کنترل پدیده‌ی فرسایش در محل تلاقی رودخانه ها

محمود شفاعی بجستان[1] و الهام قنبری عدیوی[2*]

۱- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲*- نویسنده مسئول، دانش آموخته دکتری سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۵

چکیده

از جمله روش‌های ساده و در بسیاری موارد اقتصادی برای حفاظت بستر در مقابل فرسایش و آبشستگی در محل تلاقی دو رودخانه، استفاده از پوشش سنگچین است. در پژوهش حاضر از چندین اندازه ذرات تحت شرایط هیدرولیکی مختلف به منظور تعیین قطر ذره در آستانه حرکت و آستانه شکست در مصالح سنگچین آزمایش‌هایی انجام گرفت. از بررسی نتایج تحقیق حاضر مشخص شد در هر نسبت دبی ثابت (Q_r)، با کاهش عمق پایاب و افزایش سرعت پایاب، اندازه قطر سنگچین که در آستانه حرکت قرار گرفته است افزایش می-یابد. همچنین به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، هر چه نسبت دبی افزایش یابد، آستانه حرکت ذرات سنگچین در عمق کمتری رخ می‌دهد. به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با افزایش دبی کل (Q_t)، عمق جریان در پایین‌دست تلاقی جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می‌یابد و آستانه حرکت در عمق بالاتری رخ می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آستانه حرکت، تلاقی رودخانه‌ها، سنگچین، نسبت دبی.

Control of Erosion at Rivers Confluence

M. Shafai Bejestan[1] and E. Ghanbari Adivi[2*]

1- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2*- Ph.D. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 19 November 2014 Accepted: 16 March 2015

Abstract

Using riprap is one of the common and economical methods for rivers bed protection against scouring. In this study, some stone sizes, under different hydraulic conditions have been tested to determine the criteria that affecting the stable size, of riprap at the threshold and failure conditions. In this investigation, it was found that in a constant flow ratio (Q_r), with decreasing tail water depth and with increasing tail water velocity, the stability size of riprap was increased. Also it revealed that a constant size of riprap, with increasing flow ratio (Q_r) in the threshold situation, tail water depth was increased and tail water velocity was decreased. At the constant size of riprap, with increasing total flow (Q_t), in the threshold situation, tail water depth was increased and the stone with larger size will begin the incipient motion.

Keyword: Threshold motion, River confluence, Riprap, Flow rate.

مقدمه

محل تلاقی بـه محـدوده‌ای گفتـه مـی‌شـود کـه جریـان آب دو رودخانه در آنجا به همدیگر می‌پیوندد. تغییر نیمرخ سطح آب و عمـق جریان، نحوه توزیع سرعت، تنگ‌شدگی مجرای عمومی، افت انرژی و بـه¬وجـود آمـدن پـرش هیـدرولیکی از جملـه مهمتـرین متغیرهـای هیدرولیکی در این محل می‌باشد. این محل به عنوان ناحیه‌ای با الگو های پیچیده از حرکت جریان سه بعدی و همچنـین مکـان بیشـترین اغتشاش جریان در سیستم‌های رودخانه‌ای شناخته شده است (جباری صاحباری[1]، ۲۰۰۸). قبادیان و شـفاعی بجسـتان[2] (۲۰۰۷) بـه بررسـی

1- Jabari Sahebari.
2- Ghobadian, and Shafai Bejestan

الگوهای فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از مدل فیزیکی پرداختند. آنها با انجام ۷۳ آزمایش تأثیر عواملی چون نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل، نسبت پهنای کانال فرعی به کانال اصلی، زاویه اتصال و عدد فرود ذره در پایین دست اتصال بر روی فرسایش و رسوب گذاری را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش نسبت دبی، کاهش نسبت پهنا و افزایش زاویه اتصال باعث افزایش حداکثر عمق فرسایش بستر و ارتفاع نهایی پشته رسوبی می شود در حالی که افزایش عدد فرود ذره در پایاب باعث افزایش حداکثر عمق فرسایش بستر و کاهش ارتفاع پشته رسوبی می‌شود. شفاعی بجستان و همتی[1] (۲۰۰۸) برای بررسی الگوی فرسایش در تلاقی رودخانه ها و تأثیر پارامترهایی مانند نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال به عرض کانال اصلی، نسبت عرض کانال فرعی به کانال اصلی، نسبت دبی کانال فرعی به دبی شاخه اصلی در بالادست تلاقی آزمایش‌هایی را انجام دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که با افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال در نسبت دبی‌های بیشتر از ۰/۷۴ حداکثر عمق فرسایش و تپه رسوب گذاری افزایش و ارتفاع پشته رسوبی افزایش می‌یابد. برقعی و جباری (۲۰۱۰)[2] برای بررسی فرسایش موضعی در تقاطع کانال‌ها و تأثیر متغیرهایی چون زاویه تلاقی، نسبت عرض کانال فرعی به کانال اصلی، نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل و نسبت سرعت متوسط پایین دست تلاقی به سرعت آستانه پایین‌دست آزمایش‌هایی را انجام دادند. آزمایش‌ها برای سه زاویه تلاقی مختلف ۹۰،۵۰،۷۰ درجه، دو نسبت عرض ۰/۵ و ۱، سه نسبت دبی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸ و دو نسبت سرعت ۰/۵ و ۰/۸ انجام شد. نتایج آنها نشان داد که موقعیت حداکثر عمق فرسایشی با گذشت زمان به سمت دیواره بیرونی کانال و بالادست کانال اصلی پیشروی می‌کند. و با کاهش عرض شاخه فرعی، افزایش نسبت دبی و افزایش زاویه تلاقی عمق چاله فرسایشی افزایش می‌یابد. دردویس[3] (۲۰۱۱) در یک کار تحقیقاتی به بررسی عوامل موثر بر کاهش گستردگی ناحیه جریان متلاطم جریان اطراف محل تقاطع دوشاخه از جریان پرداخته است. همچنین دردویس (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر هیدرولیک جریان در محل تقاطع رودخانه‌ها با استفاده از یک مدل سه بعدی حجم محدود(SSIIM)، پرداخته است. در این پژوهش علاوه بر استفاده از داده های واقعی و مدل فیزیکی از مدل کای- اپسیلون نیز در بررسی تلاطم جریان در محل تقاطع رودخانه‌ها استفاده شده است. در تقاطع رودخانه‌ها، شرایط جریان در صورت وجود بستر فرسایش‌پذیر بسیار پیچیده‌تر می‌شود شکل بستر در این ناحیه به علت به¬وجود آمدن جریان‌های ثانویه و افزایش تنش برشی ناشی از تنگ‌شدگی جریان تغییر می‌یابد و حفره‌های آبشستگی و محل‌های رسوبگذاری در بستر جریان به¬وجود می‌آید و رسوب گذاری در قسمت ناحیه جداشدگی جریان اتفاق می افتد. پیش‌بینی محل و تعیین میزان فرسایش و رسوب گذاری و تخمین حداکثر عمق حفره آبشستگی و همچنین نحوه تغییر شکل بستر می تواند در حفاظت و نگهداری بستر کانال‌ها، ساماندهی رودخانه‌ها و احداث سازه های هیدرولیکی موثر باشد (قبادیان[4]، ۲۰۱۲). با توجه به بررسی منابع موجود و پژوهش‌هایی که در زمینه تلاقی رودخانه‌ها نیاز می‌باشد، هدف اصلی این مطالعه بررسی عوامل مؤثر بر میزان پایداری سنگچین مورد استفاده برای کنترل چاله فرسایشی ایجاد شده در محل تلاقی رودخانه‌ها و در نتیجه کنترل رسوب منتقل شده به سمت پایین‌دست محل تلاقی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

