

## کاربرد تحلیل مسیر برای تشخیص عوامل مؤثر بر ضریب زبری در کانال‌های با پوشش سوروف (*Echinocola crus-galli*)

ابوالفضل ناصری<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷)

### چکیده

با توجه به گستردگی قابل توجه پراکنش گیاه سوروف (*Echinocola crus-galli*) در کانال‌های خاکی، انتخاب دقیق ضریب زبری برای طراحی و بهره‌برداری از کانال‌های خاکی، لازم و ضروری است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف دقیق‌سازی ضریب زبری در کانال‌های خاکی دارای گیاه سوروف در شبکه آبیاری و زهکشی مغان و بهره‌گیری از قابلیت روش تحلیل مسیر برای تعیین عوامل مؤثر بر ضریب زبری در این نوع کانال‌ها انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها، ۴۲ مقطع از کانال‌های خاکی انتخاب شدند. ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی این مقاطع کانال‌های خاکی اندازه‌گیری شد. علاوه بر آن، تراکم گیاه در واحد سطح و وزن تر نیز مشخص شد. برای تعیین عوامل مؤثر بر ضریب زبری از تحلیل مسیر و برای خوشه‌بندی این عوامل از تحلیل خوشه‌ای چند متغیره استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین ضریب زبری در کانال‌های خاکی با پوشش گیاهی سوروف برابر ۰/۱۵ بود. تحلیل مسیر نشان داد پیرامون ترشده، زیست‌توده سوروف، سطح مقطع جریان، سرعت جریان و شعاع هیدرولیکی به ترتیب بیشترین اثر کل را روی ضریب زبری داشتند. بر مبنای خوشه‌بندی در فاصله اقلیدسی ۱۱ دو خوشه به دست آمد که خوشه اول شامل سرعت جریان، زیست‌توده سوروف، دبی جریان و شیب کف کانال و خوشه دوم شامل سطح مقطع جریان، پیرامون ترشده و شعاع هیدرولیکی بود. یافته‌های این پژوهش می‌تواند برای طراحی و بهره‌برداری از کانال‌های خاکی در شبکه مغان یا شبکه‌های با پوشش مشابه گیاهی مفید و اثربخش باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مسیر، سوروف، ضریب مانینگ، ضریب مقاومت جریان، کانال‌های خاکی

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Nasser\_i\_ab@yahoo.com

## مقدمه

ضریب زبری یکی از متغیرهای مهم در طراحی کانال‌های روباز بوده و به کلیه عوامل مقاوم در مقابل جریان اطلاق می‌شود. ضریب زبری جریان برای تحلیل رواناب سطحی، طراحی روش‌های آبیاری سطحی، تعیین میانگین سرعت جریان در کانال‌ها و برآورد مدت زمان تمرکز حوضه‌ها کاربرد دارد. انتخاب دقیق این ضریب برای اهداف طراحی و بهره‌برداری از کانال‌های خاکی لازم و ضروری است (۱۶). انتخاب بیشتر از مقدار واقعی این ضریب موجب برآورد مقادیر کم برای سرعت جریان خواهد شد که آن نیز سبب رسوب‌گذاری آب جاری در کانال‌ها شده و در نتیجه موجب کاهش ظرفیت کانال خواهد شد. انتخاب کم‌تر از مقدار واقعی منجر به برآورد زیاد سرعت جریان و در نتیجه برآورد بیش از مقدار واقعی جریان خواهد شد که آن نیز سبب افزایش خطر فرسایش و کنش بستر کانال‌های خاکی خواهد شد. برای برآورد سرعت میانگین جریان در کانال‌های روباز خاکی در شرایط جریان یکنواخت از معادله زیر استفاده می‌شود (۹):

$$V = C\sqrt{RS} \quad (1)$$

که در آن  $V$  سرعت میانگین جریان (متر بر ثانیه)،  $R$  شعاع هیدرولیکی مقطع جریان (متر)،  $S$  شیب کف کانال (متر بر متر) و  $C$  ضریبی است که رفتار هیدرودینامیک بستر جریان (جنر متر بر ثانیه) را نشان داده و به ضریب سزی موسوم است. مانینگ (Manning) در سال ۱۸۸۹ نشان داده که ضریب سزی با ریشه ششم شعاع هیدرولیکی مقطع جریان متناسب است. این تناسب با اعمال ضریب زبری جریان ( $n$ ) در سیستم آحاد متریک به صورت رابطه ۲ در آمد (۲).

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$

روش‌های برآورد ضریب زبری به چهار دسته تحلیلی، تجربی، اندازه‌گیری مستقیم و مبتنی بر مقادیر پیشنهاد شده (جدول‌های ضریب زبری) تقسیم می‌شوند. اندازه‌گیری مستقیم آن مستلزم صرف هزینه زیادی است. بدیهی است برای هر طراحی مهندسی،

اندازه‌گیری مستقیم این ضریب همواره امکان‌پذیر نیست. بنابراین، نتایج ارزیابی ضریب زبری کانال‌های خاکی با پوشش گیاهی، می‌تواند دستورالعمل مناسبی برای اهداف طراحی و بهره‌برداری مهندسی شبکه‌های آبیاری و زهکشی باشد. برای ضریب زبری مجاری خاکی با پوشش گیاهی، مقادیری به شرح جدول ۱ ارائه شده است (۳). دامنه ضریب زبری در مجاری خاکی با پوشش گیاهی از ۰/۰۰۵ تا ۰/۱۰ است.

گیاه سوروف (*Echinocola crus-galli*) گیاهی یک ساله از تیره گندمیان است (شکل ۱) و ارتفاع ساقه این گیاه به ۵۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه آن صاف و بدون کرک، راست، زیر و زمخت است و از قاعده یا طوقه منشعب می‌شود. برگ‌های این گیاه پهن و دارای حاشیه زبر و سفت است. بذر لخت این گیاه به طول ۲/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر براق، سخت و قهوه‌ای رنگ است. یک بوته این گیاه می‌تواند تا ۴۰۰۰۰ بذر تولید کند (۱۹).

در زمان انجام آزمایش‌ها، بخشی از پوشش گیاهی کانال‌های خاکی شبکه آبیاری و زهکشی مغان را این گیاه تشکیل می‌داد (۲۳) و در حال حاضر گستردگی این گیاه در کانال‌های خاکی بیشتر نیز شده است. وجود این گیاه، زبری قابل توجهی را در مقابل جریان آب در کانال‌های خاکی ایجاد می‌کنند.

با توجه به اهمیت ضریب زبری و حساسیت قابل توجه دبی جریان به این ضریب، پژوهش در مورد دقیق‌سازی مقادیر ضریب زبری برای شرایط بدون و (یا) با پوشش گیاهی در حال حاضر در مراکز پژوهشی و دانشگاهی نیز ادامه دارد. از نتایج و مطالعات انجام یافته که قابل دسترس هستند، می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود. کوک و کمبل (۵) آزمایش‌هایی را در آزمایشگاه سازمان حفاظت خاک آمریکا برای به‌دست‌آوردن رابطه ضریب زبری با عمق و سرعت جریان و پوشش گیاهی انجام داده‌اند. کاکس و پالم (۶) بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده در اداره حفاظت خاک و مرکز تحقیقات کشاورزی آمریکا، رابطه بین ضریب زبری و دبی کانال‌ها را به صورت گراف نشان داده‌اند. فتحی مقدم و کویون (۱۲) روابط مقاومت را

جدول ۱. ضریب زبری مجاری خاکی (۳)

ضریب زبری		مجرای خاکی با پوشش گیاهی
حداکثر	حداقل	
۰/۰۱۰	۰/۰۰۵	با پوشش کم
۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	با پوشش متوسط
۰/۰۵۰	۰/۰۲۵	با پوشش زیاد
۰/۱۰۰	۰/۰۵۰	با پوشش خیلی زیاد

شکل ۱. تصویر گیاه سوروف (*Echinocola crus-galli*)

