

بررسی آزمایشگاهی اثر شکل دماغه یک آب‌شکن عمود بر ساحل در فرسایش و رسوبگذاری بستر دانه‌ای تحت تاثیر جریان‌های موازی ساحل

بابک امین‌نژاد^{۱*}، سعیدرضا صباغ یزدی^۲، مجتبی صانعی^۳

۱- دانش آموخته دکتری مهندسی عمران-آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: babak1409@yahoo.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: SYazdi@kntu.ac.ir

۳- عضو هیات علمی و استادیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: mojtabasaneie@yahoo.com

تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۸۹

*نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۸۸

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۸۹، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

بستر نواحی کم‌عمق مجاور مناطق عمیق با جریان‌های قوی موازی ساحل در معرض تغییر و تحول قرار داشته و کارهای مهندسی برای رژیم انتقال رسوب و تغییر شکل بستر پهنه کم‌عمق ساحلی مورد نیاز است. در این مقاله سعی بر آن است تا با ایده گرفتن از فرسایش در سواحل سیل‌گیر رودخانه‌ها و تاثیر احداث آب‌شکن عمود بر ساحل در آنها، روند فرسایش در اثر جریان‌های شدید موازی مناطق ساحلی تشریح شود. برای این منظور اثر آب‌شکن منفرد عمود بر ساحل که حدود سیزده درصد از عرض ناحیه کم عمق ساحل را می‌پوشاند بر الگوی جریان در یک مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این آزمایشات از اثر شیب بستر، تغییر دانه‌بندی، وجود صخره و ناهمواری‌های ناگهانی، نامنظمی‌های ساحل و شیب کناره آب‌شکن صرف‌نظر شده است. هدف اصلی این تحقیق بررسی آزمایشگاهی اثر سه شکل مستطیل، دوزنقه و نیم‌دایره برای دماغه انتهایی سازه یک آب‌شکن عمود بر ساحل بر تشکیل میدان سرعت و الگوی کلی تغییر ریخت‌شناسی بستر سواحل با رسوبات دانه‌ای توسط مدل‌سازی فیزیکی است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی آزمایشگاهی، تاثیر شکل دماغه آب‌شکن، الگوی تغییر ریخت‌شناسی، بستر دانه‌ای، جریان موازی ساحل

۱. مقدمه

فرسایش سواحل آبراهه‌ها، باعث خسارت به اراضی کشاورزی، تاسیسات مجاور و عریض شدن آبراهه جریان می‌شود. علاوه بر آن، رسوب‌گذاری در پایین‌دست باعث بروز مشکلات عدیده‌ای در دهانه‌ی رودخانه‌ها، سواحل دریاها و اسکله‌ها می‌شود که خود از مسایل و معضلات بنادر به‌خصوص در حواشی خورها، خلیج‌ها و رودخانه‌ها است. به‌طور کلی ساحل، منطقه‌ی تماس بین دریا و خشکی است. اصطلاح ساحل برای مساحت بین حداکثر مد و پایه پرتگاه‌های ساحلی در سواحل مرتفع و برای

منابع طبیعی از جمله خاک و آب و به‌طور کلی عناصر بوم‌سامانه به‌عنوان بستر حیات طبیعی و اقتصادی هر کشور و در زمره ذخایر زیستی جهان به‌شمار می‌آیند. لذا در بسیاری از کشورها، به تناسب میزان رشد فرهنگی و اقتصادی، از آنها همانند گوهری ارزشمند و میراث طبیعی برای پایداری تولید در همه زیربخشهای کشاورزی و نیز بقای نسل‌ها حفاظت می‌نمایند.

توسط احداث سازه‌های عرضی یا آب‌شکن، در طول ساحل فرسایش‌پذیر انجام می‌شود.

به‌طور کلی، آب‌شکن‌ها سازه‌هایی هستند که از کرانه‌ی جریان با زوایای مختلف نسبت به خط ساحلی و به‌صورت موازی، عمود یا مورب نسبت به ساحل تا فاصله‌ای به سمت درون بستر جریان امتداد می‌یابند. شکل ۱ نمونه‌ای از یک‌سری آب‌شکن عمود بر ساحل را نشان می‌دهد که برای محافظت از ساحل ساخته شده‌اند. در این شکل؛ خطوط سیاه بازه‌های ۱ و ۲ فواصل بین آب‌شکن‌های موجود قبلی هستند که برای پایداری ساحل احداث شده‌اند. خط آبی رنگ نشان دهنده بازه ۵ بین آب‌شکن‌های قدیم و آب‌شکن جدید است که به‌منظور حفاظت بیشتر سواحل در احداث شده است. ناحیه‌ی زرد رنگ (بازه‌های ۳ و ۴)؛ ناحیه‌ای است که رسوب‌گذاری در آنها صورت گرفته است. ناحیه ۶ که با خط سبز رنگ مشخص شده است ناحیه مغروق بدون رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد.



شکل ۱- آب‌شکن‌های احداث شده (عمود بر ساحل) برای تثبیت سواحل نیوجرسی، آمریکا [Giovannozzie et al., 2003]

آب‌شکن‌ها الگوی جریان را به‌طور محسوسی تحت تأثیر قرار می‌دهند. خطوط جریان با نزدیک شدن به سازه‌ی آب‌شکن آرایش خود را تغییر داده و به تبعیت از ساختار هندسی، نوع سازه (آب‌شکن نفوذپذیر یا غیرقابل نفوذ) و سایر مشخصات فنی، الگوهای متفاوتی از جریان در دماغه و میدان آب‌شکن پدیدار می‌شود. به‌طور خلاصه عملکرد آب‌شکن‌ها را می‌توان به این صورت بیان کرد که سازماندهی یک بازه‌ی مشخص به‌وسیله

نواحی واقع بین حداقل جزر و بالاترین مرز پیشروی امواج طوفان نیز به‌کار می‌رود. عرض ساحل در همه مناطق یکسان نیست و به پارامترهای متعددی بستگی دارد و در برخی مناطق چون شرق آمریکا عرض سواحل بیشتر و در نواحی مانند دریای مدیترانه، عرض سواحل کم است. اگرچه عواملی چون رسوب‌گذاری، فعالیت آتش‌فشانی، مرجان‌ها و تغییرات سطح آب دریاها در پیدایش انواع سواحل مؤثرند، اما عواملی چون موج، جزر و مد، جریان دریایی، یخچال طبیعی و باد نیز پیوسته سواحل را تغییر می‌دهند. برخی سواحل هموار و پست هستند، در حالی که در برخی دیگر صخره وجود دارد. به‌دلیل اهمیت سواحل، که برخی مواقع اقتصاد یک منطقه و یا حتی یک کشور نیز به سواحل و بنادر آن وابسته است، حفاظت و پایداری آنها اهمیت فراوانی پیدا می‌کند. خطوط ساحلی در مقابل فرسایش (آب‌شستگی) و صدمات ناشی از جریان‌های شدید موازی ساحل آسیب‌پذیر هستند. برای مقابله با جریان‌های موازی خط ساحلی؛ یکی از روش‌های متداول، استفاده از سازه‌هایی به شکل آب‌شکن برای پایداری خط ساحلی است. طراحی و فواصل نصب این سازه‌ها، معمولاً به‌گونه‌ای است که رسوب‌گذاری بین دو آب‌شکن صورت می‌گیرد.