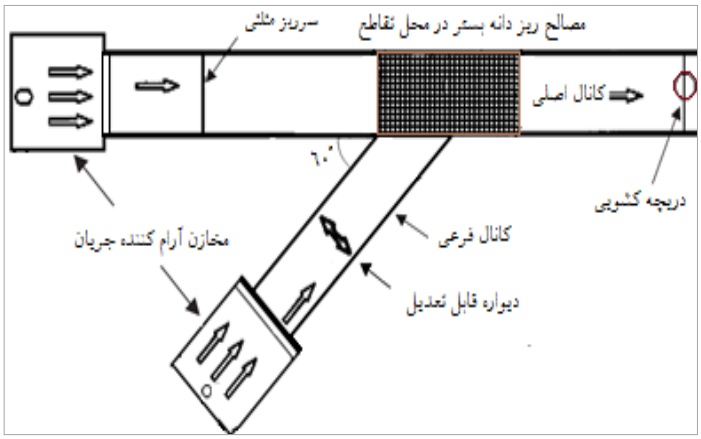
تحلیل ابعادی

با توجه به مشاهدات و روابط موجود عوامل مؤثر در پایداری سنگچین در تقاطع رودخانه‌ها، تابعی ازهیدرولیک جریان، مشخصات سنگچین و خصوصیات هندسی کانال می‌باشد (گورام و همکاران[5]، ۱۹۹۷).

مشخصات هیدرولیکی جریان شامل، دبی کانال اصلی در بالادست محل تلاقی (Q_1)، دبی کانال فرعی (Q_2)، دبی کانال اصلی در پایین‌دست محل تلاقی (Q_3)، عمق جریان کانال اصلی در بالادست محل تلاقی (y_u)، عمق جریان کانال فرعی (y_b)، عمق جریان کانال اصلی در پایین‌دست محل تلاقی (y_t) می‌باشد. مشخصات سیال شامل، چگالی آب (ρ_w)، ویسکوزیته دینامیکی سیال (μ)، نیروی کشش سطحی آب (σ) و شتاب ثقل (g) می‌باشد. مشخصات سنگچین شامل، قطر متوسط ذرات سنگچین (D_{50})، جرم حجمی ذرات سنگچین (ρ_s)، انحراف معیار هندسی توزیع دانه‌بندی سنگچین (σ_g)، زاویه ایستایی ذرات سنگچین (φ) و فاکتور شکل (F_s) می‌باشد. خصوصیات هندسی کانال نیز شامل، شیب کف کانال در محل تلاقی (S_0)، پهنای کانال اصلی در بالادست محل تلاقی (B_1)، پهنای کانال فرعی (B_2)، پهنای کانال اصلی در پایین‌دست محل تلاقی (B_3)، زبری بستر (n) و زاویه اتصال (θ) می‌باشد. با توجه به موارد مذکور، به طورکلی عوامل مؤثر بر پایداری سنگچین در محل تلاقی رودخانه‌ها را می‌توان به صورت رابطه تابعی زیر نوشت:

$$f(Q_1,Q_2,Q_3,y_t,y_u,y_b,g,\mu,\rho_w,\sigma,B_1,B_2,B_3,\theta,S_0,n,D_{50},\rho_S,\phi,F_S,\sigma_g)=0 \quad (1)$$

1- Shafai Bejestan and Hemmati
2- Borghei and Jabbari
3- Dordevic' D.
4- Ghobadian.
5- Gurram *et al.*



شکل۱- پلان کانال اصلی و فرعی

با توجه به اینکه n ، (ضریب زبری مانینگ) تابعی از قطر متوسط ذرات سنگچین، D_{50} ، (زبری مطلق) بستر می‌باشد، با استفاده از قطر متوسط ذرات سنگچین می‌توان از دخالت دادن (n) صرف نظر نمود. همچنین با توجه به تغییرات جزئی شکل ذرات سنگچین و فرض یکنواخت بودن آن‌ها می‌توان از تأثیر زاویه ایستایی (φ) و فاکتور شکل ذرات رسوبی (F_s) صرف نظر نمود. در این تحقیق پهنای کانال اصلی در بالادست محل تلاقی (B_1)، پهنای کانال فرعی (B_2) و پهنای کانال اصلی در پایین دست محل تلاقی (B_3) در همه‌ی آزمایش‌ها ثابت می‌باشد. در کلیه آزمایش‌ها شیب کف کانال (S_0) ثابت می‌باشد. در نتیجه از این پارامتر نیز صرف نظر شده است. همچنین در این تحقیق زاویه تلاقی (θ) ثابت و برابر ۶۰ درجه می‌باشد. مقادیر انحراف معیار هندسی برای تمام سنگچین‌های آزمایش شده در این تحقیق $\sigma_g < ۱/۵$ بوده و در نتیجه ذرات سنگچین یکنواخت بوده و می‌توان از تأثیر (σ_g) هم صرف نظر نمود (شفاعی بجستان، ۲۰۰۹). بنابراین می‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه (۲) نوشت:

$$f(Q_1,Q_2,Q_3,y_t,y_u,y_b,g,\mu,\rho_w,\sigma,B,D_{50},\rho_S)=0 \quad (۲)$$

با بکارگیری تئوری پای باکینگهام در تحلیل ابعادی و انتخاب Q_3، B و ρ_w به عنوان متغیرهای تکراری تعداد ۱۰ پارامتر بدون بعد به دست آمد. با ادغام ۱۰ عدد بدون بعد به دست آمده، در نهایت رابطه تابعی (۲) به صورت رابطه بدون بعد (۳) تبدیل می‌گردد:

$$f\left(Fr_3,We_3,Re_3,\frac{Q_2}{Q_1},\frac{y_t}{y_u},\frac{y_t}{y_b},\frac{y_u}{y_b},\frac{y_t}{D_{50}},\frac{y_u}{D_{50}},\frac{y_b}{D_{50}},\frac{\rho_S}{\rho_w}\right)=0 \quad (۳)$$

