

بررسی آزمایشگاهی تأثیر درصد نفوذپذیری بر روی بیشینه عمق آبستگی در اطراف آبشکن‌های نوع باندا لایک

زهرا شجاعیان^{۱*}، سید محمود کاشفی پور^۲، سید حبیب موسوی جهرمی^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۲۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.shojaeian64@gmail.com

چکیده

باندا لایک‌ها نوعی از سازه‌های محلی هستند که در بنگلادش نزدیک به شبه‌قاره هند به‌منظور بهبود کشتی‌رانی در رودخانه‌های آبرفتی احداث می‌گردند. این سازه یک نوع جدید از آبشکن هست که به‌صورت ترکیبی از یک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر ساخته می‌شود. آبستگی موضعی دماغه آبشکن، یکی از مسائل در طراحی این سازه‌ها هست که به‌علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی اتفاق می‌افتد. لذا تعیین عمق آبستگی در طراحی این سازه بسیار مهم هست. با توجه به تحقیقات اندک در زمینه آبشکن‌های نوع باندا لایک در این مطالعه به بررسی تأثیر درصد نفوذپذیری بر روی بیشینه عمق آبستگی در این‌گونه آبشکن‌ها پرداخته شده است. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با در نظر گرفتن ۴ درصد نفوذپذیری و ۴ دبی مختلف انجام گرفت. در همه آزمایش‌ها طول آبشکن (L) و نسبت فاصله به طول آبشکن ($\frac{S}{L}$) ثابت و به‌ترتیب برابر ۲۰ درصد عرض کانال و ۳ در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیشینه عمق آبستگی در اطراف آبشکن‌های بسته به مراتب بیشتر از باندا لایک‌ها هست. کمترین مقدار کاهش عمق نسبی آبستگی در باندا لایک‌ها نسبت به آبشکن بسته ۳۴/۱۶٪ هست که این مقدار کاهش در نفوذپذیری ۳۰٪ و عدد فرود ۰/۲۴ و بیشترین مقدار ۹۴/۸۲٪ هست که در نفوذپذیری ۶۴٪ و عدد فرود ۰/۱۸ محاسبه شده است.

واژه‌های کلیدی: آبستگی آب زلال، آبستگی موضعی، آبشکن باندا لایک، آبشکن نفوذپذیر، حفاظت ساحل رودخانه

Experimental Study of the Effect of Permeability Percentage of Bandal Like Spur Dike on Maximum Depth of Scour Hole

Z Shojaeian^{1*}, SM Kashefipour², SH Mosavi Jahromi²

Received: 4 February 2014 Accepted: 14 June 2014

¹- Ph.D. student. Hydraulic Structures Dept, Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran University, Iran

²- Prof., Hydraulic Structures Dept, Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran University, Iran

Corresponding Author, Email: z.shojaeian64@gmail.com

Abstract

Bandal like structures are used in the Indian Sub-Continent like Bangladesh as a local structure to maintain the navigability of the channel in alluvial rivers. This structure is a new type of spur dike with is made as a combination of permeable and impermeable spur dike. Local scouring in the nose of this structure is a designing problem of it that happens because of section constriction and strong vortexes. So determination of scour depth in designing of this structure is very important. There are few researches on Bandal Like spur dike, so in this research effect of spur dike permeability on maximum depth of scour hole around it was investigated. The experiments were conducted clear water conditions with the main variables of permeability percentage (4 cases) and four different discharges. For all experiments the spur length (L) and spurs relative spacing (S/L) were kept constant as 20% of the flume width and 3, respectively. The results showed that the maximum scour hole depth for the impermeable spur was much higher than that for Bandal Like. The minimum and maximum reductions on relative scour depth for Bandal Like spurs in comparison with the impermeable spur were calculated as 34.16% for permeability of 30%, at Froud-Number of 0.24 and 94.82% for permeability of 64%, at Froud-Number of 0.18, respectively.

Keywords: Bandal Like spur dike, Local scouring, Permeable spur dike, River bank protection, Scouring of clear water

گردابی در اطراف آن خواهد شد. این جریان‌های گردابی به‌همراه تمرکز شدید سرعت‌ها و آشفتگی در دماغه بالادست، مکانیزم اصلی آبشستگی موضعی به‌حساب می‌آیند. پارامترهای مختل فی نظیر طول، فاصله، شکل دماغه، جنس مصالح، زاویه نسبت به جهت جریان و

مقدمه

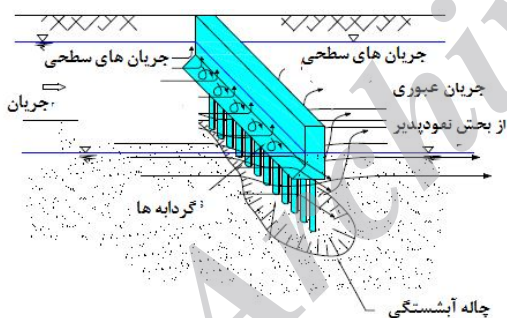
آب‌شکن‌ها، سازه‌هایی هستند که به‌صورت عرضی از ساحل رودخانه به‌طرف وسط آن تا فاصله- ای امتداد می‌یابند. احداث سازه‌هایی نظیر آب‌شکن در مقابل جریان، باعث ایجاد جریان آشفته چرخشی و

