

$$\text{نرخ انتقال رسوب بی بعد} = \frac{S.T_i}{S.T_{Rt}} \quad (3)$$

نتایج آزمایش با تغییر پارامترهایی شامل دبی کل، نوع و تراکم پوشش گیاهی و ترتیب قرارگیری پوشش های گیاهی در جدول (۲) آمده است. در این جدول،  $\nabla$  حجم جریان عبوری بر حسب متر مکعب، h هد آب بر حسب متر، A مساحت در مقطع ورودی جریان به منطقه رسوبی بر اساس متر مربع، Q دبی عبوری به صورت متر مکعب بر ثانیه، V سرعت متوسط جریان بر اساس متر بر ثانیه، S.T

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمایش‌ها  
Table 2- Results of experiments

$V(m^3)$								$\lambda$
1	25	0.045	0.036	0.0145	0.40278	0.60621	4.5	0
2	35	0.055	0.044	0.0195	0.44318	0.60335	12	0
3	45	0.06	0.048	0.025	0.52083	0.67887	35.5	0
4	56	0.08	0.064	0.0313	0.48828	0.55118	77.5	0
5	36	0.065	0.052	0.02	0.38462	0.48165	56	0.0113000
6	19.5	0.045	0.036	0.0115	0.31944	0.48079	10	0.0113000
7	45	0.07	0.056	0.025	0.44643	0.53873	68	0.0113000
8	25.2	0.055	0.044	0.014	0.31818	0.43317	37	0.0113000
9	68	0.017	0.014	0.0037	0.27206	0.6662	22	0.0113000
10	56	0.155	0.124	0.033	0.26613	0.21582	8.3	0.0113000
11	72	0.175	0.14	0.04	0.28571	0.21806	28	0.0113000
12	48.6	0.145	0.116	0.027	0.23276	0.19516	3	0.0113000
13	52	0.085	0.068	0.0275	0.40441	0.44287	59	0.0028260
14	25	0.055	0.044	0.0145	0.32955	0.44864	2	0.0028260
15	61.2	0.094	0.075	0.034	0.45213	0.47083	68	0.0028260
16	20.7	0.05	0.04	0.0115	0.2875	0.41051	0	0.0028260
17	68	0.16	0.128	0.037	0.28906	0.23073	4.2	0.0028260
18	56	0.15	0.12	0.032	0.26667	0.21983	1.5	0.0028260
19	48.6	0.145	0.116	0.027	0.23276	0.19516	0.5	0.0028260
20	36	0.125	0.1	0.02	0.2	0.18061	0	0.0028260
21	34	0.06	0.048	0.0193	0.40104	0.52273	51	0.017663
22	14.5	0.043	0.034	0.0083	0.24265	0.37579	1	0.017663
23	61.2	0.085	0.068	0.034	0.5	0.54755	62	0.017663
24	26.1	0.05	0.04	0.0145	0.3625	0.51759	21.5	0.017663
25	26.5	0.093	0.074	0.0148	0.19932	0.20925	0.5	0.017663
26	61	0.125	0.1	0.0343	0.3425	0.30929	4	0.017663
27	48.6	0.1	0.08	0.027	0.3375	0.34075	2.5	0.017663
28	20.7	0.08	0.064	0.0115	0.17969	0.20283	0	0.017663
29	43	0.06	0.048	0.024	0.5	0.65172	38	0.04186
30	25	0.045	0.036	0.014	0.3889	0.58531	5	0.04186
31	61.2	0.085	0.068	0.034	0.5	0.54775	61.5	0.04186
32	19.8	0.04	0.032	0.011	0.34375	0.54876	2.5	0.04186
33	35	0.103	0.082	0.0195	0.23781	0.23715	0	0.04186
34	67.6	0.125	0.1	0.0376	0.376	0.33955	2	0.04186
35	48.6	0.11	0.088	0.027	0.30682	0.29536	1	0.04186
36	20.7	0.08	0.064	0.0115	0.17969	0.20283	0	0.04186
37	72	0.18	0.144	0.04	0.27778	0.20904	112	0.0113000
38	66.6	0.175	0.14	0.037	0.26429	0.20171	78	0.0113000
39	39.6	0.065	0.052	0.022	0.42360	0.52982	33.5	0.0113000
40	26.1	0.055	0.044	0.0145	0.32955	0.44864	22	0.0113000
41	65	0.16	0.128	0.04	0.3125	0.24943	25	0.0113000
42	62	0.15	0.12	0.034	0.28333	0.23357	21	0.0113000
43	66.6	0.165	0.132	0.037	0.2803	0.22032	23	0.0113000
44	48.6	0.12	0.096	0.027	0.28125	0.25922	15	0.0113000
45	40	0.06	0.048	0.022	0.45833	0.59741	41	0.0028300
46	50	0.09	0.072	0.03	0.41667	0.44344	65	0.0028300
47	61.2	0.12	0.096	0.034	0.35417	0.32642	77	0.0028300
48	25.2	0.045	0.036	0.014	0.38889	0.58531	16	0.0028300
49	64	0.15	0.12	0.036	0.3	0.24731	10	0.0028300
50	75	0.18	0.144	0.04	0.27778	0.20904	16	0.0028300
51	54	0.12	0.096	0.03	0.3125	0.28802	6	0.0028300
52	45	0.09	0.072	0.025	0.34772	0.36953	3	0.0028300
53	42	0.075	0.06	0.0238	0.39583	0.46147	46	0.017663
54	24	0.05	0.04	0.0135	0.3375	0.4819	4	0.017663
55	49.5	0.08	0.064	0.0275	0.42969	0.48504	54	0.017663
56	34.2	0.07	0.056	0.019	0.33929	0.40943	15	0.017663
57	63	0.125	0.1	0.035	0.35	0.31607	1.5	0.017663
58	23.4	0.085	0.068	0.013	0.19118	0.20936	0	0.017663
59	48.6	0.105	0.084	0.027	0.32143	0.31671	1	0.017663
60	34.2	0.09	0.072	0.019	0.26389	0.28084	0	0.017663
61	25	0.04	0.032	0.014	0.4375	0.69842	7	0.04186
62	44	0.06	0.048	0.0245	0.51042	0.6653	49	0.04186
63	55.8	0.07	0.056	0.031	0.55357	0.66802	52	0.04186
64	34.2	0.05	0.04	0.019	0.475	0.67823	26.5	0.04186
65	62	0.115	0.092	0.0345	0.375	0.35306	1	0.04186
66	24.5	0.085	0.068	0.0136	0.2	0.21902	0.5	0.04186
67	49.95	0.105	0.084	0.0278	0.33036	0.3255	1	0.04186
68	41.4	0.095	0.076	0.023	0.30263	0.31349	0.5	0.04186