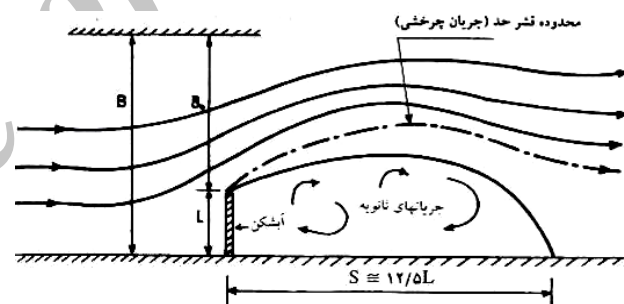
راه‌های شناخته شده متداول جهت جلوگیری از فرسایش کناره‌ها، تثبیت سواحل است. در این روش؛ برای حفاظت سواحل در مقابل جریان‌های موازی با ساحل (اندرکنش امواج نامنظم با ساحل)، از دو روش می‌توان استفاده کرد. راه اول حفاظت دیواره‌ها در مقابل عوامل مهاجم است. راه دوم آن است که عامل مهاجم را به‌گونه‌ای تغییر داد، و اثر مخرب آنرا محدود و یا از بین برد. که برای انجام این روش، با ایجاد سازه‌هایی الگوی جریان را به‌گونه‌ای تغییر داد که اثر مخرب بر سواحل نداشته باشد. روش‌های حفاظت سواحل به دو گروه روش‌های حفاظت مستقیم و روش‌های حفاظت غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. در روش‌های حفاظت مستقیم از ابزارهایی استفاده می‌گردد که این ابزارها با حایل قرار دادن خود میان دیواره و جریان آب، کناره‌های جریان را از خطر فرسایش محافظت می‌کنند. منظور از روش غیرمستقیم؛ عملیاتی است که در داخل رودخانه و آبراهه با هدف کاهش نیروی فرسایشی جریان انجام می‌شود. این امر با دور کردن جریان از مجاورت کناره‌ها و کوشش در جهت رسوب‌گذاری جریان در مقابل کناره‌ها تحقق می‌یابد. در روش غیرمستقیم تثبیت سواحل با جریان‌های قوی موازی خط ساحلی

الگوی جریانی که به یک مانع برخورد می‌کند، در اثر تغییر ناگهانی مسیر سرعت‌ها و تمرکز تنش باعث آب‌شستگی آن محل می‌شود. همچنین آب‌شستگی از نظر وضعیت حمل بستر به دو نوع آب‌شستگی در حالت آب زلال (صاف) و بستر زنده یا متحرک تقسیم‌بندی می‌شود. آب‌شستگی در حالت آب صاف، در صورت عدم انتقال رسوب توسط جریان به‌داخل حفره آب‌شستگی رخ می‌دهد و به شرایطی اطلاق می‌شود که مصالح بستر بالادست محدوده‌ی آب‌شستگی در جای خود ثابت باشند. یعنی تنش‌های برشی بستر کمتر از تنش برشی بحرانی یا آستانه برای آغاز حرکت ذرات باشد، در حالی‌که آب‌شستگی بستر زنده زمانی است که حفره‌ی آب‌شستگی به‌طور مستمر با رسوب به‌وسیله‌ی جریان ورودی تغذیه می‌شود و حمل رسوب عمومی بستر توسط جریان وجود داشته باشد.

سوابق پژوهش بر روی محدوده‌ی جریان در آب‌شکن‌ها محدود است. Ahmad (۱۹۵۳) از اولین کسانی بود که بر روی پدیده‌ی آب‌شستگی مطالعات و تحقیقات مدون و با ارزشی انجام داد. *Garde et al.* (۱۹۶۱)، Gill (۱۹۷۲) و Ranga Raju (۲۰۰۱) Kothiyari & Toch & Ahmad (۱۹۵۳)، Laursen (۱۹۵۶)، Bradley & Izzard (۱۹۵۷) عنوان کردند که حداکثر عمق آب‌شستگی به اندازه رسوب بستگی دارد. احمد، گارده و همکاران و گیل دریافتند که نرخ آب‌شستگی برای رسوبات ریز سریع‌تر از رسوبات درشت، است. Dey & Barbhuiya (۲۰۰۴) آزمایشاتی در مورد مطالعه اثرات لایه مسلح نازک در عمق آب‌شستگی آب‌شکن‌ها انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عمق آب‌شستگی در یک آب‌شکن و با یک لایه‌ی مسلح در شرایط آب‌شستگی آب زلال تحت پایداری محدود ذرات سطحی (سرعت جریان حدوداً مساوی سرعت بحرانی برای آستانه حرکت ذرات سطحی) همیشه نسبت به حالت بدون لایه‌ی مسلح برای همان رسوبات بستر، بیشتر است. Melville (۱۹۹۲، ۹۵، ۹۷) روشی را در تخمین عمق آب‌شستگی در آب‌شکن‌ها بر اساس روابط تجربی که شامل ضرایب مختلف است، ارائه کرد. هر ضریب، تأثیر عمق جریان، اندازه آب‌شکن، شدت جریان، خصوصیات رسوب، شکل آب‌شکن و خصوصیات هندسی کانال را در عمق آب‌شستگی ارائه می‌کند. تأثیر سرعت جریان یعنی U در رابطه پیش‌بینی آب‌شستگی به‌شکل عدد فرود جریان یا سرعت برشی (Fr) یا سرعت برشی (u_*) گنجانده می‌شود. *Garde et al.*

جذب، تغییر شکل یا دور ساختن جریان در یک کانال، ایجاد یک جریان آرام به‌منظور رسوب‌گذاری جریان در نزدیکی آب‌شکن، محافظت از سواحل و آبراهه با دور نگه داشتن جریان از آن، تشکیل و ایجاد دیواره ساحلی جدید بعد از پر شدن محدوده‌ی بین آب‌شکن‌ها (به‌وسیله‌ی رسوب)؛ ممانعت از حمله‌ی جریان قوی موازی ساحل به حاشیه‌ی حوزه آبی را از جمله دلایل احداث آب‌شکن‌ها ذکر کرد.