در رابطه (۳) Fr_3 ، We_3 و Re_3 به ترتیب عدد فرود، عدد وبر و عدد رینولدز در مقطع پایین‌دست اتصال می‌باشند. از آنجائی که در مدل کانال‌های رو باز ابعاد به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که تأثیر نیروهای کشش سطحی و لزجت سیال بسیار کم است، بنابراین از تأثیر اعداد رینولدز و وبر صرف نظر می‌شود. همچنین عمق جریان در بالادست تلاقی (y_u) و عمق کانال فرعی (y_b)، متأثر از عمق جریان در پائین دست تلاقی (y_t)، بوده و می‌توان (y_u) و (y_b) را نیز حذف کرد. از طرفی $S.N = V_t/\sqrt{(g(Sg-1)D_{50})}$ عدد فرود ذره یا عدد پایداری می‌باشد (که V_t: سرعت جریان در پائین‌دست تلاقی، D_{50}: اندازه متوسط ذرات رسوب و $S_g = \frac{\rho_S}{\rho_w}$ چگالی ویژه ذرات سنگچین می‌باشد)، که از ادغام سه گروه بدون بعد $(Fr_3,\frac{y_t}{D_{50}},\frac{\rho_S}{\rho_w})$ از رابطه (۳) به دست آمد. با توجه به این که پارامترهای (Fr_3) و ($S.N$) هر دو تأثیر نیروی ثقل بر هیدرولیک جریان را نشان می‌دهند و همچنین نظر به اهمیت ($S.N$) در تحلیل پایداری ذرات، لذا در این تحقیق از اثر (Fr_3) صرف نظر شده است و رابطه (۳) به صورت رابطه (۴) تبدیل می‌شود:

$$S.N = g(Q_2/Q_1\ ,y_t/D_{50}\ ) \quad (۴)$$

در رابطه (۴) با استفاده از تحلیل‌ابعادی، عدد پایداری تابعی از نسبتهای بدون بعد چهار کمیت (Q_1،Q_2، y_t، D_{50}) به دست آمد اما بایستی بهترین نسبت یا نسبتهای بدون بعد مبنای آزمایش‌ها قرار داده شود. با استفاده از نرم افزار دیتا فیت[1] نسبت هایی از این کمیت‌ها که بهترین همبستگی با عدد پایداری را نشان داده و در تعیین قطر ذره پایدار به‌کار می‌رود به عنوان بهترین رابطه، مبنای تدوین این تحقیق قرار گرفته شد.

1 -Data Fit

تجهیزات آزمایشگاهی

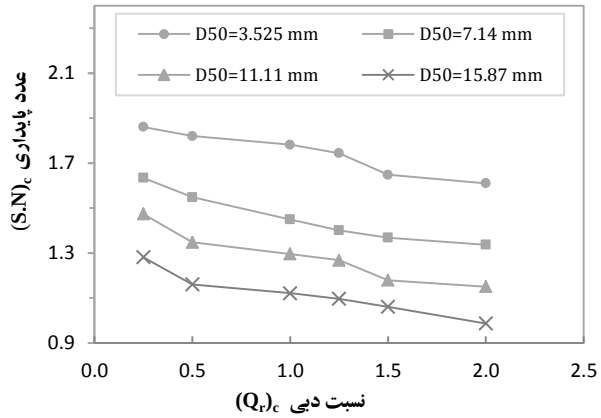
در این تحقیق در آزمایشگاه مدل فیزیکی و هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران به بررسی پایداری تا حد شرایط آستانه حرکت و آستانه شکست سنگچین در تقاطع رودخانه‌ها پرداخته شد، همچنین تأثیری که نسبت دبی‌های مختلف بر پایداری سنگچین‌ها و تغییرات عمق پایاب بر آستانه حرکت می‌گذارد نیز بررسی گردیده است. این مطالعه بر این فرضیه استوار می‌باشد که با افزایش اندازه سنگچین در محل آبشستگی در تلاقی رودخانه‌ها، قدرت فرسایشی جریان کم شده، که در نتیجه میزان پایداری سنگچین بالا رفته و از آبشستگی جلوگیری به عمل می‌آید. تجهیزات آزمایشگاهی که در این پژوهش به کار رفته است شامل حوضچه مکش، ایستگاه پمپاژ و سازه‌های وابسته، مخزن تأمین ارتفاع آب، مخازن فرعی (آرام کننده جریان)، وسایل اندازه‌گیری و تنظیم دبی و عمق جریان می‌باشد. کانال اصلی دارای طول ۹ متر، ارتفاع ۷/ ۰متر و پهنای مفید ۰/۳۵ متر می‌باشد. کانال فرعی در طول ۲/۸ و پهنای متغیر ۰/۳۵ (در محل تلاقی با کانال اصلی) که به تدریج تا ۰/۲۵ متر (در ابتدای کانال فرعی) تغییر می‌کند، ساخته شده است. ارتفاع آن در تمام طول یکسان و برابر ۰/۴۰ متر می‌باشد کف و جدارهای کانال اصلی و فرعی از شیشه ۱۰ و ۶ میلی متری ساخته شده است، شکل (۱).

