



بر آورد عمق آب در لبه شیب‌شکن در کانالهای با مقاطع مختلف با استفاده از معادله انرژی

محمد کریم بیرامی^۱، محمد هیمن جنتی^۲، محمد رضا چمنی^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

bairami@cc.iut.ac.ir
h.jannaty@cv.iut.ac.ir
mchamani@cc.iut.ac.ir

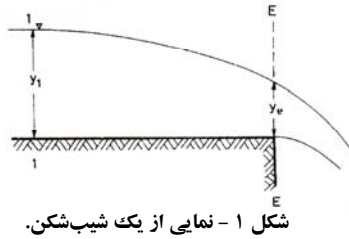
خلاصه

شیب‌شکن سازه‌ای است که در کانال‌های آبیاری، شبکه جمع آوری آب و فاضلاب، شبکه جمع آوری آبهای سطحی و در سربزه‌های پلکانی برای کنترل شیب کف کانال استفاده می‌شود. اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. معمولاً با اندازه‌گیری عمق آب در لبه‌ی شیب‌شکن، می‌توان دبی جریان را بدست آورد. در این مقاله با استفاده از معادله‌ی انرژی و با فرض تغییر خطی فشار از بالادست شیب‌شکن تا لبه‌ی شیب‌شکن، روش ساده‌ای ارائه شده است که به کمک آن می‌توان نسبت عمق آب در لبه‌ی شیب‌شکن به عمق بحرانی در کانال‌هایی با مقاطع مستطیلی، مثلثی و دوزنقه‌ای در حالت جریان زیربحرانی را بدست آورد، علاوه بر این نمودارهایی ارائه شده است که می‌توان به صورت مستقیم از عمق لبه‌ی شیب‌شکن، دبی در کانال را بدست آورد. مقایسه این روش با نتایج آزمایشگاهی دیگر محققان نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای مقطع مستطیلی کمتر از ۱/۵ درصد و برای مقطع مثلثی کمتر از ۱/۸ درصد با نتایج آزمایشگاهی دیگران اختلاف دارد.

کلمات کلیدی: شیب‌شکن، عمق بحرانی، لبه شیب‌شکن، معادله‌ی انرژی، وسایل اندازه‌گیری.

۱. مقدمه

شیب‌شکن سازه‌ای است که می‌توان از آن به عنوان یکی از وسایل اندازه‌گیری دبی جریان استفاده کرد. برای اندازه‌گیری دبی جریان در شیب‌شکن تئوری و مطالعات آزمایشگاهی زیادی انجام گرفته است. رز (۱۹۳۶)، دلر و همکاران (۱۹۵۶)، راجاراتنام و مورالیده‌هار (۱۹۶۷، ۱۹۷۶)، مارکلند (۱۹۶۵)، پیروگینی (۱۹۷۰)، هیگر (۱۹۸۳)، پالیگری و همکاران (۱۹۹۵)، فرو (۱۹۹۹) و بیرامی و همکاران (۲۰۰۶) مهم‌ترین مطالعات را بر روی عمق نسبی آب در لبه‌ی شیب‌شکن ($EDR = y_e / y_c$) و محاسبه دبی جریان انجام داده‌اند که y_e عمق در لبه شیب‌شکن و y_c عمق بحرانی است. رز (۱۹۳۶) با استفاده از معادله‌ی اندازه حرکت بین مقطع بالادست شیب‌شکن و مقطع جت سقوطی، رابطه‌ای برای عمق نسبی آب در لبه براساس عدد فرود بدست آورد. دلر و همکاران (۱۹۵۶) رابطه‌ای برای عمق نسبی آب در لبه‌ی شیب‌شکن (EDR) را با استفاده از معادله‌ی اندازه حرکت بین مقطع ($E-E$) و مقطع (۱-۱) و با فرض توزیع فشار یکنواخت در لبه‌ی شیب‌شکن بدست آوردند، شکل (۱). راجاراتنام و مورالیده‌هار (۱۹۶۷) با انجام آزمایش بر روی شیب‌شکن با مقاطع مختلف نشان دادند که برای جریان زیربحرانی، مقدار EDR با افزایش s/s_c به سرعت کاهش می‌یابد که s شیب کانال در مقطع بالادست شیب‌شکن و s_c شیب بحرانی کانال است. راجاراتنام و مورالیده‌هار (۱۹۷۶) با استفاده از معادله‌ی مانینگ و رابطه‌ی عدد فرود برای جریان فوق‌بحرانی، برای EDR یک روش تحلیلی ارائه کردند. پیروگینی (۱۹۷۰) عمق در لبه‌ی شیب‌شکن با مقطع مثلثی را بدست آورد. مارکلند (۱۹۶۵) و هیگر (۱۹۸۳) با استفاده از یافته‌های راجاراتنام و مورالیده‌هار، تئوری عمق لبه را برای جریان فوق‌بحرانی در کانال مستطیلی بدست آوردند. پالیگری و همکاران (۱۹۹۵) تئوری برای عمق در لبه‌ی کانال دوزنقه‌ای ارائه دادند. فرو (۱۹۹۹) حل تئوری برای عمق در لبه برای مقاطع مستطیلی، مثلثی و دوزنقه‌ای ارائه نمود. بیرامی و همکاران (۲۰۰۶) عمق در لبه و توزیع فشار را با استفاده از تئوری گرداب و معادله مونتوم بدست آوردند.