خاک آمریکا مقادیر ضریب زبری را بیش از مقادیر توصیه شده چاو (۳)، برآورد می‌نماید. غریب (۱۴) مناسب‌ترین روش تعیین ضریب زبری مانینگ در حومه شهر رامیان را روش کاون گزارش نموده است. غفاری و مساعدی (۱۳) در بررسی تأثیر روش‌های مختلف تعیین ضریب زبری مانینگ در رودخانه بابل‌رود گزارش نموده‌اند که کاربرد روش‌های کاون، سازمان حفاظت خاک آمریکا و چاو نتایج مشابهی را تولید نموده‌اند. سیرائلو و همکاران (۴) با ساخت مدل آزمایشگاهی به بررسی تغییرات ضریب زبری در شرایط مختلف پرداخته‌اند. ابراهیمی و همکاران (۷) با ساخت فلوم آزمایشگاهی به بررسی تغییرات ضریب زبری در شرایط مختلف پرداخته و گزارش نموده‌اند مقدار ضریب زبری مانینگ ثابت نبوده و با افزایش تراکم

برای دو گونه گیاهی سرو و صنوبر در یک فلوم آزمایشگاهی بررسی نموده‌اند. افضل‌مهر و آنکتیل (۱) گزارش نموده‌اند که برای برآورد ضریب زبری در رودخانه‌های با بستر سنگریزه، معادلات موجود دقت کافی نداشته و لازم است علاوه بر استغراق نسبی، پارامترهای حرکت رسوب و عدد فرود جریان هم در نظر گرفته شوند. مساعدی و توکلی (۲۱) برای تعیین ضریب زبری از خصوصیات مرفولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه عکس‌برداری نموده و با جدول‌ها و فرمول‌های مربوط تطبیق داده‌اند. ایشان مناسب‌ترین روش تعیین ضریب مانینگ در بخشی از اترک میانی را روش چاو گزارش نموده‌اند. حسین‌زاده (۱۷) در مقایسه دو روش سازمان حفاظت خاک آمریکا و چاو (۳) گزارش نموده که روش سازمان حفاظت

ضریب زبری در سطح صاف ۰/۰۱ و در آرایش منظم ۰/۱۳ و در آرایش شطرنجی ۰/۱۸ بود. ناصری (۲۴) مدل‌بندی ضریب زبری کانال‌های خاکی با پوشش گیاهی بر مبنای قطر ذرات بستر جریان را انجام داده و با توجه به عدم کارایی مناسب برخی مدل‌های تجربی برای ضریب زبری کانال‌های خاکی با پوشش گیاهی، مدل‌های مبتنی بر قطر ذرات بستر برای برآورد ضریب زبری بسترهای خاکی دارای پوشش گیاهی ارائه نموده‌اند. ناصری (۲۶) تحلیل آماری ضریب زبری مانینگ در کانال‌های خاکی بدون پوشش گیاهی در شبکه آبیاری و زهکشی مغان بررسی نموده و گزارش نموده‌اند با دو و سه برابر شدن اندازه ضریب زبری، دبی جریان به ترتیب نصف و یک سوم دبی نظیر میانگین ضریب زبری بود. ضریب زبری مانینگ در کانال‌های آبیاری و زهکشی با پوشش گیاهی پنجه مرغی توسط ناصری (۲۷) بررسی شده و گزارش این پژوهشگر نشان داد هنگامی که ضریب زبری ۵۰ و ۲۵ درصد مقدار میانگین بود، دبی جریان دو و چهار برابر دبی نظیر میانگین ضریب زبری شده است. تأثیر مشخصات هندسی کانال و سرعت جریان، تراکم گیاه پاسپالوم و فسفر خاک بر روی مقاومت هیدرولیکی کانال‌های خاکی دارای پوشش گیاهی توسط ناصری (۲۵) انجام شده است. گزارش ایشان نشان داده تغییر در ضریب زبری در کانال‌های پوشش پاسپالوم ممکن است تنها با سرعت جریان و شیب کانال تبیین شود، با این فرض که هیچ‌گونه تغییر مکانی در سایر متغیرهای مؤثر وجود نداشته باشد.

با توجه به گستردگی قابل توجه پراکنش گیاه سوروف (*Echinocola crus-galli*) در کانال‌های خاکی شبکه آبیاری و زهکشی مغان و نظر به اهمیت تعیین دقیق ضریب زبری و تشخیص عوامل مؤثر بر این ضریب در این نوع کانال‌ها، هدف این پژوهش عبارت از تعیین مقادیر دقیق ضریب زبری در کانال‌های خاکی با پوشش گیاهی مشخص و تعیین عوامل مؤثر بر ضریب زبری در کانال‌های با پوشش سوروف (*Echinocola crus-galli*) با روش تحلیل مسیر در شبکه آبیاری و زهکشی مغان بود.

پوشش گیاهی افزایش و با افزایش سرعت و عمق جریان کاهش می‌یابد. اسماعیلی و همکاران (۹) گزارش کرده‌اند که ضریب زبری بستر با گذشت زمان و بر مبنای شرایط فرسایش روند سینوسی (افزایشی، کاهش-افزایش) داشته است. یافته پژوهشی فلاح‌تگر و همکاران (۱۰) این است که پوشش گیاهی در دامنه‌های آق‌قلا در گرگان موجب افزایش ضریب زبری مانینگ در دامنه گردیده و مقدار میانگین آن ۰/۰۶ اعلام شده است. موسوی بایگی و همکاران (۲۲) در بررسی تغییرات ضریب زبری مانینگ در اترک میانی گزارش نموده‌اند که فصول سال و پوشش گیاهی در تغییرات این ضریب در ساحل‌های راست و چپ رودخانه، مؤثر بوده است. در پژوهش‌های فتحی مقدم (۱۱)، سیرآئلو و همکاران (۴) و ابراهیمی (۷) با ساخت مدل آزمایشگاهی به بررسی تغییرات ضریب زبری در شرایط مختلف پرداخته‌اند.

اسفندیاری درآباد و همکاران (۸) تأثیر پوشش گیاهی و عوامل مؤثر بر ضریب زبری مانینگ و برآورد سرعت جریان آب رودخانه‌ای مورد ارزیابی قرار داده و گزارش نموده‌اند که عمق جریان به ترتیب با سرعت جریان و عرض جریان رابطه معکوس و با ضریب زبری مانینگ رابطه مستقیم معنی‌دار دارد. ضریب زبری مانینگ به ترتیب با سرعت جریان، دبی رودخانه، شعاع هیدرولیکی و عرض جریان رابطه معکوس معنی‌دار دارد. گیلی و همکاران (۱۵) مقادیر ضرایب زبری در شرایط وجود گیاهان مختلف از جمله ذرت، پنبه، سورگوم، سویا و گندم در معبر جریان را بررسی نموده‌اند. ایشان معادلات رگرسیونی برای ضریب زبری به عنوان تابعی از عدد رینولدز و تراکم گیاهی را به دست آورده‌اند. روشنگر و قاسم‌پور (۲۹) در بررسی عملکرد روش‌های کلاسیک و هوش مصنوعی در تخمین ضریب زبری در پیچان‌رودها نشان دادند که شیب کانال تأثیرگذارترین پارامتر در برآورد ضریب زبری در پیچان‌رودها است. پورنگ و کاشفی‌پور (۲۸) تأثیر اندازه، درصد تراکم و آرایش زبری‌های مکعبی مصنوعی روی ضریب زبری را در یک فلوم آزمایشگاهی بررسی نموده و گزارش کرده‌اند که میانگین

نوآوری پژوهش شامل:

- الف) تدقیق ضریب زبری در کانال‌های خاکی در شبکه آبیاری و زهکشی،  
 ب) ویژه‌سازی مقادیر ضریب زبری کانال‌های خاکی دارای گیاه سوروف در شبکه آبیاری و زهکشی و  
 ج) بهره‌گیری از ظرفیت روش تحلیل مسیر برای تعیین عوامل مؤثر بر ضریب زبری در کانال‌های با پوشش سوروف در شبکه آبیاری و زهکشی مغان است.