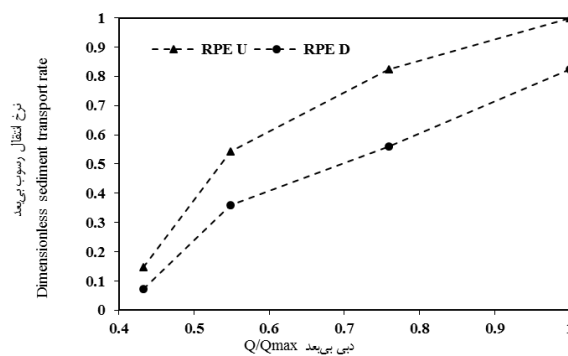
جریان آب قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل‌های (۶) تا (۸) مشاهده می‌شود، در هر چهار حالت  $RPE_U$ ،  $RPE_D$ ،  $RPS_D$  و  $RPE_D$ ، با افزایش دبی، میزان انتقال رسوب افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۶) وقتی که پوشش گیاهی به صورت  $RPE_U$ ، قرار گرفته است با افزایش میزان دبی بی‌بعد از  $0.43$  به  $1$  رسیده است که به دنبال آن میزان انتقال رسوب از  $0.147$  به  $1$  ختم شده است. این افزایش نرخ رسوب بیانگر  $85\%$  افزایش قدرت حمل بار رسوبی می‌باشد. علاوه بر آن از روی نمودار مربوط به  $RPE_D$ ، با همین میزان افزایش دبی بی‌بعد نسبی می‌توان دریافت که میزان انتقال رسوب از  $0.73$  به  $0.82$  رسیده است که بیانگر  $75\%$  افزایش انتقال بار رسوبی می‌باشد.

که در آن  $S.Ti$  میزان رسوب خروجی در هر آزمایش و  $S.T_{Ri}$  میزان رسوب خروجی در آزمایش مرجع (Reference test) برای هر دبی عبوری می‌باشد.

در این بخش با استفاده از داده‌های به دست آمده از انجام آزمایش‌ها به بررسی و تحلیل اثر انواع پوشش گیاهی (سخت و انعطاف پذیر) در حالت‌های متفاوت (مستغرق و غیرمستغرق) بر میزان انتقال رسوب در کانال باز پرداخته شده است. در طی انجام آزمایش‌ها از دو تراکم مختلف پوشش گیاهی در حالت‌های موازی و متناوب استفاده شده است.

