

# تعیین ضریب زبری پوشش گیاهی در سواحل رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی در حالت غیر مستغرق

خسرو دریکوندی<sup>۱\*</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۲</sup> و محمود بینا<sup>۳</sup>

\*- دانش آموخته دکتری تأسیسات آبیاری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان drik\_khosro@yahoo.com

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

۳- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۷

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۱۹

## چکیده

به دلیل انعطاف پذیری پوشش گیاهی واقع در سواحل رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، ضریب زبری در این مناطق متغیر بوده و تابعی از مشخصات جریان و خصوصیات پوشش گیاهی است. به دلیل وجود سازه‌های مهمی مانند ایستگاه‌های پمپاژ آب، جاده‌ها، تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب، استخرهای پرورش ماهی و میگو در کنار رودخانه‌ها و احداث سازه‌هایی مانند پل‌ها و بندهای انحرافی روی آن‌ها شناخت رفتار رودخانه به ویژه اثر پوشش گیاهی روی ضرایب زبری و به تبع ظرفیت عبور جریان از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور این تحقیق برای به دست آوردن روابط و مقادیر مناسب ضریب زبری پوشش گیاهی در سواحل رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی در حالت غیر مستغرق انجام شد. برای انجام تحقیق ابتدا با شناسایی و انتخاب پارامترهای مؤثر بر جریان شامل نوع پوشش گیاهی، سرعت جریان، نسبت استغراق، درصد تراکم و سطح جذب اندازه حرکت با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی روابط بین ضرایب زبری و پارامترهای بدون بعد به دست آمد. سپس با انجام ۱۸۲ آزمایش روی یک فلوم آزمایشگاهی تأثیر هر یک از پارامترهای مؤثر بر جریان روی ضریب زبری مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از نتایج آن‌ها، روابط به دست آمده از تجزیه و تحلیل ابعادی واسنجی شد. از نتایج تحقیق می‌توان به امکان محاسبه ضرایب زبری با داشتن پارامترهای فوق اشاره نمود. این ضرایب با افزایش سرعت جریان به صورت غیر خطی و شدید کاهش می‌یابند؛ به عنوان مثال در اثر تغییر سرعت از ۰/۲ به ۲ متر بر ثانیه ضریب زبری مانینگ به یک سوم حالت اول کاهش می‌یابد. اما کاهش مقدار ضریب زبری با کم شدن نسبت استغراق و درصد تراکم پوشش گیاهی در مقایسه با افزایش سرعت کم بوده و روند کاهش آن خطی است؛ به صورتی که در اثر تغییر از یک رده تراکم بیش‌تر به تراکم کم‌تر مقدار آن حداکثر ده درصد کاهش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** ضرایب زبری، پوشش گیاهی، انعطاف پذیری، غیر مستغرق.

## مقدمه

به دلیل انعطاف پذیری بعضی از انواع پوشش گیاهی واقع در سواحل رودخانه‌ها ضرایب زبری در این مناطق متغیر بوده و مقدار آن‌ها تابعی از مشخصات جریان و ویژگی‌های پوشش گیاهی است. شرایط جریان شامل سرعت و عمق جریان (نسبت استغراق) و مشخصات پوشش گیاهی مشتمل بر تراکم، انعطاف پذیری، سطح برگ و... می‌باشد. پوشش گیاهی در کنار رودخانه‌ها باعث کاهش ظرفیت عبور جریان و بالا آمدن ارتفاع آب در این مناطق می‌شود که ممکن است

باعث آب گرفتگی سازه‌های موجود در سواحل رودخانه‌ها و نهایتاً تخریب آن‌ها شود. هم چنین حذف پوشش گیاهی علی‌رغم افزایش ظرفیت عبور جریان باعث عدم پایداری سواحل رودخانه‌ها شده و به نوع دیگری برای سازه‌های فوق ایجاد خطر می‌کند. گیاهان واقع در سواحل رودخانه به دو صورت مستغرق و غیر مستغرق دیده می‌شوند. گیاهان علفی و درختچه‌ها معمولاً به صورت مستغرق و درختان بلند در حالت غیر مستغرق دیده می‌شوند. چنانچه با انجام آزمایش‌هایی روی گیاهان علفی در یک فلوم

آزمایشگاهی در شرایط رژیم جریان آرام نشان داد که با افزایش عدد رینولدز ضریب زبری کاهش می‌یابد [۲]. کوئن با استفاده از تئوری لایه‌ی مرزی رابطه‌ای بین تغییرات ضریب زبری مانینگ نسبت به تغییرات حاصل ضرب سرعت جریان در شعاع هیدرولیکی به دست آورد [۱۰]. فیشر نشان داد زبری ناشی از رویش گیاهان در مجاری روباز بستگی به نوع پوشش گیاهی، درجه‌ی سفتی یا صلیبیت، ارتفاع، تراکم، سطح تصویر شده‌ی پوشش گیاهی در مقابل جریان و توزیع پوشش گیاهی حاشیه‌ی آن‌ها دارد [۵]. فوچن و همکاران با انجام آزمایش روی مدل فیزیکی که در آن به جای پوشش گیاهی از موی اسب استفاده شد نتیجه‌ی گیری کردند که در حالت غیر مستغرق با افزایش عمق، ضریب زبری پوشش گیاهی کاهش می‌یابد؛ در حالی که در حالت کاملاً مستغرق در عمق‌های کم افزایش یافته اما پس از مقدار معینی تا رسیدن به سطح آب ثابت می‌ماند [۶]. کوئن و فتچی مقدم با انجام آزمایش روی چند گونه گیاه مخروطی شکل نتیجه گرفتند که بین ضریب زبری گیاه، سرعت جریان و شاخص‌های گیاهی ارتباط وجود دارد. شاخص گیاهی به صورت تابعی از مد اول فرکانس طبیعی درخت، ارتفاع و وزن واحد طول تعریف و نتیجه‌ی گیری شد که این پارامتر باعث نزدیک شدن نمودارهای سرعت-ضریب زبری بین انواع درختان می‌شود [۹]. جارولا در دو مطالعه ضمن بررسی مقاومت جریان ناشی از ترکیب‌های مختلف پوشش‌های طبیعی علف، بوته‌ی زنبق و درخت بید در شرایط مستغرق و غیر مستغرق در فلوم آزمایشگاهی نتیجه‌ی گیری کرد که با تغییر عمق، سرعت، عدد رینولدز و تراکم پوشش گیاهی تغییر زیادی در مقدار ضریب اصطکاک به وجود می‌آید و حداکثر ضریب زبری زمانی به دست می‌آید که عدد رینولدز یا سرعت جریان پایین باشد. هم‌چنین ضریب زبری به دست آمده برای درخت در حالت برگ دار حدود هفت برابر بدون برگ به دست آمد [۷]، [۸]. فتچی مقدم اثر شیب زمین و عمق جریان را بر ضریب اصطکاک مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که در