### مواد و روش‌ها

دشت مغان با وسعتی حدود سیصد هزار هکتار در شمال غربی ایران، در قسمت شمالی استان اردبیل و ما بین طول‌های ۴۷ درجه و ۳۵ دقیقه و ۴۷ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۹ درجه و ۲۲ دقیقه و ۳۹ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۲). ارتفاع مناطق مختلف این دشت از سطح دریا از ۳۱ متر در اطراف پارس‌آباد تا ۸۹۸ متر در اطراف گرمی و اصلان‌دوز متغیر است (۳۱). این دشت از سوی شمال به رودخانه مرزی ارس، از جنوب و جنوب غربی به ارتفاعات خروسلو، از شرق با فاصله ۱۲۰ کیلومتری به دریای خزر محدود شده است. از نظر اقلیمی و با روش‌های دوماتن و آمبرژه، این منطقه جزء مناطق نیمه‌خشک و با روش کوپن جزء مناطق استپی است (۳۱). نزولات جوی این دشت به‌طور عمده تحت تأثیر جریان‌های غربی شمال‌غربی اقیانوس اطلس شمالی و مرکزی است.

استفاده از آب کانال‌ها برای آبیاری محصولات کشاورزی در این دشت، دارای قدمت زیادی نبوده و به نظر می‌رسد که نهر نادری قدیمی‌ترین نهر مهم موجود در منطقه بوده باشد. در حال حاضر، محل آبیگری کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی مغان به ظرفیت ۸۰ متر مکعب در ثانیه از سد انحرافی میل- مغان است. طول کانال اصلی ۱۱۶ کیلومتر است که از این کانال اصلی تعداد ۶۳ کانال درجه دو منشعب می‌شود که یا به‌طور مستقیم یا به‌وسیله ایستگاه‌های پمپاژ آبیگری می‌کنند. همزمان با احداث شبکه کانال‌های اصلی، در اراضی تحت

کانال A، احداث کانال‌های فرعی آبیاری درجه سه صورت گرفته است (۲۳). در اراضی تحت کانال اصلی و در بخش‌های مختلف کشت و صنعت مغان، کانال‌های درجه دو و سه به‌صورت خاکی احداث شده‌اند (شکل ۲).

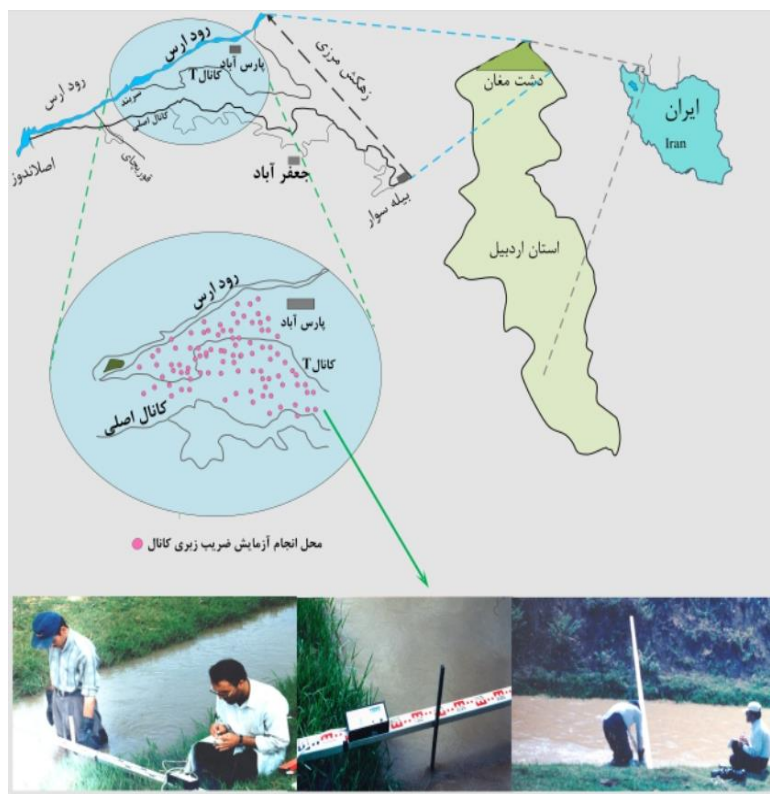
برای انجام آزمایش‌ها، ۴۲ مقطع از کانال‌های خاکی در شبکه آبیاری و زهکشی مغان انتخاب شدند. برای اندازه‌گیری سرعت جریان آب در مقاطع مختلف کانال‌ها از مولینه‌ای از نوع AOTT ساخت شرکت مهندسی منابع آب استفاده شد (شکل ۲). برای اندازه‌گیری مختصات نیمرخ عرضی مقاطع کانال‌ها از یک دوربین نقشه‌برداری (ترازیاب نیوو) و یک شاخص استفاده گردید. برای محاسبه شیب کانال از ارقامی که از قرائت رقوم کف دو مقطع هم امتداد و اندازه‌گیری فاصله بین دو مقطع حاصل، استفاده شد. میانگین فاصله بین دو مقطع ۱۰۲ متر بود. خلاصه نتایج ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی در مقاطع کانال‌های خاکی مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار ضریب زبری مانینگ (n) با توجه به ابعاد و سرعت جریان آب در کانال‌های خاکی از رابطه زیر به‌دست آمد (۲۰).

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S} \quad (3)$$

$$n = \frac{R^{2/3} \sqrt{S}}{V} \quad (4)$$

که در آن R شعاع هیدرولیکی (برحسب متر)، V میانگین سرعت جریان (بر حسب متر بر ثانیه) و S شیب کف کانال (بر حسب متر بر متر) است. کانال‌های مورد آزمایش دارای پوشش گیاهی گیاه سوروف (*Echinocola crus-galli*) بودند. تراکم گیاه سوروف در یک متر مربع با یک چارچوب و وزن تر هر گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت کافی اندازه‌گیری شد.

برای تشخیص عوامل مؤثر بر ضریب زبری از تحلیل مسیر (Path Analysis) استفاده شد. این عوامل هم به‌صورت مستقیم و هم به‌صورت غیرمستقیم بر ضریب زبری تأثیر دارند. تحلیل مسیر، روشی برای بررسی روابط سببی متغیرها در چارچوب تحلیل رگرسیون است. تحلیل مسیر اولین بار در سال ۱۹۱۸



شکل ۲. موقعیت دشت و شبکه آبیاری و زهکشی مغان با تصاویری از آزمایش ضریب زبری از کانال‌های خاکی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. حداقل، میانگین و حداکثر مقدار ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی در مقاطع کانال‌های خاکی

ردیف	ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی	حداقل	میانگین	حداکثر
۱	سطح مقطع جریان ( $\text{cm}^2$ )	۲۸۱	۲۲۳۳	۲۰۰۲۳
۲	پیرامون ترشده (cm)	۲۰	۲۵۷	۴۰۰۵
۳	شعاع هیدرولیکی (cm)	۵	۱۱	۱۴
۴	شیب کف (درصد)	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۳۰
۵	زیست‌توده گیاه روییده در کانال ( $\text{g m}^{-2}$ )	۱	۱۰	۸۹
۶	سرعت جریان ( $\text{cm s}^{-1}$ )	۲	۱۸	۴۵
۷	دبی جریان ( $\text{l s}^{-1}$ )	۹	۲۱	۱۱۱
۸	ضریب زبری	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۵۵

در این بررسی، یک متغیر درون‌زا شامل ضریب زبری و هفت متغیر برون‌زا شامل سرعت جریان، سطح مقطع جریان، دبی جریان، پیرامون ترشده، شعاع هیدرولیکی، شیب کانال و زیست توده سوروف است. متغیرهای برون‌زا را می‌توان با رابطه زیر به

توسط سیوال رایست (Sewall Wright) توسعه داده شده و تاکنون به‌طور گسترده در علوم زیستی و اجتماعی مورد استفاده قرار گرفته است. در فرایند این تحلیل از متغیر برون‌زا (Exogenous) و متغیر درون‌زا (Endogenous) استفاده می‌شود.

