ASPI | Afarand Scholarly Publishing Institute; Turkey
ISSN: 2538-4384; Geographical Researches. 2023;38(1):107-119. 10.58209/geores.38.1.107

Determining the Biogeomorphic Feedback Windows Located in the Riparian Area of the Taleqan River, Iran

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Darabi Shahmari S.[1]* *PhD,*
Ahmadabadi A.[1] *PhD*

How to cite this article
Darabi Shahmari S, Ahmadabadi A. Determining the Biogeomorphic Feedback Windows Located in the Riparian Area of the Taleqan River, Iran. Geographical Researches. 2023 ;38(1): 107-119.

ABSTRACT

Aims Riparian vegetation has a considerable effect on making the stable habitats and sustainability of the river planform. This study aimed to investigate the biogeomorphic feedback windows in Talegan river during 1991-2021.

Methodology The satellite images and aerial photographs in 1991, 2001, 2006, and 2021 was used for digitizing the vegetation area. After the geometrical correction of the images, the sub-reaches of the river were determined based on the GUS method, and the relatively stable colonies were digitized in each of the sub-reaches. Then, the traits of the BFWs were determined by field studies, including ecological process (stem density and diameter, height of vegetation and floor herbaceous), morphometric (degradation level), and biogeomorphic traits (occurrence of biogeomorphic cumulative landforms). Data were analyzed using the conceptual model and Chi-square test through SPSS 23 software.

Findings Eighty-two BFWs were identified in the riparian area. The biogeomorphic accumulated landforms were observed in 70.7% of the BFWs. The appropriate opportunities for development of vegetation patches were observed in the upstream of the river especially in sub reaches 1 and 3. There were a lower possibility for the vegetation patches development and the stability of the river's landform in sub reaches 4 and 5. The result of Chi-square test showed a direct relationship between the establishment of biogeomorphic accumulation landforms with stem diameter, height, and density of vegetation.

Conclusion There is a need to attention to the restoration of riparian ecosystems by reducing the level of human interventions and creating a favorable environment for the development of biogeomorphic feedback windows in Taleqan river. The sustainable establishment of BFWs means the sustainable establishment of vegetation habitats containing engineering vegetation, which leads to the preservation and development of the habitat as well as the stability of the river landform.

Keywords Biogeomorphic Feedback Window; Taleqan River; Riparian Vegetation, River Geomorphology; Biogeomorphology

[1]Department of Geographical Science, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

***Correspondence**
Address: Department of Geographical Science, Kharazmi University, Enqelab Avenue, South Mofateh Street, Tehran, Iran. Postal Code: 3197937551
Phone: +98 (21) 88329220
Fax: -
sahar.darabi48@yahoo.com

Article History
Received: February 9, 2023
Accepted: May 31, 2023
ePublished: June 4, 2023

CITATION LINKS

[Balke T, et al; 2014] Critical transitions ...; [Bertoldi W, et al; 2011] The topographic ...; [Cahill JF, McNickle GG; 2011] The behavioral ...; [Corenblit D, et al; 2007] Reciprocal ... [Corenblitt D, et al; 2011] Feedbacks ...; [Corenblitt D, et al; 2015] Engineer pioneer ...; [Corenblit D, et al; 2016] Populus nigra L. establishment ... [Corenblit D, et al; 2017] Analysis of ...; [Corenblit D, et al; 2018] Niche construction ...; [Dang X; 2022] Evolution of ...; [Darabi Shahmari S, et al; 2020] Riparian habitats ...; [Eichel J, et al; 2015] Conditions for ...; [Gurnell AM; 2014] Plants as ...; [Gurnell AM, et al; 2005] Effects of ...; [Krzeminska D, et al; 2019] Effect of ...; [Lytle DA, Poff NL; 2004] Adaptation ...; [Odling-Smee FJ, et al; 2003] Niche construction ...; [Picco L, et al; 2017] Mediumand ...; [Pollen Bankhead N, Simon A; 2010] Hydrologic ...; [Post DM, Palkovacs EP; 2009] Eco-evolutionary ...; [Richter BD, Richter HE; 2000] Prescribing ... [Steiger J, et al; 2011] Sediment deposition ... [Wintenberger CL, et al; 2015] Fluvial islands ... [Zhu L, et al; 2022] The influence ...

Copyright© 2023, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

تعیین موقعیت پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در حاشیه رودخانه طالقان

سحر دارابی شاهماری* PhD
گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
علی احمدآبادی PhD
گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

اهداف: پوشش گیاهان حاشیه‌ای رودخانه، علاوه بر تلاش برای ایجاد یک زیستگاه پایدار بر ویژگی لندفرم‌های مرتبط نیز تاثیرگذار هستند و می‌توانند سبب پایداری لندفرم رودخانه‌ای شوند. در این مطالعه، وسعت فضایی پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در رودخانه طالقان در دوره ۱۴۰۰-۱۳۷۰ مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌شناسی: در این پژوهش میدانی از ٤ دوره تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵ و ۱٤۰۰ استفاده شد. پس از تصحیح هندسی تصاویر، رودخانه بر اساس روش سیستم واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای بازه‌بندی شد و موقعیت کلنی‌های گیاهی با مساحت تقریبا پایدر در هر یک از بازه‌ها تعیین شد. سپس، ویژگی‌های این پنجره‌ها شامل فرآیند اکولوژیک (تراکم و قطر ساقه، ارتفاع پوشش گیاهی و پوشش کف)، مورفومتریک (سطح آسیب) و بیوژئومورفیک (وقوع لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک) طی بازدید میدانی بررسی شد. داده‌ها با استفاده از آزمون آماری مجذور کای و تهیه مدل مفهومی تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها: ۸۲ پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک نسبتاً پایدار در حاشیه رودخانه طالقان تشخیص داده شد که در ۷۰/۷٪ از آنها لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک مشاهده شد. فرصت‌های مناسب برای توسعه کلنی‌های گیاهی در بالادست رودخانه، به‌خصوص در بازه‌های ۱ تا ۳ مشاهده شد. به سمت پایین دست رودخانه در بازه‌های ۴ و ۵ به دلیل افزایش مداخلات انسانی و به‌خصوص کانالیزه‌سازی رودخانه، احتمال بسیار کمتری برای توسعه زیستگاه‌های گیاهی و تاثیر بر ثبات لندفرم رودخانه وجود داشت. ارتباط مستقیمی بین استقرار لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک با قطر و ارتفاع ساقه و تراکم پوشش گیاهی وجود داشت.

نتیجه‌گیری: در مدیریت رودخانه طالقان، باید به احیای اکوسیستم‌های حاشیه‌ای با کاهش سطح مداخلات انسانی و ایجاد زمینه مساعد برای توسعه پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک توجه نمود. استقرار پایدار پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک به معنای استقرار پایدار زیستگاه‌های گیاهی حاوی گیاهان مهندس است که منجر به حفظ و توسعه زیستگاه و نیز ثبات لندفرم می‌شود.

کلیدواژگان: پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک، رودخانه طالقان، پوشش گیاهی حاشیه‌ای، ژئومورفولوژی رودخانه، بیوژئومورفولوژی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰
*نویسنده مسئول: sahar.darabi48@yahoo.com

مقدمه

شرایط هیدروژئومورفیک (بافت رسوب، قرار گرفتن در معرض تنش برشی، توپوگرافی و تنوع هیدرولوژیک) تاثیر زیادی بر دینامیک پوشش گیاهی در حاشیه رودخانه دارد و به نوبه خود، پوشش گیاهی می‌تواند جریان آب و همچنین رسوب، ژئومورفولوژی و توپوگرافی را تعدیل کند [Gurnell *et al*., 2005; Corenblit *et al*., 2007; Bertoldi *et al*., 2011; Pollen-Bankhead & Simon, 2010]. این فعل و انفعالات متقابل منجر به بازخورد قوی بین لندفرم‌های رودخانه‌ای و پوشش گیاهی ساحلی در مراحل اولیه جانشینی پوشش گیاهی می‌شود. تحقیقات قابل توجهی در ۲۰ سال گذشته در تلاش برای توسعه مدل‌های مفهومی بیوژئومورفیک به منظور توضیح بازخورد بین ژئومورفولوژی رودخانه‌ای و دینامیک پوشش گیاهی انجام شده است. به عنوان مثال، در اکولوژی، مفهوم مهندسین اکوسیستم [Odling-Smee *et al*., 2003] به عنوان انواع خاصی از گیاهان که ساختار و عملکرد اکوسیستم ساحلی را با تغییر قابل توجه فرآیندهای هیدروژئومورفیک، و زیستگاه‌های رودخانه‌ای کنترل می‌کنند، تعریف شده است [Gurnell *et al*., 2005; Corenblit *et al*, 2007, 2011, 2015]. اکوسیستم‌های دینامیک در حاشیه رودخانه، که در معرض اختلالات فیزیکی مکرر (مانند سیل) هستند و بازخوردهای بالقوه اکولوژیک را بین ژئومورفولوژی و گیاهان مهندس نشان می‌دهند، به عنوان اکوسیستم‌های بیوژئومورفیک تعریف شده‌اند [Balke *et al*., 2014; 2015]. در اکوسیستم‌های بیوژئومورفیک، ساخت لندفرم‌های رودخانه‌ای، توالی پوشش گیاهی و چرخه زندگی درختان ساحلی در چارچوب مهندسین اکوسیستم، به‌عنوان یک جانشینی بیوژئومورفیک توصیف شده است [Corenblit *et al*., 2007]. در این زمینه، مفهوم پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک (BFW: Biogeomorphic Feedback Window)، که توسط *ایچل* و همکاران [Eichel *et al*., 2015] برای محیط‌های کوهستانی پیشنهاد شده، یک چارچوب مناسب برای شناسایی وقوع بازخورد فضایی زمانی بین دینامیک ژئومورفیک و پوشش گیاهی را فراهم کرده است. این نویسندگان، موفق به استفاده از رتبه‌بندی (مقیاس های چندبعدی غیرمتریک) و روش‌های همبستگی برای تجزیه و تحلیل ارتباط بین گونه‌های گیاهی مهندس و فرایندهای ژئومورفیک شده و تشخیص داده‌اند که شرایط مطلوب برای بروز بازخورد بین مجموعه‌های گیاهی خاص و فرایندهای دامنه‌ای منجر به توسعه سولیفلوکسیون در منطقه شده است. در مورد محیط‌های آبرفتی، BFW به عنوان یک پوشش فضایی زمانی از تعاملات برقرار شده بین دینامیک گونه‌های بیدیان ساحلی و هیدروژئومورفولوژی سواحل که باعث بازخورد بیوژئومورفیک قوی می‌شود، تعریف شده است [Corenblit *et al*., 2015]. پوشش گیاهی در این پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک بر مقاومت لندفرم‌ها در برابر اختلالات هیدروژئومورفیک تاثیر می‌گذارد و بازیابی آن‌ها را پس از وقوع سیل‌های مخرب افزایش می‌دهد، بنابراین بر پایداری لندفرم‌های بیوژئومورفیک و انعطاف‌پذیری اکولوژیک آنها موثر است [Picco *et al*., 2017]. در حالت عدم در نظر گیری صفات مورفولوژیک، بیومکانیک، فنولوژیک و فیزیولوژیک، فرآیندهای هیدروژئومورفیک ترکیب گونه‌ها را در مراحل اولیه جانشینی کنترل می‌کنند [Richter & Richter, 2000]. در این ترکیب، تعدادی از گونه‌های گیاهی چوبی سبب ایجاد ویژگی‌هایی در کلنی‌های گیاهی می‌شوند که استقرار آنها را در شرایط آشفته هیدرولوژیک