ایجاد فرسایش در دماغه و یا در امتداد بدنه‌ی آب‌شکن و همچنین رسوب‌گذاری در محدوده‌ی بین دو سازه از نوع و ویژگی الگوی جریان پیروی می‌کند. علاوه بر آن؛ تعیین فاصله و طول آب‌شکن‌ها و همچنین امتداد نسبت به خط ساحلی و به‌طور کلی بسیاری از مشخصه‌های فنی مستلزم توجه به الگوی جریان ایجاد شده در محدوده‌ی آب‌شکن است. در شکل ۲ چگونگی تأثیر آب‌شکن منفرد بر آرایش خطوط جریان آبراهه نشان داده شده است. فاصله آب‌شکن‌ها تأثیر عمده‌ای بر الگوی جریان و به تبع آن نحوه رسوب‌گذاری در میدان آب‌شکن دارد.



شکل ۲- آب‌شکن و تشکیل جریان ثانویه

جریان اطراف یک آب‌شکن بسیار پیچیده است و این پیچیدگی با گسترش یک حفره‌ی آب‌شستگی به‌علت جدایی جریان با تشکیل گرداب سه بعدی جریان در دماغه‌ی آب‌شکن‌ها افزایش می‌یابد. لذا احداث آب‌شکن‌ها در مسیر جریان‌های ساحلی مناطق کم‌عمق ممکن است آب‌شستگی (کاهش تراز بستر جریان آب) را به‌خصوص نزدیک دماغه (نوک) این سازه‌های ساحلی ایجاد نماید. این پدیده ممکن است پایداری سازه‌های ساحلی همچون آب‌شکن‌های عمود بر خط ساحلی را به خطر اندازد.

آب‌شستگی زمانی اتفاق می‌افتد که رسوبات ورودی به جریان از خروجی کمتر باشد. آب‌شستگی موضعی ناشی از اثر سازه‌ای مانند آب‌شکن؛ بر الگوی جریان در آن محل است. یعنی

جریان $U/(gh)^{0.5}$ ، عمق جریان و l طول عرضی یا پیش‌آمدگی طولی آب‌شکن هستند.
(۲) برای آب‌شکن‌های با دیواره قائم:

$$d_s / h = 2.15 \left(\frac{l}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33} + 0.3 \quad (2)$$

ملویل (۱۹۹۲، ۱۹۹۷، ۱۹۹۵) روشی را در تخمین عمق آب‌شستگی در آب‌شکن‌ها بر اساس روابط تجربی که شامل ضرایب مختلف است، ارائه کرد. هر ضریب، تأثیر عمق جریان، اندازه‌ی آب‌شکن، شدت جریان، خصوصیات رسوب، شکل آب‌شکن و خصوصیات هندسی کانال را در عمق آب‌شستگی ارائه می‌کند. معادله ارائه شده به‌صورت زیر است:

$$d_s = K_{hl} K_l K_d K_s K_\theta K_G \quad (3)$$

در این معادله، K_{hl} ضریب عمق جریان- طول آب‌شکن، K_l ضریب شدت جریان، K_d ضریب اندازه ذره، K_G ضریب هندسی کانال، K_s ضریب شکل آب‌شکن، K_θ ضریب جهت آب‌شکن و d_s عمق تعادل آب‌شستگی در رسوبات یکنواخت هستند. او نشان داد که برای آب‌شکن‌های کوتاه ($l/h \leq 1$)، عمق آب‌شستگی با طول آب‌شکن مدل‌سازی می‌شود درحالی‌که برای آب‌شکن‌های طولی ($l/h \geq 25$)، عمق آب‌شستگی با عمق جریان مدل‌سازی می‌شود. برای سایر آب‌شکن‌ها $1 < l/h < 25$ ، عمق آب‌شستگی نسبتی از $(hl)^{0.5}$ است. بنابراین مطابق با یافته‌های ملویل (۱۹۹۲)، ضرایب منظور شده برای عمق آب‌شستگی و اندازه آب‌شکن به‌صورت روابط زیر است:

$$K_{hl} = 2l \quad (l/h \leq 1) \quad (4)$$

$$K_{hl} = 10h \quad (1 < l/h < 25) \quad (5)$$

$$K_{hl} = 2(hl)^{0.5} \quad (l/h \geq 25) \quad (6)$$

کانداسمی و ملویل در سال ۱۹۹۸ رابطه‌ی (۷) را برای حداکثر عمق آب‌شستگی در آب‌شکن‌هایی که به‌صورت عمود بر جریان قرار داده شده‌اند، توسعه دادند، که در معادله آنها $K_2=5$ و $n=1$ برای $h/l \leq 0.04$ و $K_2=1$ و $n=0.5$ برای $0.04 < h/l < 1$ و $K_2=1$ و $n=0$ برای $h/l > 1$ است.

$$d_s = K_s k_2 h^n l^{1-n} \quad (7)$$

در کار حاضر برای بررسی اثر آب‌شکن در نحوه فرسایش و رسوبگذاری نواحی کم عمق ساحل، آب‌شکن ۲۰ سانتیمتری عمود بر ساحل (که حدود ۱۳٪ از عرض ناحیه کم عمق ساحل را می-

RajaratnaM & Nwachkwu، (۱۹۸۳) Zaghoul، (۱۹۶۱) و (۱۹۸۳) Froehlich و (۱۹۸۹) عدد فرود جریان را در تحلیل‌های خود در نظر گرفتند. گارده و همکاران در سال ۱۹۶۱ به این نتیجه رسیدند که عدد فرود جریان در کانال‌های طبیعی، به‌قدر کافی تأثیر سرعت جریان را در حداکثر عمق آب‌شستگی اعمال می‌کند. Kandasamy (۱۹۸۹) نشان داد که عمق آب‌شستگی به‌دلیل در نظر گرفتن عدد فرود جریان، با افزایش عمق جریان، افزایش می‌یابد. Dongol (۱۹۹۴) یک سری آزمایشات گسترده برای مطالعه تأثیر سرعت جریان در عمق آب‌شستگی در پایه‌های بالی شکل و دیوار قائم تحت شرایط بستر زنده برای رسوبات یکنواخت و غیر یکنواخت اجرا کرد. آب‌شستگی آب زلال زمانی رخ می‌دهد که نسبت سرعت جریان (U) به سرعت بحرانی یعنی (U_c) برای رسوبات بستر، کوچکتر از یک باشد، یعنی $U/U_c \leq 1$ در حالی‌که آب‌شستگی بستر زنده زمانی رخ می‌دهد که $U/U_c > 1$ باشد.