$$TE.A = (K1 \times r_{V^*.A^*}) + (K2) + (K3 \times r_{A^*.Q^*}) + (K4 \times r_{A^*.P^*}) + (K5 \times r_{A^*.R^*}) + (K6 \times r_{A^*.So^*}) + (K7 \times r_{A^*.B^*}) \quad (14)$$

$$TE.Q = (K1 \times r_{V^*.Q^*}) + (K2 \times r_{A^*.Q^*}) + (K3) + (K4 \times r_{Q^*.P^*}) + (K5 \times r_{Q^*.R^*}) + (K6 \times r_{Q^*.So^*}) + (K7 \times r_{Q^*.B^*}) \quad (15)$$

$$TE.P = (K1 \times r_{V^*.P^*}) + (K2 \times r_{A^*.P^*}) + (K3 \times r_{Q^*.P^*}) + (K4) + (K5 \times r_{P^*.R^*}) + (K6 \times r_{P^*.So^*}) + (K7 \times r_{P^*.B^*}) \quad (16)$$

$$TE.R = (K1 \times r_{V^*.R^*}) + (K2 \times r_{A^*.R^*}) + (K3 \times r_{Q^*.R^*}) + (K4 \times r_{R^*.P^*}) + (K5) + (K6 \times r_{R^*.So^*}) + (K7 \times r_{R^*.B^*}) \quad (17)$$

$$TE.So = (K1 \times r_{V^*.So^*}) + (K2 \times r_{A^*.So^*}) + (K3 \times r_{Q^*.So^*}) + (K4 \times r_{P^*.So^*}) + (K5 \times r_{R^*.So^*}) + K6 + (K7 \times r_{So^*.B^*}) \quad (18)$$

$$TE.B = (K1 \times r_{V^*.B^*}) + (K2 \times r_{A^*.B^*}) + (K3 \times r_{Q^*.B^*}) + (K4 \times r_{P^*.B^*}) + (K5 \times r_{R^*.B^*}) + (K6 \times r_{So^*.B^*}) + K7 \quad (19)$$

که در آن  $TE.V$ ،  $TE.A$ ،  $TE.Q$ ،  $TE.P$ ،  $TE.R$ ،  $TE.So$  و  $TE.B$  به ترتیب اثرات کل سرعت جریان، سطح مقطع جریان، دبی جریان، پیرامون ترشده، شعاع هیدرولیکی، شیب کانال و زیست توده سوروف است. اثرات باقیمانده تحلیل مسیر ضریب زبری را می توان به صورت زیر نوشت:

$$E_n = \sqrt{1 - R^2} \quad (20)$$

که در آن  $R^2$  ضریب تعیین (Determination coefficient) ضریب زبری زبری استاندارد شده با متغیرهای مؤثر بر آن است. برای خوشه بندی عوامل مؤثر بر ضریب زبری در کانال های خاکی از تحلیل خوشه ای چند متغیره از روش وارد (Ward) و فاصله اقلیدسی گوشه دار (Squared Euclidean) استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### ویژگی های هندسی و هیدرولیکی مقاطع کانال های خاکی

ضریب زبری بر مبنای ویژگی های هندسی و هیدرولیکی مقاطع کانال های خاکی، با رابطه (۱) برآورد شد. نتایج اندازه گیری ها و

متغیر درونزا مرتبط نمود (۳۲):

$$n^* = (K1 \times V^*) + (K2 \times A^*) + (K3 \times Q^*) + (K4 \times P^*) + (K5 \times R^*) + (K6 \times So^*) + (K7 \times B^*) + E_n \quad (5)$$

که در آن  $V^*$ ،  $A^*$ ،  $Q^*$ ،  $P^*$ ،  $R^*$ ،  $So^*$  و  $B^*$  به ترتیب شکل های استاندارد سرعت جریان، سطح مقطع جریان، دبی جریان، پیرامون ترشده، شعاع هیدرولیکی، شیب کانال و زیست توده سوروف است. شکل استاندارد از تقسیم هر متغیر بر میانگین آن به دست آمد. ضرایب  $K1$  تا  $K5$  ضرایب مسیر و اثرات مستقیم سرعت جریان، سطح مقطع جریان، دبی جریان، پیرامون ترشده، شعاع هیدرولیکی، شیب کانال و زیست توده سوروف روی ضریب زبری بوده و از طریق جبر ماتریس ها حاصل می شود. کمیت  $E_n$  به باقیمانده تحلیل مسیر موسوم است. ضریب همبستگی بین ضریب زبری و مؤلفه های مؤثر بر آن به صورت زیر برآورد می شود (۳۲):

$$r_{V^*.n^*} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n^* \times V^* \quad (6)$$

$$r_{A^*.n^*} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n^* \times A^* \quad (7)$$

$$r_{Q^*.n^*} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n^* \times Q^* \quad (8)$$

$$r_{P^*.n^*} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n^* \times P^* \quad (9)$$

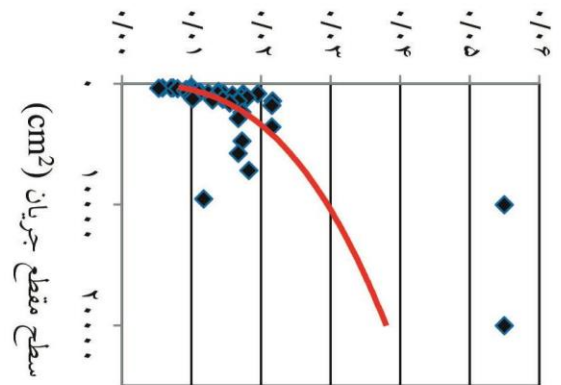
$$r_{R^*.n^*} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n^* \times R^* \quad (10)$$

$$r_{So^*.n^*} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n^* \times So^* \quad (11)$$

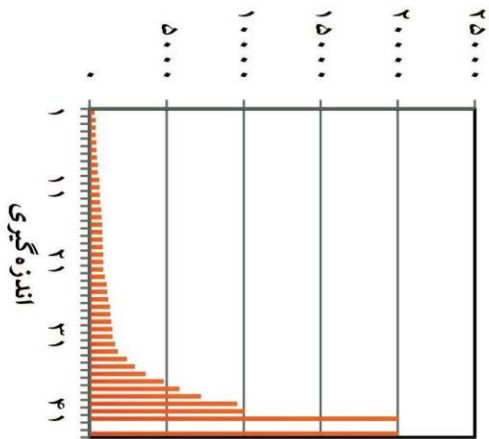
$$r_{B^*.n^*} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n^* \times B^* \quad (12)$$

$$TE.V = K1 + (K2 \times r_{V^*.A^*}) + (K3 \times r_{V^*.Q^*}) + (K4 \times r_{V^*.P^*}) + (K5 \times r_{V^*.R^*}) + (K6 \times r_{V^*.So^*}) + (K7 \times r_{V^*.B^*}) \quad (13)$$

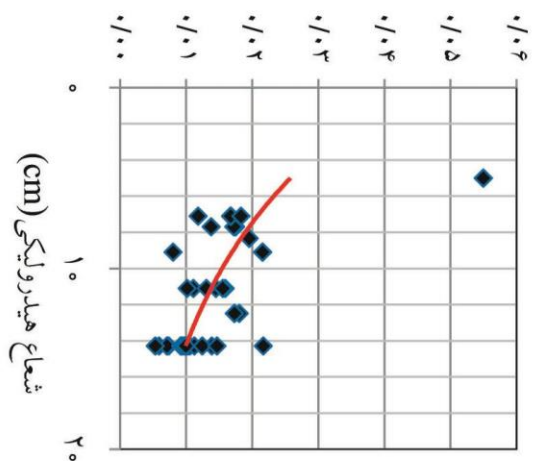
ضریب زبری مانینگ



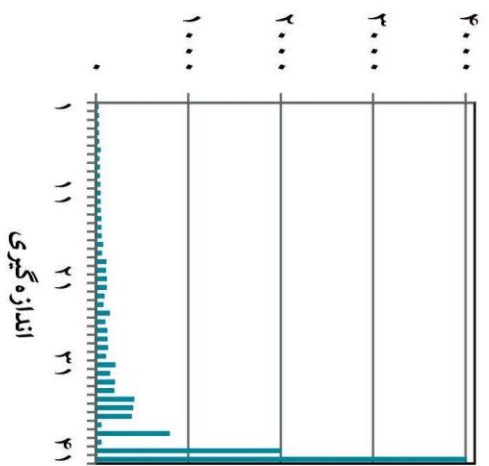
سطح مقطع جریان (cm<sup>2</sup>)