(محیط‌هایی که در آن‌ها، تنش برشی، فرسایش، دفن رسوب، و خشکسالی، استقرار گیاهان را دشوار می‌کند) امکان‌پذیر می‌سازد، مانند بید و صنوبر [Gurnell, 2014]. گیاهان مهندس قادر به استقرار بر روی بارهای آبرفتی و تاثیر بالقوه بر ژئومورفولوژی هستند. چنین گونه‌هایی در پاسخ به اختلالات هیدروژئومورفیک، صفات خاصی را در خود توسعه می‌دهند؛ به عنوان مثال روش‌های تولید مثل خود را منطبق با شرایط محیطی تغییر می‌دهند و یا خواص مورفولوژی و بیومکانیک خود را با محیط انطباق می‌دهند [Karrenberg *et al*., 2002; Lytle & Poff, 2004].

مقاومت و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌های بیوژئومورفیک با پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک گیاهان مهندس در ارتباط است [Corenblit *et al*., 2015]. در پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک، پوشش گیاهان مهندس با ایجاد خصایص ویژه در خود، در راستای سازگاری با شرایط دشوار محیطی فعالیت می‌کنند. در این حالت، علاوه بر تلاش برای ایجاد یک زیستگاه پایدار، بر ویژگی لندفرم‌های مرتبط نیز تاثیرگذار هستند و می‌توانند سبب پایداری لندفرم رودخانه‌ای شوند [Krzeminska *et al*., 2019]. دو پیامد عمده در ارتباط با فعالیت پوشش گیاهان مهندس در قالب پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک وجود دارد: الف) وراثت صفات فنوتیپیک در پوشش گیاهی (وراثت اکولوژیک) و ب) وراثت لندفرمیک. در چنین بازخوردهای هم‌فرگشتی، برخی از جمعیت‌ها محیط خود را اصلاح می‌کنند و تغییر می‌دهند و این تغییرات در روند تکاملی جمعیت و در نهایت ساختار اجتماعات گیاهی بازخورد می‌یابد [Post & Palkovacs, 2019; Cahill & McNikle, 2011]. به عبارت دیگر، تلاش گیاهان مهندس برای ایجاد سازگاری با اختلال و حفظ سایر گونه‌ها در یک کلنی، به پایداری فیزیکی زیستگاه و ثبات لندفرم می‌انجامد [Zhu *et al*., 2022; Steiger *et al*., 2001].

اهمیت این مفاهیم در این نهفته است که در حالت عدم وجود اختلال عمده، به‌خصوص مداخلات انسانی، تعاملات اکوسیستم‌های حاشیه رودخانه و ژئومورفولوژی رود سبب جذب اختلال و ثبات اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و نیز لندفرم رودخانه می‌شود. بنابراین، تعدیل مداخلات انسانی و حفظ اکوسیستم گیاهان حاشیه‌ای در مدیریت رودخانه بسیار حائز اهمیت است، زیرا می‌تواند سبب پایداری اکوسیستم و متعاقباً پایداری لندفرم رودخانه شود. هدف این مطالعه، بررسی وسعت فضایی پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در رودخانه طالقان در دوره ۱۴۰۰-۱۳۷۰ بود.

روش‌شناسی

در این پژوهش میدانی از ٤ دوره تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی استفاده شد. در ابتدا تصاویر با استفاده از عوارض مشخص و مشترک، اصلاح هندسی و سپس موزاییک شدند. سپس تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی موجود بر اساس مختصات برداشت‌شده از نقاط کنترل زمینی از طریق GPS و نقشه‌های توپوگرافی، در محیط نرم‌افزار ENVI ژئورفرنس شدند. در زمین مرجع‌سازی هر زوج از تصاویر اولتراکم از حداقل ۱۲۰ و حداکثر ۲۲۰ نقطه کنترل (نقاط کنترل زمینی و نقاط برداشت شده از نقشه‌های توپوگرافی) و نیز در زمین مرجع‌سازی هر زوج از عکس‌های هوایی از حداقل ۳۰ و حداکثر ۵۰ نقطه کنترل برای به حداقل رساندن خطای RMS، استفاده شد (جدول ۱).

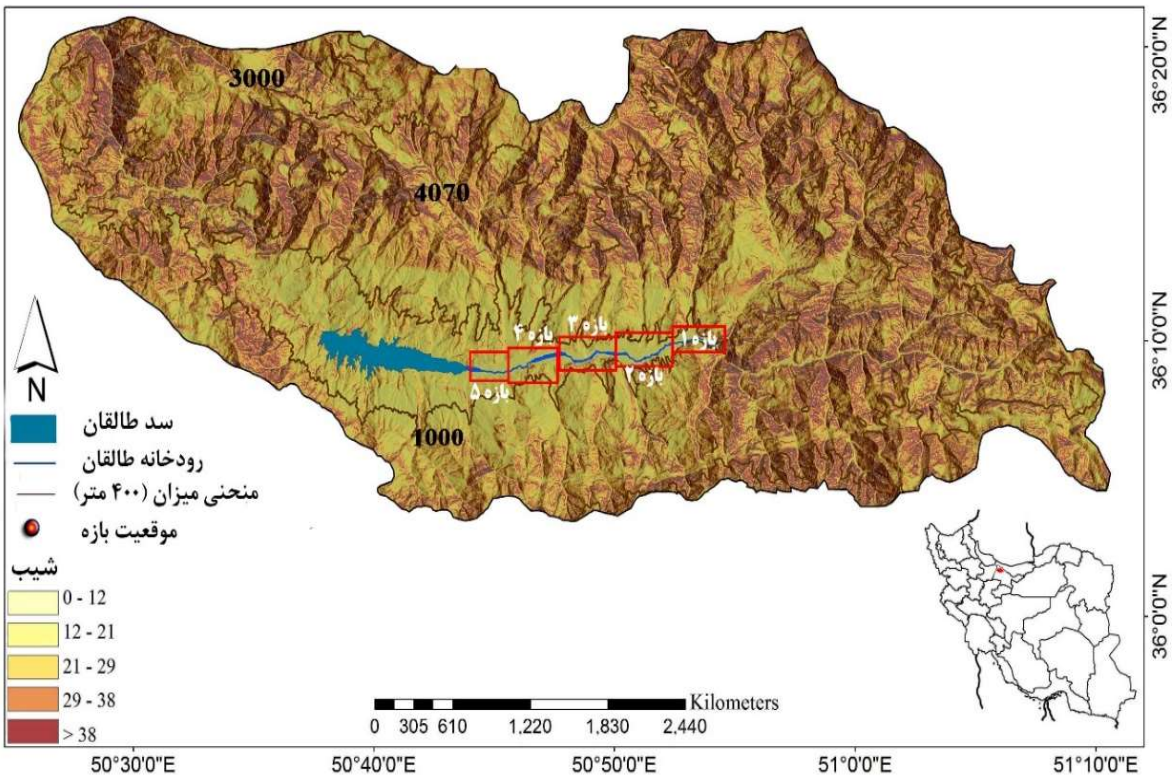
جدول ۱) مشخصات تصاویر مورد استفاده

داده	سال	مرجع	اندازه سل	تعداد
عکس هوایی	۱۳۷۰	سازمان نقشه‌برداری نیروهای مسلح	۰/۸	۷
عکس هوایی	۱۳۸۰	سازمان نقشه‌برداری ایران	۱/۵	۷
کارتوست	۱۳۸۵	سازمان نقشه‌برداری ایران	۲/۵	۲
ماهواره اولتراکم	۱۴۰۰	سازمان نقشه‌برداری ایران	۰/۲	۵۰

رودخانه طالقان، براساس تفاوت شیب و ارتفاع، با استفاده از مطالعه پروفیل طولی، به ۳ بخش بالادست، میان‌دست و پایین‌دست با میانگین ارتفاعی ۱۹۳۶، ۱۸۷۵ و ۱۷۹۳ متر و اختلاف شیب بسیار کم از سراب تا پایاب از حداقل ۰/۰۹ تا ۰/۰۱۳ تقسیم شد (با استفاده از پروفیل طولی استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع بر اساس تصاویر کارتوست). سپس در هر یک از این بخش‌ها، بازه‌هایی به‌منظور مطالعه مشخصات واحدهای ژئومورفیک مورد مطالعه بر اساس روش GUS [Darabi Shahmari *et al*., 2023] تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۲) مشخصات بازه‌های رودخانه طالقان بر اساس روش GUS