### تأثیر پوشش گیاهی سخت بر میزان انتقال رسوب

در سناریوی مستغرق، پوشش‌های گیاهی به طور کامل در زیر

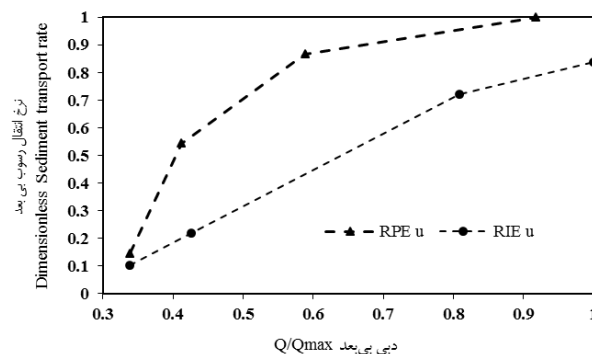


شکل ۶- انتقال رسوب با پوشش سخت موازی غیرمستغرق بالادست و پایین دست

Figure 6- Sediment transport with parallel emergent rigid vegetation upstream and downstream

که افزایش  $86\%$  حمل رسوب را نشان می‌دهد. برای جریان  $RIE_U$ ، با افزایش دبی بی‌بعد از مقدار  $0.33$  به  $1$ ، مقدار رسوب از  $0.102$  به  $0.83$  رسیده است که افزایش  $93\%$  حمل رسوب را نشان می‌دهد.

در شرایط غیرمستغرق، قسمتی از پوشش گیاهی در خارج از آب قرار دارد و در مقایسه با حالت مستغرق، سطح کمتری از آن با جریان در تماس است. در شکل ۷ برای جریان  $RPE_U$ ، با افزایش میزان دبی بی‌بعد از  $0.33$  به  $0.91$  مقدار انتقال رسوب از  $0.14$  به  $1$  رسیده است

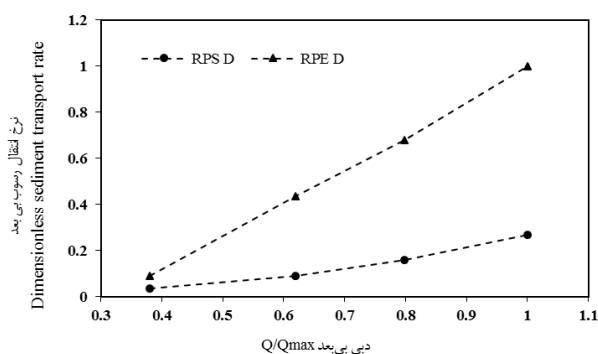


شکل ۷- انتقال رسوب با پوشش سخت موازی و متناوب غیرمستغرق بالادست

Figure 7- Sediment transport with parallel and irregular emergent rigid vegetation upstream

اینکه بیشترین سطح متلاطم جریان در بالای پوشش گیاهی قرار می‌گیرد، اثر جریان بر روی بستر رسوبی بسیار جزئی بوده و میزان انتقال رسوب حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. بنابراین در حالت غیرمستغرق نمودار با شیب بیشتری نسبت به حالت مستغرق باعث انتقال رسوب می‌شود.

همان‌طور که در شکل (۸) قابل مشاهده است، زمانی که مدل به صورت غیرمستغرق است، جریان با عبور از بین پوشش گیاهی و برخورد با ساقه‌ها باعث ایجاد اصطکاک و مقاومت با بستر رسوبی و پوشش گیاهی می‌شود و در نتیجه با ایجاد تلاطم در منطقه پوشش گیاهی باعث انتقال رسوب می‌شود. در سناریوی مستغرق به دلیل

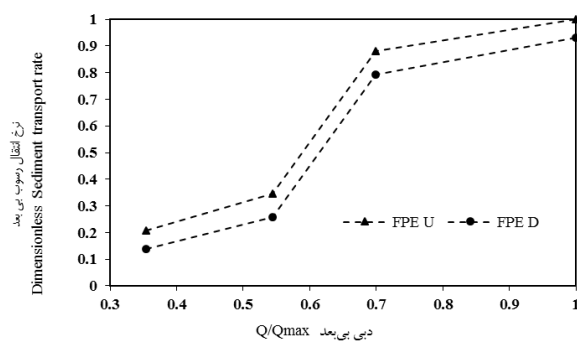


شکل ۸- انتقال رسوب با پوشش سخت موازی مستغرق و غیرمستغرق پایین دست

Figure 8- Sediment transport with parallel submerge and emergent rigid vegetation downstream

ناحیه پوشش گیاهی باعث کنده شدن و جابه جایی رسوب شده است، پس از عبور از منطقه پوشش گیاهی به دلیل داشتن سطح متلاطم و انرژی بالا، رسوب بیشتری را نسبت به حالتی که پوشش در پایین دست بوده است، حمل کرده است.