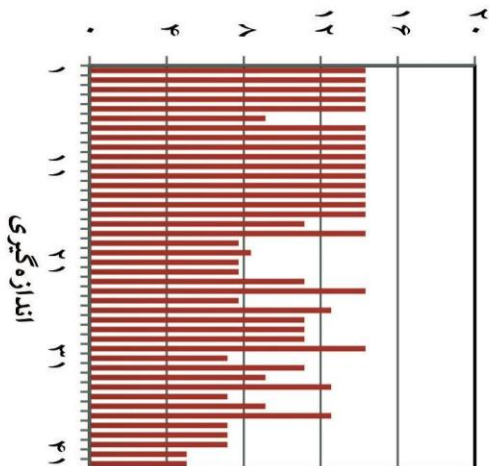
ضریب زبری مانینگ



پیرامون ترشده (cm)

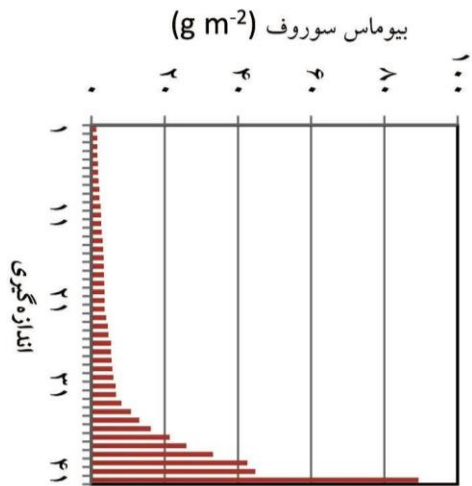
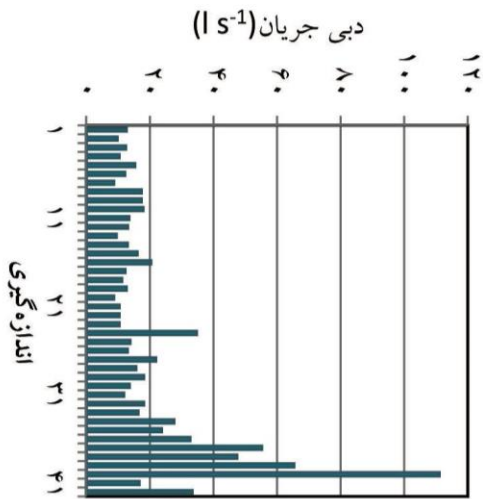
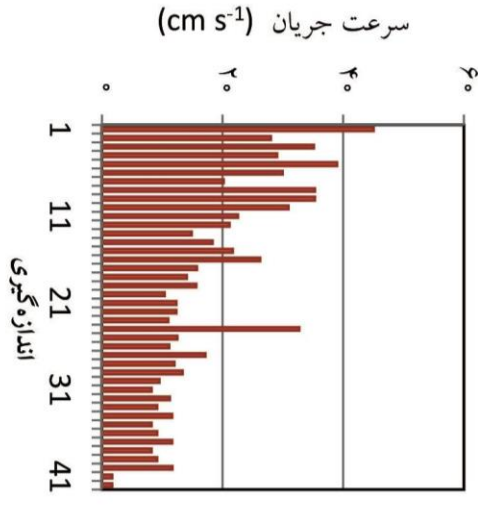
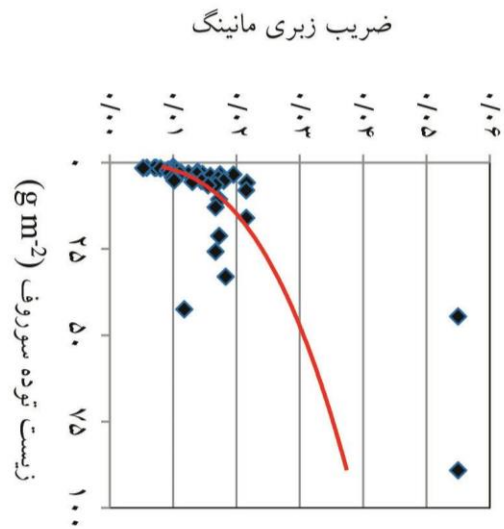
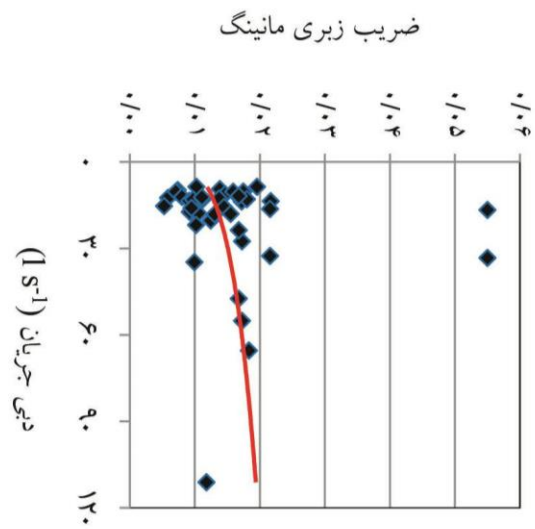
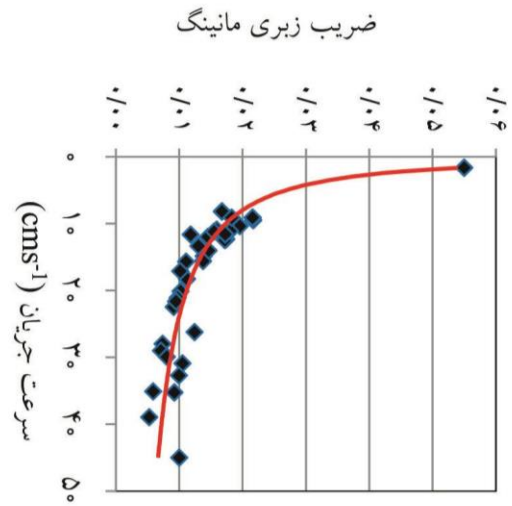


شعاع هیدرولیکی (cm)

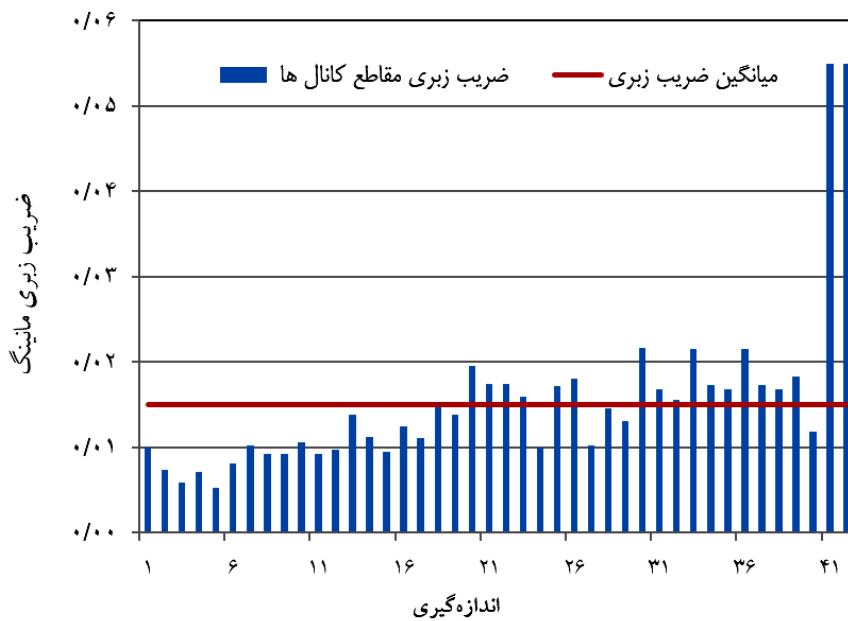


شکل ۳. نتایج اندازه‌گیری‌ها در مقاطع کانال‌ها و تغییرات ضریب زبری به ازای تغییرات ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی کانال‌های خاکی