شکل ۱ - نمایی از یک شیب شکن.

۲. روش پیشنهادی برای EDR در کانال مستطیلی

معادله انرژی را بین مقاطع (۱-۱) و (E-E) با صرف نظر کردن از افت انرژی به صورت زیر بدست می آید:

$$y + \frac{Q^2}{2gb^2y^2} = C_s y_e + \frac{Q^2}{2gb^2y_e^2} \quad (1)$$

که در آن y عمق آب در بالادست شیب شکن، Q دبی در کانال، b عرض کانال، g شتاب گرانشی و C_s ضریب تبدیل فشار به فشار هیدرواستاتیک است. علت استفاده از ضریب C_s در رابطه‌ی (۱) این است که فشار در لبه‌ی شیب شکن هیدرواستاتیک نیست و در معادله انرژی باید فشار هیدرواستاتیک قرار گیرد. در این تحقیق فرض گردیده که تغییرات فشار به صورت خطی با عمق از بالادست شیب شکن تا لبه‌ی شیب شکن کاهش می یابد ($C_s = y_e/y$). با ساده سازی رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$\frac{3}{2}y_c = y_e \left(\frac{y_e}{y_c} \right) + \frac{Q^2}{2gb^2y_e^2} \quad (2)$$

رابطه‌ی میان عمق بحرانی و دبی در کانال مستطیلی به صورت زیر بدست می آید:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow y_c = \left(\frac{Q^2}{b^2g} \right) \quad (3)$$

با جایگزینی رابطه‌ی (۳) در رابطه‌ی (۲) خواهیم داشت:

$$\frac{3}{2} \left(\frac{Q^2}{b^2g} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{y_e^2}{\left(\frac{Q^2}{b^2g} \right)^{\frac{1}{3}}} + \frac{Q^2}{2gb^2y_e^2} \quad (4)$$