بازه GUS	کد	طول بازه (متر)	طول (متر)	دره شیب	میانگین ارتفاع (متر)	نوع حصور	نوع رسوب	پلنفرم	واحدهای ژئومورفیک	پایداری
۱	۷	۳۶۰۳/۱۸	۳۲۱۳/۸	۰/۰۱۶	۱۹۴۵	تا حدی محصور	ماسه/گراول	مستقیم-سینوسی	فرورفتگی‌های بستر/ریفل/برون‌زدگی سنگ بستر/تنداب/پوینت بارهای متناوب	نسبتاً پایدار/در معرض جابه‌جایی فراوان بار آبرفتی
۲	۱۰	۵۰٤٦/۷	٤٦۰۹/۵	۰/۰۱۰	۱۸۹۸	تا حدی محصور	ماسه/گراول	انتقالی	جزایر/بارهای میانی/بارهای کناری/ریفل/فرورفتگی‌های بستر	ناپایدار به صورت عمودی و جانبی
۳	۱۲	۷٤۵۰/۷	٦٤۹۲/۵٤	۰/۰۰۸	۱۸٤۸	تا حدی محصور	ماسه/گراول	جزیره‌ای-انشعابی	جزایر/بارهای میانی/ریفل/فرورفتگی‌های بستر	ناپایدار به صورت عمودی و جانبی
٤	۱۹	٤۰۱۸/٤۷	۳٦٤۵/۱۸	۰/۰۱۰	۱۸۰۲	تا حدی محصور	سیلت/رس	مستقیم-سینوسی	فرورفتگی‌های بستر/مرداب	بسیار پایدار
۵	۱۲	۱۸۳۲/٦	۱۵۸۵/۳۵	۰/۰۰۹	۱۷۸۰	غیرمحصور	ماسه/گراول	جزیره‌ای-انشعابی	جزایر/بارهای میانی/ریفل/فرورفتگی‌های بستر	ناپایدار به صورت عمودی و جانبی



شکل ۱) موقعیت بازه‌های مورد مطالعه رودخانه طالقان

شکل ۲) تراکم پوشش گیاهی کف بر اساس مشاهده بصری؛ به ترتیب از راست به چپ: زیاد، کم و فاقد پوشش گیاهی

در شکل ۱ موقعیت هر یک از بازه‌های مورد مطالعه مشخص شده است (شکل ۱).

محدوده‌ی فضایی پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در هر یک از بازه‌های رودخانه طالقان بررسی شد. در این موزاییک‌ها، نیروهای سازنده بیش از نیروهای مخرب است و انعطاف‌پذیری و مقاومت پوشش گیاهی جهت حفظ سیستم اکولوژیک وجود دارد. به همین دلیل با وجود کاهش و افزایش مساحت این کلنی‌های گیاهی طی دوره مورد بررسی، موقعیت و مساحت کانونی آنها که در بردارنده گیاهان چوبی مسن‌تر است، پایدار مانده است. برای تشخیص موقعیت BFWهایی که در ٤ دوره مورد مطالعه ترکیبی از تیپولوژی گیاهان چوبی و درختچه است، تصاویر دوره‌های مورد نظر با یکدگیر هم‌پوشان شده و کلنی‌های با موقعیت و مساحت تقریباً یکسان، تعیین شدند. در تعیین موقعیت BFWها، مساحت کنوپی‌های بیش از ۵۰۰ متر مورد توجه قرار گرفت و کنوپی‌های کمتر از ۵۰۰ متر با انفصال تاج پوششی و نیز پراکندگی زمینی، از موارد مورد بررسی حذف شد (شکل ۲). پس از تعیین موقعیت کلنی‌های گیاهی پایدار در دوره ۱۴۰۰-۱۳۷۰، طی یک بازدید میدانی (شهریور ۱۴۰۰)، ویژگی‌های این پنجره‌ها (بر اساس موقعیت جغرافیایی) شامل فرآیند اکولوژیک (تراکم و قطر ساقه، ارتفاع پوشش گیاهی و پوشش کف)، مورفومتریک (سطح آسیب پوشش گیاهی) و بیوژئومورفیک (وقوع لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک و یا به عبارتی دیگر حضور زبانه رسوبی در سمت پناه کلنی) مورد بررسی قرار گرفت.

در تعیین فرآیندهای ژئومورفیک، سه دسته اصلی فرآیندهای فرسایش، انتقال و رسوب‌گذاری مد نظر قرار گرفت. در تعیین تراکم

ساقه، بر اساس فاصله بین ساقه‌ها، سه طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت، به عنوان مثال، کم (<۱/۵ متر)، متوسط (۱/۵-۱ متر) و زیاد (<۱متر).

چهار دسته‌بندی برای قطر ساقه ایجاد شد که شامل بسیار کوچک (<۴ سانتی‌متر)، کوچک (۴-۸ سانتی‌متر)، متوسط (۸-۱۲ سانتی-متر)، و بزرگ (<۱۲ سانتی‌متر) است. میانگین ارتفاع گیاهان برای هر کلنی به طور متوسط به چهار دسته شامل بسیار کوچک (کمتر از ۰/۵ متر)، کوچک (۰/۵-۱/۵ متر)، متوسط (۱/۵-۳ متر) و بلند (<۳ متر) تقسیم شد. پوشش گیاهان علفی کف هر کلنی به صورت بدون پوشش، کم و زیاد تخمین زده شد. درجه آسیب پوشش گیاهی در سه سطح کم، زیاد و یا فاقد آسیب طبقه‌بندی شد (شکل ۳).

شکل ۳) کیفیت آسیب پوشش گیاهی در کناره‌های رودخانه طالقان (a: کم؛ b: زیاد؛ c: فاقد آسیب)

هر یک از این ویژگی‌ها به تفکیک برای هر یک از کلنی‌های گیاهی بررسی شد. داده‌ها با استفاده از آزمون آماری مجذور کای و تهیه مدل مفهومی تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها

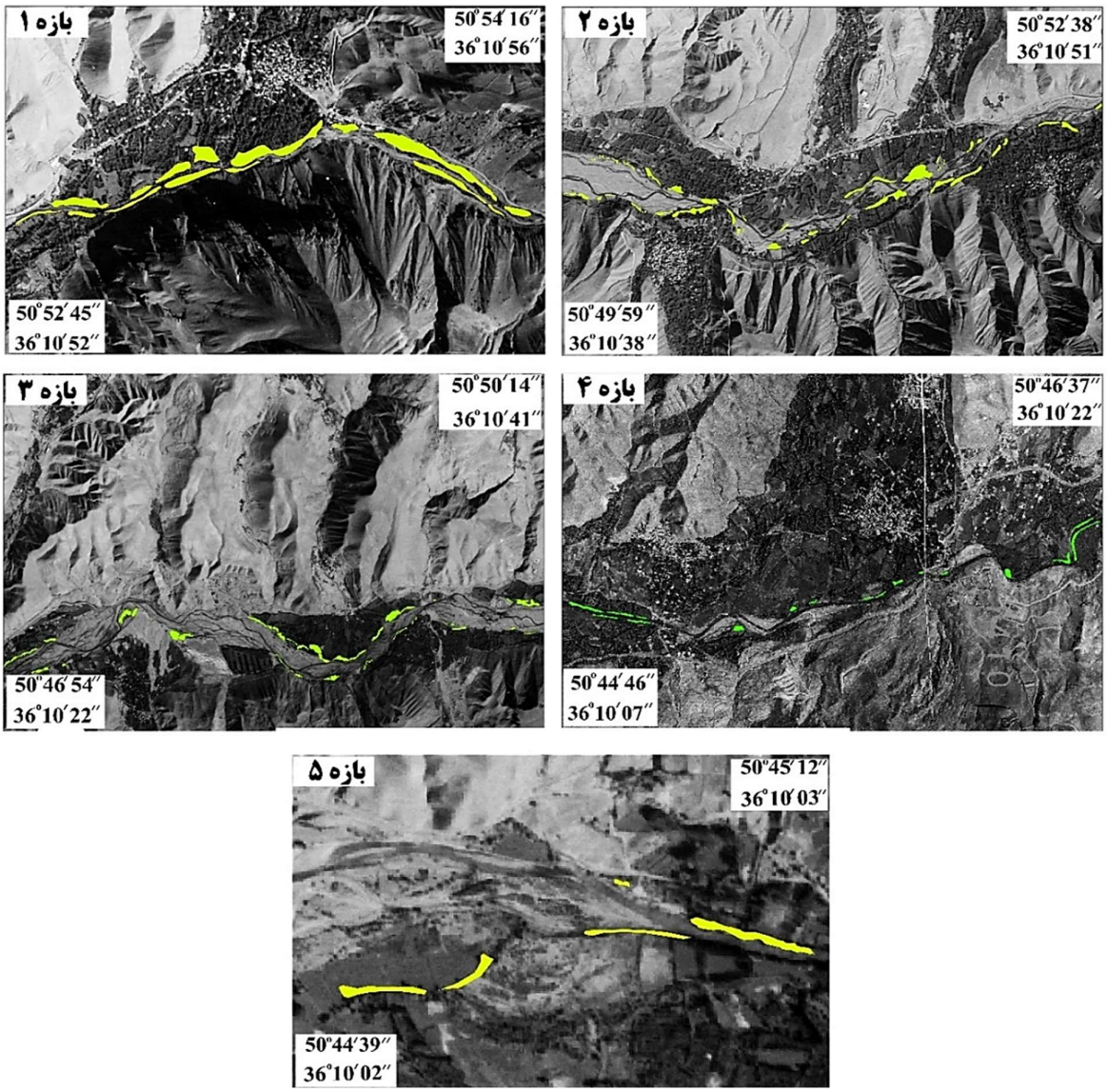
موقعیت پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در هر یک از ۵ بازه رودخانه طالقان با استفاده از بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی تعیین شد. در شکل ٤ موقعیت کلنی‌های گیاهی با پایداری تقریبی در امتداد رودخانه طالقان به تفکیک پلنفرم رودخانه مشخص شده است.