ادامه شکل ۳. نتایج اندازه گیری ها در مقاطع کانالها و تغییرات ضریب زبری به ازای تغییرات ویژگی های هندسی و هیدرولیکی کانال های خاکی



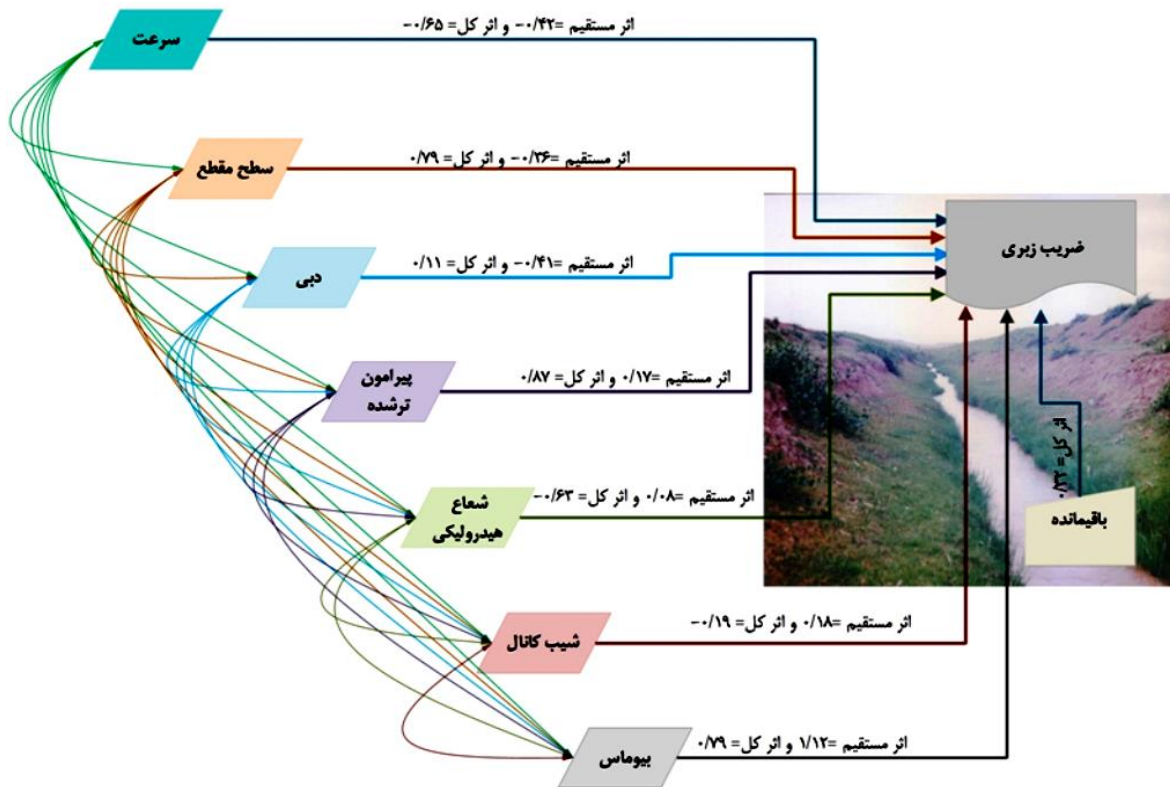
شکل ۴. نتایج و میانگین ضریب زبری (۰/۰۱۵) در کانال‌های خاکی

پوشش گیاهی سوروف (*Echinocola crus-galli*) برابر ۰/۰۱۵ به‌دست آمد (شکل ۴ و جدول ۲). چاو (۳) گزارش نموده مقادیر ضریب زبری کانال‌های خاکی با پوشش کم از ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱۰ و با پوشش متوسط از ۰/۰۱۰ تا ۰/۰۲۵ تغییر می‌نماید (۳). یافته این پژوهش در دامنه پیشنهادی چاو (۳) قرار دارد. فلاحتگر و همکاران (۱۰) ضریب زبری مانینگ دامنه در مراتع آق‌قلا گرگان را در حالت با پوشش و بدون پوشش با شیب چهار درصد به ترتیب ۰/۰۵۶ و ۰/۰۵۱ و در شیب ۱۳ درصد به ترتیب ۰/۰۶۵ و ۰/۰۵۶ درصد گزارش نموده‌اند. موسوی بایگی و همکاران (۲۳) نیز تغییرات ضریب زبری را در رودخانه اترک میانی از ۰/۰۴۰ تا ۰/۰۶۰ برآورد نموده‌اند. با توجه به نوع و تراکم پوشش گیاهی و نیز نوع و کیفیت بستر جریان، یافته‌های این پژوهش با یافته‌های فلاحتگر و همکاران (۱۰) و موسوی بایگی و همکاران (۲۳) متفاوت است.

**تشخیص عوامل مؤثر بر ضریب زبری با کاربرد تحلیل مسیر**  
نتایج تحلیل مسیر ضریب زبری در کانال‌های با پوشش سوروف در شکل ۵ و جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد اثر کل پیرامون ترشده (۰/۸۷) روی ضریب زبری در

تغییرات ضریب زبری به‌ازای تغییرات سرعت جریان، سطح مقطع جریان، پیرامون ترشده، شعاع هیدرولیکی و شیب کف کانال‌های خاکی در شکل ۳ و نتایج و میانگین ضریب زبری در مقاطع مختلف کانال‌های خاکی در شکل ۴ ارائه شده است.

خلاصه نتایج ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد تغییرات مساحت مقطع از ۲۸۱ تا ۲۰۰۲۳ سانتی‌مترمربع بود (شکل ۳ و جدول ۲). میانگین مساحت مقطع در کانال‌های خاکی برابر ۲۲۳۳ سانتی‌مترمربع به‌دست آمد. پیرامون ترشده مقطع از ۲۰ تا ۴۰۰۵ با میانگین ۲۵۷ سانتی‌متر متغیر بود (شکل ۳ و جدول ۲). متناسب با مقادیر مساحت و پیرامون ترشده مقطع، شعاع هیدرولیکی از ۵ تا ۱۴ با میانگین ۱۱ سانتی‌متر برآورد شد. سرعت جریان در مقطع کانال‌های خاکی از ۲ تا ۴۵ با میانگین ۱۸ سانتی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد (شکل ۳ و جدول ۲). میانگین شیب کف کانال‌ها ۰/۱۰ و تغییرات آن از ۰/۱۸ تا ۰/۳۰ درصد بود. میانگین زیست‌توده گیاه روئیده در کف و جدار کانال ۱۰ گرم در مترمربع و تغییرات آن از ۱ تا ۸۹ گرم در مترمربع بود (شکل ۳ و جدول ۲). نتایج نشان داد تغییرات ضریب زبری از ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۵۵ بود. میانگین ضریب زبری در کانال‌های خاکی با



شکل ۵. الگوی تحلیل مسیر برای تشخیص اثرات مستقیم و کل عوامل مؤثر بر خرابی زبری در کانال‌های خاکی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. تجزیه ضرایب همبستگی به اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل مؤثر بر خرابی زبری در کانال‌های خاکی با پوشش سوروف

عامل مؤثر	اثر مستقیم	اثرات غیرمستقیم از طریق سایر متغیرها						سرعت جریان	سطح مقطع جریان	دبی جریان	پیرامون ترشده	شعاع هیدرولیکی	شیب کف کانال	زیست توده سوروف	مجموع اثرات غیر مستقیم	اثر کل
		سرعت جریان	سطح مقطع جریان	دبی جریان	پیرامون ترشده	شعاع هیدرولیکی	شیب کف کانال									
سرعت جریان	-0.42	مستقیم	0.18	0.09	-0.07	0.05	0.07	0.18	0.09	-0.07	0.05	0.07	0.55	-0.23	-0.65	
سطح مقطع جریان	-0.36	مستقیم	0.21	-0.23	0.15	-0.05	-0.05	0.21	-0.23	0.15	-0.05	-0.05	1.12	1.15	0.79	
دبی جریان	-0.41	0.10	-0.20	مستقیم	0.03	-0.03	0.03	0.10	-0.20	0.03	-0.03	0.03	0.63	0.51	0.11	
پیرامون ترشده	0.17	0.17	-0.32	-0.07	مستقیم	-0.04	-0.04	0.17	-0.32	-0.07	-0.04	-0.04	0.99	0.70	0.87	
شعاع هیدرولیکی	0.08	-0.28	0.22	0.14	-0.09	مستقیم	0.01	0.14	-0.09	0.01	0.01	0.01	0.68	-0.71	-0.63	
شیب کف کانال	0.18	-0.16	0.09	0.03	-0.04	مستقیم	0.01	0.03	-0.04	0.01	-0.01	-0.01	0.28	-0.37	-0.19	
زیست توده سوروف	1.12	0.21	-0.36	-0.23	0.15	-0.05	-0.05	0.21	-0.23	0.15	-0.05	-0.05	مستقیم	-0.32	0.79	