یا

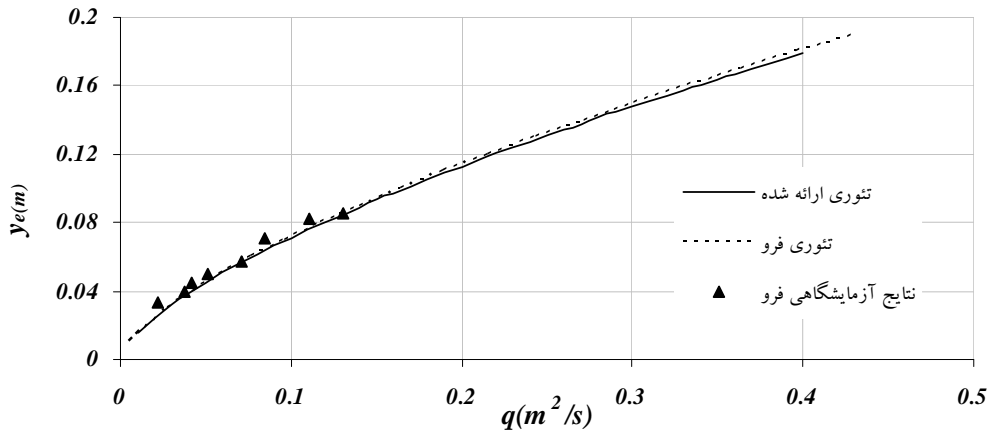
$$\frac{3}{2} \left(\frac{q^2}{b^2} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{y_e^2}{\left(\frac{q^2}{b^2} \right)^{\frac{1}{3}}} + \frac{q^2}{2gy_e^2} \quad (5)$$

که در آن q دبی در واحد عرض کانال است. در شکل (۲) تغییرات y_e برحسب Q با استفاده از رابطه‌ی (۵) رسم گردیده است و مشخص شد که برآورد EDR در این روش با روش فرو و داده‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی دارد.

اگر در رابطه‌ی (۳)، Q را برحسب y_e بدست آوریم و آن را در رابطه‌ی (۲) قرار دهیم، مقدار EDR به صورت زیر بدست می آید:

$$EDR = \frac{y_e}{y_c} = 0.707 \quad (6)$$

که این مقدار EDR توسط محققان دیگر برابر با ۰/۷۱۵ بدست آمده است که دارای خطای ۱/۵ درصد با روش پیشنهادی است.



شکل ۲ - تغییرات عمق آب در لبه‌ی شیب‌شکن بر حسب دبی در واحد عرض برای کانال مستطیلی. مستطیلی

۳. تئوری پیشنهادی برای EDR در کانال مثلثی

معادله‌ی انرژی را بین مقاطع (۱-۱) و (E-E) با صرف نظر کردن از افت انرژی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$y + \frac{Q^2}{2g(my_e^2)^2} = C_s y_e + \frac{Q^2}{2g(my_e^2)^2} \quad (7)$$

که در آن m معکوس شیب مقطع مثلثی است. علت استفاده از ضریب $C_s = y_e/y_c$ در رابطه‌ی (۷) این است که مانند حالت قبل، فشار در لبه‌ی شیب‌شکن هیدرواستاتیک نیست و فرض گردیده تغییرات فشار به صورت خطی با عمق کاهش می‌یابد. از این رو از این ضریب استفاده گردیده است. با ساده‌سازی رابطه‌ی (۷) خواهیم داشت:

$$\frac{5}{4} y_c = y_e \left(\frac{y_e}{y_c} \right) + \frac{Q^2}{2g(my_e^2)^2} \quad (8)$$

رابطه بین عمق بحرانی و دبی در کانال مثلثی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow y_c = \left(\frac{2Q^2}{m^2 g} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (9)$$

با جایگزینی رابطه‌ی (۹) در رابطه‌ی (۸) داریم:

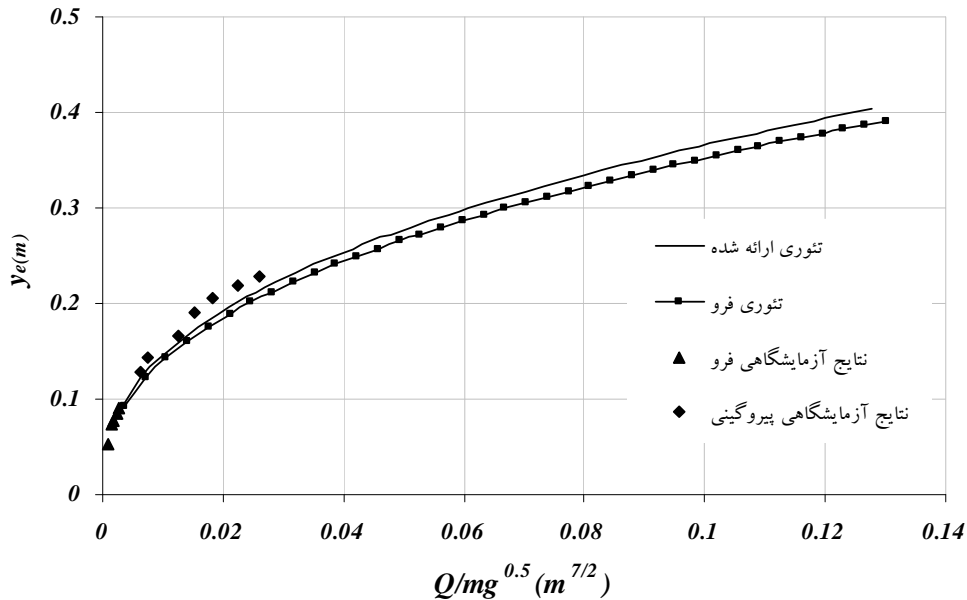
$$\frac{5}{4} \left(\frac{2Q^2}{m^2 g} \right)^{\frac{1}{5}} = \frac{y_e^2}{\left(\frac{2Q^2}{m^2 g} \right)^{\frac{1}{5}}} + \frac{Q^2}{2gm^2 y_e^4} \quad (10)$$

در شکل (۳) تغییرات y_e بر حسب Q با استفاده از رابطه‌ی (۱۰) رسم گردیده است و مشخص شد که برآورد EDR در این روش با روش فرو و نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی دارد.

با جایگزینی رابطه‌ی (۹)، در رابطه‌ی (۸) نسبت EDR به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{y_e}{y_c} = 0.802 \quad (11)$$

که این مقدار توسط محققان دیگر ۰/۸۱۷ بدست آمده است که دارای خطای ۱/۸ درصد با روش پیشنهادی است.



شکل ۳: تغییرات عمق در لبه شیب‌شکن بر حسب دبی و شکل مقطع برای کانال مثلثی.

۴. تئوری پیشنهادی برای EDR در کانال دوزنقه‌ای

معادله انرژی را بین مقاطع (۱-۱) و (E-E) با صرف نظر کردن از افت انرژی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$y_c + \frac{Q^2}{2g(b + my_c)^2 y_c^2} = C_s y_e + \frac{Q^2}{2g(b + my_e)^2 y_e^2} \quad (12)$$

رابطه میان عمق بحرانی و دبی در کانال دوزنقه‌ای را به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{(b + my_c)^3 y_c^3}{(b + 2my_c)} \quad (13)$$

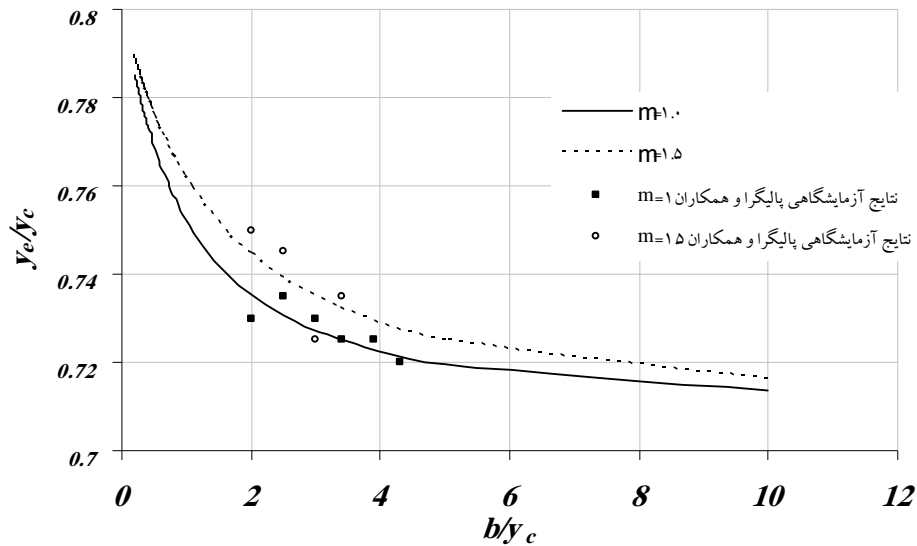
با جایگزینی رابطه‌ی (۱۳) در رابطه‌ی (۱۲) به رابطه زیر دست می‌یابیم.