مطابق تحقیقات لارسن در سال ۱۹۵۲، عمق جریان یعنی h از دیگر عوامل مهم در تعیین عمق آب‌شستگی محسوب می‌شود. بعد از آزمایش‌های کانداسمی در سال ۱۹۸۹، نشان داده شد که در جریان‌های کم عمق، عمق آب‌شستگی به‌طور نسبی با h افزایش می‌یابد ولی وابستگی به L (طول آب‌شکن) را نشان نمی‌دهد. از سوی دیگر برای اعماق متوسط جریان، عمق آب‌شستگی به هر دو پارامتر h و L وابستگی دارد. ملویل در سال ۱۹۹۲ تفاوت بین آب‌شکن‌های کوتاه و بلند را مشخص کرد. او به این نتیجه رسید که برای آب‌شکن‌های کوتاه ($l/h \geq 1$)، عمق آب‌شستگی به عمق جریان بستگی ندارد و برای آب‌شکن‌های بلند ($l/h \geq 25$)، عمق آب‌شستگی به عمق جریان بستگی دارد. با وجود نتایج به‌دست آمده، اغلب آب‌شکن‌ها نه خیلی بلندند و نه کوتاه.

براساس مطالعات روی مدل آزمایشگاهی، احمد (۱۹۵۳) رابطه‌ی (۱) را برای تخمین حداکثر عمق آزمایشگاهی در آب‌شکن‌ها ارائه کرد. که در آن عبارت k_2 است از ضریب وابسته به شدت جریان و زاویه انحراف آب‌شکن و q دبی در واحد عرض است.

$$d_s + h = k_2 q^{2/3} \quad (1)$$

لیو و همکاران (۱۹۶۱) آب‌شستگی را در آب‌شکن‌های قائم و شیب‌دار بررسی کردند و معادله (۲) را تحت شرایط آب‌شستگی آب زلال ارائه کردند. در معادلات آنها، عدد فرود

گرفت. آب‌شکن‌های مورد استفاده در این تحقیق نفوذناپذیر، غیرمغروق و متعادل بوده و از آب‌شکن‌های به طول ۲۰ سانتیمتر و عرض ۱۰ سانتیمتر و به صورت یک‌طرفه و تک استفاده شد.

بستر رسوبی جریان با استفاده از ضخامت ۲۵ سانتیمتری پوشش کف بستر کانال؛ به وسیله‌ی ماسه به قطر متوسط یک میلیمتر شبیه‌سازی شد. آزمایش‌ها با سه سرعت متوسط ۱۹/۵، ۲۴ و ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه و به مدت زمان ۲ ساعت انجام شد. آزمایش‌ها تحت شرایط جریان بدون رسوب از بالادست انجام شد، به طوری که تنش برشی جریان بالادست کمتر از تنش برشی بحرانی برای حرکت مواد بستر ماسه‌ای بوده است.

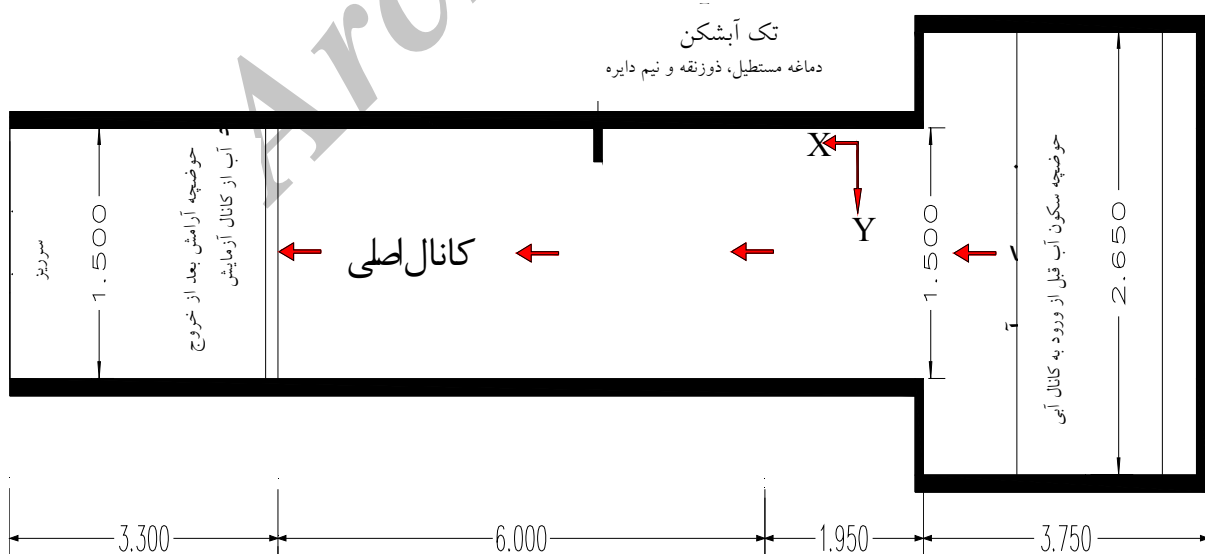
۳. نتایج آزمایشات

به منظور بررسی حداکثر میزان فرسایش و رسوبگذاری در اطراف و دماغه‌ی انتهایی آب‌شکن؛ از شکل‌های دماغه مستطیل، دوزنقه و نیم‌دایره شکل استفاده شد. مدل‌سازی آزمایشگاهی در سه سرعت جریان متنوع مورد آزمایش قرار گرفت که باعث ایجاد شرایط مختلف جابجایی و حرکت رسوبات و تغییر ریخت‌شناسی بستر شدند. در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب فرسایش و رسوب‌گذاری در اطراف آب‌شکن با شکل انتهایی مستطیلی، دوزنقه‌ای و نیم‌دایره‌ای برای سه سرعت متوسط ۱۹/۵، ۲۴ و ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه نشان داده شده است.