جدول ۴. خلاصه نتایج تحلیل مسیر ضریب زبری در کانال‌های خاکی

متغیر مؤثر	اثر کل	اثر مستقیم	اثرات غیرمستقیم
سرعت جریان	-۰/۶۵	-۰/۴۲	-۰/۲۳
سطح مقطع جریان	۰/۷۹	-۰/۳۶	۱/۱۵
دبی جریان	۰/۱۱	-۰/۴۱	۰/۵۱
پیرامون ترشده	۰/۸۷	۰/۱۷	۰/۷۰
شعاع هیدرولیکی	-۰/۶۳	۰/۰۸	-۰/۷۱
شیب کف کانال	-۰/۱۹	۰/۱۸	-۰/۳۷
زیست‌توده سوروف	۰/۷۹	۱/۱۲	-۰/۳۲

فاصله اقلیدسی گوشه‌دار (Squared Euclidean) استفاده شد. دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد در فاصله اقلیدسی ۱۱ دو خوشه به دست آمد که خوشه اول شامل سرعت جریان، زیست‌توده سوروف، دبی جریان و شیب کف کانال و خوشه دوم شامل سطح مقطع جریان، پیرامون ترشده و شعاع هیدرولیکی بود. در فاصله اقلیدسی ۶ سه خوشه حاصل شد که خوشه اول شامل سرعت جریان و زیست‌توده سوروف، خوشه دوم شامل دبی جریان و شیب کف کانال و خوشه سوم شامل سطح مقطع جریان، پیرامون ترشده و شعاع هیدرولیکی بود (شکل ۶).

ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله اقلیدسی تعداد خوشه‌ها کم و دقت خوشه‌بندی نیز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر هرچه فاصله اقلیدسی کم‌تر باشد، دقت خوشه‌بندی افزایش می‌یابد. اگر عوامل مؤثر بر ضریب زبری به‌طور ساده به دو گروه تقسیم گردند، فاصله اقلیدسی ۱۱ انتخاب می‌شود.

### نتیجه‌گیری

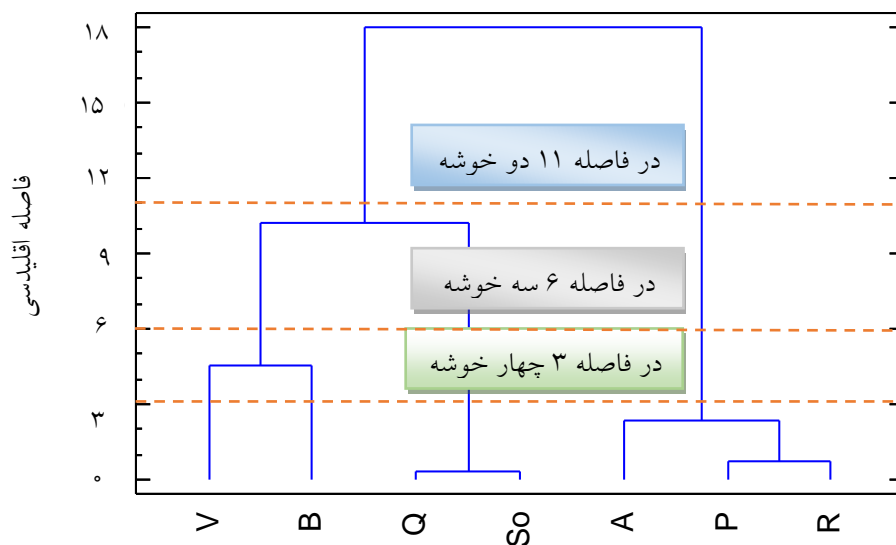
دقیق‌سازی ضریب زبری در کانال‌های خاکی دارای گیاه سوروف (*Echinocola crus-galli*) در شبکه آبیاری و زهکشی و کاربرد روش تحلیل مسیر برای تعیین عوامل مؤثر بر ضریب زبری در این نوع کانال‌ها نشان داد میانگین ضریب زبری در

مقایسه با اثر سایر متغیرها بیشتر بود. پس از آن ترتیب اثر کل متغیرها روی این ضریب به شرح زیست‌توده سوروف (۰/۷۹)، سطح مقطع جریان (۰/۷۹)، سرعت جریان (-۰/۶۵)، شعاع هیدرولیکی (-۰/۶۳)، شیب کف کانال (-۰/۱۹) و دبی جریان (۰/۱۱) بود (شکل ۵ و جدول‌های ۳ و ۴). اثر مستقیم زیست‌توده سوروف (۱/۱۲) روی ضریب زبری در مقایسه با اثر مستقیم سایر متغیرها بیشتر بود. پس از آن ترتیب تأثیر مستقیم متغیرها روی ضریب زبری به شرح سرعت جریان (-۰/۴۲)، دبی جریان (-۰/۴۱)، سطح مقطع جریان (-۰/۳۶)، شیب کف کانال (۰/۱۸)، پیرامون ترشده (۰/۱۷) و شعاع هیدرولیکی (۰/۰۸) بود. بیشترین اثرات غیرمستقیم به متغیرهای سطح مقطع جریان (۱/۱۵)، شعاع هیدرولیکی (-۰/۷۱) و پیرامون ترشده (۰/۷۰) تعلق داشت (شکل ۵ و جدول‌های ۳ و ۴). مطابق با یافته‌های کلی این پژوهش، ابراهیمی و همکاران (۷) گزارش نموده‌اند ضریب زبری با افزایش تراکم پوشش گیاهی افزایش یافته و با افزایش سرعت و عمق جریان کاهش یافته است.

### خوشه‌بندی عوامل مؤثر بر ضریب زبری در کانال‌های با

#### پوشش سوروف

برای خوشه‌بندی عوامل مؤثر بر ضریب زبری در کانال‌های خاکی از تحلیل خوشه‌ای چند متغیره از روش وارد (Ward) و



شکل ۶. خوشه‌بندی عوامل مؤثر بر ضریب زبری بر مبنای اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل حاصل از تحلیل مسیر

نیز برای برآورد ضریب زبری کانال‌ها استفاده شده و با نتایج اندازه‌گیری‌های مستقیم مقایسه شود.

#### سپاسگزاری

مؤلف مقاله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (مغان) به خاطر تصویب و تأمین اعتبارات و تهیه امکانات لازم برای اجرای پژوهش قدردانی می‌نماید. از همکار محترم آقای مهندس والح اسماعیلی به خاطر همکاری در اندازه‌گیری‌ها صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

کانال‌های خاکی با پوشش گیاهی سوروف برابر ۰/۱۵ بود. کاربرد تحلیل مسیر نشان داد پیرامون ترشده، زیست‌توده سوروف، سطح مقطع جریان، سرعت جریان و شعاع هیدرولیکی به ترتیب بیشترین اثر کل را روی ضریب زبری داشتند. بنابراین، برای برآورد درست ضریب زبری، لازم است پیرامون ترشده، زیست‌توده گیاه و سطح مقطع جریان به دقت اندازه‌گیری یا اعمال شود. برای جلوگیری از هرگونه رسوب‌گذاری (و کاهش ظرفیت کانال) و نیز فرسایش و کنش بستر کانال، لازم است تراکم و زیست‌توده گیاه کف و جدار کانال در حد بهینه باشد. پیشنهاد می‌شود از تحلیل معادلات جریان در کانال‌ها مانند سنت‌ونانت یا مدل‌های هیدرودینامیک

#### منابع مورد استفاده

1. Afzalimehr, H. and F. Anctil. 1998. Estimation of gravel-bed river flow resistance. *Journal of Engineering* 124(10): 1054-1058.
2. Chaudhry, M. H. 2007. *Open-Channel Flow*. Second edition, Springer, New York.
3. Chow, V. T. 1972. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. New York.
4. Ciraolo, G., G. Ferreri and G. Loggia. 2006. Flow resistance of *Posidonia oceanica* in shallow water. *Journal of Hydraulic Research* 44 (2): 189-202.
5. Cook, H. L. and F. B. Campbell. 1939. Characteristics of some meadow strip vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering* 118(1): 92-97.
6. Cox, M. B. and V. J. Palmer. 1984. *Results of Tests on Vegetated Waterways and Method of Field Application*. Oklahoma Agricultural Experimental Station, Stillwater Oklahoma, Miscellaneous Publication. No. MP12, 43.