اثر افزایش شیب به دلیل افزایش سرعت و هم سو شدن پوشش گیاهی با جریان، ضریب اصطکاک به طور چشمگیری کاهش می‌یابد در حالی که با افزایش عمق جریان به دلیل افزایش المان‌های مستغرق، ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد [۴]. بابتیست و همکاران ضمن مقایسه‌ی چند روش محاسبه‌ی ضریب زبری و با به کار گیری چند ویژگی مهم پوشش گیاهی مؤثر روی جریان اقدام به حل معادله‌ی یک بعدی  $k-\varepsilon$  نموده و سپس یک برنامه با استفاده از شبکه مصنوعی برای حل این مدل یک بعدی ارائه دادند. نتایج آزمایش‌های آنان روی فلوم آزمایشگاهی نشان داد که روش شبکه‌ی عصبی نتایج بهتری از سایر روش‌ها می‌دهد [۱]. رامش واران و شیونو یک مدل دو بعدی برای محاسبه‌ی عمق-سرعت متوسط و تنش برشی را برای جریان در یک کانال مرکب مستقیم با پوشش گیاهی در دشت‌های سیلابی آن ارائه دادند. این مدل با وارد کردن یک ترم کاهش‌ی اندازه‌ی حرکت در معادله ناویر-استوکس اثر پوشش گیاهی را با وارد نمودن پارامترهای ورودی مورد نیاز از جمله ضریب اصطکاک و جریان ثانویه را حل و تغییرات عمق-سرعت جریان را در کانال مرکب را تخمین می‌زند [۱۳]. فتچی مقدم با انجام آزمایش روی چهار گونه درخت کاج و بررسی رزونانس فرکانسی درختان، یک مدل ریاضی بر اساس شاخصی که مبتنی بر اولین مد لرزش درختان بنا شده بود ارائه داد. این مدل توانایی تخمین ضریب اصطکاک (f) با در نظر گرفتن پارامترهای نظیر دانسیته‌ی برگ، شکل و صلیبیت گونه‌های مختلف درخت را دارد [۳]. لای سا ای و همکاران با انجام چند اندازه‌گیری صحرایی سیل در رودخانه‌ی طبیعی، تغییرات مقاومت جریان را با تغییرات شعاع هیدرولیکی و عمق جریان محاسبه‌ی کردند. در این تحقیق بیان شده که اثرات متقابل بین کانال اصلی و دشت‌های سیلابی باعث پیچیدگی محاسبه‌ی مقاومت جریان در رودخانه می‌شود. هم‌چنین این محققان با فرض دو ترم تنش برشی ظاهری و تنش برشی متوسط لایه‌ی

خصوصیات سیال و ویژگی‌های پوشش گیاهی به صورت رابطه‌ی زیر باشد. سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی پارامترهای بدون بعد و روابط زیر به دست آمد:

$$f_n(C_d, V, \rho, Y, H, A, a, g, \psi, D, \mu, \omega, E) = 0 \quad (1)$$

که در آن  $C_d = \frac{V^*}{V} = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}}$  ضریب کشسانی که

برابر نسبت سرعت برشی به سرعت متوسط جریان است،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $\rho$  جرم حجمی آب، عمق جریان،  $H$  ارتفاع پوشش گیاهی،  $A$  سطح جذب انرژی توسط شاخ و برگ که برابر مساحت یک طرف برگ‌ها و شاخه‌ی واحد است،  $a$  مساحتی از کف فلوم که توسط شاخه واحد پوشش داده شد،  $g$  شتاب ثقل،  $\psi$  پارامتری که مشخص کننده‌ی نوع گیاه و سطح برگ است،  $D$  درصد تراکم پوشش گیاهی،  $\mu$  ویسکوزیته‌ی آب،  $\omega$  سرعت زاویه‌ای جریان و  $E$  الاستیسیته‌ی پوشش گیاهی است.

با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی ده پارامتر بدون بعد به صورت زیر به دست آمد:

$$f_n\left(\frac{V^*}{V}, \psi, \frac{\rho V^2}{E}, \frac{Y}{H}, D, \frac{A}{Y^2}, \frac{a}{Y^2}, R_e, Fr, St\right) \quad (2)$$

سه عدد بدون بعد آخر به ترتیب عدد رینولدز، عدد فرود و عدد استراهل می‌باشند. عدد فرود در تمام آزمایش‌ها کمتر از یک بود و لذا تأثیری روی مدل نداشت. در نهایت با ضرب و تقسیم چند پارامتر بدون بعد به هم رابطه‌ی زیر برای به دست آوردن مقاومت جریان به دست می‌آید:

$$\frac{V^*}{V} = \alpha \left(\frac{\rho V^2}{\psi E}\right)^\beta \left(\frac{Y}{H}\right)^\gamma \left(\frac{D A}{a}\right)^\lambda (R_e)^\delta (St)^\kappa \quad (3)$$

در این رابطه  $\frac{Y}{H}$  نسبت استغراق،  $\frac{A}{a}$  سطح جذب انرژی شاخه واحد و  $\psi E$  پارامتری به نام شاخص گیاهی است که تابعی از روزنانس فرکانسی، جرم و ارتفاع درخت است. در پاراگراف بعدی نحوه‌ی اندازه

مرزی، یک مدل عددی برای محاسبه‌ی ضریب اصطکاک مرکب در رودخانه‌ها ارائه دادند [۱۱].

هر چند تحقیقات زیادی در زمینه اثر پوشش گیاهی روی ضرایب زبری به ویژه در چند دهه‌ی اخیر انجام شده است اما به دلیل تفاوت در نوع پوشش گیاهی استفاده از نتایج سایر مناطق ممکن است نتایج صحیحی به دست ندهد. از طرفی در نبود یک تخمین صحیح از ضرایب زبری پوشش گیاهی، مدل‌های موجود در زمینه مهندسی رودخانه نتایج صحیحی به دست نخواهد داد و چه بسا استفاده از نتایج آن‌ها باعث خسارت جبران ناپذیری شود از این رو باید اثر آن‌ها به درستی شناخته شود. هم چنین در بیش‌تر تحقیقات انجام شده تمام پارامترهای مؤثر بر جریان در پوشش گیاهی در نظر گرفته نشده است؛ به عنوان مثال اثر تراکم پوشش گیاهی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور این تحقیق با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی روی سه نوع پوشش گیاهی بلند مناطق گرمسیری مانند بخش وسیعی از مناطق ایران انجام شد. در ابتدا با انتخاب پارامترهای مؤثر بر جریان و استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی روابط مناسب با حداقل پیچیدگی برای محاسبه‌ی ضریب زبری مانینگ و داریسی-ویسباخ به دست آمد. سپس با انجام ۱۸۲ آزمایش روی فلوم آزمایشگاهی اثر پارامترهای سرعت جریان، عمق جریان یا نسبت استغراق، نوع گیاه، تراکم پوشش گیاهی و انعطاف پذیری روی ضرایب زبری بررسی و روابط به دست آمده از تجزیه و تحلیل ابعادی با استفاده از نتایج آزمایش‌ها واسنجی شد.