نتایج و بحث

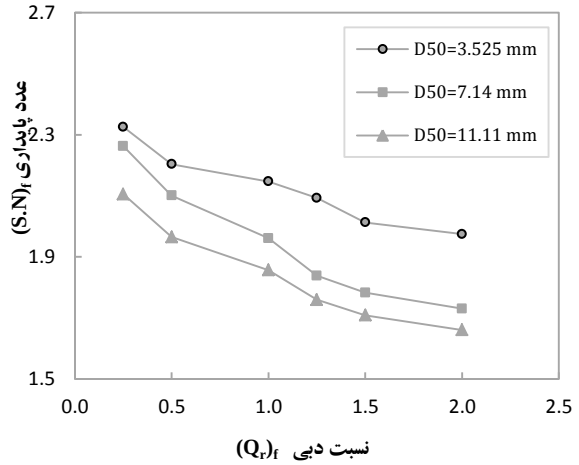
برای انجام این آزمایش‌ها ابتدا هفت سانتیمتر از رسوبات ریزدانه در کف فلوم ریخته و تسطیح شد. سپس در محل اتصال شاخه اصلی به فرعی به ارتفاع ($2D_{50}$) سنگچین مورد نظر، از رسوبات ریزدانه برداشته و به جای آن سنگچین قرار داده و مسطح گردید. در این تحقیق از دو نوع مصالح با چگالی نسبی (G_s) ، ۲/۶۵ و ۱/۶۱ استفاده گردید که برای مصالح سنگی با چگالی نسبی ذرات (G_s)، برابر ۲/۶۵ در اندازه‌های با قطر میانگین (D_{50}) برابر ۳/۵۳، ۷/۱۴، ۱۱/۱۱، ۱۵/۸۷ و ۲۲/۲۲ میلی متر، و برای مصالح با چگالی نسبی ذرات (G_s)، برابر ۱/۶۱ در اندازه‌های با قطر میانگین(D_{50})، برابر۱۱/۱۱، ۱۵/۸۷ و ۲۲/۲۲ میلی متر آزمایش شد. در این تحقیق دبی‌های کل (Q_t)، ۲۵ و ۳۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد و در هر دبی‌کل، از شش نسبت دبی (Q_r)، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵ و ۲ برای هر اندازه سنگچین (D_{50})، آزمایش تکرار گردید در مورد مصالح با چگالی نسبی ۱/۶۱ از دبی کل ۲۵ لیتر برثانیه استفاده شد، شیب فلوم در این آزمایش‌ها ثابت انتخاب گردید. در این تحقیق، لحظه مشاهده شروع حرکت اولین ذرات سنگچین به عنوان آستانه حرکت و لحظه‌ای که تقریبا تمامی ذرات سنگچین شروع به حرکت می‌کنند به عنوان آستانه شکست در نظر گرفته شد، که برای این دو حالت تأثیر عمق پایاب، سرعت پایاب، دبی کل (Q_1)، و چگالی نسبی ذرات سنگچین (G_s) بر اندازه ذره پایدار و تأثیر نسبت دبی کانال فرعی به اصلی در بالادست تلاقی (Q_r)، بر عدد پایداری ($S.N$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ادامه نتایج این بررسی‌ها به تفکیک ارائه شده است.

تأثیر نسبت دبی (Q_r) بر عدد پایداری (S.N)

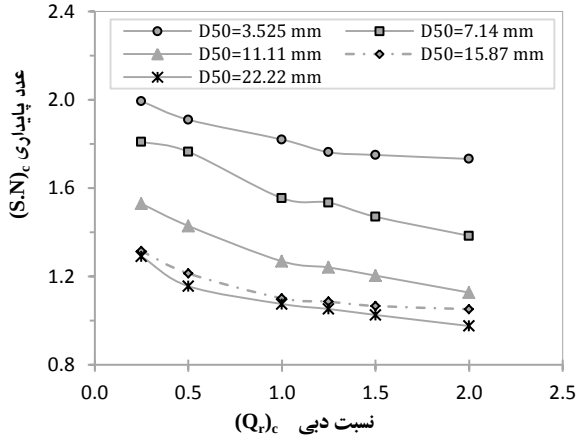
یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر پایداری ذرات سنگچین نسبت دبی شاخه فرعی به اصلی در بالادست تلاقی (Q_r)، می‌باشد. در این تحقیق اثر شش نسبت دبی در دبی‌های کل ۲۵ و ۳۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. شکل‌های (۲) تا (۷) تأثیر نسبت دبی را بر پایداری سنگچین‌ها در آستانه حرکت $(S.N)_c$ و آستانه شکست $(S.N)_f$ نشان می‌دهد.



شکل ۲- تغییرات S.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه حرکت $(G_s = 2.65 , Q_t = 25 lit/s)$

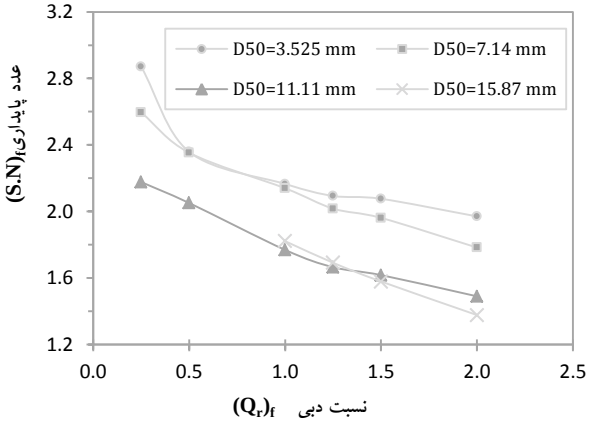


شکل ۳- تغییرات S.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه شکست $(G_s = 2.65 , Q_t = 25\,lit/s)$

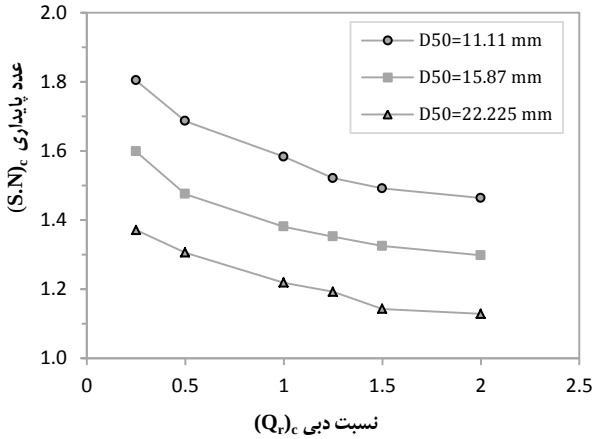


شکل٤- تغییرات S.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه حرکت $(G_s = 2.65 , Q_t = 30\,lit/s)$

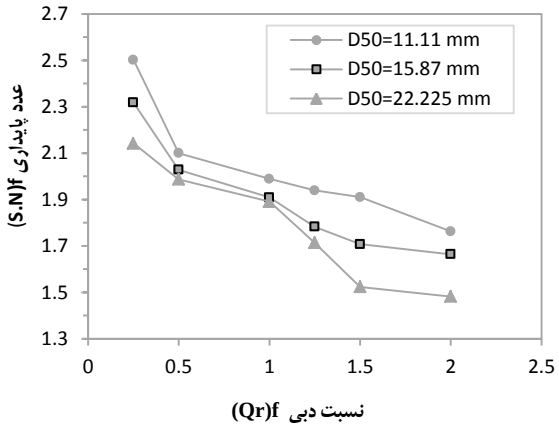
.