تأثیر پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر بر میزان انتقال رسوب نتایج مربوط به تأثیر پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر در شکل‌های (۹) تا (۱۱) قابل مشاهده می‌باشد. زمانی که مدل در منطقه بالادست منطقه رسوب‌گذاری شده قرار داشته است، جریان علاوه بر اینکه در



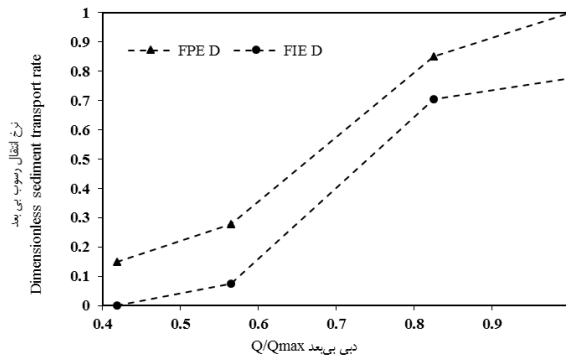
شکل ۹- انتقال رسوب با پوشش انعطاف‌پذیر موازی غیرمستغرق بالادست و پایین دست

Figure 9- Sediment transport with parallel emergent flexible vegetation at upstream and downstream

رسوب به پایین دست جریان نسبت به حالت قرارگیری متناوب حدود ۴۰ درصد در پایین دست و ۶۰ درصد در بالادست افزایش یافته است. با افزایش تراکم پوشش گیاهی (چیدمان موازی) میزان نرخ انتقال رسوب به اندازه ۱۵ درصد نسبت به تراکم کمتر پوشش گیاهی (چیدمان متناوب) افزایش یافته است.

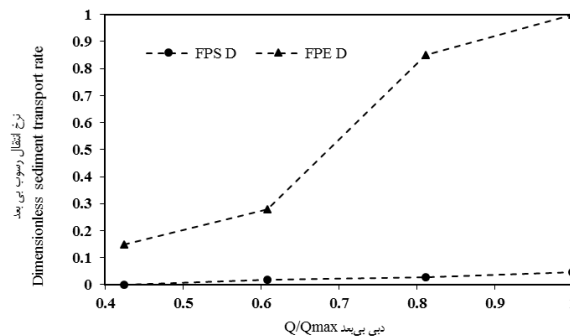
با توجه به شکل (۹) میزان انتقال رسوب در بالادست، ۱۰ درصد نسبت به پایین دست منطقه رسوبی افزایش یافته است. با توجه به شکل (۱۰) در شرایطی که نحوه قرارگیری پوشش گیاهی به صورت موازی است، به دلیل تراکم بالای پوشش گیاهی، سطح تماس جریان با پوشش گیاهی و بستر بیشتر بوده است و به دنبال آن میزان انتقال





شکل ۱۰- انتقال رسوب با پوشش انعطاف‌پذیر موازی و متناوب غیرمستغرق پایین‌دست

Figure 10- Sediment transport with parallel and irregular emergent flexible vegetation at downstream



شکل ۱۱- انتقال رسوب با پوشش انعطاف‌پذیر موازی مستغرق و غیرمستغرق پایین‌دست

Figure 11- Sediment transport with parallel submerge and emergent flexible vegetation downstream

برخورد بیشتر جریان با ساقه‌ها، در اثر مقاومت و اصطکاک موجود، نرخ انتقال رسوب با شدت بیشتری نسبت به حالت انعطاف‌پذیر صورت گرفته است. در مدل انعطاف‌پذیر زمانی که شاخ و برگ‌ها در تماس با جریان قرار می‌گیرند، تلاطم جریان به سطح آب منتقل شده و با کاهش سرعت جریان نرخ انتقال رسوب کاهش یافته است. اما در مدل سخت، جریان با برخورد مداوم به ساقه‌ها، در تماس بیشتری با بستر رسوبی قرار گرفته و مسیر جریان را متلاطم‌تر نموده است و در نتیجه باعث افزایش ۷۰ درصدی نرخ انتقال رسوب نسبت به حالت انعطاف‌پذیر گردیده است.