## مواد و روش‌ها

همان گونه که در بالا بیان شد ضرایب زبری پوشش گیاهی در اثر انعطاف پذیری تابعی از مشخصات جریان و خصوصیات پوشش گیاهی است. بدین منظور برای به دست آوردن رابطه‌ای بین ضریب زبری مانینگ و داریسی-ویسباخ پارامترهای مؤثر بر جریان در پوشش گیاهی در حالت غیر مستغرق شناسایی و به نحوی انتخاب شدند که دربرگیرنده‌ی تمام مشخصات جریان،

که در آن  $\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$  ارتفاع فشاری در بالادست و پایین

دست پوشش گیاهی (معادل عمق آب)،  $\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$

ارتفاع معادل سرعت متوسط در بالادست و پایین دست

پوشش گیاهی،  $Z_1, Z_2$  ارتفاع هندسی یا ارتفاع از کف

فلوم نسبت به سطح مبنا در بالادست و پایین دست

پوشش گیاهی و  $h_{f(1-2)}$  افت اصطکاکی در طول

پوشش گیاهی است. به دلیل منشوری بودن فلوم

$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$  در نظر گرفته شد.

برای محاسبه‌ی ضرایب زبری مانینگ و دارسی -

ویسباخ نیاز به داشتن افت جریان ( $h_f$ ) و شیب خط

انرژی ( $S_f$ ) است. بدین منظور پارامترهای به کار رفته

در معادله انرژی شامل سرعت جریان، عمق جریان و

ارتفاع از مبنا در بالا و پایین دست پوشش گیاهی اندازه

گیری شد. سرعت جریان به وسیله‌ی یک دستگاه

میکرومولینه با مارک نیکسون مدل ۴۳۰ ساخت کشور

انگلستان با دقت  $\pm 5/1$  درصد در بالادست و پایین

دست پوشش گیاهی و در شش نقطه در هر مقطع

عرضی اندازه گیری شد. عمق جریان با عمق سنج و

ارتفاع از مبنا با نصب یک سطح مبنای فلزی زیر فلوم

با استفاده از شاخص نقشه برداری اندازه گیری شد.

با اندازه گیری پارامترهای معادله‌ی (۶) افت جریان و

شیب خط انرژی در طول پوشش گیاهی محاسبه شد و

با استفاده از رابطه‌ی مانینگ (۷) ضریب زبری مانینگ

در سرعت‌ها و عمق‌های مختلف به دست آمد. هم

چنین با ترکیب معادلات دارسی-ویسباخ و مانینگ

ضریب دارسی-ویسباخ از رابطه‌ی (۸) به دست می‌آید.

$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} \sqrt{S_f} \quad (7)$$

$$f = 8g \left( \frac{n}{R^{1/6}} \right)^2 \quad (8)$$

که در این روابط  $V$  سرعت جریان،  $R$  شعاع

هیدرولیکی،  $S_f$  شیب خط انرژی و  $g$  شتاب ثقل است.

برای هر یک از پوشش‌های گیاهی آزمایش‌های

تغییرات ضرایب زبری با سرعت و عمق جریان (نسبت

گیری دو پارامتر اخیر بیان شده است. با توجه به

رابطه‌ی  $\frac{V^*}{V} = \frac{\sqrt{g}}{C} = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}}$  خواهیم داشت:

$$n = \alpha_1 \left( \frac{\rho V^2}{\psi E} \right)^{\beta_1} \left( \frac{Y}{H} \right)^{\gamma_1} \left( \frac{D A}{a} \right)^{\lambda_1} (R_e)^\delta (St)^\kappa R^{1/6} \quad (4)$$

$$f = \alpha_2 \left( \frac{\rho V^2}{\psi E} \right)^{\beta_2} \left( \frac{Y}{H} \right)^{\gamma_2} \left( \frac{D A}{a} \right)^{\lambda_2} (R_e)^\delta (St)^\kappa \quad (5)$$

پس از تجزیه و تحلیل ابعادی و مشخص شدن

پارامترهای مؤثر روی جریان اقدام به انجام آزمایش

روی یک فلوم آزمایشگاهی شد. آزمایش‌ها در یک

فلوم آزمایشگاهی به طول ۶/۱۲ متر، عرض ۰/۵ متر و

ارتفاع ۰/۶ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد

اسلامی واحد اهواز انجام شد. آب مورد نیاز توسط یک

دستگاه پمپ گریز از مرکز با دبی حداکثر ۵۵ لیتر در

ثانیه و ارتفاع ۱۰ متر تأمین شد. سه نوع پوشش گیاهی

بلند و بومی پده، گز و مخلوط مساوی پده و گز با چهار

تراکم مورد آزمایش قرار گرفت. شاخه‌های طبیعی این

درختان به ارتفاع ۳۵ سانتی متر به فواصل منظم (در

تراکم صد در صد به فاصله‌ی سه سانتیمتر) در

تراکم‌های متفاوت در پانلی به طول ۸/۲ متر داخل

فلوم نصب شد. برای هر یک از پوشش‌های گیاهی و

هر تراکم تغییرات ضریب زبری برای پنج

عمق ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۲۰، ۲۸ سانتیمتر مورد آزمایش قرار

گرفت. شیب کف فلوم متغیر و بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۲

جهت دستیابی به عمق‌های مورد نظر در هر دبی

تغییر داده شد. در دبی‌های کم به دلیل شیب دار بودن

فلوم امکان دستیابی به بعضی از عمق‌های مذکور

وجود نداشت. لذا با اندازه گیری چهار زوج سرعت -

عمق جریان و به دست آوردن بهترین برازش تغییرات

این دو پارامتر با هم، سرعت در عمق مورد نظر

محاسبه شد.

اساس تحقیق بر مبنای معادله انرژی به صورت

رابطه‌ی (۶) انجام گرفت.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{f(1-2)} \quad (6)$$

اساس آزمایش‌های متعدد به دست آمده استفاده می‌شود [۱۲]:

$$\psi E = Nf_1^2 \left( \frac{m_s}{h} \right) \quad (9)$$

که در آن  $\psi E$  شاخص گیاهی،  $m_s$  جرم واحد طول درخت،  $h$  ارتفاع درخت و  $Nf_1$  مد اول فرکانس طبیعی درخت است.

در این تحقیق برای تعیین شاخص گیاهی از درختان طبیعی استفاده شد. برای تعیین روزنانس فرکانسی به این صورت عمل شد که نوک هر شاخه را گرفته و راستا به راستا به آرامی در جهات مختلف کشیده و هم‌زمان با رها کردن شاخه به وسیله کرومومتر مدت زمان نوسان شاخه را اندازه گیری و تعداد نوسان شاخه را نیز به صورت چشمی شمارش می‌کنیم. با تقسیم مدت زمان نوسان به تعداد نوسانات شاخه مد اول روزنانس فرکانسی ( $Nf_1$ ) محاسبه شد. سپس ارتفاع و جرم واحد طول نیز اندازه گیری شد. در مجموع آزمایش‌ها روی ۱۹ شاخه‌ی گز و ۱۶ شاخه‌ی پده با طول و قطرهای مختلف انجام و با استفاده از رابطه‌ی (۹) مقدار روزنانس فرکانسی هر درخت به دست آمد.

### نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها روی فلوم آزمایشگاهی با تغییر در پارامترهای سرعت جریان، نسبت استغراق، نوع پوشش گیاهی و درصد تراکم تغییرات ضرایب زبری در مقابل تغییر در پارامترهای فوق بررسی شد که در اشکال ۱ تا ۶ تعدادی از آن‌ها نشان داده شده است. با توجه به اشکال ۱ و ۲ ضرایب زبری مانینگ و داریسی-ویسباخ با افزایش سرعت جریان به صورت غیر خطی کاهش می‌یابند و طبق برآزش انجام شده ضریب مانینگ با توان ۰/۴- سرعت جریان متناسب است در حالی که ضریب داریسی-ویسباخ با توان ۰/۷۸- آن متناسب است. با توجه به اشکال فوق در سرعت‌های پایین شاخ و برگ گیاهان در مقابل جریان مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند اما با زیاد شدن سرعت، با جریان هم سو شده و عملاً در سرعت‌های بالا سطح

استغراق) انجام شد. از دیگر پارامترهای مؤثر بر ضرایب زبری، تراکم پوشش گیاهی است. بدین منظور تراکم صد در صد به این صورت تعریف شد که چنان چه از بالا به کف فلوم نگاه شود کف فلوم تقریباً قابل رویت نباشد سپس با کم کردن تعداد شاخه نسبت به تعداد شاخه‌ها در تراکم صد در صد سه تراکم دیگر تعریف و آزمایش‌های با سرعت و نسبت‌های استغراق مختلف تکرار شد. در نهایت برای سه نوع پوشش گیاهی در تراکم‌های مختلف ۱۸۲ آزمایش روی فلوم آزمایشگاهی انجام گرفت.

با توجه به رابطه‌ی به دست آمده از تجزیه و تحلیل ابعادی یکی از پارامترهای مؤثر در برآورد ضرایب زبری پوشش گیاهی در سواحل رودخانه‌ها سطح جذب انرژی است. برای تعیین این پارامتر باید مساحت شاخ و برگ عمود بر جریان محاسبه شود. یکی از راه‌های تعیین آن آن جا که تمام المان‌های یک طرف شاخ و برگ گیاهان در جهت جریان در جذب انرژی نقش دارند ولی بعضی از این المان‌ها به دلیل قرارگیری پشت دیگر شاخ و برگ‌ها در عکس دیده نمی‌شوند لذا از هر پوشش چند شاخه انتخاب و با جدا کردن تمام شاخ و برگ‌ها، به وسیله اسکنر و استفاده از نرم افزارهای Auto Cad و Elvis با شمارش تعداد پیکسل‌های سیاه مقدار (A) برای سه نوع پوشش تعیین و با داشتن مساحت تحت پوشش شاخه واحد (a) سطح جذب انرژی برای سه نوع پوشش تعیین شد.

در بحث ارتعاشات، یک درخت در مقایسه با یک تیر ساده به صورت یک ماده‌ی ویسکو پلاستیک در نظر گرفته می‌شود که بر اساس فرکانس‌های مختلف نوسان می‌کند. برای تعیین روزنانس فرکانسی یک تیر از معادلات دینامیک ارتعاشات با استفاده از الاستیسته، جرم و ممان اینرسی استفاده می‌شود. اما به دلیل شاخ و برگ زیاد درختان استفاده از این فرمول‌ها به دلیل پیچیدگی زیاد برای درختان مشکل است. لذا برای تعیین این پارامتر از یک رابطه‌ی نیمه تجربی که بر

پس از اندازه‌گیری‌های روی فلوم آزمایشگاهی جهت واسنجی روابط به دست آمده از تجزیه و تحلیل ابعادی مقادیر الاستیسیته‌ی گیاهان با استفاده از رابطه‌ی شماره‌ی ۹ اندازه‌گیری که در جدول شماره ۱ قید شده‌اند.

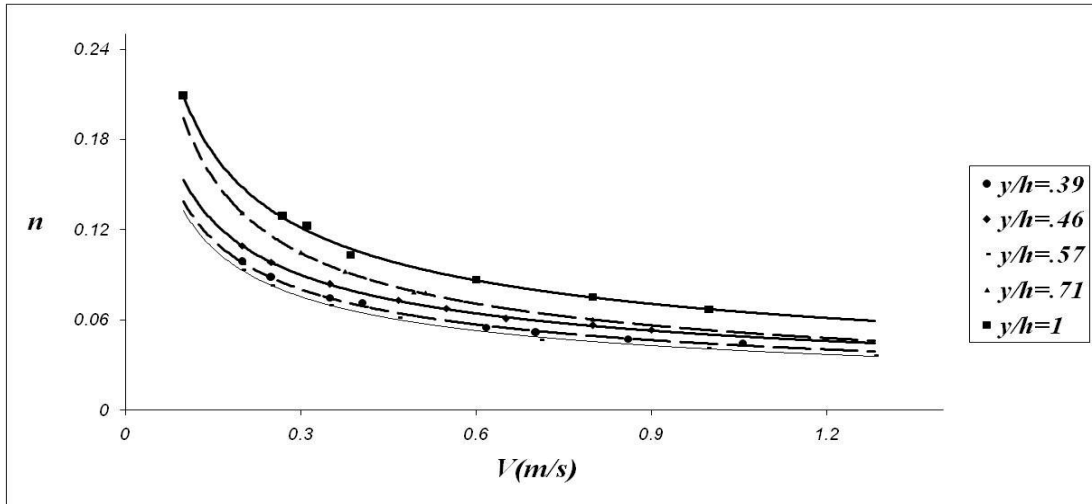
از دیگر پارامترهای مورد نیاز در تجزیه و تحلیل ابعادی اعداد استراهل و رینولدز می‌باشند. از آنجا که در تمام شرایط جریان در ناحیه‌ی کاملاً آشفته قرار داشت (عدد رینولدز بین  $Re = 168000 - 88000$  قرار گرفت) لذا این پارامتر عملاً تأثیری در شرایط جریان نداشته و حذف شد. در تمام شرایط عدد فرود زیر یک بود و با توجه به زیر بحرانی بودن عدد فرود نیز در مدل تأثیری ندارد. وقتی الگوی جریان در داخل لایه‌ی مرزی یا حجم کنترل نوسان کند عدد استراهل اهمیت پیدا می‌کند. در عمل تمام جریان‌ها یک الگوی نوسان دارند که تا حدودی متکی به عدد رینولدز است. در این مطالعه جریان‌های گردابی پشت برگ‌ها و شاخه‌های منفرد یک نمونه از این نوسانات هستند. در حالی که احتمال تأثیر محدوده‌ای از عدد استراهل روی مقاومت جریان تأیید می‌شود اما این تأثیر تحت الشعاع تغییرات شدید ضریب کشسانی و مساحت پوشش گیاهی (در جلوی جریان) ناشی از تغییر در سرعت جریان قرار می‌گیرد. برای توصیف این تأثیر مطالعات دقیق‌تری روی آن انجام شده که نشان می‌دهد تأثیر آن روی روابط مقاومت جریان در رودخانه‌ها کم است و می‌توان از آن صرفه نظر نمود [۹]. لذا این عدد نیز از روابط به دست آمده از تجزیه و تحلیل ابعادی حذف شد.