شکل۵- تغییرات S.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه شکست $(G_s = 2.65 , Q_t = 30\,lit/s)$



شکل٦- تغییرات S.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه حرکت $(Gs = 1.61 , Q_t = 25\,lit/s)$



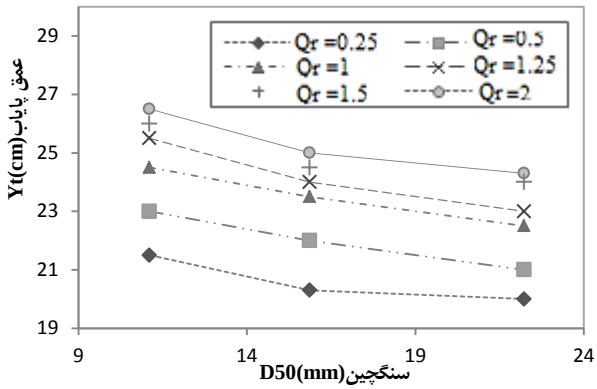
شکل۷- تغییرات S.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه شکست $(Gs = 1.61 , Q_t = 25\,lit/s)$

همان گونه که در این شکل‌ها نشان داده شده است، صرف‌نظر از تأثیر اندازه ذرات سنگچین (D_{50})، با افزایش نسبت دبی (Q_r)، عدد پایداری $(S.N)$، کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش نسبت دبی کانال فرعی به دبی کانال اصلی قبل از تلاقی، مومنتم و سرعت جریان در کانال فرعی افزایش یافته و برآیند نیروهای وارد بر ذرات بستر در محل تلاقی تغییر می کند، این امر نقشی کمکی در حرکت ذرات ایفا کرده و بنابراین آستانه حرکت ذرات (یا آستانه شکست) در سرعت (V_t) کمتری اتفاق می افتد و بر اساس رابطه عدد پایداری، باکاهش سرعت (V_t)، عدد پایداری کاهش می‌یابد. همچنین در یک (Q_r)، ثابت مشاهده گردید که علیرغم بالاتر بودن سرعت آستانه حرکت (یا آستانه شکست) در ذرات با قطر بزرگ‌تر، عدد پایداری روند کاهشی داشته است، زیرا تأثیر افزایش قطر ذره بیش از تأثیر افزایش سرعت آستانه‌ی حرکت ثبت شده برای آن ذره بوده، در نتیجه موجب کاهش عدد پایداری شده است. در ادامه برای تعیین میزان تأثیر هر پارامتر به تنهایی بر پایداری سنگچین اقدام به بررسی عمق پایاب بر قطر ذره پایدار شده است.

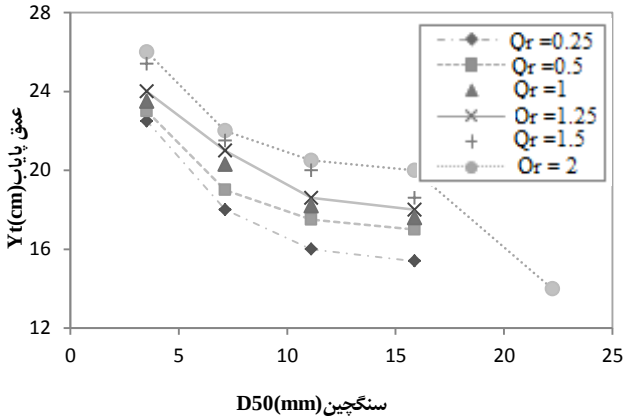
تأثیر عمق پایاب (Y_t) بر قطر ذرات سنگچین (D_{50})

به منظور مشاهده تأثیر عمق آب پایین‌دست تلاقی روی اندازه قطر ذرات سنگچین که در آستانه حرکت قرار می‌گیرند، باتوجه به شکل‌های (۸) تا (۱۰)، مشاهده می‌شود که در هر نسبت دبی ثابت (Q_r)، با کاهش عمق پایاب، اندازه قطر سنگچین که در آستانه حرکت قرار گرفته است افزایش می‌یابد. همچنین به ازای هر اندازه قطر سنگچین، با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی در بالادست (Q_r)، عمق پایاب جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می-یابد. به عبارتی هر چه نسبت دبی افزایش یابد، آستانه حرکت ذرات سنگچین در عمق کمتری رخ می‌دهد.

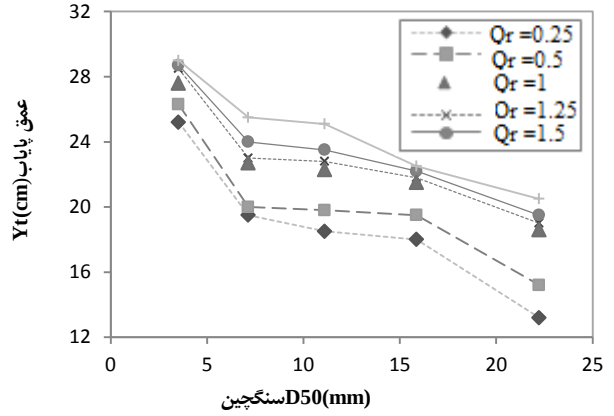
علوم و مهندسی آبیاری (مجله ی علمی- پژوهشی)، جلد ۳۹، شماره‌ی۳ پاییز ۹۵



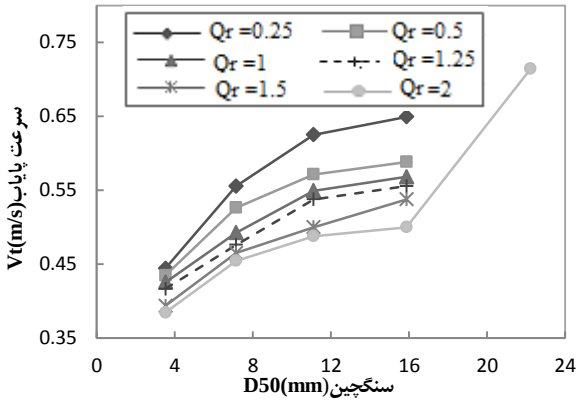
شکل۸- تأثیر عمق پایاب بر قطر ذرات سنگچین$(G_s = 1.61 , Q_t = 25 lit/s)$.