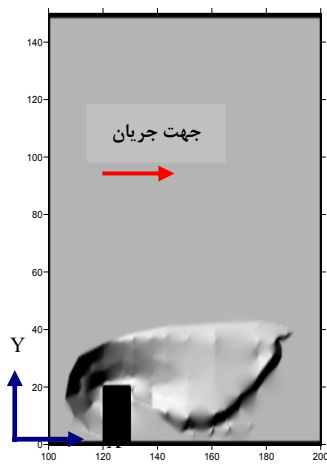
پوشاند) بر الگوی جریان در یک مدل فیزیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این آزمایشات از اثر شیب بستر، وجود صخره و ناهمواری‌های ناگهانی، نامنظمی‌های ساحل و شیب کناره آب‌شکن با توجه به فرض دور بودن دماغه آب‌شکن از ساحل صرف‌نظر شده است، و اثر سه شکل مستطیل، دوزنقه و نیم‌دایره برای انتهای سازه آب‌شکن در شکل‌دهی میدان جریان و تغییرات تراز بستر ساحل متشکل از مواد رسوبی دانه‌ای مناطق کم عمق توسط مطالعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی، الگوی آب‌شستگی تحت تاثیر سرعت موازی ساحل در نوک آب‌شکن بوده و از اثر امواج به دلیل دور از ساحل صرف‌نظر شده و با فرض اینکه آب‌شکن به اندازه‌ی کافی دور از ساحل بوده و اثرات ناشی از امواج کمتر است، این تحقیق انجام شده است.

۲. شرح مدل آزمایشگاهی

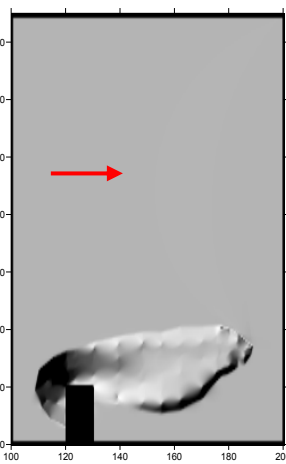
برای بررسی مطالعات هیدرولیکی و هندسی مربوط به آب‌شستگی، انجام آزمایشات در آزمایشگاه مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی در کانالی به طول تقریبی ۱۲ متر، عرض ۱۵۰ سانتیمتر و عمق ۶۰ سانتیمتر با شیب افقی ثابت برابر ۰/۰۰۱ انجام شد (شکل ۳). جنس دیواره کانال از نوع سیمانی بوده و طولی معادل ۶ متر از کانال برای انجام مستقیم آزمایش و اندازه‌گیری مورد استفاده قرار



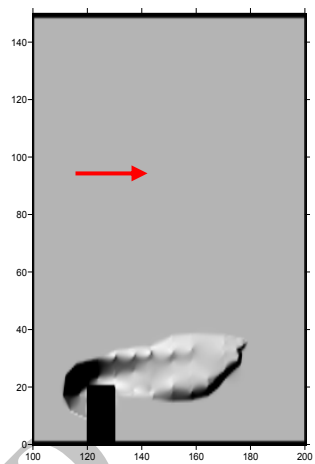
شکل ۳- کانال آزمایشات به صورت نمایشی (اندازه‌ها متر)



ج) سرعت ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه

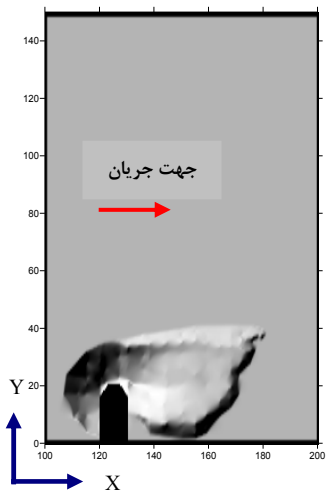


ب) سرعت ۲۴ سانتیمتر بر ثانیه

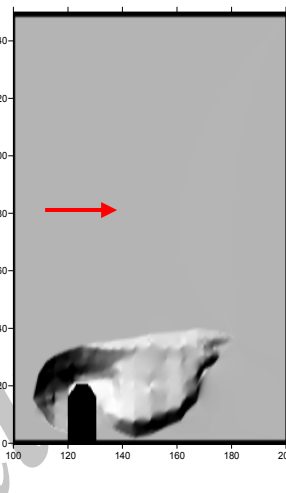


الف) سرعت ۱۹/۵ سانتیمتر بر ثانیه

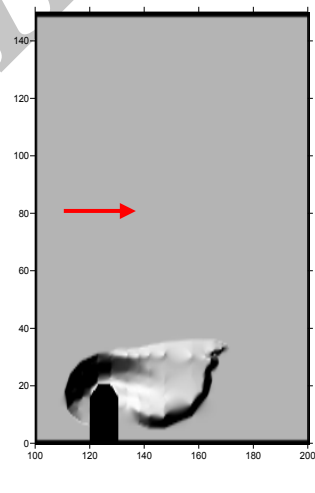
شکل ۴- فرسایش و رسوبگذاری در اطراف آب‌شکن با شکل انتهایی مستطیلی



ج) سرعت ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه

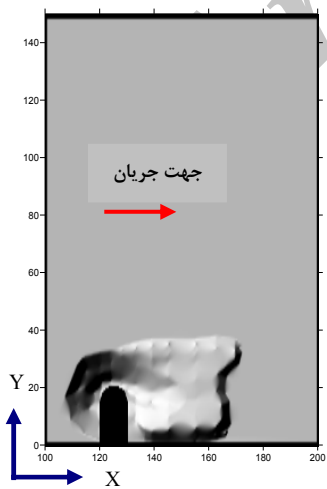


ب) سرعت ۲۴ سانتیمتر بر ثانیه

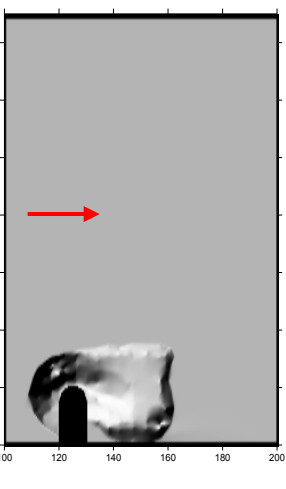


الف) سرعت ۱۹/۵ سانتیمتر بر ثانیه

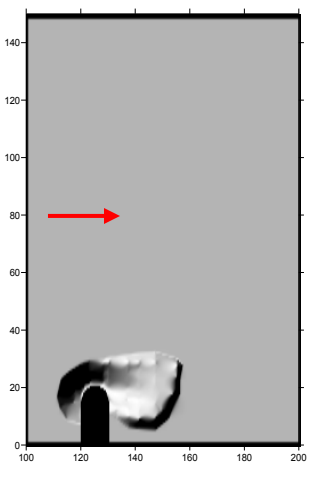
شکل ۵- فرسایش و رسوبگذاری در اطراف آب‌شکن با شکل انتهایی دوزنقه‌ای