بر اساس یافته‌ها، ۵۴/۱٪ از کلنی‌های حاشیه‌ای در امتداد رودخانه مورد مطالعه در حاشیه راست رودخانه و ۴۵/۱٪ از کلنی‌های گیاهی در حاشیه چپ رودخانه قرار گرفته است. در ۲۶/۸٪ از کلنی‌های گیاهی مورد مطالعه، آسیب زیاد، در ۳۵/۴٪ آسیب کم و در ۳۷/۸٪ از آنها نیز آسیب قابل توجهی مشاهده نشده است. کلنی‌های گیاهی آسیب‌دیده در بازه‌های بالادست رودخانه و در اکثر موارد در حاشیه بلافصل رودخانه قرار گرفته‌اند. عواملی همچون استقرار پوشش گیاهی بر روی کناره کانال (پادگانه آبرفتی)، زیرشویی بستر بر اثر بالا بودن تنش هیدرولیک و کاهش عرض بستر و هجوم جریان به کناره‌ها در این امر دخیل هستند. در سایر مقاطع، تغییر پروفیل شدت تلاطم و تنش برشی سبب فاصله گرفتن حداکثر مقادیر از کناره رودخانه شده است. بیشترین تعداد BFW نسبت به طول بازه در بازه ۱ در بالادست رودخانه مشاهده شد.

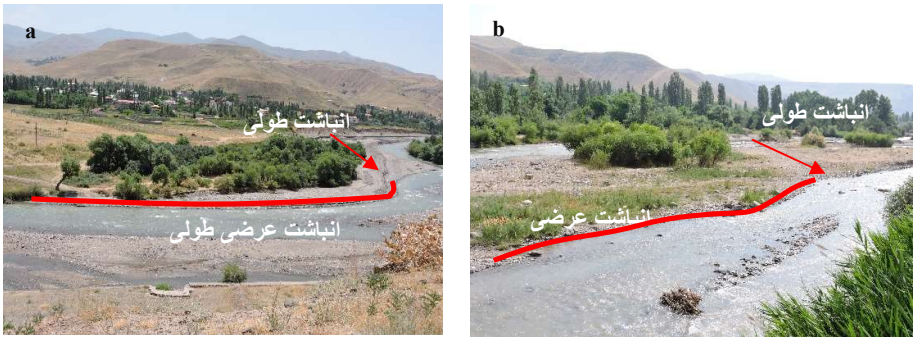
از مجموع ۸۲ کلنی گیاهی تقریبا پایدار در حاشیه رودخانه طالقان، در ۷۰/۷٪ از آنها شکل‌گیری دنباله‌های طولی و عرضی رسوبی و لندفرم‌های تجمعی بیوژئومورفیک مشاهده شد. انباشت‌های بیوژئومورفیک در هر دو شیب طولی یا عرضی و یا هر دو مشاهده شد. زبانه‌های رسوبی طولی (۳۰/۵٪) تحت تاثیر شیب طولی کانال و زبانه‌های رسوبی عرضی (۷۰/۳٪) تحت تاثیر شیب معکوس استقرار یافته‌اند. با توجه به شیب طولی، تفاوت‌های قابل توجهی بین موزاییک‌های گیاهی در کلنی‌های گیاهی مستقر در بالا دست و پایین دست رودخانه وجود داشته است.

مبدا مسیر جریان، یک ماتریس رسوبی درشت را به نمایش گذاشته در حالیکه در پایین دست و مرکز مجرای رودخانه اکثرا ماتریسی از رسوبات با برتری ذرات ماسه غالب بوده است. شیب معکوس نسبت به شیب طولی تاثیر بیشتری را در تثبیت زبانه‌های رسوبی در ابتدای کلنی گیاهی (به عنوان دامنه پناه کلنی) و انتهای آن داشته است. استقرار انباشت‌های بیوژئومورفیک عرضی در کلنی‌هایی روی می‌دهد که دارای ارتفاع بیشتر و پیش‌روی بیشتر به سمت مرکز مجرای رودخانه هستند و در غیر این صورت، بیشتر در کلنی‌های مستقر در میان کانال قبل مشاهده هستند (شکل ۵). در برخی مقاطع، دنباله‌های رسوبی تحت تاثیر دو شیب معکوس و طولی (۳۲/۹) تثبیت شدند. ۲۶/۸٪ موزاییک‌های گیاهی به‌خصوص کلنی‌های مستقر در حاشیه بلافصل کانال، بسیار آسیب‌دیده بوده و

پوشش گیاهی کف در این کلنی‌ها وجود نداشته است. رخداد لندفرم‌های تجمعی بیوژئومورفیک به صورت طولی و عرضی در فاصله دورتر از کانال رودخانه اتفاق افتاده است. در واقع، در حاشیه بلافصل کانال رودخانه به دلیل نزدیکی حداکثر مقادیر تنش هیدرولیک و کاهش آستانه مقاومت، تراکم رسوبات در پناه کلنی‌های حاشیه‌ای در اکثر موارد موقتی بوده و سبب ایجاد تراکم انباشتی ناپایدار می‌شود. درختان ساحلی نزدیک به کانال اصلی جوان‌تر و کوچکتر، با قطر ساقه کمتر (۸-<٤ سانتی متر) نسبت به درختان مستقر در فاصله‌ی بیشتر از بستر رودخانه (۱۲< سانتی‌متر) بوده‌اند (شکل ٦).

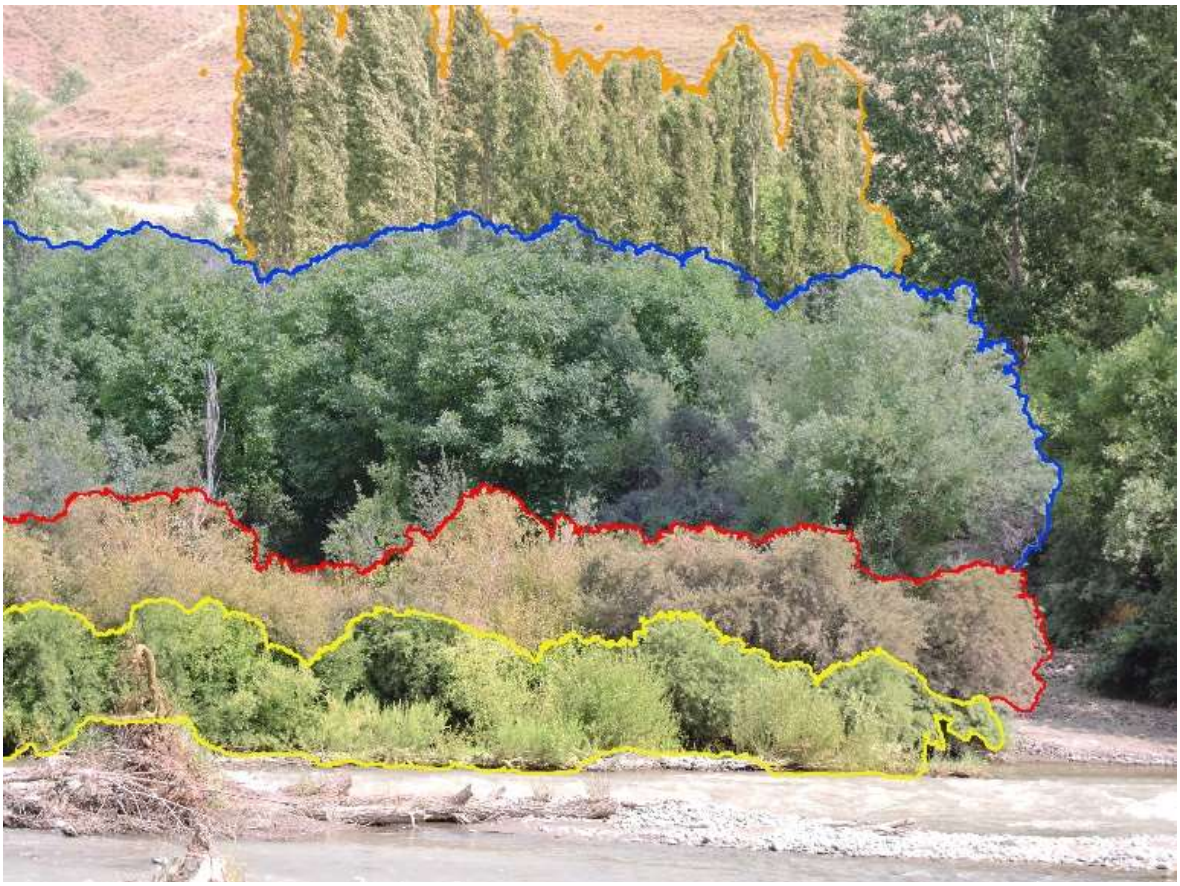


شکل ٤) موقعیت پوشش‌های گیاهی نسبتا پایدار (با مساحت ۵۰۰ متر و کمتر) در هر یک از بازه‌های مورد مطالعه رودخانه طالقان طی دوره ۱٤۰۰-۱۳۷۰



شکل ۵) موقعیت انباشت‌های طولی و عرضی در رسوبات میانی (a) و کناری (b) رودخانه طالقان

شکل ٦) تصاویر بازدید میدانی از رودخانه طالقان



شکل ۷) ترتیب پوشش گیاهی بر اساس فاصله از رودخانه؛ پوشش گیاهی جوان‌تر در حاشیه بستر با ارتفاع و قطر ساقه کمتر استقرار یافته‌اند. با فاصله از بستر، ارتفاع و سن پوشش گیاهی بیشتر می‌شود.