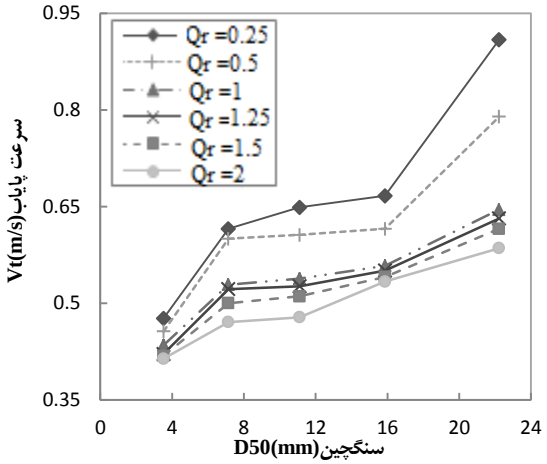
شکل۹- تأثیر عمق پایاب بر قطر ذرات سنگچین$(G_S = 2.65 , Q_t = 25 lit/s)$



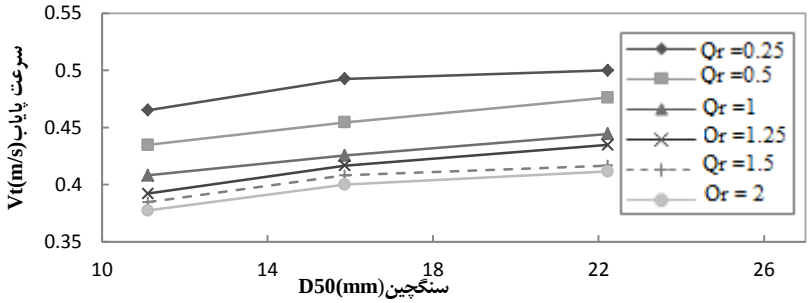
شکل۱۰- تأثیر عمق پایاب بر قطر ذرات سنگچین$(G_S = 2.65 , Q_t = 30 lit/s)$



شکل۱۱- تأثیر سرعت پایاب بر قطر ذرات سنگچین($G_S = 2.65$, $Q_t = 25lit/s$)



شکل۱۲- تأثیر سرعت پایاب بر قطر ذرات سنگچین($G_S = 2.65$, $Q_t = 30lit/s$)

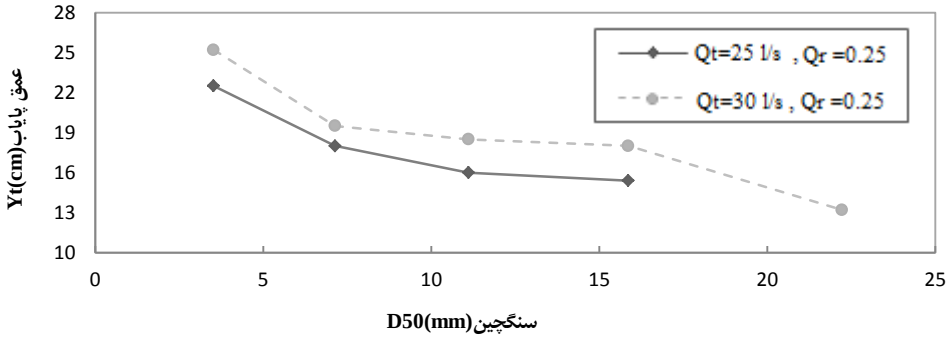


شکل۱۳- تأثیر سرعت پایاب بر قطر ذرات سنگچین($Gs = 1.61$, $Q_t = 25lit/s$)

تأثیر سرعت پایاب(V_t) بر قطر ذرات سنگچین(D_{50})

به منظور مشاهده تأثیر سرعت آب پایین‌دست تلاقی روی اندازه قطر ذرات سنگچین که در آستانه حرکت می‌گیرد با توجه به شکل‌های (۱۱) تا (۱۳)، مشاهده می‌شود که در هر نسبت دبی ثابت (Q_r)، با افزایش سرعت پایاب، اندازه قطر سنگچین که در آستانه حرکت قرار گرفته است افزایش می‌یابد. همچنین به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با کاهش نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی در بالادست (Q_r)، سرعت جریان در پایین‌دست تلاقی جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر هر چه نسبت دبی افزایش یابد، آستانه حرکت ذرات سنگچین در سرعت کمتری رخ می‌دهد. زیرا با افزایش نسبت دبی کانال فرعی به دبی کانال اصلی

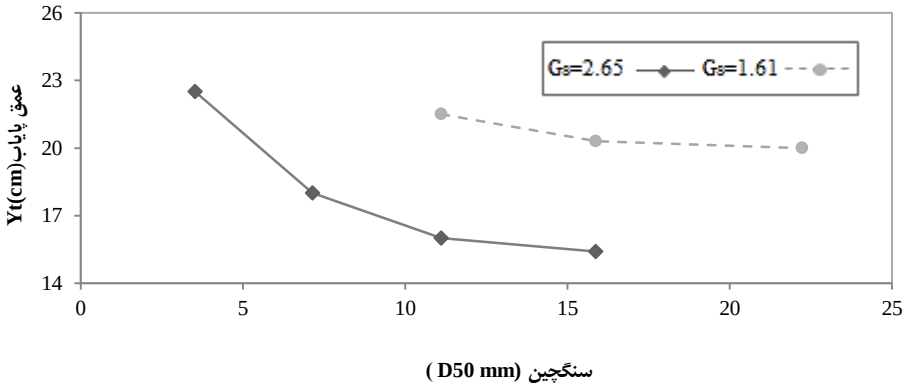
قبل از تلاقی، مومنتم و سرعت جریان در کانال فرعی افزایش یافته و برآیند نیروهای وارد بر ذرات بستر در محل تلاقی تغییر می‌کند، این امر نقشی کمکی در حرکت ذرات ایفا کرده و بنابراین آستانه حرکت ذرات (یا آستانه شکست) در سرعت (V_t) کمتری اتفاق می‌افتد.



شکل۱٤- تغییرات اندازه متوسط ذرات سنگچین در برابر عمق پایین دست تلاقی ($G_s = 2.65$)

جدول ۱- تأثیر عمق و سرعت پایاب بر قطر ذرات سنگچین و بررسی روند تغییرات عدد فرود جریان

Q_r	$Y_t\ (cm)$	$(V_t)_C(^m/_S)$	$D_{50}\ (mm)$	f_r
۰/۵	۲۶/۳	۰/۴۶	۳/۵۳	۰/۲۹
۰/۵	۱۹/۸	۰/۶۱	۱۱/۱۱	۰/۴۴
۰/۵	۱۹/۵	۰/۶۲	۱۵/۸۷	۰/۴۵
۰/۵	۱۷/۳	۰/۶۹	۲۲/۲۳	۰/۵۳
۱/۵	۲۸/۷	۰/۴۲	۳/۵۳	۰/۲۵
۱/۵	۲۳/۱	۰/۵۱	۱۱/۱۱	۰/۳۴
۱/۵	۲۲/۵	۰/۵۴	۱۵/۸۷	۰/۳۶
۱/۵	۱۹/۵	۰/۶۲	۲۲/۲۳	۰/۴۵



شکل۱۵- تغییرات اندازه متوسط ذرات سنگچین در برابر عمق پایین دست تلاقی

در ادامه برای بررسی کمی تأثیر عمق و سرعت بر قطر ذرات سنگچین و چگونگی تغییر عدد فرود جریان در این حالت‌ها، مشاهدات و اندازه گیری‌های انجام شده در دبی کل ۳۰ لیتر بر ثانیه و با چگالی نسبی ۲/۶۵ در شرایط آستانه حرکت با دو نسبت دبی ۰/۵ و ۱/۵ برای مقایسه در جدول (۱) آورده شده است. همان طور که انتظار می‌رود با افزایش فرود جریان، قطر سنگچین افزایش یافته است. میزان کمی این افزایش از داده‌های جدول (۱) قابل مشاهده است.