$$1 + \frac{(b + my_c)}{2(b + 2my_c)} = \frac{y_e^2}{y_c^2} + \frac{(b + my_e)^3 y_c^2}{2(b + 2my_c)(b + my_e)^2 y_e^2} \quad (14)$$

با ساده سازی رابطه‌ی (۱۴) داریم:

$$1 + \frac{\left(\frac{b}{y_c} + m\right)}{2\left(\frac{b}{y_c} + 2m\right)} = \frac{y_e^2}{y_c^2} + \frac{\left(\frac{b}{y_c} + m\right) y_c^2}{2\left(\frac{b}{y_c} + 2m\right) \left(\frac{b}{y_c} + m \frac{y_e}{y_c}\right)^2 \frac{y_e^2}{y_c^2}} \quad (15)$$

در شکل (۴) با استفاده از رابطه (۱۵) y_e/y_c بر حسب b/y_c برای m های مختلف رسم گردیده است.



شکل ۴: تغییرات عمق در لبه شیب‌شکن بر حسب دبی و شکل مقطع برای کانال ذوزنقه‌ای.

۵. نتیجه‌گیری

مقاله‌ی حاضر نشان می‌دهد که فرض کاهش فشار در لبه‌ی شیب‌شکن که بصورت خطی در نظر گرفته شده است، فرض قابل قبولی است. با استفاده از چنین فرضی می‌توان مسائل پیچیده‌تری را به راحتی حل کرد. اختلاف این تئوری با تئوری دیگر در مقطع مستطیلی بسیار ناچیز است درحالی‌که در مقطع مثلثی این اختلاف در $Q/mg^{0.5}$ بزرگتر از ۰/۰۸ بیشتر می‌گردد. علاوه بر این نمودارهایی ارائه شده است که می‌توان به صورت مستقیم از عمق لبه‌ی شیب‌شکن، دبی در کانال را بدست آورد. مقایسه این روش با نتایج آزمایشگاهی دیگر محققان نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای مقطع مستطیلی کمتر از ۱/۵ درصد و برای مقطع مثلثی کمتر از ۱/۸ درصد با نتایج آزمایشگاهی دیگران اختلاف دارد. نتایج داده‌های آزمایشگاهی و تئوری ارائه شده برای کانال ذوزنقه‌ای همخوانی خوبی دارد.

۶. مراجع

- Delleur, J. W., Dooge, J. C., and Gent, K. W. (1956). "Influence of slope and roughness on the overfall." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 82(4), pp 1038-30-1038-35.
- Ferro, V. (1999). "Theoretical end-depth-discharge relation for free overfall." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 125(1), pp 40-44.
- Hager, W. H. (1983). "Hydraulics of plane free overfall." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 109(12), pp 1683-1697.
- Markland, E. (1965). "Calculation of flow at free overfall by relaxation method." *Proc., Inst. of Civ. Engrg.*, 31, May, 71-78.
- Rouse, H. (1943). "Discussion of 'Energy loss at the base of the free overfall.' by W. L. Moore." *Trans. ASCE*, 108, Paper No. 2204, pp 1383-1387.
- Peruginelli, A. (1980). "Chiamata di sbocco in sezione triangolare." *Idrote*
- Rajaratnam, N., and Muralidhar, D. (1965). "End depth for exponential channels." *Journal of Irrigation and Drainage*, ASCE, 90(1), pp 17-39.



8. Rajaratnam, N., and Muralidhar, D. (1976). "The trapezoidal free overfall." *Journal of Hydraulic Engineering*, 8(4), pp 419–447.
9. Pagliara, S. & Viti, C. (1995). Discussion on Gupta, R. D., Jamil, M. & Mohsin, M. 1993. *J. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.