پوشش گیاهان چوبی با ارتفاع و قطر ساقه بیشتر، به صورت گسترده در موقعیت‌های دور از کانال، در رسوبات جور شده قرار داشته‌اند (شکل ۷). نسبت آسیب‌دیدگی ناشی از جریان سیلابی در درختان، کمتر بوده و پوشش متراکم نیز در کف این کلنی‌های گیاهی موجود بوده است. احتمال وقوع لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک در کلنی‌ها، با حضور دنباله رسوبی بیشتر است. زبانه‌های رسوبی، لنگرگاه بذر و جوانه گیاهان پیشگام هستند. کمترین استقرار انباشت رسوبی در بازه ۴ (۷۲/۷٪) و بازه ۲ (۲۵/۹٪) و بیشترین استقرار در بازه‌های ۳ (۸۴/۵٪) و ۱ (۷۵/۱٪) وجود داشته است. وجود یا عدم وجود لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک به صورت قابل ملاحضه‌ای با دیگر پارامترهای بیوتیک در ارتباط بوده است (جدول ۳). در ایجاد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک، پوشش گیاهی مسن‌تر از یک سال، قطر و تراکم ساقه حائز اهمیت است. احتمال رخداد لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک توسط شیب عرضی نسبت به شیب طولی، بیشتر کنترل می‌شود (جدول ۴).

بررسی ارتباط بین زبانه‌های بیولوژیک در پناه کلنی‌های گیاهی و سایر پارامترهای بیوتیک (قطر، تراکم، ارتفاع ساقه، پوشش کف و میزان آسیب) حاکی از این است که ایجاد زبانه رسوبی از تمامی این پارامترها تاثیر می‌پذیرد. میزان آسیب دارای تاثیر زیادی ($p=۰/۰۰٤$) بر تراکم‌های بیولوژیک است، به طوری که آسیب بیشتر

سبب کاهش احتمال تثبیت انباشت‌های بیوژئومورفیک می‌شود. در بخش مرکزی بارهای آبرفتی که در حاشیه عرضی و طولی کلنی‌های گیاهی رسوب نموده‌اند، گیاهان با کلنی‌های انعطاف‌پذیر و بایوماس گسترده سبب به دام‌اندازی رسوبات به عنوان یک اثر مهندسی قوی می‌شوند. قطر ساقه دارای بیشترین تاثیر برظرفیت نگهداری رسوبات توسط گیاه است. هنگامی که پوشش گیاهی در معرض رسوبات کمتری قرار می‌گیرد، دیگر ویژگی‌های مورفولوژیکی، به ویژه پوشش و تراکم ساقه کارایی تله رسوب را تعیین می‌کنند.

جدول ۳) مشخصات پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در رودخانه طالقان به تفکیک پلنفرم رودخانه

ردیف	کرانه راست	کرانه چپ	مساحت (ha/km)	درصد	فرآیند اکولوژیک			فرآیند مورفومتریک		فرایند بیوژئومورفیک
					قطر ساقه	تراکم ساقه	ارتفاع	پوشش کف	سطح آسیب	زبانه رسوبی در پناه کلونی
بازه ۱										
۱	+		۲۶۸۲/۷۳	۲/۹	۱۲ <	۱ >	۳ <	ندارد	زیاد	طولی
۲		+	۸۰۹/۰۱	۰/۹۰	۴ >	۱/۵ <	۰/۵-۱	ندارد	زیاد	ندارد
۳	+		۸۸۴۴/۴۷	۹/۸۶	۸-۱۲	۱-۱/۵	۳ <	ندارد	زیاد	ندارد
۴	+		۱۹۶۶۶/۷۲	۲۱/۹	۸-۱۲	۱-۱/۵	۳ <	زیاد	کم	عرضی
۵	+		۴۲۸۴/۲۹	۴/۷۷	۴-۸	۱ >	۰/۵-۱	زیاد	کم	طولی
۶	+		۳۶۰۳/۴۰	۴/۰۱	۱۲ <	۱-۱/۵	۱-۳	زیاد	کم	طولی
۷		+	۴۶۶۹/۱۷	۵/۲۰	۸-۱۲	۱ >	۱-۳	کم	کم	عرضی
۸		+	۴۸۶۶/۳۸	۵/۴۲	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵ >	کم	زیاد	ندارد
۹	+		۸۱۶۱/۰	۹/۱۰	۴ >	۱/۵ <	۰/۵ >	کم	زیاد	ندارد
۱۰		+	۲۲۸۲/۴۳	۲/۵۴	۱۲ <	۱ >	۳ <	ندارد	زیاد	طولی
۱۱	+		۹۰۵۰/۶۲	۱۰/۰۹	۸-۱۲	۱ >	۱-۳	ندارد	کم	طولی/عرضی
۱۲		+	۱۱۷۸۱/۳	۱۳/۱۴	۱۲ <	۱ >	۱-۳	ندارد	کم	طولی/عرضی
۱۳		+	۳۲۸۷/۲	۳/۶۶	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	کم	کم	طولی
۱۴		+	۲۴۶۶/۵۵	۲/۷۵	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	کم	کم	طولی
۱۵	+		۷۱۰/۳	۰/۷۹	۱۲ <	۱/۵ <	۳ <	کم	ندارد	طولی/عرضی
۱۶		+	۲۴۷۹/۷	۲/۷۶	۴-۸	۱ >	۰/۵-۱	زیاد	کم	طولی
بازه ۲										
۱۷		+		۲/۷۲	۸-۱۲	۱ >	۱-۳	زیاد	ندارد	/طولی
۱۸		+	۱۵۱۲/۴۸	۲/۳۰	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	کم	ندارد	طولی
۱۹		+	۷۴۹/۰۸	۱/۱۳	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵-۱	فاقد	کم	ندارد
۲۰		+	۱۶۰۷/۵۵	۲/۴۴	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	فاقد	ندارد	عرضی
۲۱	+		۱۲۹۴/۷۲	۱/۹۶	۱۲ <	۱ >	۱-۳	فاقد	ندارد	طولی
۲۲	+		۲۱۱۷/۸۵	۳/۲	۴>	۱/۵ <	۰/۵ >	فاقد	ندارد	ندارد
۲۳		+	۲۹۳۰/۹۶	۴/۴۵	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵ >	فاقد	ندارد	ندارد
۲۴	+		۲۴۹۱/۲۴	۳/۷۸	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵-۱	فاقد	ندارد	ندارد
۲۵		+	۳۹۹۱/۶۷	۶/۰۷	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	کم	زیاد	طولی
۲۶	+		۴۷۲۰/۵	۷/۱۸	۸-۱۲	۱ >	۳ <	کم	کم	طولی/ عرضی
۲۷		+	۲۰۲۰/۰۶	۳/۰۷	۱۲ <	۱ >	۳ <	کم	کم	طولی/ عرضی
۲۸		+	۱۶۶۷/۵	۲/۵۳	۱۲ <	۱ >	۱-۳	کم	کم	طولی
۲۹	+		۱۳۸۰/۵	۲/۰۹	۱۲ <	۱ >	۱-۳	زیاد	کم	طولی
۳۰	+		۶۷۹/۷۸	۱/۰۳	۱۲ <	۱ >	۱-۳	کم	زیاد	طولی
۳۱		+	۱۱۰۲/۵	۱/۶۷	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵ >	زیاد	زیاد	ندارد
۳۲		+	۲۱۷۲/۷	۳/۳۰	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵ >	کم	زیاد	ندارد
۳۳		+	۶۱۲۲/۸	۹/۳۱	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵ >	کم	کم	طولی
۳۴	+		۱۲۰۲/۴۶	۱/۸۲	۱۲ <	۱/۵ <	۳ <	کم	کم	طولی/عرضی
۳۵		+	۶۱۲۲/۸۲	۹/۳۱	۴>	۱/۵ <	۰/۵-۱	فاقد	کم	طولی/عرضی
۳۶	+		۴۶۶۶/۸	۷/۰۹	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	کم	ندارد	طولی
۳۷		+	۲۴۰۶/۳	۳/۶۶	۱۲ <	۱/۵ <	۳ <	کم	ندارد	عرضی
۳۸	+		۴۲۳۹/۸	۶/۴۴	۱۲ <	۱-۱/۵	۱-۳	زیاد	کم	طولی/عرضی
۳۹	+	+	۲۱۱۰/۴	۳/۲۱۰	۴-۸	۱/۵ <	۰/۵ >	زیاد	ندارد	طولی
۴۰	+		۱۰۱۵/۱۵	۱/۵۴	۴>	۱ >	۰/۵ >	فاقد	ندارد	طولی/عرضی
۴۱	+		۹۰۹/۱۹	۱/۳۸	۸-۱۲	۱/۵ <	۰/۵-۱	کم	ندارد	ندارد