نفوذپذیر و نفوذناپذیر استفاده کردند. آبشکن‌های مورد استفاده در این تحقیق حالت غیرمستغرق داشته و در طرفین کانال تعبیه شدند. بر اساس آزمایش‌ها صورت گرفته آبشکن‌های نفوذپذیر مانع از فرسایش کناره‌های ساحل شده و باعث گودشدن کانال اصلی گردیدند. ژانگ و ناکاگوا (۲۰۰۹) الگوی جریان و تغییرات بستر در حضور آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر را مورد بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی قرار دادند. آزمایش‌ها در یک فلوم مستقیم به طول ۸ متر، عرض ۰/۴ متر و عمق ۰/۴ متر و در شرایط آب زلال انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که نفوذپذیری تأثیر مهمی بر روی الگوی جریان و تغییرات بستر می‌گذارد. شبیه‌سازی عددی میدان جریان به کمک حل معادلات ناویر استوکس و به کارگیری مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ انجام شد. نتیجه آن نشان داد که در آبشکن نفوذپذیر، آبشستگی به دلیل جدایی جریان و گرداب‌های ایجاد شده بین میله‌ها هست. در صورتی که در آبشکن‌های نفوذناپذیر آبشستگی به دلیل جدایی جریان و گرداب‌های نعل اسبی ایجاد شده در پشت آبشکن می‌باشد. گو و همکاران (۲۰۱۱) با انجام آزمایش‌هایی به بررسی انتقال رسوبات معلق در کانال در حضور آبشکن‌های نفوذپذیر پرداختند. در این تحقیق تأثیر نسبت $\frac{S}{L}$ (فاصله بین آبشکن‌ها و L طول آبشکن) بر روی خصوصیات جریان و رسوب، ساختار جریان‌های ثانویه و غلظت رسوبات معلق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که رسوبات معلق بین آبشکن‌های نفوذپذیر به سمت پایین دست به صورت یکنواخت توزیع می‌شود همچنین با افزایش نسبت $\frac{S}{L}$ شدت تنش رینولدز افزایش می‌یابد. تراگوچی و همکاران (۲۰۱۱a, b) از یک مدل آزمایشگاهی جهت بررسی جریان آشفته و تغییرات بستر در اطراف آبشکن استفاده کردند. در این تحقیق از سه نوع آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندا لایک

نفوذپذیری می‌توانند در عملکرد آبشکن‌ها مؤثر باشند. محققان زیادی از حدود نیم قرن پیش روی تعدادی از این پارامترها، تحقیقاتی را به صورت آزمایشگاهی و یا در محل انجام داده و ارتباط بین پارامترها و حدود تغییرات آن‌ها را گزارش کرده‌اند. مککوی و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی میدان‌های جریان در اطراف و بین دو آبشکن عمودی در یک کانال باز مستقیم پرداختند که از خصوصیات جریان، جدایی‌های بزرگ، اختلاف فشار آشکار بین بالادست و پایین دست آبشکن و ایجاد گردابه‌های ناپایدار هست. آنان از روش عددی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده نموده و گزارش کردند که در جریان اصلی، گردابه‌های نعل اسبی ناپایدار در پایه آبشکن‌ها و در بالادست جریان ایجاد می‌گردد. همچنین جدا شدن لایه برشی در بالادست نوک آبشکن باعث تشکیل گردابه‌های بعدی می‌شود، که این گردابه‌ها در اندرکنش با گردابه‌های داخل دو آبشکن قابل تشخیص هست. سویرامانیا (۱۹۷۶) مطالعه‌ای روی آبشستگی اطراف آبشکن‌های بسته و آبشکن‌های باز انجام دادند. آن‌ها در یک کار آزمایشگاهی تأثیر درصد بازشدگی را روی مقدار عمق بیشینه آبشستگی اطراف آبشکن‌ها در دو قطر متوسط مصالح مختلف بررسی نمودند. درصدهای بازشدگی استفاده شده توسط آن‌ها ۲۵ و ۳۳ درصد با قطر متوسط مصالح ۰/۲ و ۰/۹ میلی‌متر بود. آن‌ها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که در مصالح با قطر متوسط ۰/۹ میلی‌متر آبشستگی اطراف آبشکن‌های باز به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از آبشکن بسته هست، در حالی که در مصالح ریزدانه تفاوت چندانی بین عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های باز و بسته وجود ندارد. همچنین به این نتیجه رسیدند که برای محافظت از دیواره رودخانه‌هایی که دارای مصالح شنی می‌باشند به کارگیری آبشکن‌های باز مفید هست. ژانگ و همکاران (۲۰۰۵) از یک فلوم آزمایشگاهی جهت بررسی جریان آشفته و تغییرات بستر در اطراف آبشکن‌های

خطوط جریان، جریان‌های گردابی با شدت کمتری به‌وجود می‌آید و در نتیجه آبشستگی موضعی محدودتر خواهد بود. آرایش ردیف پایه‌ها سبب افزایش مقاومت بستر همراه با توسعه جریان‌های چرخشی موضعی پیرامون پایه‌های منفرد گردیده و سبب کاهش سرعت جریان، کاهش انتقال رسوبات کف، ته‌نشست مواد رسوبی معلق درشت‌دانه، و جذب مواد شناور می‌گردد.

تراگوچی و همکاران (۲۰۱۱a) برای بهبود عملکرد این سازه، مرز بین قسمت نفوذپذیر و نفوذناپذیر را به‌صورت یک صفحه با زاویه ۳۰ درجه (زاویه دفلکتور) نسبت به محور عمودی قرار داد. این انحراف سبب کاهش قدرت جریان رو به پایین و در نتیجه کاهش فرسایش موضعی در اطراف سازه می‌گردد. شکل ۱ مدل مفهومی الگوی جریان در اطراف باندا لایک در حالت غیرمستغرق را نشان می‌دهد.



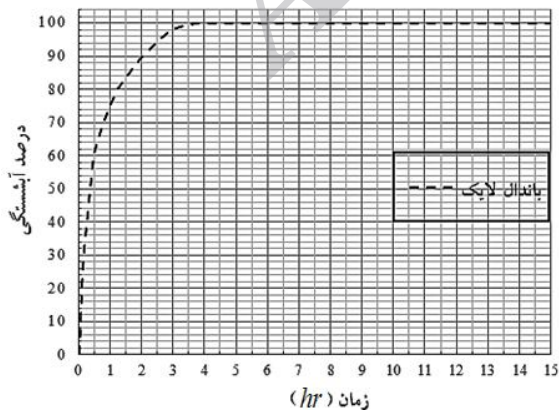
شکل ۱- الگوی جریان در اطراف باندا لایک در حالت غیرمستغرق (تراگوچی و همکاران ۲۰۱۱ a).