تأثیر دبی کل (Q_t) بر قطر ذرات سنگچین (D_{50})

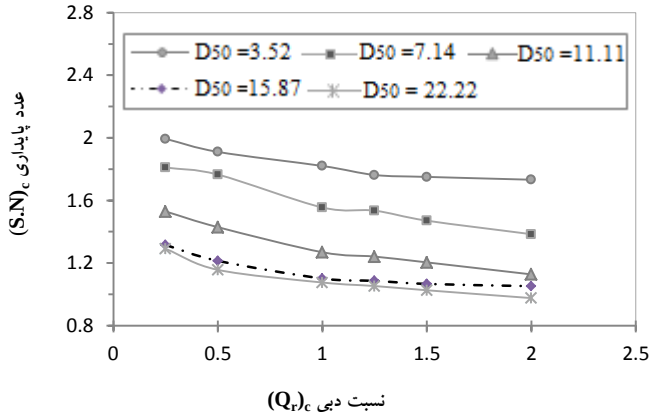
به منظور مشاهده تأثیر دبی کل روی اندازه قطر ذرات سنگچین که در آستانه حرکت می‌گیرد با توجه به شکل (۱۴)، به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با افزایش دبی کل (Q_t)، عمق جریان در پایین‌دست تلاقی جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می‌یابد بنابراین هر چه دبی کل افزایش یابد، آستانه حرکت ذرات سنگچین در عمق بالاتری رخ می‌دهد. همچنین به ازای عمق پایاب ثابت، با افزایش دبی کل، ذرات سنگچین با اندازه قطر بزرگتر در آستانه حرکت قرار می‌گیرد(این نمودار به ازای نسبت دبی ۰/۲۵ رسم شده و برای سایر نسبتهای دبی، مشابه این حالت می‌باشد).

تأثیر چگالی (G_s) بر قطر ذرات سنگچین (D_{50})

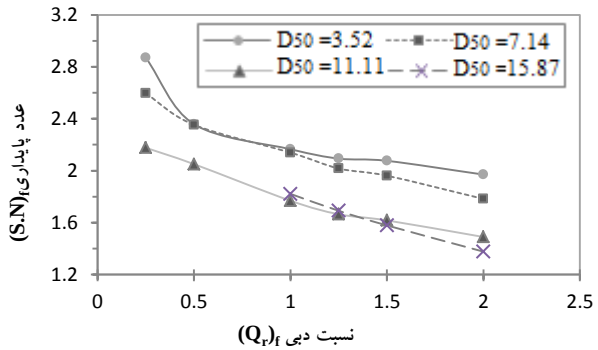
به منظور مشاهده تأثیر چگالی روی اندازه قطر ذرات سنگچین که در آستانه حرکت می‌گیرد در شکل (۱۵) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با کاهش چگالی (G_S)، عمق جریان در پایین‌دست تلاقی جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر هر چه چگالی کاهش یابد، آستانه حرکت ذرات سنگچین در عمق بالاتری رخ می‌دهد. همچنین به ازای عمق پایاب ثابت، با کاهش چگالی، ذرات سنگچین با اندازه قطر بزرگ‌تر در آستانه حرکت قرار می‌گیرد (نمودار به ازای نسبت دبی ۰/۲۵ و در حالت دبی کل برابر با ۲۵ لیتر بر ثانیه رسم شده است و برای سایر نسبت‌های دبی، مشابه این حالت می‌باشد).

تأثیر نسبت دبی (Q_r) بر عدد پایداری $(S.N)$

یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر پایداری ذرات سنگچین نسبت دبی شاخه فرعی به اصلی در بالادست تلاقی (Q_r)، می‌باشد. در اینجا اثر شش نسبت دبی، در دبی کل ۳۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. شکل های (۱۶) و (۱۷) تأثیر نسبت دبی را بر پایداری سنگچین در آستانه حرکت $(S.N)_c$ و آستانه شکست $(S.N)_f$ نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که، پس از برقراری جریان و شروع آزمایش مشاهده گردید، در دبی کل ۳۰ لیتر بر ثانیه و برای ذرات سنگچین با اندازه قطر ۱۵/۸۷ میلی متر در نسبت دبی‌های ۰/۲۵ و ۰/۵ حالت شکست رخ نداده است (شکل ۱۶). همچنین در همین دبی کل و اندازه ذرات ۲۲/۲۲ میلی متر در تمام نسبت دبی‌های مورد آزمایش حالت شکست مشاهده نگردید.



شکل۱۶- تغییرات S.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه حرکت $(G_S = 2.65 , Q_t = 30 lit/s)$



شکل۱۷- تغییراتS.N بر حسب تغییرات Q_r در آستانه شکست $(G_S = 2.65 , Q_t = 30 lit/s)$

جدول ۲- معادله‌های به دست آمده برای تخمین عدد پایداری(آستانه حرکت و آستانه شکست)

میانگین مربعات خطا(MSE)	ضریب تبیین(R^2) درصد	فرمول	شماره معادله	تعداد پارامتر مستقل
۰/۲۳۸	۱۶/۸۸	$(S.N)_c = 1.374(Q_r)_c^{(-0.104)}$	۵	۱
۰/۱۵۸	۶۳	$(S.N)_c = 0.751(Y_t/D_{50})_c^{0.202}$	۶	۱
۰/۳۰۹	۸۶	$(S.N)_c = 0.722(Y_t/D_{50})_c^{0.209}.(Q_r)_c^{(-0.119)}$	۷	۲
۰/۱۸۷	۶۱	$(S.N)_f = 1.91(Q_r)_f^{(-0.163)}$	۸	۱
۰/۲۷۲	۱۸	$(S.N)_f = 1.498(Y_t/D_{50})_f^{8.979}$	۹	۱
۰/۱۲۱	۸۴/۲	$(S.N)_f = 1.423(Y_t/D_{50})_f^{0.101}.(Q_r)_f^{(-0.169)}$	۱۰	۲