ادامه جدول ۳ از صفحه قبل

۴۲		+	۹۴۴/۷۴	۱/۴۳	<۴	۱/۵ >	۰/۵ >	زیاد	کم	طولی/عرضی
۴۳		+	۳۷۶۹/۳	۵/۷۳	۴-۸	۱-۱/۵	۱-۳	کم	ندارد	طولی/عرضی
بازه ۳										
۴۴	+		۲۴۲۷/۶	۴/۵	۸-۱۲	<۱/۵	۱-۳	زیاد	زیاد	ندارد
۴۵	+		۱۰۵۷/۱۷	۱/۹۹	۱۲ >	۱/۵ >	۱-۳	زیاد	ندارد	عرضی
۴۶		+	۹۸۵/۶	۱/۸۵	۸-۱۲	۱ >	۱-۳	کم	کم	طولی/عرضی
۴۷	+		۵۹۵۶/۲	۱۱/۲۳	۸-۱۲	۱/۵ >	۱-۳	کم	ندارد	طولی
۴۸			۱۱۰۱/۲	۲/۰۷	۱۲ >	۱/۵ >	۳ > کم		کم	ندراد
۴۹		+	۸۲۱/۱	۱/۵۴	۱۲ >	۱/۵ >	۳ >	کم	کم	طولی
۵۰	+		۳۰۱۲	۵/۶۸	۱۲ >	۱ >	۳ >	ندارد	کم	طولی
۵۱	+		۱۵۹۱/۹	۳/۰۰	۱۲ >	۱ >	۳ > زیاد		ندارد	طولی/عرضی
۵۲	+		۲۲۵۶/۷۸	۴/۲۵	۴-۸	۱-۱/۵	۰/۵-۱/۵	زیاد	ندارد	طولی
۵۳		+	۱۰۳۲/۵	۱/۹۴	۴-۸	۱-۱/۵	۱-۳	کم	زیاد	عرضی
۵۴	+		۱۹۶۱/۲	۳/۷۰	۴-۸	۱-۱/۵	۰/۵-۱/۵	ندارد	زیاد	ندارد
۵۵	+		۲۳۳۷/۰۲	۴/۴۰	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	زیاد	زیاد	طولی/عرضی
۵۶	+		۲۳۲۴/۷	۴/۳۸	<۴	۱-۱/۵	۰/۵-۱/۵	زیاد	ندارد	طولی
۵۷	+		۲۴۰۵/۳	۴/۵۳	۸-۱۲	۱/۵ >	۰/۵-۱/۵	کم	ندارد	طولی/عرضی
۵۸	+		۹۷۷/۷۴	۱/۸۴	۸-۱۲	۱/۵ >	۰/۵-۱/۵	کم	ندارد	طولی/عرضی
۵۹		+	۹۵۶/۸	۱/۸۰	۸-۱۲	۱-۱/۵	۱-۳	کم	زیاد	ندارد
۶۰	+		۶۷۴/۹	۱/۲۷	<۴	۱/۵ >	۰/۵ >	فاقد	ندارد	طولی/عرضی
۶۱	+		۷۴۷/۶	۱/۴۱	۸-۱۲	۱-۱/۵	۳ >	کم	ندارد	طولی/عرضی
۶۲		+	۶۱۳/۷۰	۱/۱۵	<۴	۱/۵ >	۰/۵ >	فاقد	کم	طولی/عرضی
۶۳		+	۲۳۲۲/۵	۴/۳۸	۱۲ >	۱ >	۳ >	زیاد	ندارد	طولی/عرضی
۶۴		+	۴۰۰۳/۵	۷/۵۵	۴-۸	۱-۱/۵	۰/۵ >	فاقد	ندارد	طولی
۶۵	+		۳۴۷۶/۳	۶/۵۵	۱۲ >	۱-۱/۵	۰/۵-۱/۵	کم	زیاد	طولی
۶۶	+		۱۳۱۴/۱	۲/۴۷	۴-۸	۱/۵ >	۰/۵ >	فاقد	ندارد	طولی/عرضی
۶۷	+		۷۶۴/۶	۱/۴۴	۸-۱۲	۱-۱/۵	۰/۵ >	کم	کم	عرضی/طولی
۶۸	+		۲۷۶۸/۳	۵/۲۲	۸-۱۲	۱/۵ >	۳ >	فاقد	ندارد	عرضی/طولی
۶۹	+		۵۱۱۳/۰۸	۹/۶۴	۸-۱۲	۱/۵ >	۰/۵-۱/۵	کم	نداد	عرضی/طولی
بازه ۴										
۷۰		+	۹۰۷/۱۱	۷/۹۷	۱۲ >	۱ >	۳ >	زیاد	ندارد	ندارد
۷۱		+	۲۹۹۱/۸	۲۵/۷۲	۱۲ >	۱ >	۳ >	کم	زیاد	ندارد
۷۲	+		۶۹۸/۵۸	۶/۰۰	۴-۸	۱ >	۰/۵-۱/۵	کم	زیاد	ندارد
۷۳	+		۵۰۱/۷	۴/۳۱	۴-۸	۱/۵ >	۱-۳	کم	زیاد	ندارد
۷۴	+		۴۹۶/۰	۴/۲۶	۴-۸	۱/۵ >	۰/۵-۱/۵	زیاد	زیاد	ندارد
۷۵	+		۴۹۶	۴/۲۶	۸-۱۲	۱/۵ >	۳ >	زیاد	کم	عرضی
۷۶	+		۴۵۷/۸	۳/۹۳	۴-۸	۱ >	۰/۵ >	فاقد	کم	طولی
۷۷		+	۱۷۶۳/۰	۱۵/۱۵	<۴	۱-۱/۵	۰/۵-۱	زیاد	زیاد	ندارد
۷۸		+	۸۰۳/۸	۶/۹۱	۴-۸	۱-۱/۵	۱-۳	فاقد	کم	طولی
۷۹		+	۱۰۵۵/۰۵	۹/۰۷	۱۲ >	۱/۵ >	۱-۳	فاقد	ندارد	ندارد
۸۰	+		۱۴۵۹/۴	۱۲/۵۴	۴-۸	۱/۵ >	۰/۵-۱	فاقد	زیاد	ندارد
بازه ۵										
۸۱	+		۲۹۱۳/۷	۹۰/۴	۸-۱۲	>۱/۵	۱-۳	فاقد	ندارد	طولی
۸۲	+		۳۰۶/۹۱	۹/۵۲	<۴	۱/۵ >	۰/۵ >	فاقد	کم	ندارد

در کلنی‌های مورد مطالعه می‌توان ترکیبی از پوشش‌های گیاهی چوبی را به عنوان مهندسین اکوسیستم معرفی کرد؛ زیرا سبب افزایش رسوب‌گذاری و ایجاد زبانه‌های رسوبی و در نتیجه ساخت لندفرم شده‌اند. اثر مهندسی گیاهان حاشیه رودخانه طالقان، عمدتاً در مکان‌هایی با یک موقعیت فیزیکی مناسب برای رسوب‌گذاری مرتبط با ویژگی‌های جریانی رخ داده است. گونه‌های مهندس رودخانه می‌توانند مهارت‌ها یا ویژگی‌های پاسخی مختلف به محدودیت‌های هیدروژئومورفیک را توسعه دهند و بنابراین استقرار در یک محیط ژئومورفیک ناپایدار و نوسانی را امکان‌پذیر سازند.

پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در امتداد کانال رودخانه با

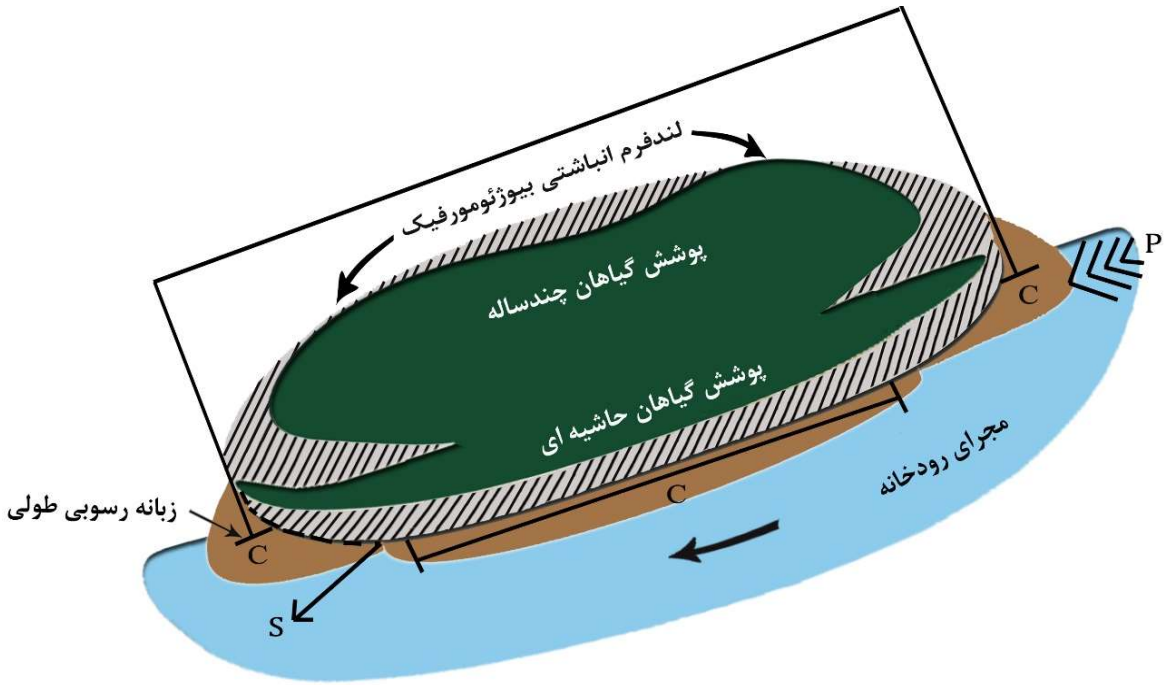
فاصله از کناره بستر قرار دارند؛ زیرا در حاشیه بلافصل، امکان ثبات پوشش و تثبیت رسوبات کمتر است و در صورت ایجاد موقعیت استقرار، ارتفاع لندفرم افزایش یافته و استقرارگاه مناسب جهت ایجاد پوشش گیاهی به تدریج ضمیمه دشت آبرفتی می‌شود. منطقه استقرار جهت لانه‌گزینی بذر و ایجاد لندفرم‌های انباشتی در ۱/۲ مرکز زبانه‌های رسوبی عرضی و طولی قرار دارد.