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر درصد نفوذپذیری سری آبشکن‌های نوع باندا لایک بر روی بیشینه عمق آبشستگی و توپوگرافی بستر هست. مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات کافی پیرامون سری آبشکن‌های باندا لایک است. به‌همین منظور، در این تحقیق با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی این-

استفاده کردند و توانستند با استفاده از یک مدل سه‌بعدی توزیع سرعت و رسوب‌گذاری را اطراف این سازه در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق بررسی کنند. نتایج آزمایش‌ها نشان‌دهنده بیشتر بودن بیشینه عمق آبشستگی در دماغه آبشکن نفوذناپذیر نسبت به آبشکن نفوذپذیر بود. درنهایت این محققان یک مدل سه‌بعدی جهت شبیه‌سازی جریان و آبشستگی در اطراف آبشکن ارائه کردند. آزمایش‌های مربوط به سازه باندا لایک در یک فلوم به‌طول ۱۰ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۲۸ متر (عمق منطقه آزمایش ۰/۴۵ متر) انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که این سازه در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر چاله آبشستگی کوچکتری را ایجاد می‌کند. همچنین به‌دلیل اینکه بخش پایینی سازه نفوذپذیر است رسوبات معلق از این بخش عبور کرده و در پایین‌دست سازه ته‌نشین می‌شوند. ازاین‌رو این سازه در رودخانه‌های آبرفتی می‌تواند کارآیی خوبی در جهت حفاظت از سواحل و بستر رودخانه داشته باشد. وطن فدا (۱۳۷۰) مطالعه‌ای روی عملکرد آبشکن‌های باز در زمینه رسوب‌گذاری انجام و مناسب‌ترین درصد آبشکن را از نظر رسوب‌گذاری در بین آبشکن‌ها موردبررسی قرارداد. میری (۱۳۷۸) مطالعه‌ای روی عملکرد آبشکن‌های باز یک ردیفه و دو ردیفه بر رسوب‌گذاری اطراف آبشکن‌ها انجام داد و به این نتیجه دست‌یافت که در آبشکن‌های یک ردیفه رسوب‌گذاری بیشینه در محدوده بازشدگی ۵۰ درصد و در آبشکن‌های دو ردیفه به‌ازای بازشدگی ۳۰ درصد صورت گرفته است. ساختار باندا لایک‌ها به‌عنوان یک سازه ترکیبی بسیار ساده است. خصوصیت اصلی سازه باندا لایک این است که قسمت بالایی آن مانند یک آبشکن نفوذناپذیر عمل می‌کند و با انحراف مسیر آب از دیواره‌ها به میانه رودخانه باعث توسعه جریان گردابی در کناره‌ها می‌گردد. قسمت پایین این سازه نیز مانند یک آبشکن نفوذپذیر عمل می‌کند و به‌علت عدم‌تغییر شکل ناگهانی

گرفت به طوری که پس از گذشت این مدت ۸۵ درصد آبستنگی نهایی حاصل شده و از این زمان به بعد سرعت رشد حفره آبستنگی بسیار کم می‌باشد (شکل ۲). همچنین به منظور فراهم آوردن شرایط آب زلال برای آزمایش‌ها، ابتدا آزمایش‌هایی برای تعیین سرعت بحرانی (V_c) رسوبات بستر ترتیب داده شد. در این تحقیق سازه باندا لایک طوری طراحی شده است که نصف ارتفاع سازه در بخش پایینی نفوذپذیر و نصف دیگر آن به صورت نفوذناپذیر هست. در شکل ۳ پلان فلوام آزمایشگاهی، محدوده بستر رسوبی به همراه سایر ضمایم و در شکل ۴ مشخصات آبشکن‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها ارائه گردیده است.

روش انجام آزمایش‌ها نیز به نحوی بود که ابتدا به منظور جلوگیری از شسته شدن رسوبات، دبی ورودی به کانال تا رسیدن به دبی مورد نظر به صورت کنترل شده وارد فلوام گردید. به این صورت که بعد از اینکه ارتفاع آب به حدود ۱۰ سانتی‌متر روی رسوبات رسید پمپ با دبی کم روشن و تدریجاً دبی به مقدار مورد نظر رسانده می‌شد سپس دریچه انتهایی تا اندازه‌ای باز می‌شد که رسوبات در کل منطقه مورد آزمایش در این دبی به حرکت درنیاید. سپس عمق مورد نظر در بالادست آبشکن تنظیم و آزمایش شروع می‌شد.



شکل ۲- گسترش آبستنگی با زمان در آزمایش تعادل.

گونه آبشکن‌ها در مسیر مستقیم، بیشینه عمق آبستنگی برای نفوذپذیری‌های مختلف آبشکن تعیین می‌گردد، ضمن اینکه عملکرد آن‌ها با شرایط متناظر در آبشکن‌های بسته غیرمستغرق مقایسه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. مشخصات فلوام آزمایشگاهی شامل ۷/۳۰ متر طول، ۰/۵۶ متر عرض، ۰/۶۰ متر ارتفاع دیواره‌ها، و شیب ثابت ۰/۰۲۸ هست. مصالح بستر با دانه‌بندی یکنواخت و با قطر متوسط ۰/۷ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۳ انتخاب گردید. در طی انجام آزمایش‌ها عمق جریان ۰/۱۶ متر و نسبت بازشدگی آبشکن‌ها به عنوان پارامتر متغیر، ۳۰٪، ۴۵٪ و ۶۴٪ در نظر گرفته شده بود. در هر آزمایش تعداد ۴ آبشکن به طول ۰/۱۱ متر با فاصله مساوی ۳ برابر طول آبشکن و عمود بر دیواره مورد استفاده قرار گرفت. برای دبی (Q)، چهار مقدار ۰/۰۲۰، ۰/۰۲۳، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۲۷ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد. دبی‌های در نظر گرفته شده معادل عددهای فرود به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۲۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ می‌باشند. به ازای دبی‌های مورد نظر در نفوذپذیری‌های مختلف باندا لایک، در شرایط آب زلال آزمایش‌ها انجام گردیده و پس از شرایط تعادل نسبی و زهکشی کامل، برداشت توپوگرافی بستر رسوبی در پیرامون آبشکن‌ها، شامل چاله فرسایشی^۱ و نیز در مقاطع مشخصی در پایین دست آبشکن‌ها صورت گرفت. برای این منظور از دستگاه فاصله‌سنج لیزری^۲ استفاده شد. به منظور یافتن زمان تعادل نسبی نیز آزمایش جداگانه‌ای به مدت ۱۵ ساعت انجام پذیرفت و مشخص گردید که می‌توان مدت زمان ۱۵۰ دقیقه را به عنوان زمان تعادل نسبی در نظر

