ارزیابی فرضیات حل‌های تحلیلی جریان فوق بحرانی در کانال‌های خمیده با روش‌های عددی

علیرضا شمخالچیان[۱]، محمدرضا جعفرزاده[۲]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب- دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه عمران- دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
Jafarzad@um.ac.ir, shamkhalchian_alireza@yahoo.com

خلاصه

در این مقاله، با استفاده از روش عددی حجم محدود Roe-TVD، صحت فرضیات حل‌های تحلیلی جریان فوق بحرانی در خم های با مقطع مستطیلی ارزیابی می شود و ملاحظه می شود که امواج فوق بحرانی جریان در مسیر خود در خم پخش شده و در سطح آب فراز ونشیب شکل می‌گیرد. در جریانهای فوق بحرانی با عدد فرود ورودی کمتر از پنج و نیم، سرعت متوسط مقطع در طول خم نسبتاً ثابت است. فرض بدون اصطکاک بودن جریان، یا ثابت بودن انرژی کاملاً قابل قبول است و تغییرات سرعت در دیواره خارجی کم می باشد. با افزایش عدد فرود ورودی، جریان در دیواره داخلی خم خشک شده و از اعتبار فرضیات فوق کاسته می‌شود.

کلمات کلیدی: کانال‌های خمیده، رژیم فوق‌بحرانی، جریان‌درکانال‌های روباز، امواج مورب، روش احجام محدود.

۱. مقدمه

هنگامی که یک جریان فوق بحرانی واردکانال خمیده‌ای می‌شود بر اثر انحنای دیواره‌های کانال، مجموعه‌ای از امواج مورب در سطح آب ایجاد می‌شوند. پیدا کردن شکل کلی، موقعیت و ارتفاع این امواج در دیواره‌ها مورد علاقه محققین متعددی بوده است. کارمن[۱] و ناپ و ایپن[۲] از اولین کسانی بودند که با اعمال فرضیاتی، روابطی نظری برای تعیین موقعیت امواج و ارتفاع سطح آب در خم ارائه کردند[1]. در سال‌های اخیر از روش‌های عددی و بررسی‌های آزمایشگاهی برای مطالعه این نوع جریان‌ها استفاده می‌شود. ولیانی و کالیفی[۳] با استفاده از روش عددی حجم محدود HLL جریان در خم را مدل‌سازی کردند[2]. رینر وهاگر[۴] نیز بطور آزمایشگاهی جریان فوق بحرانی در خم را بررسی نمودند[3]. در این مقاله جریان فوق بحرانی در خم با استفاده از روش عددی Roe-TVD شبیه سازی می‌شود، آنگاه فرضیات حل‌های تحلیلی کارمن و ناپ - ایپن بر اساس نتایج مستقل بدست آمده از روش عددی Roe-TVD مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۲. هیدرولیک جریان در خم‌ها

در شکل۱، امواج فوق بحرانی مثبت و منفی در یک خم ترسیم شده است. اولین فراز موج در دیواره خارجی با زاویه θ از ورودی خم و اولین نشیب، درست روبروی آن در دیواره داخلی تولید می شوند. موقعیت فراز و نشیب این امواج از هندسه کانال و مشخصات جریان بدست می‌آید[4].

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2b}{(2r_c + b)\tan\beta} \qquad (۱)$$

در معادله (۱)، b عرض کانال خمیده، r_c شعاع خم تا خط مرکزی و زاویه β بر حسب عدد فرود ورودی کانال(Fr_0) تعریف می‌شود.

1. Karman
2. Knap and Ippen
3. Valiani and Caleffi
4. Reinauer and Hager