#### نرخ انتقال رسوب در دو حالت بدون پوشش و همراه با پوشش گیاهی

با توجه به شکل‌های ۱۴ و ۱۵ در هر دو حالت جریان پوشش انعطاف‌ناپذیر مستغرق و غیرمستغرق با افزایش مقدار دبی بی‌بعد از ۰/۳۳ به ۱، مقدار نرخ انتقال رسوب بی‌بعد به ترتیب از ۰/۰۹۳ به ۱ و از ۰/۲۲ به ۱ افزایش یافته است، که با همین افزایش میزان دبی بی‌بعد نرخ انتقال رسوب در آزمایش شاهد (بدون پوشش گیاهی) از ۰/۲۵ به ۱ رسیده است. به بیان کلی‌تر در آزمایش بدون پوشش

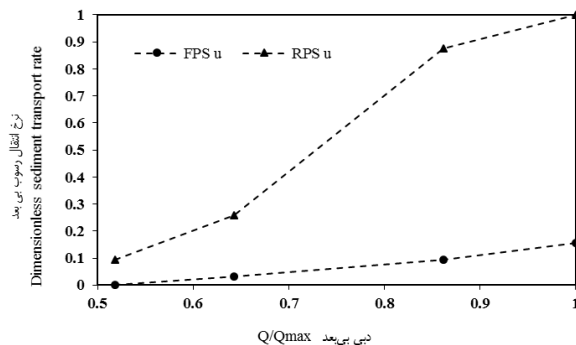
با توجه به شکل (۱۱) در شرایط مستغرق جریان در میان شاخ و برگ‌ها پراکنده می‌شود و سرعت آن کاهش می‌یابد و حمل بستر رسوبی بسیار ناچیز می‌شود. در این شرایط، انتقال رسوب مسیر نزولی را نسبت به حالت غیرمستغرق طی کرده است. به این ترتیب که میزان انتقال رسوب در حالت غیرمستغرق ۸۰ درصد نسبت به حالت مستغرق افزایش یافته است.

#### مقایسه بین پوشش گیاهی سخت و انعطاف‌پذیر بر روی نرخ انتقال رسوب

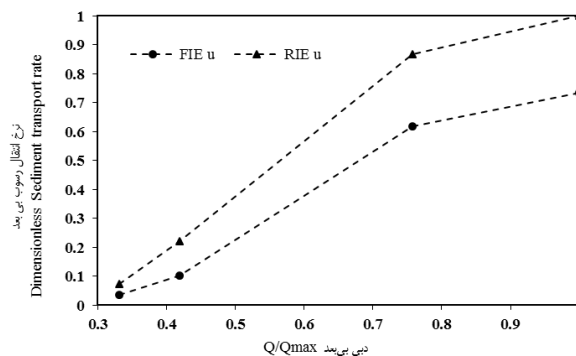
به طور کلی وجود پوشش گیاهی باعث کاهش ۳۰ درصدی نرخ انتقال رسوب در پوشش انعطاف‌پذیر و کاهش ۵ درصدی در پوشش انعطاف‌ناپذیر گردیده است. در شرایطی که پوشش گیاهی فقط به صورت ساقه درون منطقه رسوبی حضور داشته باشد میزان نرخ انتقال رسوب سیر افزایشی را نسبت به شرایطی که پوشش گیاهی دارای شاخ و برگ بوده است طی کرده است. با توجه به نمودارهای (۱۲) و (۱۳) می‌توان به درک عمیق‌تری از این موضوع رسید. نتایج به‌دست آمده از مقایسه بین پوشش گیاهی سخت و انعطاف‌پذیر نشان داد که در حالت سخت (انعطاف‌ناپذیر) به دلیل

از شرایط همراه با پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر و ۵ درصد بیش‌تر از شرایط همراه با پوشش گیاهی سخت بوده است. بنابراین بیش‌ترین میزان نرخ انتقال رسوب در آزمایش شاهد رخ داده است.