¹- Scour hole

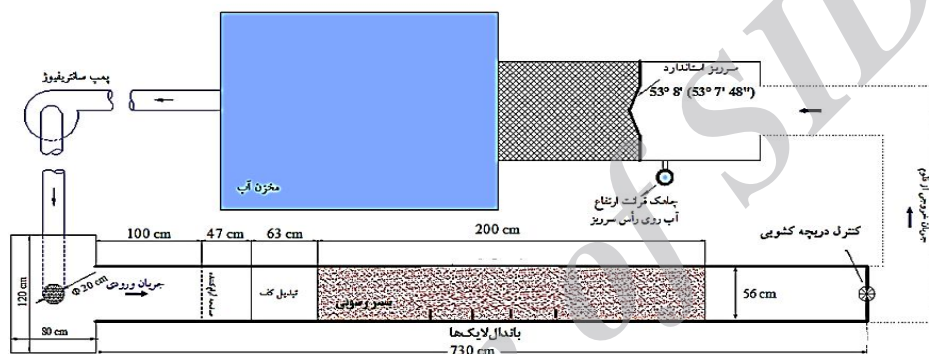
²- Laser distance meter

نتایج و بحث

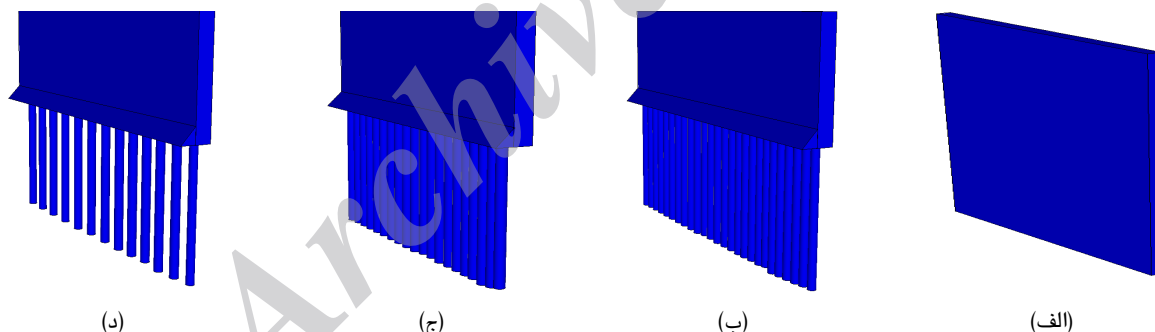
آب‌شکن تقریباً عمود بر جهت جریان و موازی با طول آب‌شکن به سمت محور فلوم حرکت کرده، پس از رسیدن به دماغه آب‌شکن که یک نقطه جدایی جریان محسوب می‌شود، جریان از دماغه آب‌شکن جدا شده و متمایل به محور فلوم به سمت پایین دست منحرف می‌گردد. جریان بعد از انحراف از دماغه آب‌شکن اول به دو بخش تقسیم می‌شود یک بخش به طرف وسط فلوم و بخش دیگر به طرف محدوده بین آب‌شکن‌ها جریان یافته و با جریان‌های گردابی میان آب‌شکن‌ها ترکیب می‌شود.

در این قسمت مروری بر مشاهدات انجام شده در حین آزمایش می‌شود و سپس نتایج حاصل از آزمایش‌ها، که نشان‌دهنده روند تغییرات بستر در اطراف آب‌شکن‌های سری است، ارائه می‌گردد.

در آب‌شکن‌ها عامل اصلی شروع آبشستگی در دماغه‌ها ناشی از افزایش سرعت و ایجاد گردابه‌های اولیه در دماغه آب‌شکن‌ها هست. نحوه شکل‌گیری آبشستگی هم بدین صورت است که جریان در رسیدن به اولین



شکل ۳- نمای پلان مدل آزمایشگاهی به همراه ضمایم.

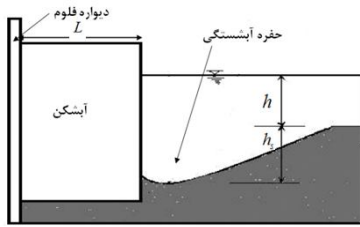


Model	Length of splitter (cm)	Height of splitter (cm)	Plate height (cm)	Flow acceptance rate (%)
(الف)	11	16	1	30
(ب)	11	16	8	45
(ج)	11	16	8	64
(د)	11	16	8	64

شکل ۴- آب‌شکن‌های مورد استفاده در تحقیق: (الف) آب‌شکن صلب، (ب) باندا لایک با درصد نفوذپذیری ۳۰٪، (ج) باندا لایک با درصد نفوذپذیری ۴۵٪، (د) باندا لایک با درصد نفوذپذیری ۶۴٪.

دماغه از آن جدا شده و به سمت محور فلوم پایین دست و به طرف محدوده بین آب‌شکن‌های بعدی منحرف می‌گردد. در نقطه جدایی جریان است که گردابه‌های اولیه

بخشی از جریان که در اثر این جریان‌های گردابی به بدنه آب‌شکن‌های بعدی رسیده در طول بدنه آن‌ها به سمت دماغه حرکت کرده، پس از رسیدن به



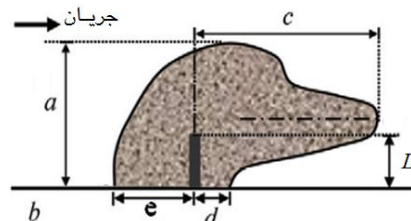
شکل ۶- نمای شماتیک آبستگي در دماغه آبشکن.