ج) سرعت ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه



ب) سرعت ۲۴ سانتیمتر بر ثانیه



الف) سرعت ۱۹/۵ سانتیمتر بر ثانیه

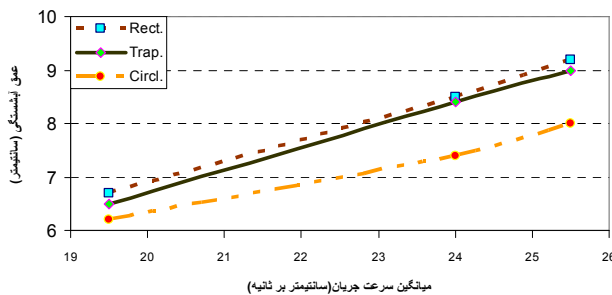
شکل ۶- فرسایش و رسوبگذاری در اطراف آب‌شکن با شکل انتهایی نیم‌دایره

۱-۳. تحلیل مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها

در شکل ۷ میزان آب‌شستگی آب‌شکن در سه شکل مستطیل، دوزنقه و دایره‌ای شکل و سه سرعت متوسط ۱۹/۵، ۲۴ و ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه در کانال؛ بر حسب عدد بی بعد فرود^۴ و عمق آب‌شستگی بر طول آب‌شکن (نسبی)، که از آب‌شکن به طول ۲۰ سانتیمتری استفاده شده است نشان داده می‌شود.

همچنین شکل ۸ میزان آب‌شستگی دماغه آب‌شکن به سرعت متوسط در کانال در آب‌شکن به طول ۲۰ سانتیمتر در سه شکل و سه دبی مختلف ذکر شده؛ را نشان می‌دهد.

مطابق شکل شماره ۸، حداکثر عمق آب‌شستگی آب‌شکن با دماغه دوزنقه‌ای به مقدار متناظر مربوط به دماغه‌ی آب‌شکن مستطیلی نزدیکتر است و تفاوت آب‌شستگی آب‌شکن دایره‌ای نسبت به دو شکل دیگر آب‌شکن، از نظر حداکثر میزان آب‌شستگی بیشتر است.

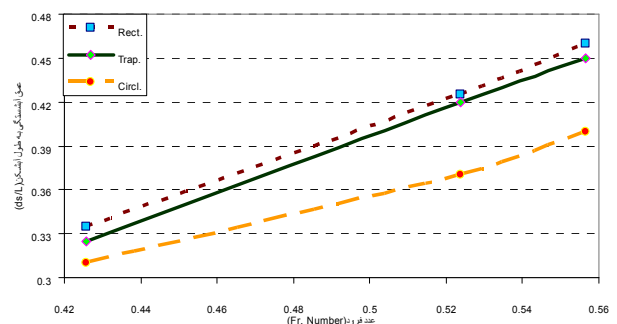


شکل ۸- آب‌شستگی دماغه‌ی آب‌شکن به سرعت متوسط جریان در کانال با آب‌شکن با طول ۲۰ سانتیمتر

در جدول شماره ۱، موقعیت وقوع حداکثر میزان آب‌شستگی دماغه‌ی آب‌شکن در برخورد جریان موازی با ساحل ارائه شده است. در این جدول، موقعیت آب‌شستگی هر شکل از دماغه به همراه میزان عمق حفره‌ی آب‌شستگی به ازای تغییرات سرعت متوسط در کانال نشان داده شده است. عمق حفره‌ی آب‌شستگی، به دلیل پایین‌افتادگی با علامت منفی در مقادیر نشان داده شده است.

با توجه نتایج جدول ۱ مشاهده می‌شود که موقعیت حداکثر میزان آب‌شستگی در بالادست محور طولی آب‌شکن بوده و نقطه وقوع آن برای آب‌شکن‌های با دماغه‌ی مستطیل شکل، تقاطع یال افقی و عمودی (گوشه) در بالادست آب‌شکن است. با در نظر گرفتن این موضوع که محل نصب آب‌شکن

آزمایش‌ها با استفاده از تک آب‌شکن به طول ۲۰ سانتیمتر و با اشکال دماغه مستطیل؛ دوزنقه و دایره‌ای شکل انجام شد. این طول از آب‌شکن در حدود ۱۳ درصد از ناحیه کم عمق ساحلی را پوشانده است. مشاهدات و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند که روند تاثیر متقابل جریان و بستر فرسایشی، با تقابل جریان بالادست و آب‌شکن شروع شده و ادامه می‌یابد و این موضوع تا زمانی که از تغییرپذیری هندسه‌ی کف بستر در تعادل با خصوصیات جریان متلاطم کاسته شود؛ ادامه دارد. در شروع آزمایش؛ در مدت زمان کوتاه، مقاومت جریان ناشی از حضور آب‌شکن سبب تغییر در توزیع عمق آب به صورت برگشت آب به سمت بالادست و ایجاد اختلاف قابل ملاحظه سطح آب در طرفین و دماغه‌ی آب‌شکن گردید و بلافاصله فرسایش شدید همراه با گردش ماسه در دماغه آب‌شکن و به سمت بالادست آب‌شکن مشهود بود، که وجود یک جریان گردابی قوی^۱ را در این ناحیه نشان می‌دهد. مواد فرسایشی به طور پیوسته و اغلب به صورت غلطش به سمت پایین دست کانال حمل گردید و به تدریج یک حفره آب‌شستگی^۲ در پیرامون آب‌شکن توسعه یافت. تجمع رسوبات در پایین دست آب‌شکن و گسترش تدریجی آن به سمت پایین، بار رسوبی بلندی در مجاورت دیواره‌ی کانال تا امتداد تقریبی طول ناحیه گردابی جریان^۳ در پایین دست را پدید می‌آورد.



شکل ۷- آب‌شستگی دماغه‌ی آب‌شکن، بر حسب عدد فرود و عمق آب‌شستگی نسبی به طول آب‌شکن با طول ۲۰

¹ Vortex
² Scour hole
³ Recirculating Flow Zone

⁴ Froude number

کانال اندازه‌گیری و سپس متوسط مقادیر برداشت شده به‌عنوان سرعت متوسط کانال لحاظ شد.

همچنین مطابق مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده در دماغه آب‌شکن که محل وقوع بیشترین عمق آبشستگی است؛ به ازای سرعت متوسط ۱۹/۵ سانتیمتر بر ثانیه در کانال، به دلیل تمرکز خطوط جریان در اثر تنگ‌شدگی مقطع؛ سرعت موضعی در نوک آب‌شکن افزایش یافته و به ۲۴ سانتیمتر بر ثانیه می‌رسد. در سری دوم آزمایش‌ها که سرعت متوسط در کانال به ۲۴ سانتیمتر بر ثانیه افزایش یافته است، مقدار سرعت موضعی نوک آب‌شکن نیز ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه و در نهایت در بیشترین سرعت مورد آزمایش در این سری از آزمایش‌ها که با سرعت متوسط ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه در کانال انجام شد، افزایش سرعت در دماغه آب‌شکن به ۲۸ سانتیمتر بر ثانیه رسیده است.