مشاهده می‌شود که صرف‌نظر از تأثیر اندازه ذرات سنگچین(D_{50})، با افزایش نسبت دبی (Q_r) عدد پایداری کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش نسبت دبی کانال فرعی به دبی کانال اصلی قبل از تلاقی، مومنتم و سرعت جریان در کانال فرعی افزایش یافته و برآیند نیروهای وارد بر ذرات بستر در محل تلاقی تغییر می کند که این امر نقشی کمکی در حرکت ذرات ایفا کرده و بنابراین آستانه حرکت ذرات (و یا آستانه شکست) در سرعت (V_t) کمتری اتفاق می افتد و بر اساس رابطه عدد پایداری (عدد فرود ذره)، باکاهش سرعت (V_t) ، عدد پایداری کاهش می‌یابد. همچنین در یک (Q_r) ثابت مشاهده گردید که علیرغم بالاتر بودن سرعت آستانه حرکت (و یا آستانه شکست) در ذرات با قطر بزرگ تر، عدد پایداری روند کاهشی داشته است زیرا تأثیر افزایش قطر ذره بیش از تأثیر
افزایش سرعت آستانه حرکت ثبت شده برای آن ذره بوده، در نتیجه موجب کاهش عدد پایداری شده است.

پیش‌بینی اندازه سنگچین پایدار

با توجه به توضیحات فوق، بین عدد پایداری(متغیر وابسته) و هر یک از پارامترهای بدون‌بعد (متغیرهای مستقل) از طریق نرم‌افزار دیتا فیت، یک ارتباط آماری مشخص و ضرائب تعیین گردید. با توجه به ضرایب همبستگی و رگرسیون ، ارتباط آماری مهمی بین $(S.N)_c$ به عنوان پارامتر وابسته و $(Q_r)_c$ به عنوان پارامتر مستقل و همچنین بین $(S.N)_f$ و $\left(\frac{Y_t}{D_{50}}\right)_f$ عملاً مشاهده نمی‌شود. همچنین مشاهده می‌گردد که به ازای در نظر گرفتن دو پارامتر به عنوان متغیر مستقل، ضریب همبستگی نسبت به حالت یک متغیره افزایش داشته است. برای این تحلیل رگرسیونی ۸۰ درصد داده‌ها برای استخراج معادله و ۲۰ درصد باقیمانده جهت صحت سنجی معادله استفاده شده است که نتایج این تحلیل در جدول (۲) در حالت آستانه حرکت و آستانه شکست نشان داده شده است.

در نهایت با بررسی جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت که معادله یک پارامتری با همبستگی قوی (معادله ۸) به دلیل سادگی می‌تواند برای تخمین عدد پایداری استفاده گردد، اما افزایش ضریب همبستگی در حالت دو پارامتری نسبت به حالت یک پارامتری قابل توجه می‌باشد به همین دلیل ترکیب دو پارامتری (معادله ۱۰) برای تخمین عدد پایداری دقیق‌تر می‌باشد. همچنین معادله‌های (۵) و (۹) با توجه به پایین بودن ضریب همبستگی، معادلات دقیقی جهت تخمین اندازه

ذرات سنگچین نمی‌باشند. یکی از اهداف اصلی این تحقیق، تخمین قطر سنگچین پایدار در تلاقی رودخانه‌ها می‌باشد؛ لذا به دلیل اینکه در سمت راست معادله (۸) پارامتر D_{50} به کار نرفته است این معادله می‌تواند مناسب‌ترین رابطه جهت تخمین قطر سنگچین برای آستانه شکست باشد. با استفاده از معادله (۷) و (۱۰) نیز می‌توان با یک آزمون و خطای ساده قطر سنگچین پایدار در حالت آستانه حرکت و آستانه شکست را تخمین زد.

نتیجه گیری

در هر نسبت دبی ثابت (Q_r)، با کاهش عمق پایاب، اندازه قطر سنگچین که در آستانه حرکت قرار گرفته است افزایش می‌یابد. به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی در بالادست (Q_r)، عمق پایاب جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می‌یابد. در هر نسبت دبی ثابت (Q_r)، با افزایش سرعت پایاب، اندازه قطر سنگچین که در آستانه حرکت قرار گرفته است افزایش می‌یابد. به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با کاهش نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی در بالادست (Q_r)، سرعت جریان در پایین‌دست تلاقی جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می-یابد. به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با افزایش دبی کل (Q_t)، عمق جریان در پایین‌دست تلاقی جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر هر چه دبی کل افزایش یابد، آستانه حرکت ذرات سنگچین در عمق بالاتری رخ می‌دهد. به ازای عمق پایاب ثابت، با افزایش دبی کل، ذرات سنگچین با اندازه قطر بزرگ‌تر در آستانه حرکت قرار می‌گیرد. به ازای هر اندازه قطر سنگچین ثابت، با کاهش چگالی (G_s)، عمق جریان در پایین‌دست تلاقی جهت آستانه حرکت ذرات افزایش می‌یابد. به ازای عمق پایاب ثابت، با کاهش چگالی، ذرات سنگچین با اندازه قطر بزرگ‌تر در آستانه حرکت قرار می‌گیرد.

منابع

۱- محمود شفاعی بجستان ۱۳۸۷، مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز،۵۶۰ ص.

2- Borghei, S.M. and A. Jabbari. 2010. Local scour at open channel junction. Journal of Hydraulic Research, 48(4): 538-542.

3- Dordevic', D. 2011. Numerical investigation of the confluence hydrodynamics. Ph.D. Dissertation, University of Belgrade, Belgrade, 382p.

4- Dordevic', D. 2012. Application of 3D numerical models in confluence hydrodynamics modeling. p.1153-1163. In E.D. Martin (ed.) Proceedings of the International Conference on Water Resources, 17-22 june,2012. University of Illinois at Urbana Champaign.

5- Ghobadian, R. and M. Shafai Bejestan. 2007. Investigation of sediment patterns at river confluence. Journal of Applied Sciences, 7(10): 1372-1380.

6- Ghobadian, R. 2012. Prediction of progressive penetration of scour hole into the tributary channel in laboratory channel confluences. Journal of Applied Sciences, 12: 289-295.

7- Gurram, S. K., Karki, K. S. and W.H. Hager. 1997. Subcritical junction flow. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 123(5): 447-455.

8- Jabari Sahebari, A. 2008. The pattern of erosion and sedimentation in the intersection junction channels with different angles. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Sharif University.

9- Shafai Bejestan, M, and M. Hemmati. 2008. Scour depth at river confluence of unequal bed level. Journal of Applied Sciences, 8(9): 1766-1770.