مقایسه $\frac{h_s}{h}$ در باندال لایک با آبشکن بسته در ردیف آبشکن اول

شکل ۷ تأثیر عدد فرود جریان را بر روی بیشینه عمق آبستگي در درصد نفوذپذیری‌های مختلف نشان می‌دهد. برای این منظور روند تغییرات بیشینه عمق آبستگي نسبی در هر نفوذپذیری در مقابل اعداد فرود متناظر با آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. از آنجا که بیشینه عمق آبستگي در مسیر مستقیم در ردیف آبشکن اول رخ می‌دهد، تغییرات بیشینه عمق آبستگي نسبی نسبت به عدد فرود در باندال لایک‌ها و آبشکن‌های بسته برای آبشکن اول ترسیم گردیده است. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود، مقدار بیشینه عمق آبستگي در آبشکن بسته تفاوت قابل‌توجهی با دیگر آبشکن‌ها دارد و با افزایش عدد فرود عمق بیشینه آبستگي افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش درصد نفوذپذیری در باندال لایک‌ها مقدار عمق آبستگي نسبی کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که به دلیل نفوذپذیر بودن قسمت پایینی سازه بخشی از جریان از این ناحیه عبور کرده و باعث ضعیف شدن جریان‌های رو به پایین و جریان‌های گردابی می‌شود و در نتیجه اغتشاشات کمتری در فضای بین آبشکن‌ها ایجاد می‌شود.

کمترین مقدار کاهش عمق نسبی آبستگي در باندال لایک‌ها نسبت به آبشکن بسته ۳۴/۱۶٪ هست که این مقدار کاهش در نفوذپذیری ۳۰٪ و عدد فرود ۰/۲۴ و بیشترین مقدار ۹۴/۸۲٪ هست که در نفوذپذیری ۶۴٪ و عدد فرود ۰/۱۸ رخ داده شده است. جدول ۱ درصد

باعث آبستگي دماغه‌ها شده و مصالح موجود در اطراف آن‌ها را به سمت پایین دست خود حرکت می‌داد. در آزمایش‌هایی که در بازشدگی صفر درصد انجام شد، پس از گذشت مدت‌زمانی از شروع آزمایش مشاهده گردید که رسوباتی که در دماغه آبشکن‌ها موجود بود به سطح جریان پرتاب شده و همراه جریان به پایین دست منتقل می‌شوند و این دلیل وجود جریان رو به پایین هست. این جریان حالت‌های جوشش و انفجاری را به وجود می‌آورد که اولاً باعث پرت شدن رسوبات به سطح جریان شده و سپس با توجه به شدید بودن حالت این جوشش در ابتدای آزمایش جریان پایین دست دماغه آبشکن‌ها کدر می‌شد. مقدار رسوبات پرت شده به سطح جریان در اطراف آبشکن اول به مراتب بیشتر از آبشکن‌های بعدی بوده، هم‌چنین رسوباتی که به سطح جریان پرتاب شده بودند پس از نزدیک شدن به سطح جریان انرژی آن‌ها از بین رفته و سقوط می‌کردند و جریان موجب حمل آن‌ها به پایین دست و فضای بین آبشکن می‌گردید که برخی از این ذرات در آبشکن اول تا مسافت حدود ۶۰-۷۰ سانتی-متر را پیموده و سپس ته‌نشین می‌شدند. شکل ۵ و ۶ به ترتیب پلان و نمای جانبی چاله آبستگي در اطراف آبشکن را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها h نشان‌دهنده عمق جریان، h_s بیشینه عمق آبستگي در دماغه آبشکن، L طول آبشکن و پارامترهای a, c, d, e بیانگر میزان گسترش آبستگي در جهت‌های مختلف هست. لازم به ذکر است که طول آبشکن در این تحقیق 11 cm یعنی ۲۰٪ عرض کانال در نظر گرفته شده است.



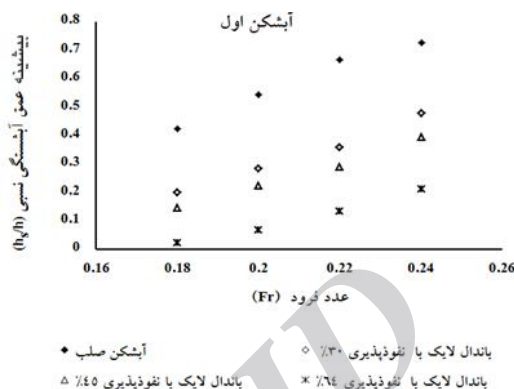
شکل ۵- پلان چاله آبستگي اطراف آبشکن.

۴۵	۰/۲۴	۴۵/۸۳
۶۴	۰/۱۸	۹۴/۲۸
۶۴	۰/۲۰	۸۷/۷۷
۶۴	۰/۲۲	۸۰
۶۴	۰/۲۴	۷۰/۸۳

در رابطه با آبشکن‌های دوم، سوم و چهارم می‌توان گفت که در آبشکن‌های بسته به علت برخورد جریان با آبشکن اول و انحراف آن به سمت محور فلوم، افزایش ناگهانی در سرعت جریان در محل دماغه این آبشکن به وجود می‌آید و با تشکیل یک جریان گردابی باعث آبشستگی بستر در این ناحیه می‌گردد، ولی در آبشکن‌های دوم به بعد حمله جریان کمتر متوجه دماغه آبشکن بوده و لذا میزان آبشستگی در محدوده دماغه این آبشکن‌ها به مراتب کمتر از آبشکن اول هست. در آبشکن‌های سوم و چهارم عمق آبشستگی تقریباً دارای روندی ثابت هست. در شکل ۸ مقادیر مثبت h_s / h نشان‌دهنده رسوب‌گذاری و مقادیر منفی بیان‌گر آبشستگی هست.