جدول ٤) نتایج آزمون مجذور کای در بررسی ارتباط زبانه رسوبی با سایر متغیرهای مورد بررسی موزاییک‌های گیاهی

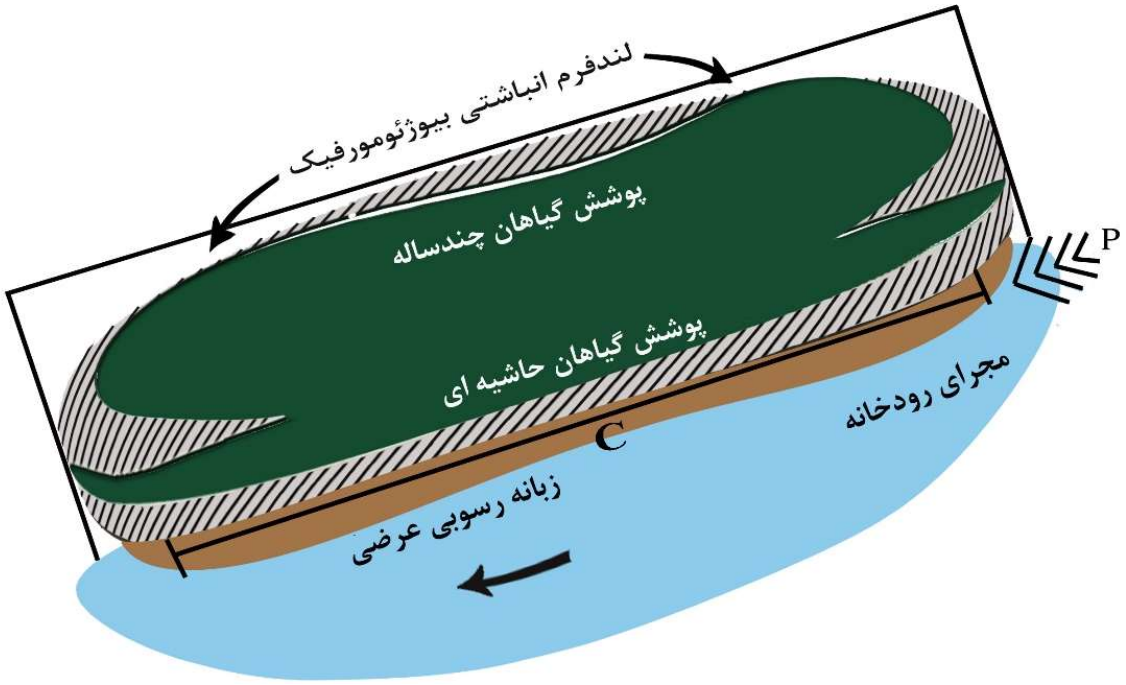
شاخص	ندارد	طولی	عرضی	طولی/عرضی	سطح معنی‌داری
میزان آسیب					
ندارد	٦	١٠	٢	١٣	**٠/٠٠٣**
کم	٣	١١	٤	١١	
زیاد	١٥	٤	٠	٣	
ارتفاع گیاه					
٠/٥>	٧	٤	٠	٦	**٠/٠٥**
٠/٥-١/٥	٩	٥	٠	٤	
١/٥-٣	٤	١٣	٣	٨	
٣<	٤	٣	٣	٩	
تراکم ساقه					
٠/٥>	٢١	٢	٩	٤	**٠/٠٢٢**
٠/٥-١/٥	٤	٣	٥	٨	
١/٥<	٥	٣	٧	٩	
قطر ساقه					
٤>	٥	١	٠	٥	**٠/٠١**
٤-٨	١١	٨	٠	٣	
٨-١٢	٤	٨	١	١١	
١٢<	٤	٨	٥	٨	

انباشت‌های طولی که در حاشیه سمت راست پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک در شکل ۸ قرار گرفته (حاشیه‌ای از کلنی گیاهی است که مستقیما در معرض جریان رودخانه قرار دارد) به دلیل قرار گرفتن در معرض جریان با احتمال انفصال و فرسایش بیشتری نسبت به انباشت‌های طولی که در حاشیه پناه پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک قرار گرفته‌اند. بنابراین، انباشت‌های طولی در دامنه پناه BFW دارای فراوانی بیشتر و در مقیاس بزرگتر نسبت به رسوبات طولی در معرض فشار جریان آب هستند. با این حال، در صورت عدم وجود اختلال و آشفتگی پایدار، حجم رسوبات در حاشیه سمت راست (شکل ۹) نسبت به حاشیه پناه بیشتر است، زیرا این بخش به عنوان تله رسوب، در برخورد با جریان حاوی رسوبات عمل می‌کند.

با توجه به وقوع دنباله‌های طولی و عرضی در BFWها، دو نوع از پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در حاشیه رودخانه قابل مشاهده هستند که شکل تیپیک هر دو نوع ترسیم شده است (شکل ۸ و ۹). در نوع اول (شکل ۸) به دلیل عدم استقرار BFW در یک امتداد در حاشیه رودخانه (ناشی از تفاوت شیب در کلنی‌های مستقر در حاشیه رودخانه، و پیشروی BFW به سمت میان رودخانه) هر دو نوع زبانه‌های طولی و عرضی قابل مشاهده هستند. در نوع دوم (شکل ۹) زبانه‌های رسوبی طولی احتمال وقوع کمتری دارند. به دلیل اینکه کلنی‌های مستقر در حاشیه رودخانه در یک امتداد با تفاوت شیب اندک و پیشروی برابر در بستر رودخانه شکل گرفته‌اند؛ به عبارت دیگر در این کلنی‌ها، پیشروی به سمت قسمت مرکزی مجرا بسیار اندک است و فرصت مناسب برای انباشت رسوبات در بخش پیشرونده در میان بستر رودخانه (به عنوان یک مانع برای به دام‌اندازی رسوبات و ایجاد انباشت‌های بیوژئومورفیک) وجود ندارد.



شکل ۸) مدل مفهومی پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک گسترده بر اساس مطالعه ۸۲ کنوپی حاشیه‌ای رودخانه طالقان. S: دامنه پناه BFW؛ C: مرکز بار رسوبی؛ P: فشار جریان آب؛ زبانه‌های رسوبی طولی در لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک با توپوگرافی برجسته و پیشروی بیشتر در بستر رودخانه دیده می‌شود.



شکل ۹) مدل مفهومی پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک گسترده بر اساس مطالعه ۸۲ کلنی حاشیه‌ای رودخانه طالقان. **C:** مرکز بار رسوبی؛ P: فشار جریان آب

بحث

هدف این تحقیق، تشخیص موقعیت پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک و ویژگی‌های آنها در حاشیه روخانه طالقان بود. در رودخانه‌ها، درختان و درختچه‌ها بر فرایندهای هیدروژئومورفیک تاثیر می‌گذارند و منجر به تشکیل لندفرم‌های آبرفتی می‌شوند. این درختان در قالب کلنی، ایستگاه‌های متراکمی را تشکیل می‌دهند و سبب توسعه لنگرگاه‌های گیاهی می‌شوند، زیرا کلنی‌های گیاهی نسبت به گیاهانی که فارغ از کلنی، به صورت منفرد وجود دارند، کمتر مستعد ریشه‌کن شدن هستند [Corenblit *et al.*, 2018]. این کلنی‌ها، همچنین نقش مهندسین اکوسیستم را از طریق به دام‌اندازی رسوبات، مواد ارگانیک و مواد مغذی افزایش می‌دهند. شکل‌گیری لندفرم‌های بیوژئومورفیک نمایانگر یک ساختار نیچ زیستگاهی است که از طریق فرایند تسهیل زیست گیاهان حاشیه‌ای، به یک ظرفیت بهبودیافته برای بقا، ذخیره‌سازی منابع و بلوغ در فواصل زمانی بین سیلاب‌های مخرب منجر می‌شود [Corenblit *et al.*, 2017; Dang, 2022]. در طول استقرار پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک، ارتباطات درون‌گروهی در میان درختان رخ می‌دهد و منجر به بقا و رشد کلنی می‌شود؛ زیرا درختان و یا نهال‌های جوان در مقابل تنش هیدرولیک از یکدیگر محافظت می‌کنند. علاوه بر بهبود ظرفیت برای به دام‌اندازی مواد معدنی و ارگانیک، گونه‌هایی که یک کنوپی را تشکیل می‌دهند می‌توانند از یک شبکه که گیاهان، خاک و آب‌های زیرزمینی را به هم اتصال می‌دهد و بر روی انتقال مواد مغذی، چرخه آنها و ذخیره آنها در ساختار زیستگاهی و همچنین دریافت و تبادل مواد مغذی تاثیر می‌گذارد، حمایت کنند. به نوعی، کلمیکاس اوج در اکوسیستم‌های حاشیه‌ای و یا میانی رودخانه فراهم می‌شود.

عوامل موثر در ایجاد تفاوت در ساختار پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک بر اساس ویژگی‌های برگزیده در استقرار لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک عبارتند از نسبت استقرار انباشت‌های رسوبی، سطح آسیب دنباله‌های رسوبی، ارتفاع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، قطر ساقه و تنه و نیز پوشش کف. نقطه آغازین فرآیند پیچیده استقرار یک لندفرم انباشتی بیوژئومورفیک، ایجاد یک زیستگاه فیزیکی اولیه است. انباشت‌های رسوبی طولی و عرضی در حاشیه و یا میان بستر رودخانه، نخستین گام در استقرار پوشش گیاهی برای توسعه پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک و یا طی مراحل اولیه‌ی ایجاد یک BFW است که در پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک متفاوت است. در غیر این صورت، BFWها استقرار نخواهند یافت و در صورت استقرار به دلیل عدم وجود شرایط کافی برای توسعه، قادر به حفظ ساختار زیست‌گاهی خود نخواهند بود. از این رو، ویژگی برجسته و کلیدی در بررسی تفاوت BFWها استقرار انباشت‌های رسوبی نسبتا پایدار است و سایر ویژگی‌های مرتبط با حفظ و توسعه این انباشت‌ها در نظر گرفته شده است. ارتباط میان نسبت استقرار لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک و یا انباشت‌های رسوبی با سایر عوامل از جمله ارتفاع، قطر، تراکم پوشش گیاهی و پوشش کف با استفاده از آزمون کای دو بررسی شد. نتایج، حاکی از ارتباط موثر بین عوامل سطح آسیب، ارتفاع پوشش گیاهی، قطر ساقه و نیز تراکم پوشش گیاهی بوده است. ارتباط استقرار لندفرم‌های انباشتی بیوژئومورفیک با قطر ساقه، ارتفاع، و تراکم پوشش گیاهی به صورت مستقیم و با سطح آسیب BFWها به صورت معکوس بوده و پوشش کف نیز فاقد ارتباط موثر با استقرار انباشت‌های رسوبی و پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک بوده است.

واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای نقش قابل توجهی را در استقرار زیستگاه فیزیکی اولیه ایفا می‌نمایند [Darabi Shahmari *et al.*, 2023]. با این وجود، غنای واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای در قالب کانال پایه و یا دشت سیلابی، بیش از تراکم آنها نقش دارد. نتایج این پژوهش حاکی از این بوده که به دلیل تراکم پوشش گیاهان چوبی نسبتا پایدار در حاشیه رودخانه و متعاقبا ثبات پنجره-های بازخوردی بیوژئومورفیک در طی دوره ۳۰ ساله، احتمال وقوع تغییرات فنوتیپیک در گیاهان و وراثت اکولوژیک این تغییرات به نسل‌های بعدی دور از انتظار نیست. حفظ اکوسیستم حاشیه‌ای رودخانه تنها از این لحاظ که سبب تاثیر مثبت بر پایداری لندفرم می‌شود قابل اهمیت نیست؛ بلکه سبب بهبود کیفیت شیمیایی آب، حفظ زیستگاه جانوران و ابعاد زیست‌گاهی موجودات داخل بستر رودخانه در مقیاس میکرو و ماکرو نیز می‌شود. همراستا با نتایج این پژوهش، *کرنبلیت* و همکاران به بررسی پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک در سه گونه بید ساحلی شامل بید سرخ، بید سفید و شالک در یک بازه بیست کیلومتری از رودخانه *الایر* فرانسه پرداختند. در نتایج تحقیق آنها مشخص شده که در کریدور رودخانه الایر، هر سه گونه گیاهی به عنوان مهندسین اکوسیستم عمل نموده‌اند. پنجره بازخوردی بیوژئومورفیک این گونه‌ها تحت تاثیر گرادیان طولی بالادست و پایین‌دست رودخانه و نیز گرادیان کانال به سمت دشت سیلابی (شیب معکوس) قرار داشته است [Corenblit *et al.*, 2018]. در یافته‌های این تحقیق نیز، منطبق با تاثیر استقرار طولی و عرضی انباشت‌های رسوبی به عنوان عاملی موثر در توسعه BFWها، این پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک به دو صورت قابل مشاهده هستند (شکل‌های ۸ و ۹). در حالت اول، BFW به دلیل گسترش به سمت میان بستر رودخانه، فرصت مساعدی برای توسعه از طریق به دام‌اندازی رسوبات هم به صورت طولی و هم به صوت عرضی خواهد داشت (شکل ۸) اما در حالت دوم، به دلیل عدم توسعه BFW به سمت میان بستر رودخانه، انباشت‌ها تنها به صورت عرضی ایجاد می‌شوند (شکل ۹). بنابراین، تاثیر مضاعف بر باریک‌سازی مجرای رودخانه و نیز گسترش BFW در حالت اول قابل مشاهده است. بیشترین انباشت‌های بیوژئومورفیک طولی و عرضی در بازه‌های ۱ و ۳ رودخانه طالقان مشاهده شد. علاوه بر این، پایداری BFWها در بازه ۱ و نیز در بالادست رودخانه به دلیل سطح کمتر مداخلات انسانی و ایجاد موقعیت برای استقرار پوشش گیاهی، مشاهده شد. متعاقبا، بازخوردهای میان فرایندهای ژئومورفیک و BFWها و حفظ اکوسیستم‌های حاشیه‌ای در بالادست رودخانه و بخصوص بازه‌های ۱ و ۲ نسبت به سایر بازه‌ها بیشتر بوده است. کمترین انباشت رسوبی به عنوان موقعیتی برای توسعه کلنی‌های گیاهی در بازه ٤ و ٥ رودخانه قابل مشاهده بوده که دلایل اصلی آن، مداخلات انسانی و افزایش فرسایش حاشیه‌ای و نیز تعداد کمتر BFW در این بازه‌ها است. بنابراین، بر اساس نتایج، فرصت‌های مناسب برای توسعه کلنی‌های گیاهی در بالادست رودخانه و بخصوص در بازه‌های ۱ تا ۳ رودخانه مشاهده شده است. به سمت پایین دست رودخانه، در بازه‌های ٤ و ٥ به دلیل افزایش مداخلات انسانی و بخصوص کانالیزه‌سازی رودخانه، احتمال بسیار کمتری برای توسعه زیستگاه‌های گیاهی و تاثیر مساعد بر ایجاد ثبات در لندفرم رودخانه وجود داشته است.

نتیجه‌گیری

در مدیریت رودخانه طالقان، باید به احیای اکوسیستم‌های حاشیه‌ای با کاهش سطح مداخلات انسانی و ایجاد زمینه مساعد برای توسعه پنجره‌های بازخوردی بیوژئومورفیک توجه نمود. استقرار پایدار پنجره-های بازخوردی بیوژئومورفیک به معنای استقرار پایدار زیستگاه‌های گیاهی حاوی گیاهان مهندس است که منجر به حفظ و توسعه زیستگاه و نیز ثبات لندفرم می‌شود.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
تعارض منافع: تعارض منافعی وجود ندارد.
سهم نویسندگان: سحر دارابی شاهماری (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی/نگارنده مقدمه/تحلیلگر داده (۶۰٪)؛ علی احمدآبادی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی/نگارنده بحث/روش‌شناس (٤٠٪)
منابع مالی: منابع مالی مورد نیاز این پژوهش از محل درآمدهای شخصی تامین شده است.

منابع

Balke T, Herman PMJ, Bouma TJ (2014). Critical transitions in disturbance-driven ecosystems: identifying windows of opportunity for recovery. Journal of Ecology. 102:700-708.

Bertoldi W, Gurnell AM, Drake NA (2011). The topographic signature of vegetation development along a braided river: results of a combined analysis of airborne LIDAR, color air photographs, and ground measurements. Water Resources Research. 47(6).

Cahill JF, McNickle GG (2011). The behavioral ecology of nutrient foraging by plants. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 42(1):289-311.

Corenblit D, Tabacchi E, Steiger J, Gurnell AM (2007). Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. Earth Science Reviews. 84:56-86.

Corenblitt D, Baas A, Bornette G, Darrozes J, Delmotte S, Francis R, et al. (2011). Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: A review of foundation concepts and current understandings. Earth-Science Reviews. 106:307-331.

Corenblitt D, Baas A, Balke T, Bouma T, Fromard F, Gomez V, et al. (2015). Engineer pioneer plants respond to and affect geomorphic constraints similarly along water–terrestrial interfaces world-wide. Global Ecology and Biogeography. 24(12):1363-1367.

Corenblit D, Steiger J, Charrier G, Darrozes J, Garófano-Gómez V, Garreau A, et al. (2016). Populus nigra L. establishment and fluvial landform construction:

Lytle DA, Poff NL (2004). Adaptation to natural flow regimes. Trends in Ecology & Evolution. 19(2):94-100.

Odling-Smee FJ, Laland KN, Feldman MW (2003). Niche construction: The neglected process in evolution. Princeton: Princeton University Press.

Picco L, Comiti F, Mao L, Tonon A, Lenzi MA (2017). Mediumand short termriparian vegetation, island and channel evolution in response to human pressure in a regulated gravel bed river (Piave River, Italy). CATENA. 149(3):760-769.

Pollen Bankhead N, Simon A (2010). Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: Is mechanical root-reinforcement the whole story?. Geomorphology. 116:353-362.

Post DM, Palkovacs EP (2009). Eco-evolutionary feedbacks in community and ecosystem ecology: Interactions between the ecological theater and the evolutionary play. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 364:1629-1640.

Richter BD, Richter HE (2000). Prescribing flood regimes to sustain riparian ecosystems along meandering rivers. Conservation Biology. 14:1467-1478.

Steiger J, Gurnell AM, Petts GE (2001). Sediment deposition along the channel margins of a reach of the middle River Severn, UK. Regulated Rivers: Research & Management. 17(4-5):443-460.

Wintenberger CL, Rodrigues S, Bréhéret JG, Villar M (2015). Fluvial islands: First stage of development from nonmigrating (forced) bars and woody-vegetation interactions. Geomorphology. 246:305-320.

Zhu L, Chen D, Hassan MA, Venditti JG (2022). The influence of riparian vegetation on the sinuosity and lateral stability of meandering channels. Geophysical Research Letters. 49(2):e2021GL096346.

Biogeomorphic dynamics within a channelized river. Earth Surface Processes & Lanforms. 41(9):1276-1292.

Corenblit D, Garofano-Gomez V, Gonzalez E, Hortobagyi B, Julien F, Lambs L, et al. (2017). Niche construction within riparian corridors. Part II: The unexplored role of positive intraspecific interactions in salicaceae species. Geomorphology. 305:112-122.

Corenblit D, Garófano-Gómez V, González E, Hortobágyi B, Julien F, Lambs L, et al. (2018). Niche construction within riparian corridors. Part II: The unexplored role of positive intraspecific interactions in Salicaceae species. Geomorphology. 305:112-122.

Dang X (2022). Evolution of plant Niche construction traits in biogeomorphic landscapes. The American Naturalist. 199(6):758-775.

Darabi Shahmari S, Ghanavati E, Martin T, Ahamadabadi A, Eftekhari M (2020). Riparian habitats analysis of Taleqan river based on Geomorphic Units Survey and classification system. Quantitative Geomorphological Research. 9(2):60-80.

Eichel J, Corenblit D, Dikau R (2015). Conditions for feedbacks between geomorphic and vegetation dynamics on lateral moraine slopes: A biogeomorphic feedback window. Earth Surface Process and Landform. 41:406-419.

Gurnell AM (2014). Plants as river system engineers. Earth Surface Processes & Landforms. 39(1):4-25.

Gurnell AM, Tockner K, Petts GE, Edwards PJ (2005). Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridors. Frontiers in Ecology and the Environment. 3(7):377-382.

Krzeminska D, Kerkhof T, Skaalsven K, Stolte J (2019). Effect of riparian vegetation on stream bank stability in small agricultural catchments. CATENA. 172:87-96.