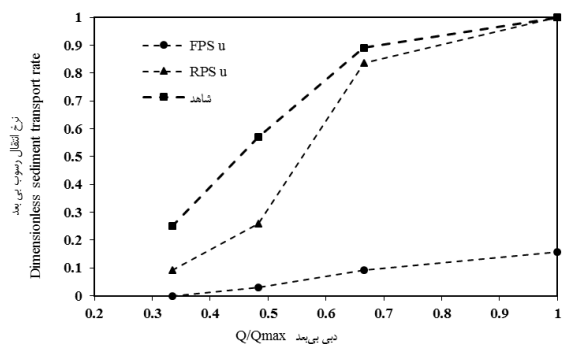
گیاهی افزایش نرخ انتقال رسوب ۲۲ درصدی نسبت به جریان مستغرق و ۵ درصدی نسبت به جریان غیرمستغرق رخ داده است. همچنین میزان نرخ انتقال رسوب در آزمایش شاهد ۳۰ درصد بیشتر



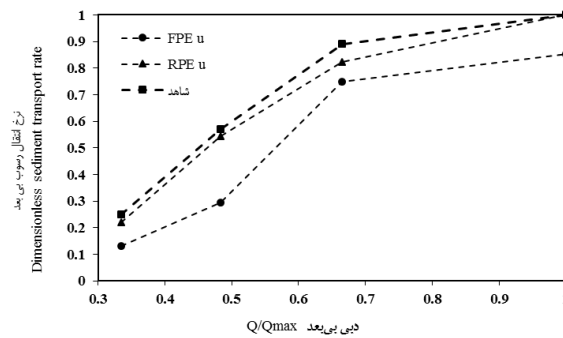
شکل ۱۲- میزان نرخ انتقال رسوب بی‌بعد در دو موقعیت  $RPS_U$  و  $FPS_U$   
 Figure 12- Dimensionless sediment transport rates at tow position of  $FPS_U$  and  $RPS_U$



شکل ۱۳- میزان نرخ انتقال رسوب بی‌بعد در دو موقعیت  $RIE_U$  و  $FIE_U$   
 Figure 13- Dimensionless sediment transport rates at tow position of  $FIE_U$  and  $RIE_U$



شکل ۱۴- میزان نرخ انتقال رسوب بی‌بعد در دو موقعیت جریان مستغرق و آزمایش شاهد  
 Figure 14- Dimensionless sediment transport rates at tow position of submerge flow and control experiment



شکل ۱۵- میزان نرخ انتقال رسوب بی بعد در دو موقعیت جریان غیر مستغرق و آزمایش شاهد

Figure 15- Dimensionless sediment transport rates at tow position of emergent flow and control experiment

افزایش تلاطم، میزان جابه‌جایی رسوب نیز افزایش یافته است. به بیان کلی‌تر در شرایطی که پوشش گیاهی به صورت موازی قرار گرفته باشد، نرخ انتقال رسوب در مدل سخت ۲۰ درصد و در مدل انعطاف‌پذیر ۱۵ درصد نسبت به چیدمان متناوب (تراکم پایین) افزایش یافته است. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر انتقال رسوب در این پژوهش جابه‌جایی مدل فیزیکی در طول بستر رسوبی بوده است. جریان پس از عبور از مدل بالادست علاوه بر حمل رسوب در محل پوشش گیاهی، به دلیل سطح متلاطم جریان، با وارد کردن ضربه به بستر، باعث حمل بیشتر ذرات رسوب شده است. به این ترتیب در شرایطی که مدل در بالادست بستر رسوبی بوده است میزان نرخ انتقال رسوب نسبت به شرایطی که مدل در پایین دست بوده است، ۱۵ درصد افزایش یافته است. با توجه به این شرایط می‌توان به این نتیجه رسید که در شرایط خاص مثلاً در زمان سیلاب برای جلوگیری از خسارات ناشی از سیل در کانال، آبراهه‌ها و مجاری روباز، پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر تا حدود زیادی می‌تواند مفید و مؤثر واقع شود.

### پیشنهادها

- الف) بررسی پروفیل سرعت در شرایط پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر و انعطاف‌ناپذیر
- ب) محاسبه تنش برشی بستر تحت جریان‌های مستغرق و غیرمستغرق
- پ) محاسبه نیروی کششی ناشی از مقاومت ایجاد شده بین لایه های جریان و پوشش گیاهی
- ت) بررسی مقاومت بستر جهت جلوگیری از انتقال رسوب
- ث) محاسبه و بررسی پروفیل سرعت تحت جریان‌های ثانویه در شرایط پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر

### نتیجه گیری

در طی فرآیند جابه‌جایی و انتقال رسوب، بستر رودخانه‌ها و کانال‌های روباز دستخوش تغییراتی می‌شود. عوامل متعددی از قبیل فرسایش‌های بادی و آبی، تراکم پوشش گیاهی، میزان دبی تخلیه و... بر روی توپوگرافی و سطح بستر تأثیرگذار هستند. در این تحقیق اثر پوشش گیاهی و جریان عبوری بر روی میزان انتقال رسوب بررسی شده است. جریان عبوری (مستغرق و غیرمستغرق)، نوع و تراکم پوشش گیاهی بر روی میزان انتقال رسوب بسیار مؤثر می‌باشد. به طور کلی باتوجه به داده‌های آزمایشگاهی و نمودارهای بدست آمده، بدیهی است که با افزایش جریان عبوری و تراکم پوشش گیاهی، میزان نرخ انتقال رسوب نیز افزایش یافته است. نتایج به‌دست آمده از آزمایش شاهد (بدون پوشش گیاهی) بیانگر این موضوع است که عدم وجود پوشش گیاهی میزان نرخ انتقال رسوب را حدوداً ۳۰ درصد نسبت به مدل انعطاف‌پذیر و ۵ درصد نسبت به مدل انعطاف‌ناپذیر، افزایش داده است. در شرایطی که وضعیت جریان عبوری به صورت مستغرق بوده است، سطح تماس جریان با بستر رسوبی کاهش یافته و میزان نرخ انتقال رسوب در پوشش گیاهی سخت ۴۴ درصد و در پوشش انعطاف‌پذیر ۷۲ درصد نسبت به جریان غیرمستغرق کاهش یافته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مقایسه بین پوشش گیاهی سخت و انعطاف‌پذیر در میزان نرخ انتقال رسوب می‌توان دریافت که در حالت صلب به دلیل برخورد بیشتر جریان با ساقه‌ها، مسیر جریان متلاطم‌تر شده و افزایش ۷۰ درصدی نرخ انتقال رسوب نسبت به حالت انعطاف‌پذیر رخ داده است. از شاخص‌های مؤثر دیگر بر روی انتقال رسوب، ترتیب قرارگیری پوشش گیاهی در بستر رسوبی می‌باشد. زمانی که پوشش گیاهی به صورت موازی (دو برابر تراکم متناوب) قرار گرفته باشد، برخورد جریان با مانع‌ها بیش‌تر شده و با

### منابع

- 1- Baptist M.J. 2003. A flume experiment on sediment transport with flexible, submerged vegetation. International workshop on RIParian FOrest vegetated channels: hydraulic, morphological and ecological aspects, February 20-22, Terento, Italy.

- 2- Chen S.U., Chan H.CH., and Li Y.H. 2012. Observation on flow and local scour around submerged flexible vegetation. *Advances in Water Resources*, 43: 28-37.
- 3- Davarpanah Jozi Sh., Afzalimehr H., and Kabiri Samani E. 2011. Evaluation forms of interaction bed with flat crown and vegetation components of turbulent flow. Irrigation and Drainage Master's thesis, University of Technology, Faculty of Agriculture (In Persian).
- 4- Ebrahimi N., Kashefipoor M., Fathimoghadam M., Ebrahimi K., and Saneie S.M. 2008. Experimental analysis on the effect of bed vegetation shrub on Manning's coefficient. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2(3):37-42.
- 5- Fathimoghadam M., Shomalnasab B., and Masjedi E. 2008. Emergent the effect of vegetation on river inflow. Fourth National Congress of Civil Engineering, Tehran University (In Persian).
- 6- Wang H., Tang H.W., Zhao H.Q., Zhao X.Y., and Lu S.Q. 2015. Incipient motion of sediment in presence of submerged flexible vegetation. *Water Science and Engineering*, 8(1): 63- 67.
- 7- Hongwu T., Wang H., Liang D. F., Lv S.Q., and Yan L. 2013. Incipient motion of sediment in the presence of emergent rigid vegetation. *Journal of Hydro-environment Research*, 7(3):202-208.
- 8- Li Y., Du W., Yu Z., Tang Ch., Wang Y., Anim D.O., Ni L., Lau J., Chew S.A., and Acharya K. 2015. Impact of flexible emergent vegetation on the flow turbulence and kinetic energy characteristics in a flume experiment. *Journal of Hydro-environment Research*, 9(3): 354-367.
- 9- Ros A., Colomer J., Teresa S., Pujol D., Soler M., and Casamitjana X. 2014. Experimental observation on resuspension within submerged model canopies under oscillatory flow. *Continental Shelf Research*, 91: 220-231.
- 10- Sajedipoor E., Hedayat N., and Mashaal M. 2010. Analytical study to estimate sediment transport in concrete ducts West Channel dez study using a computer program SHARC, Third National Conference on Management of irrigation and drainage networks, Ahvaz, Shahid Chamran University (In Persian).
- 11- Termini D. 2015. Flexible vegetation behaviour and effects on flow conveyance: experimental observations. *Journal of River Basin Management*, 13(4): 401-411.