در شکل ۹ مقایسه‌ای بین داده‌های اندازه‌گیری شده از آزمایشات آبشستگی و روابط موجود تخمین آبشستگی به‌دست آمده از یافته‌های سایر محققین صورت گرفته است. مقادیر آبشستگی دریای برای آب‌شکن‌های با دماغه مستطیلی در این شکل مشاهده می‌شود. این شکل نشان می‌دهد که روند آبشستگی از دو روش رابطه لیو - همکاران و کاندامسی - ملویل با داده‌های آزمایشگاهی موجود تطابق نسبتاً خوبی داشته و با افزایش سرعت این مقادیر نیز افزایش داشته‌اند. مقادیر به‌دست آمده از رابطه لیو و همکاران در کمترین سرعت تطابق بهتری نسبت به سایر سرعت‌ها داشته ولی با افزایش سرعت؛ اختلاف بیشتر شده است ولی در مقادیر بدست آمده از رابطه کاندامسی - ملویل داده‌ها با افزایش سرعت به مقادیر آزمایشگاهی نزدیک شده‌اند. در نهایت، متوسط مجموع مقدار آبشستگی در سه سرعت فوق؛ از رابطه کاندامسی - ملویل در حدود ۲۰ درصد از مقادیر آزمایشگاهی دست بالا بوده و همچنین مجموع مقدار آبشستگی در سه سرعت ۱۹/۵، ۲۴ و ۲۵/۵ سانتیمتر بر ثانیه از داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی ۲۰ درصد کمتر است.

تغییر هندسه یکی از معضلات مهم سواحل است. آب‌شکن‌ها الگوی جریانهای ساحلی را به‌طور محسوسی تحت تأثیر قرار می‌دهند و در کاهش فرسایش و رسوب‌گذاری مناطق ساحلی موثرند. در مجموعه عملیات مهندسی حفاظت از سواحل، احداث آب‌شکن روشی متداول است. اما جریان‌های

در فاصله ۱۲۰ سانتیمتری و طول آن نیز ۲۰ سانتیمتر است و با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از جدول مشخص گردید که حداکثر میزان آبشستگی کنج بالادست است. مقادیر جدول نشان می‌دهند که در آزمون‌هایی که در آنها از دماغه‌های دوزنقه و دایره‌ای شکل استفاده شده‌اند، محل وقوع آبشستگی از اولین نقطه برخورد در بالادست (یعنی ۱۲۰ و ۲۰ سانتیمتری) به سمت پایین دست در بدنه آب‌شکن جابجا شده است. این موضوع ناشی از تاثیر شکل انحنایی دماغه آب‌شکن در هدایت جریان و تاثیر آن در نحوه شکل‌گیری خطوط جریان و تمرکز آنها در نقاط مختلف مجاور دماغه آب‌شکن است.

جدول ۱- موقعیت وقوع حداکثر میزان آبشستگی در شکل‌های مختلف آب‌شکن و با سرعت‌های مختلف جریان

شکل آب شکن	سرعت متوسط کانال(cm/s)	مختصات (cm)		
		X	Y	Z
مستطیل	۱۹/۵	۱۲۰	۲۰	-۶/۷
	۲۴	۱۲۰	۲۰	-۸/۵
	۲۵/۵	۱۲۰	۲۰/۵	-۸/۹
دوزنقه	۱۹/۵	۱۲۲/۵	۲۱	-۶/۵
	۲۴	۱۲۲	۲۱	-۸/۴
	۲۵/۵	۱۲۲	۲۱	-۸/۶
دایره	۱۹/۵	۱۲۱	۲۰/۵	-۶/۲
	۲۴	۱۲۲	۲۰	-۷/۴
	۲۵/۵	۱۲۱	۲۰/۵	-۸/۱

سرعت‌ها با استفاده از یک مولینه رقومی انجام شد. به‌علاوه، با توجه به اینکه سرعت غالب در کانال به‌صورت جریان موازی با ساحل بوده است، اندازه‌گیری سرعت‌ها در جهت اصلی جریان در طول کانال و در حدود ۰/۶ عمق آب برداشت شده است. زمان شروع اندازه‌گیری سرعت آب-شستگی؛ در هر آزمایش یک ساعت پس از آغاز آزمایش (به علت بستر دینامیک ناشی از آبشستگی و اثرگذاری در مقادیر سرعت، میانه مدت زمان انجام آزمایش آبشستگی به‌عنوان مبنای اندازه‌گیری انتخاب شد.) و محاسبه سرعت در میانگین زمانی ۱۰ ثانیه به‌وسیله مولینه و تعداد برداشت سرعت هر نقطه؛ به‌منظور اطمینان از نوسانات جزئی سرعت در پریرود زمانی ۱۰ ثانیه‌ای؛ ۶ مرتبه تکرار شده (مدت زمان کل اندازه‌گیری در یک نقطه، یک دقیقه) و سپس میانگین سرعت‌های برداشت شده به‌عنوان سرعت در هر نقطه از کانال گزارش شد. همچنین، مقادیر سرعت متوسط در کانال از ۶ نقطه مختلف در عرض

اندازه‌گیری مقادیر سرعت موضعی طولی (در جهت اصلی جریان) در کانال نشان می‌دهد که این مقادیر در مجاورت دماغه آب‌شکن افزایش می‌یابد و باعث ایجاد حداکثر میزان آب-شستگی در مجاورت دماغه آب‌شکن می‌شود.

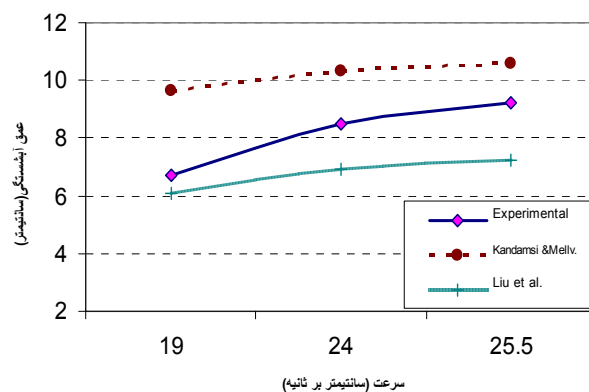
نتایج به دست آمده از آزمایشات نشان می‌دهد که میزان حداکثر عمق آب‌شستگی آب‌شکن با دماغه دایره‌ای به طور متوسط ۱۳ درصد کمتر از آب‌شکن با دماغه مستطیلی و همچنین میزان حداکثر عمق آب‌شستگی در مجاورت دماغه دایره‌ای شکل به طور متوسط ۱۰ درصد کمتر از آب‌شکن دوزنقه‌ای است.

بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی، حداکثر عمق آب‌شستگی برای آب‌شکن در مجاورت دماغه مستطیل شکل اتفاق می‌افتد و در گوشه بالادست دماغه این نوع آب‌شکن موقعیت نقطه وقوع حداکثر عمق آب‌شستگی کمترین فاصله را با سازه نشان می‌دهد. این واقعیت خطر سازی دماغه مستطیل شکل را برای پایداری سازه آب‌شکن گواهی می‌دهد.

منابع

- Kuhanle, A.; Alenso, V. and Douglas, F. 1999. Geometry of scour holes associated with 90 spurdisks. J. of Hyd. Eng. 129(9): 635- 646.
- Chang, F. and Davis, S. 1999. Maryland sha procedure for estimating scour at abutment, part1- live bed scour for estimating. 125(9): 350-362.
- Kothyari, U. C. and Ranga Raju, K. G. 2001. Scour around spur-dikes and bridge abutments. J. Hyd. Res. 39: 367-374.
- Mioduszewki, T. and Meano, s. 2003. Influence of the spur-dike permeable on flow & scouring during surge pass. J. of Hyd. Eng. 333: 397-402.
- Cardoso, A. H. and Bettess, R. 1999. Effects of time and channel geometry on scour at bridge abutments. J. Hyd. Eng. Am. Soc. Civ. En.
- Breusera, H. N. C. and Raudkivi, A. J. 1991. Scouring. 336-349.

پیچیده‌ای که در اطراف دماغه آب‌شکن‌ها پدید می‌آیند؛ ممکن است باعث بروز پدیده آب‌شستگی و تجمع رسوبات در پایین دست این سازه‌ها گردند. پدیده آب‌شستگی که تاثیر قابل ملاحظه‌ای؛ از شکل نوک سازه آب‌شکن می‌پذیرد، می‌تواند پایداری این سازه‌های مفید را نیز به خطر اندازد.



شکل ۹- مقایسه داده‌های آزمایشگاهی با نتایج به دست آمده از روابط سایر محققین

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در کار حاضر با انجام مدل‌سازی فیزیکی در آزمایشگاه، تلاش شده است تاثیر سه شکل مختلف (مستطیل، دوزنقه و نیم‌دایره) برای دماغه آب‌شکن در رفتار جریان و رژیم فرسایش و رسوبگذاری در اطراف سه آب‌شکن متوالی عمود بر خط ساحلی مورد شناخت و مقایسه قرار گیرد. آزمایش‌ها با استفاده از بستر بدون رسوب از بالادست و با استفاده از یک آب‌شکن عمود بر ساحل، که در حدود ۱۳٪ از عرض کانال را پوشانده است، مورد آزمایش قرار گرفت.

مشاهدات نشان می‌دهد که در نتیجه جریان برگشتی^۱ در پایین دست آب‌شکن، جریان در این ناحیه قابلیت حمل رسوبات را نداشته و ته‌نشست مواد رسوبی به صورت یک بار رسوبی حجیم و طولانی ظاهر می‌شود.

بررسی مشاهدات و اندازه‌گیری‌های گزارش شده در این مقاله نشان می‌دهد که کمترین میزان آب‌شستگی مربوط به مربوط به جریان با سرعت کم بوده است و با افزایش سرعت جریان، میزان آب‌شستگی نیز افزایش می‌یابد. اما حداکثر عمق و موقعیت آن برای اشکال مختلف دماغه متفاوت است.

^۱ Backward flow

- Rajaratnam, N. and Nwachukwu, B. A. 1983. Flow near groin-like structures. J. Hyd. Eng. ASCE. 463-480.
- Zaghloul, N.A. 1983. Local scour around spur-dikes. J. Hyd. Eng. 60: 123-140.
- Froehlich, D. C. 1989. Local scour at bridge abutments. Proc. Natl. Conf. Hyd. Eng. (New Orleans, LA: ASCE.). 13-18.
- Kandasamy, J. K. 1989. Abutment scour. Rep. No. 458. School of Engineering. University of Auckland. Auckland. New Zealand.
- Wong, W. H. 1982. Scour at bridge abutments. Rep. No. 275. School of Engineering. University of Auckland. New Zealand.
- Tey, C. B. 1984. Local Scour at bridge abutments. Rep. No. 329. School of Engineering. University of Auckland. Auckland. New Zealand.
- Dongol, D. M. S. 1994. Local scour at bridge Abutments. Rep. No. 544. School of Engineering. University of Auckland. Auckland. New Zealand.
- Kothyari, U.C. and Ranga Raju, K.G. 2001. Scour around spur-dikes and bridge abutments. J. Hyd. Res. 39: 367-374.
- Kandasamy, J. K. and Melville, B. W. 1998. Maximum local scour depth at bridge piers and abutments. J. Hyd. Res. 36: 183-197.
- Ahmad, M. 1953. Experiments on design and behavior of spur-dikes. Proc. Int. Hyd. 145-159.
- Barbhuiya, A. k. and Dey, S. 2004. Local scour: A review, Sadhana. 29 (5): 449- 476.
- Laursen, E. M. and Toch A. 1956. Scour around bridge piers and abutments. Bull. No. 4, Iowa Highways Research Board. Ames. Iowa
- Izzard, C. F. and Bradley, J. N. 1957. Field verification of model tests on flow through highway bridges and culverts. Proceedings, 7th Hydraulic Conference. Iowa.
- Garde, R. J.; Subramanya, K. and Nambudripad, K.D. 1961. Study of scour around spur-dikes. J. Hyd. Div. ASCE. 23-37.
- Gill, M. A. 1972. Erosion of sand beds around spur-dikes. J. Hyd. Div. ASCE. 1587-1602.
- Dey, S. and Barbhuiya, A. K. 2004a. Clear-water scour at abutments. Water Management. J. Proc. Inst. Civ. Eng. 77-97.
- Melville, B. W. 1992. Local scour at bridge abutments. J. Hyd. Eng. ASCE. 615-631.
- Melville, B.W. 1995. Bridge abutment scour in compound channels. J. Hyd. Eng. ASCE. 863-868.
- Melville, B.W. 1997. Pier and abutment scour: Integrated approach. J. Hyd. Eng. ASCE. 125-136.
- Giovannozzi, M. A.; Wise, R. A. and Stauble, D. 2003. Innovative shore protection structures at cape may point. New Jersey.