7. Ebrahimi, N. G., M. Fathi Moghaddam, S. M. Kashefipour, K. Ebrahimi and S. M. Saneie. 2008. A Study of the effect of submerged vegetation cover river roughness coefficient. *Agricultural Research: Water, Soil and Crop in Agriculture* 8 (1):79-87 (In Farsi).
8. Esfandiyari Darabad, F., R. Mostafazadeh, A. Abyat and A. Naseri. 2022. Evaluation of the relationship between factors affecting Manning roughness coefficient and estimated water flow velocity in Gharasoo River, Ardabil. *Quantitative Geomorphological Research* (In press).
9. Esmaili, K., S. M. Kashefipour and M. Shafaie Bajestan. 2009. The effect of bed form on roughness coefficient in unsteady flows using a combined numerical and laboratory method. *Journal of Water and Soil* 23(3):136-144 (In Farsi).
10. Falahatgar, M., A. Bahremend, V. B. Sheikh and A. Atrakchali. 2010. The effect of vegetation Manning roughness coefficient on the hill slope in Agghala rangelands. *Journal of Water and Soil Conservation* 17(3):125-141 (In Farsi).
11. Fathi Moghadam, M. 2006. Effects of land slope and flow depth on retarding flow in non-submerged vegetated lands. *Journal of Agronomy* 5(3): 536-540.
12. Fathi Moghaddam, M. and N. Kouwen. 1997. Nonrigid, no submerged, vegetative roughness on floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 123 (1): 51-57.
13. Ghaffari, G. and A. Mosaedi. 2006. Effect of applying different Manning's roughness coefficient determination methods to estimate the amount of flooding area (Case study, Babolroud River). *Journal of Agricultural Science and Natural Resource* 12 (6): 1-12 (In Farsi).
14. Gharib, M. 2004. Hazard zonation and management of flood (Ramian town). M.Sc. Thesis. Watershed Management Department. Agriculture and Natural Resources Faculty, Gorgan University, Gorgan, Iran (In Farsi).
15. Gilley, J. E., R. Eugene and G. A. Wieman. 1991. Roughness coefficient for selected residue materials. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 117(4): 503-513.
16. Hosseini, A. 1994. Investigation of hydraulic problems in irrigation canals: focus on roughness coefficient. M.Sc. Thesis. Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
17. Hosseinzadeh, M. 2004. Flood patterns using HEC-RAS in GIS environment (*Lain Sou River*). M.Sc. Thesis. Department of Irrigation, Faculty of Sari Agricultural Sciences, Sari, Iran (In Farsi).
18. Jacovides, C. P. 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models. *Agricultural Water Management* 3: 95-97.
19. Karimi, H. 1995. Weeds. Academic Publishing Center, Tehran. Iran (In Farsi).
20. Maghsoudi, N. and S. Kouchakzadeh. 1992. Free surface flow hydraulics, Vol: 1; Steady One-dimensional Flows, Tehran University, Tehran. Iran (In Farsi).
21. Mosaedi, A. and M. Tavakoli. 2004. Investigation on the finding of best method for determining manning roughness coefficient and flood hazard zonation in a part of mid-Atrak River (Maraveh). *Journal of Agricultural Science and Natural Resource* 10 (4): 153-160. (In Farsi).
22. Mousavi Baygi, S. M., A. Fardi Hosseini, A. Alizadeh and M. Inanlou. 2011. The assessment of fluctuations on roughness Manning coefficient for prediction of flood flow hydraulics (Case study: Atrak River). *Journal of Water and Soil* 26(1): 183-192 (In Farsi).
23. Nasser, A. 2000. Evaluation of Flow resistance in vegetated canals at the Moghan Plain. Final Research Report. Iranian Agricultural Engineering Institute, AREEO (In Farsi).
24. Nasser, A. 2016a. Modeling roughness coefficients in vegetated canals based on bed particles diameters. *Irrigation and Water Engineering* 6(4): 1-15.
25. Nasser, A. 2016b. Canal Geometry, Flow Velocity, Dallis grass (*Paspalum dilatatum Poir.*) density and soil phosphorous effects on hydraulic resistance of vegetated canals. *Journal of Agricultural Sciences* 22(2): 187-195.
26. Nasser, A. 2017. Statistical analysis of manning's roughness coefficients in non-vegetated canals for irrigation and drainage network of Moghan. *Water and Soil* 30(6): 1808-1819.
27. Nasser, A. 2019. Roughness Coefficients in Vegetated Canals by *Cynodon dactylon*. *Water Management in Agriculture* 6(1): 105-112.
28. Pourang, N. and S. Kashefipour. 2016. Laboratory Investigation on the Effect of Height, Density and Arrangement of Artificial Roughness Elements on Manning Roughness Coefficient. *Water and Soil Science* 26(2-2): 67-80.
29. Roushangar, K. and R. Ghasempour. 2018. Investigation of the Performance of Classical and Artificial Intelligence Approaches in Prediction of Roughness Coefficient in Meanders. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 12(4): 811-822.
30. Shefaei Bejestani, M. 1995. Sediment hydraulics, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran (In Farsi).
31. Tayfehrezai, H. 1994. Analysis of land drainage of Moghan Plain. M.Sc. Thesis. Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, Tehran University, Tehran, Iran (In Farsi).
32. Wright, S. 1934. The method of path coefficients. *The Annals of Mathematical Statistics* 5: 161-215

## Application of Path Analysis to Identify the Factors Affecting the Roughness Coefficient in Earth Canals with *Echinocola crus-galli*

A. Nasser<sup>1\*</sup>

(Received: October 26-2022 ; Accepted: January 17-2023)

### Abstract

The selection of precision value for Roughness coefficient (RC) is necessary to design and utilize earth canals due to the vast distribution of *Echinocola crus-galli* in earth canals. Therefore, the current study was conducted to evaluate roughness coefficients in earth canals with *Echinocola crus-galli* at the Moghan plain (in the North-west of Iran). In the network of Moghan, 42 canal sections were selected to measure vegetation density and wet weight, water flow velocity (with a flow meter), and canal cross sections (with profilimetry devices). The hydraulic characteristics were estimated after water depth measurements. The Manning roughness coefficient (n) was applied to estimate the roughness coefficient. Path analysis was applied to identify the factors affecting the roughness coefficient. Multivariate cluster analysis using Ward's method and squared Euclidean distance was applied to cluster factors affecting the roughness coefficient in canals. The results revealed that RC averaged 0.015. The path analysis showed that the wetted perimeter, crop biomass, flow cross-sectional area, flow velocity, and hydraulic radius had the highest total effect on the roughness coefficient, respectively. The factors clustering showed that two clusters were obtained in the Euclidean distance of 11. The first cluster included flow velocity, crop biomass, flow rate, and bed slope; and the second cluster included flow cross-sectional area, wetted perimeter, and hydraulic radius. The findings could be helpful for designing and operating canals in the studied or similar regions.

**Keywords:** Path analysis, *Echinocola crus-galli*, Manning's coefficient, Flow resistance coefficient, Earth canals

---

1. East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Tabriz, Iran.

\*: Corresponding author, Email: Nasser<sub>ab</sub>@yahoo.com