تأثیر سری باندا لایک‌ها بر تغییرات توپوگرافی بستر
 پس از اتمام هر آزمایش پروفیل آبشستگی و رسوب‌گذاری بستر در اطراف آبشکن‌ها برداشت می‌شد، پس از برداشت نتایج، جهت بررسی الگوی فرسایش اطراف آبشکن‌ها، خطوط هم‌تراز بستر ترسیم گردید که نمونه‌هایی از آن‌ها در شکل‌های ۹ تا ۱۲ دیده می‌شوند. هدف از این امر بررسی و پیش‌بینی وسعت چاله آبشستگی اطراف آبشکن‌ها هست که با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان می‌توان نسبت به طراحی و حفاظت از سازه آبشکن اقدام نمود.

کاهش عمق آبشستگی نسبی در باندا لایک‌ها نسبت به آبشکن صلب در اعداد فرود مختلف را نشان می‌دهد.



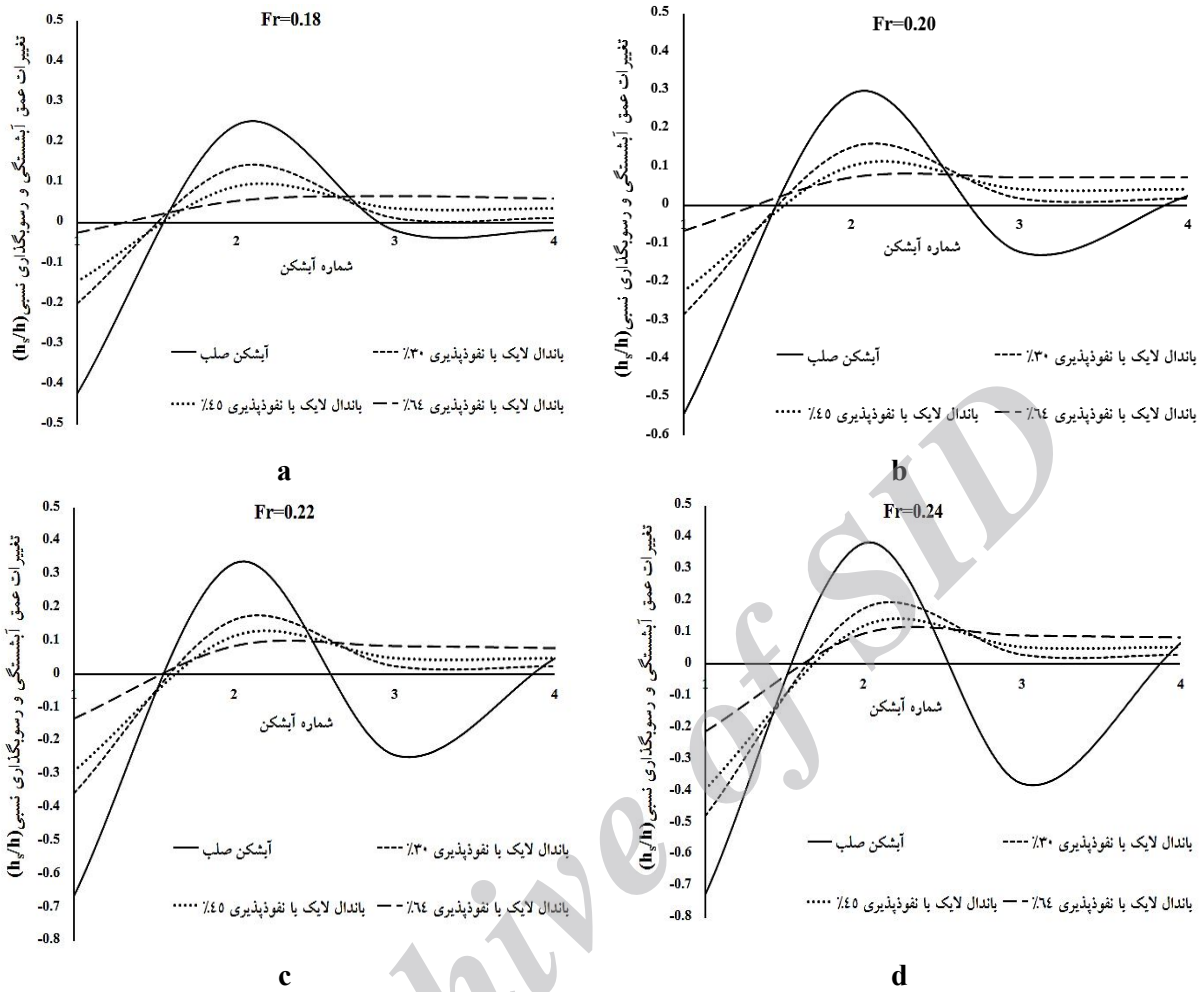
شکل ۷- تأثیر درصد نفوذپذیری باندا لایک بر تغییرات بیشینه عمق آبشستگی نسبی در آبشکن اول.