نسبتاً یکنواختی از پوشش گیاهی در مقابل جریان قرار گرفته و تغییرات ضریب زبری کم می‌شود در حالی که در سرعت‌های پایین این تغییرات شدید است. از دیگر پارامترهای مؤثر روی جریان در پوشش گیاهی نسبت استغراق است. با توجه به شکل ۳ تغییرات ضریب زبری مانینگ در مقابل کاهش نسبت استغراق در مقایسه با سرعت جریان کم بوده و روند تغییرات آن به صورت خطی است. هم‌چنین تأثیر تراکم پوشش گیاهی روی ضریب زبری نیز بر اساس اشکال ۴ و ۵ مانند نسبت استغراق کم بوده و از روند خطی تبعیت نموده و طبق برازش انجام شده مقدار کاهش ضریب زبری مانینگ از یک رده‌ی بالا به رده‌ی پایین‌تر تراکم بین هشت الی ده درصد است.

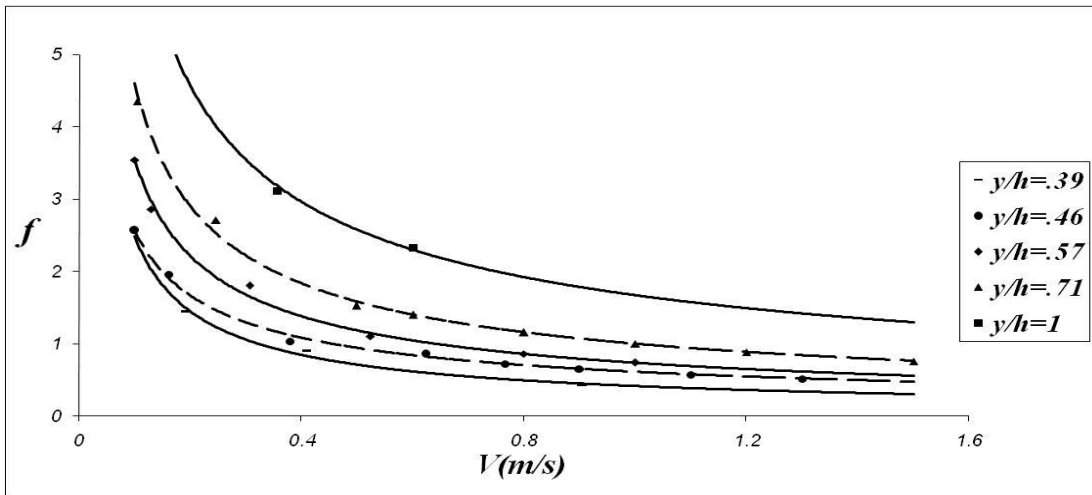
دیگر پارامتر مؤثر بر جریان نوع پوشش گیاهی است. بر اساس بررسی به عمل آمده که یک نمونه از آن در نمودار شماره‌ی ۶ نشان داده شده در گیاهانی مانند پده که دارای برگ پهن می‌باشند در سرعت‌های زیر  $0.2$  متر بر ثانیه به دلیل قرارگیری برگ‌ها در مقابل جریان (مساحت شاخ و برگ‌های در مقابل جریان) مقاومت بیش‌تری در مقایسه با گیاهان با برگ ریز مانند گز از خود نشان می‌دهند. اما در سرعت‌های بالاتر به دلیل هم سو شدن برگ‌ها با جریان ضریب زبری گیاه گز بیش‌تر می‌شود که دلیل این موضوع همان گونه که در محاسبه روزنانس فرکانسی در جدول ۱ نشان داده شده است ناشی از الاستیسیته‌ی بالاتر گیاه گز نسبت به گیاه پده است.

جدول ۱: شاخص گیاهی و سطح جذب انرژی به دست آمده هر درخت

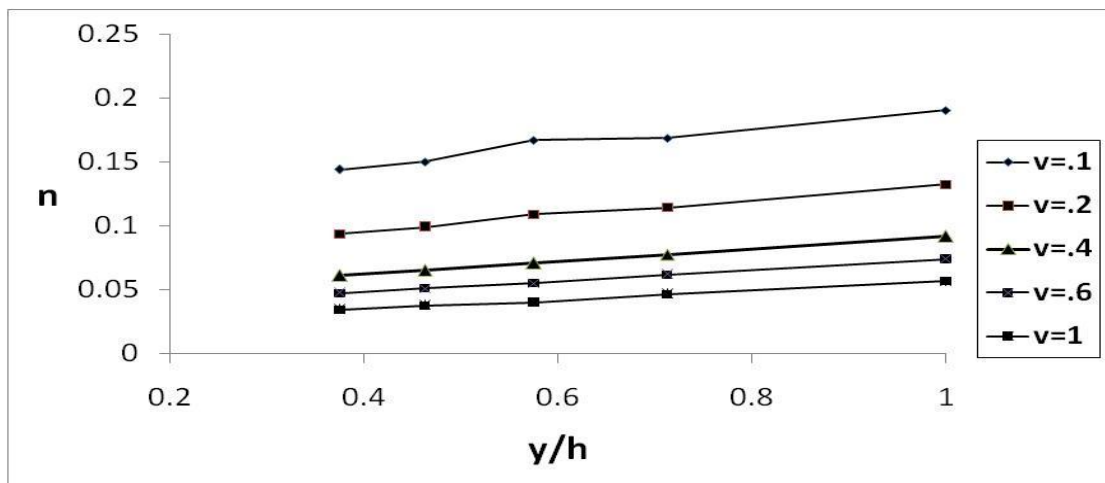
| نوع درخت | شاخص گیاهی | سطح جذب انرژی |
|----------|------------|---------------|
| گفر      | ۲/۳۲       | ۰/۱۷۵         |
| پده      | ۲/۰۲       | ۰/۱۵۰         |