## Experimental Investigation of the Effect of Rigid and Flexible Vegetation on Sediment Transport in Open Channels

F. Parnak<sup>1</sup>- M. Rahimpour<sup>2\*</sup>- K. Qaderi<sup>3</sup>

Received: 25-04-2017

Accepted: 07-04-2018

**Introduction:** Soil is a key resource that contributes to the earth system functioning as a control and manages the cycles of water, biota and geochemical and as an important carbon reservoir. Soil organic matter is one of the most important factors in soil quality assessment and having relationship with physical, chemical and biological properties of soil. Carbon sequestration in plant biomass and soils is the simplest and the most economically practical solution to reduce the risks of atmospheric carbon dioxide. Little information is available about the effects of grazing management on sequestration of carbon in Khuzestan Province pastures. Therefore, this study was conducted to evaluate the effects of grazing exclusion on the amount and forms of carbon management and carbon sequestration with economic view in some pasture soils from Peneti Plain of Izeh area and Dimeh regions of Ramhormoz in Khuzestan Province.

**Materials and Methods:** This study was conducted in two regions including Izeh and Ramhormoz representing different climates, vegetation and soil types of southwestern Iran. We selected two grazing treatments including ungrazed and grazed pastures in each region. The first area includes rangeland ecosystem in Izeh city between 31° 57' 8" to 31° 58' 20" N and 49° 41' 11" to 49° 42' 33" E. The region has a typical temperate continental climate, characterized by dry summers and cold winters. The mean annual rainfall is 623mm. The mean annual temperature (MAT) is 19.2 °C, and the mean monthly air temperature varies from -0.6 °C in January to 42.4 °C in July. The second area (Ramhormoz) is located between 31° 7' 44" to 31° 9' 11" N and 49° 29' 13" to 49° 28' 52" E. The mean annual rainfall is 200 mm and the mean annual temperature (MAT) is 27.2 °C, and the mean monthly air temperature varies from 4.2 °C in January to 51.6 °C in July. For each climate region, grazed and ungrazed sites were located on the same soil series with similar aspect and slope. Then, random soil samples were taken from the surface and subsurface in 15 points. After air drying the soil samples and passing them through a 2 mm sieve, physical, chemical properties of the soils were measured.

**Results and Discussion:** The soil of both studied regions are non-saline, calcareous, and alkaline and have relatively heavy texture. The results showed that the studied characteristics in four study areas had low and moderate coefficients of variation. This suggests that the contribution of edaphic and environmental factors to explain variation in the data is not high. Also, grazing management has increased soil organic matter of surface and subsurface soil, but despite the increase in organic matter contents of subsurface soils the difference was not statistically significant. The effect of management practices, in order to have a significant effect to lower parts of the soil, it requires a longer period management. Comparing the biomass upon non-grazing (405 and 42 gm<sup>-2</sup> in Izeh and Ramhormoz respectively) and grazed (117 and 17 gm<sup>-2</sup>) areas, indicates a good condition of vegetation in the non-grazing and the effectiveness of enclosure in rehabilitation of pastures in the study area. However, due to more rainfall rates, the amount of biomass produced in Izeh is higher.

**Conclusion:** The carbon management index in the study areas, as well as the depths of the study is high, indicating recovery of soil carbon and improving its quality. Also, based on carbon sequestration in the study area, non-grazing was one of the most proper and efficient management practices, which improved soil quality. Accordingly, it seems that non-grazing practices should be considered as one of the major programs in renewable natural resources plans. On the other hand, estimation of the economic value of carbon sequestration in the pastures has been remarkable, and increased 17 and 12.7% of the value of carbon sequestration in Izeh and Ramhormoz regions under the management of the exclusion. Therefore, the management of rangelands should

1, 2 and 3- M.Sc. Student of Water Structures and Associate Professors of Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, Respectively

(\*- Corresponding Author Email: rahimpour@uk.ac.ir)

be directed to allow for their ecologic performance and capacity considering the environmental economy of rangelands so that in broad terms, the justification for the enhancement and maintenance of the economic equilibrium can be viewed as a guaranty of implementing the range managements resulting in sustained development.

**Keywords:** Emergent, Flexible and rigid vegetation, Sediment transport, Submerge