تأثیر سری باندا لایک‌ها بر روی بیشینه عمق آبشستگی نسبی

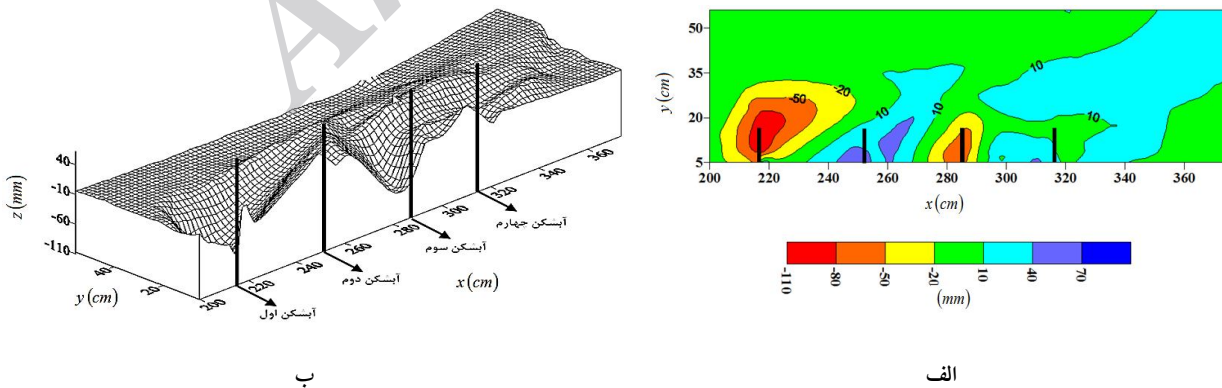
شکل ۸ تغییرات عمق آبشستگی و رسوب‌گذاری را برای سه درصد نفوذپذیری ۳۰٪، ۴۵٪ و ۶۴٪ و آبشکن صلب برای سری آبشکن در اعداد فرود متفاوت نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رود، در هر سری از آبشکن‌های هم‌شکل، بیشینه عمق آبشستگی در اطراف آبشکن اول مخصوصاً در دماغه آن رخ می‌دهد. هم‌چنین مقدار عمق بیشینه آبشستگی در آبشکن بسته تفاوت قابل‌توجهی با باندا لایک‌ها دارد.

جدول ۱- مقادیر درصد کاهش عمق آبشستگی نسبی در باندا لایک‌ها نسبت به آبشکن صلب.

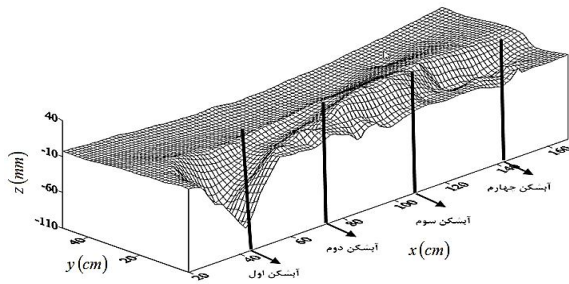
درصد کاهش عمق آبشستگی نسبی	عدد فرود	درصد نفوذپذیری
۵۲/۸۵	۰/۱۸	۳۰
۴۷/۷۷	۰/۲۰	۳۰
۴۶/۳۶	۰/۲۲	۳۰
۳۴/۱۶	۰/۲۴	۳۰
۶۵/۷۱	۰/۱۸	۴۵
۵۸/۸۸	۰/۲۰	۴۵
۵۶/۳۶	۰/۲۲	۴۵



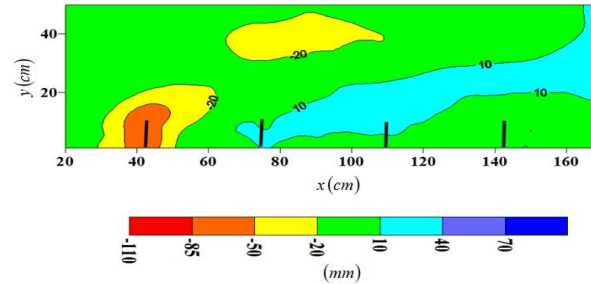
شکل ۸- تغییرات عمق آبشستگی و رسوبگذاری با میزان درصد نفوذپذیری در اعداد فرود متفاوت.



شکل ۹- خطوط هم‌تراز بستر (الف) و نمای سه‌بعدی تغییرات بستر (ب) اطراف سری آبشکن‌های صلب $(\alpha = 0.24)$ ، $Fr = 0.24$.

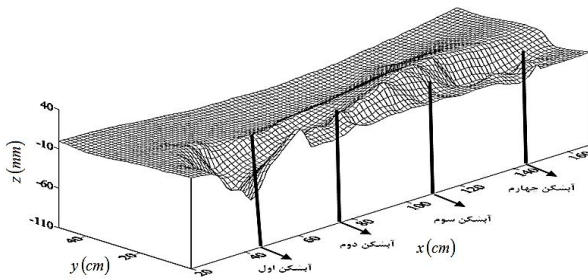


ب

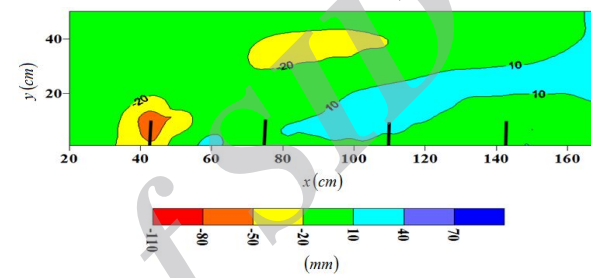


الف

شکل ۱۰- خطوط هم‌تراز بستر(الف) و نمای سه‌بعدی تغییرات بستر(ب) اطراف سری باندا لایک‌ها برای $\alpha = 30\%$ و $Fr = 0.24$.

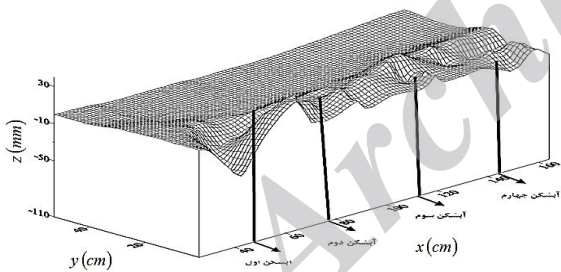


ب

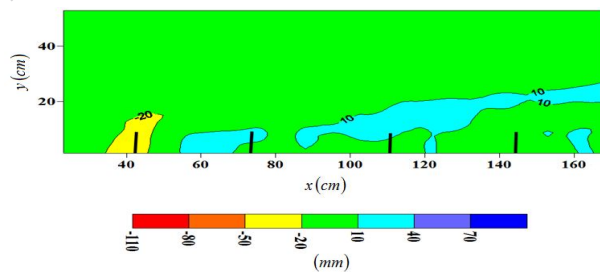


الف

شکل ۱۱- خطوط هم‌تراز بستر(الف) و نمای سه‌بعدی تغییرات بستر(ب) اطراف سری باندا لایک‌ها برای $\alpha = 45\%$ و $Fr = 0.24$.