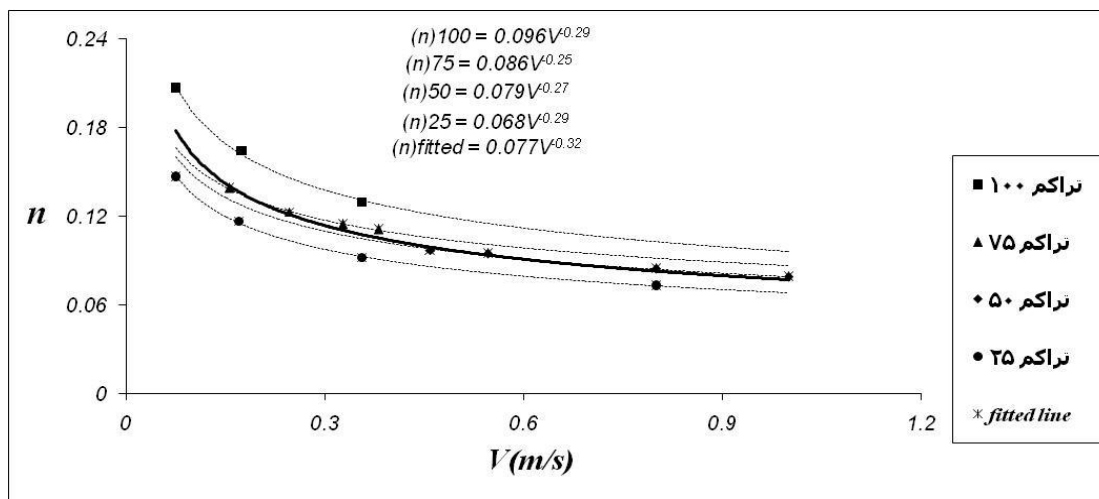
شکل ۱: تغییرات ضریب زبری مانینگ با سرعت و نسبت استغراق در گیاه پده در تراکم صد در صد



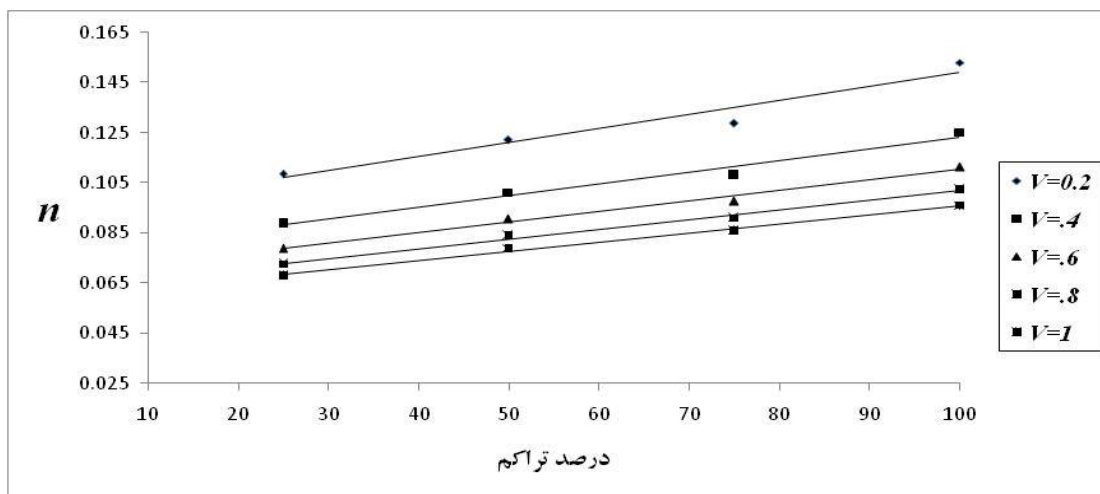
شکل ۲: تغییرات ضریب زبری دارسی ویسباخ با سرعت و نسبت استغراق در گیاه گز در تراکم صد در صد



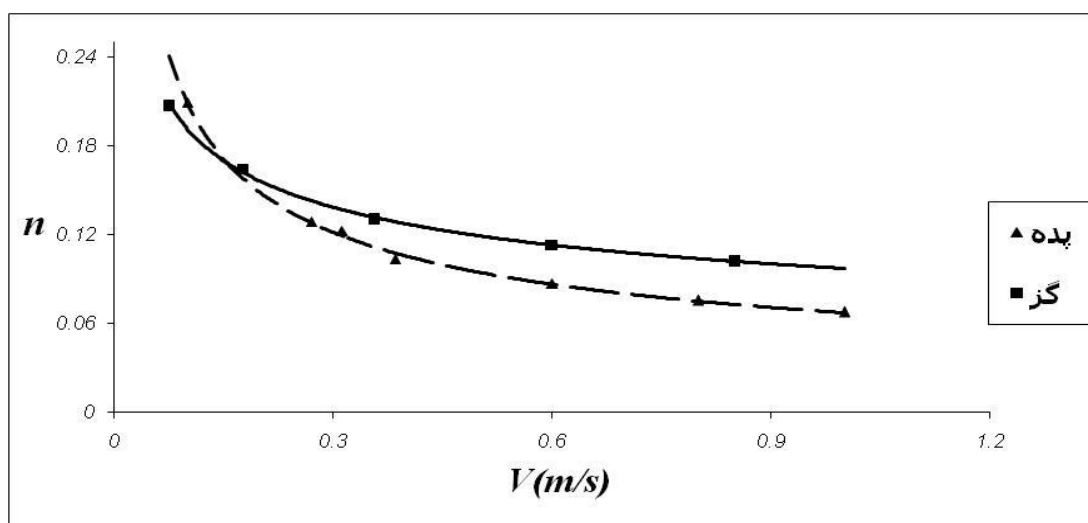
شکل ۳: تغییرات ضریب زبری مانینگ با نسبت استغراق در سرعت‌های یکسان در گیاه پده در تراکم پنجاه در صد



شکل ۴: اثر تراکم پوشش گیاهی روی ضریب زبری مانینگ در گیاه گز



شکل ۵: اثر تراکم پوشش گیاهی روی ضریب زبری مانینگ در گیاه گز در سرعت‌های یکسان



شکل ۶: مقایسه‌ی اثر نوع پوشش گیاهی روی ضریب زبری مانینگ در دو گیاه گز و پده در تراکم صد در صد



$$f = 10.2 \left( \frac{V}{\sqrt{\psi E / \rho}} \right)^{-0.782} \left( D \frac{A}{a} \right)^{0.399} \left( \frac{Y}{H} \right)^{0.954} \quad (11)$$

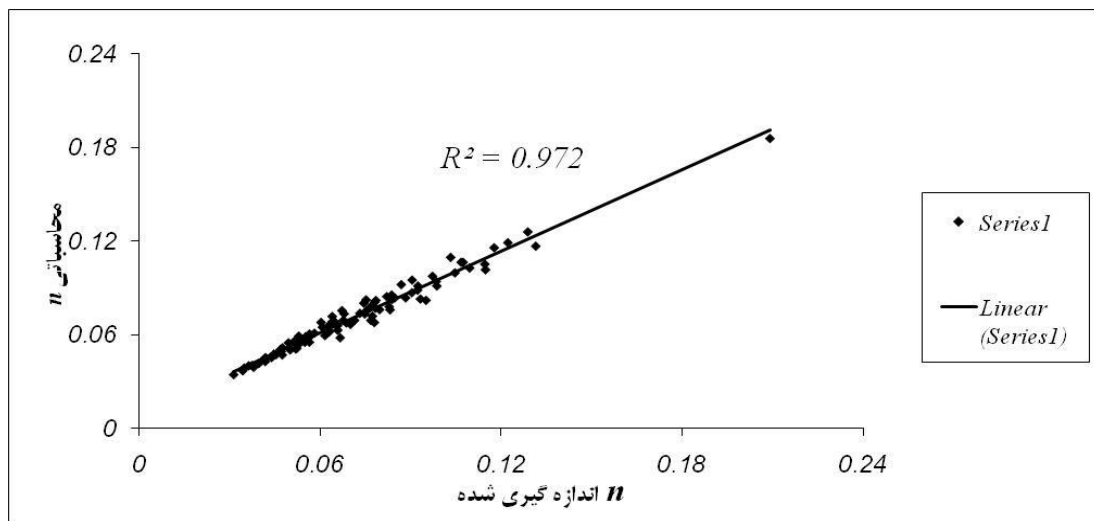
که  $n$  ضریب مانینگ و  $f$  ضریب دارسی-ویسباخ است. با توجه به ضریب همبستگی فوق این روابط کاملاً معنی دار هستند.