ب



الف

شکل ۱۲- خطوط هم‌تراز بستر(الف) و نمای سه‌بعدی تغییرات بستر(ب) اطراف سری باندا لایک‌ها برای $\alpha = 64\%$ و $Fr = 0.24$.

زیاد است درحالی‌که در باندا لایک‌ها سرعت جریان در محدوده میان میله‌های آب‌شکن اول بیش از سرعت متوسط جریان در بالادست آن شده و در نتیجه آب‌سنگی موضعی در این ناحیه اتفاق می‌افتد ولی در محدوده میان آب‌شکن اول و دوم از میزان سرعت جریان کاسته شده و سرعت جریان در فاصله بین میله-

در آب‌شکن‌های بسته به علت انحراف کل جریان به سمت محور فلوم و افزایش ناگهانی سرعت موضعی در ناحیه دماغه آب‌شکن‌ها و ایجاد جریان‌های گردابی، سرعت جریان به شدت افزایش یافته و قدرت عمل رسوبات بستر، در این ناحیه بیشتر می‌شود و لذا بیشینه عمق آب‌سنگی در آب‌شکن‌های بسته بسیار

مربوط به آبشکن صلب و کمترین آن‌ها مربوط به نفوذپذیری ۶۴٪ است.

نتیجه‌گیری کلی

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر درصد نفوذپذیری سری آبشکن‌های نوع باندا لایک بر روی بیشینه عمق آبشستگی و توپوگرافی بستر بوده است که نتایج این تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌گردد:
 ۱- میزان آبشستگی در اطراف آبشکن‌های بسته به مراتب بیشتر از باندا لایک‌ها است.

های آبشکن دوم به مراتب کمتر از آبشکن اول هست و لذا آبشستگی کمتری در محدوده آبشکن دوم اتفاق می‌افتد. این مسأله در مورد آبشکن‌های سوم و چهارم نیز صادق بوده و به مرور به سمت پایین دست از میزان آبشستگی کاسته می‌شود و با افزایش درصد نفوذپذیری آبشکن، روند افزایش سرعت و به تبع آن تنش برشی جریان کندتر می‌شود. در جدول ۲ اثر درصد نفوذپذیری باندا لایک بر روی ابعاد چاله آبشستگی نشان داده شده است. با توجه به ابعاد ثبت شده در جدول بیشترین کشیدگی و عرض چاله

جدول ۲- نتایج مربوط به اندازه‌گیری ابعاد چاله آبشستگی در اطراف باندا لایک‌ها.

درصد نفوذپذیری آبشکن			
۰٪	۳۰٪	۴۵٪	۶۴٪
پارامترهای چاله آبشستگی			
۳۲	۲۱	۱۸	۱۴
a عرض چاله (سانتی‌متر)			
۱۴	۱۴	۱۰	۷
e بعد بالادست (سانتی‌متر)			
۸	۸	۵	۲/۵
d بعد پایین دست (سانتی‌متر)			
۳۲	۱۹	۱۲	۶
c کشیدگی چاله (سانتی‌متر)			

۴- در باندا لایک‌ها با درصد نفوذپذیری مختلف میزان رسوب‌گذاری بعد از اولین آبشکن و در اطراف آبشکن دوم بیشتر از بقیه آبشکن‌ها است.
 ۵- حجم رسوب‌گذاری و آبشستگی در آبشکن‌های بسته و باندا لایک‌ها با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد.
 ۶- پیشروی رسوب‌گذاری در آبشکن‌های سری بسته به مراتب بیشتر از باندا لایک‌ها است.

۲- کمترین مقدار کاهش عمق نسبی آبشستگی در باندا لایک‌ها نسبت به آبشکن بسته ۳۴/۱۶٪ است که این مقدار کاهش در نفوذپذیری ۳۰٪ و عدد فرود ۰/۲۴ و بیشترین مقدار ۹۴/۸۲٪ است که در نفوذپذیری ۶۴٪ و عدد فرود ۰/۱۸ رخ داده شده است.
 ۳- بیشترین کشیدگی و عرض چاله مربوط به آبشکن صلب و کمترین آن‌ها مربوط به نفوذپذیری ۶۴٪ است.

منابع مورد استفاده

میری م، ۱۳۷۸. بررسی و مقایسه عملکرد آبشکن‌های بسته و باز یک ردیفه و دو ردیفه با استفاده از مدل هیدرولیکی. دومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۲۵ - ۲۷ آبان، تهران.

وطن فدا ج، ۱۳۷۰. بررسی نسبت بهینه سطح بازشدگی به سطح کل آبشکن باز در مقابل جریان با استفاده از مدل هیدرولیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

- GU Z, Akahori R and Ikeda S, 2011. Study on the transport of suspended sediment in an open channel flow with permeable spur dikes. *International Journal of Sediment Research* 26(1): 96-111.
- McCoy A , Constantinescu SG and Weber L, 2006. Exchange processes in a channel with two vertical emerged obstructions. *Journal of Flow, Turbulence and Combustion* 77(1-4): 97-126.
- Subramanya, K, 1976. A comparative study of flow around solid and slotted spur dykes. Center of Water and Power Research Station, Diamond Jubilee Symposium 29-30 Nov, India.
- Teraguchi H , Nakagawa H, Kawaike K, Bans Y and Zhang H, 2011a. Effects of hydraulic structures on river morphological processes. *International Journal of Sediment Research* 26(3): 283-303.
- Teraguchi H, Nakagawa H, Kawaike K, Baba Y and Zhang H, 2011b. Alternative method for river training works: Bandal-like structures. *Annual Journal of Hydraulic Engineering JSCE* 55: 151-156.
- Zhang H, Nakagawa H, 2009. Characteristics of local flow and bed deformation at impermeable and permeable spur dykes. *Annual Journal of Hydraulic Engineering JSCE* 53: 145-150.
- Zhang, H, Nakagawa H, Ishigaki, T and Muto, Y, 2005. Prediction of 3D flow field and local scouring around spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 49: 1003-1008.

Archive of SID