در مطالعات قبلی از جمله کاون و فتحی مقدم در روابط ارائه شده تراکم پوشش گیاهی دیده نمی‌شود.

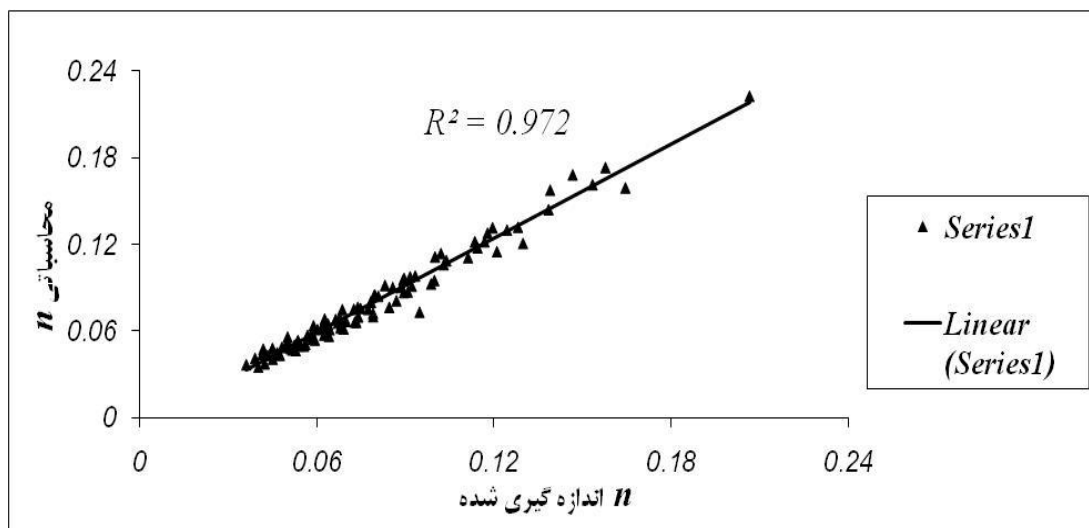
در اشکال ۷ و ۸ مقایسه‌ی بین ضریب مانینگ به دست آمده از مدل با مقدار اندازه‌گیری شده نشان داده شده است. هم‌چنین در شکل ۹ مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده در هر سه پوشش با حدود اطمینان ۹۵ درصد نشان داده شده است.

با داشتن نتایج حاصل از ۱۸۲ آزمایش روی فلوم آزمایشگاهی با تغییر در پارامترهای نوع پوشش گیاهی، سرعت جریان، نسبت استغراق، تراکم پوشش گیاهی و هم‌چنین سطح جذب انرژی و شاخص گیاهی حاصل آزمایش روی درختان طبیعی، ضرایب روابط (۴) و (۵) با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه‌ی شد و نتایج با ضرایب زبری به دست آمده از روابط (۷) و (۸) مقایسه شد. در نهایت فرمول‌های زیر برای محاسبه ضرایب زبری پوشش گیاهی در حالت غیر مستغرق با ضریب هم‌بستگی  $R^2 = 96.5\%$  در سیستم SI به دست آمد.

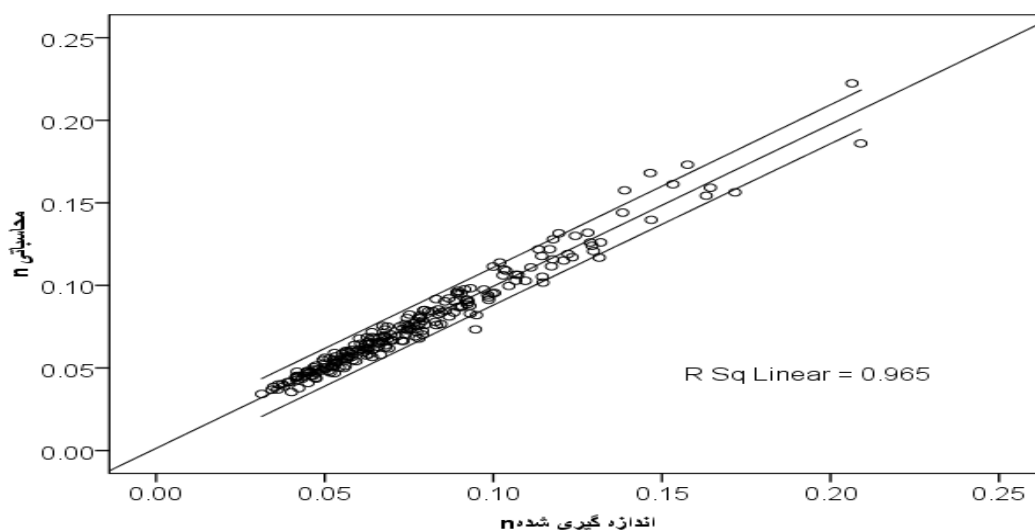
$$n = 0.36 \left( \frac{V}{\sqrt{\psi E / \rho}} \right)^{-0.397} \left( D \frac{A}{a} \right)^{0.1995} \left( \frac{Y}{H} \right)^{0.477} R^{\frac{1}{6}} \quad (10)$$



شکل ۲: تغییرات ضریب زبری مانینگ اندازه‌گیری شده با مقدار تخمین زده شده توسط مدل در گیاه پده



شکل ۸: تغییرات ضریب زبری مانینگ اندازه گیری شده با مقدار تخمین زده شده توسط مدل در گیاه گز



شکل ۹: تغییرات ضریب زبری مانینگ اندازه گیری شده با مقدار تخمین زده شده توسط مدل در سه نوع پوشش گیاهی با حدود اطمینان ۹۵ درصد

جدول ۲: مقادیر عددی ضریب زبری مانینگ به دست آمده از مدل در تراکم صد در صد در سه نوع پوشش

| نوع    | پده   |        |         | گز    |        |         | مخلوط پده و گز |        |         |
|--------|-------|--------|---------|-------|--------|---------|----------------|--------|---------|
|        | y/h=1 | y/h=.7 | y/h=0.3 | y/h=1 | y/h=.7 | y/h=0.3 | y/h=1          | y/h=.7 | y/h=0.3 |
| V(m/s) |       |        |         |       |        |         |                |        |         |
| 0.2    | 0.149 | 0.131  | 0.093   | 0.156 | 0.125  | 0.088   | 0.153          | 0.128  | 0.090   |
| 0.4    | 0.105 | 0.089  | 0.065   | 0.127 | 0.099  | 0.068   | 0.117          | 0.095  | 0.067   |
| 0.6    | 0.086 | 0.071  | 0.053   | 0.112 | 0.087  | 0.058   | 0.100          | 0.080  | 0.056   |
| 0.8    | 0.075 | 0.060  | 0.046   | 0.103 | 0.079  | 0.051   | 0.090          | 0.700  | 0.049   |
| 1      | 0.067 | 0.053  | 0.041   | 0.096 | 0.073  | 0.047   | 0.083          | 0.064  | 0.044   |
| 1.2    | 0.061 | 0.048  | 0.037   | 0.091 | 0.069  | 0.044   | 0.078          | 0.060  | 0.041   |
| 1.4    | 0.057 | 0.044  | 0.034   | 0.087 | 0.066  | 0.041   | 0.074          | 0.056  | 0.038   |
| 1.6    | 0.053 | 0.041  | 0.032   | 0.084 | 0.063  | 0.039   | 0.070          | 0.053  | 0.036   |
| 1.8    | 0.050 | 0.038  | 0.030   | 0.081 | 0.060  | 0.038   | 0.067          | 0.050  | 0.034   |

- موضوع با توجه به توان‌های به دست آمده در روابط استنتاج شده از تجزیه و تحلیل ابعادی قابل توجیه است.

- در رودخانه‌های با شیب تند در مواقع سیلابی اثر پوشش گیاهی به دلیل سرعت بالا کم است.

- ضریب زبری دارسی؛-ویسباخ با توان  $0.78$  - سرعت جریان متناسب است؛ در حالی که ضریب مانینگ با توان  $0.4$  - سرعت جریان تغییر می‌کند یا به عبارت دیگر در اثر افزایش سرعت روند کاهش ضریب زبری دارسی-ویسباخ بیش‌تر از ضریب مانینگ است.

- ضرایب زبری با کم شدن نسبت استغراق در حالت غیر مستغرق کاهش می‌یابند اما میزان کاهش آن در مقایسه با افزایش سرعت کم بوده و از روند خطی تبعیت می‌کند.

- کاهش میزان ضرایب زبری در اثر کاهش تراکم پوشش گیاهی در حالت غیر مستغرق کم بوده و تقریباً به صورت خطی است و مقدار کاهش ضریب زبری مانینگ نسبت به یک رده پایین‌تر تراکم به کار رفته بین هشت الی ده درصد است. بنابراین حذف پوشش گیاهی در سواحل رودخانه‌ها حتی در تراکم کم ممکن است باعث ناپایداری این سواحل گردد.

- اثر درصد تراکم پوشش گیاهی در شرایط یکسان طبق روابط به دست آمده روی ضریب زبری دارسی-ویسباخ بیش‌تر از ضریب زبری مانینگ است به صورتی که مقدار ضریب زبری دارسی-ویسباخ با توان  $0.4$  درصد تراکم متناسب است در حالی که ضریب مانینگ با توان  $0.2$  درصد تراکم متناسب است.

در جدول ۲ مقادیر عددی ضریب مانینگ به دست آمده از مدل در تراکم صد در صد در سه نوع پوشش نشان داده شده است. برای سایر تراکم‌ها به ترتیب یک رده پایین‌تر تراکم، اعداد جدول به میزان هشت درصد کاهش داده می‌شود.

### نتیجه گیری

با توجه به مقایسه‌ی بین ضرایب زبری اندازه گیری شده با مقادیر محاسباتی توسط روابط به دست آمده از آنالیز ابعادی با استفاده از نرم افزار SPSS روابط (۱۰) و (۱۱) با حداقل داده‌های مورد نیاز می‌تواند برای محاسبه‌ی ضرایب زبری پوشش گیاهی در سواحل رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی در حالت غیر مستغرق به کار رود. از نتایج دیگر تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تغییرات ضرایب زبری با افزایش سرعت جریان زیاد بوده و روند کاهش آن‌ها به صورت غیر خطی و شدید است به عبارت دیگر در سرعت‌های بالا تأثیر پوشش گیاهی روی افزایش مقاومت جریان کم است. روند تغییرات ضرایب زبری نسبت به سرعت با مطالعات قبلی از جمله کاون و فتحی مقدم [۹] و جارولا [۷] مطابقت دارد اما مقدار آن‌ها به دلیل نوع متفاوت پوشش گیاهی یکسان نیست به صورتی که مقادیر به دست آمده کم‌تر از پوشش گیاهان مخروطی شکل توسط کاون و فتحی مقدم [۹] است که دلیل آن ناشی از سطح جذب انرژی و الاستیسیته‌ی بیش‌تر گیاهان بکار رفته در مطالعه فوق است اما مقادیر بیشتر از گیاهان بکار رفته توسط جارولا [۷] است. این

## منابع

1. Baptist, M.J., and et al, (2007). "On inducing equations for vegetation resistance". Journal of Hydraulic Research Vol. 45, No. 4, pp. 435-450 International Association of Hydraulic Engineering and Research, IAHR
2. Chen, C.I. (1976). "Flow resistance in broad shallow grassed channels". Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 102(3), pp. 307-322.
3. Fathi-moghadam, M. (2007). "physical properties of Vegetation for resistance to flow". Journal of Agronomy, NO. 6, pp 194-198
4. Fathi-moghadam, M. (2006) "Effects of Land slope and flow depth retarding flow in Non-submerge vegetated Land". Journal of Agronomy, 5(3): pp. 536-540
5. Fisher, K.R. (1996). "Handbook for assessment of hydraulic performance of environmental channels." Report SR490, draft. HR Wallingford, Wallingford, Great Britain, 346 pages
6. Fu-chun Wu, Hsieh wen shen (1999), "Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation" Journal of Hydraulic Engineering, September, Vol. 125, No. 9, pp. 934-942
7. Jarvela, J. (2004). "Determination of resistance caused by non-submerged woody vegetation". International Association of Hydraulic Engineering, IEHR, pp. 61-70.
8. Jarvela, J. (2002). "Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants". Journal of Hydrology 269(1-2): 44-54
9. Kouwen, N., Fathi-Moghadam, M. (2000). "Friction factors for coniferous trees along rivers". Journal of Hydraulic Engineering 126(10), pp. 732-740
10. Kouwen, N. (1992). "Modern approach to design of grassed channels." J. Irrig. And Drain. Engrg., ASCE, 118(5), pp. 733-743.
11. Lai, sai Hin, and et al (2008). "determination of apparent and composite friction factors for flooded" Intl. J. River Basin management Vol. 6. No. 1 (2008), pp. 3-12 IAHR, INBO & IAHS
12. Niklas, K.J., (1992). "PLANT BIOMECHANICS: An Engineering Approach to Plant Form and Function". The University of Chicago Press, Chicag & London, 607 p.