# بررسی عددی سه بعدی روند رشد و استهلاک جریان حلزونی در کانال های قوسی U شکل

**امیررضا منصوری[۱]، سید علی اکبرصالحی نیشابوری[۲]، افشین هنربخش[۳]، سمانه غضنفری هاشمی[۴]،**

**۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران- آب ، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس**

**۲- استاد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس**

**۳- استادیار مهندسی رودخانه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد**

**۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه علم و صنعت ایران**

mansoori@members.asce.org

**خلاصه**

مشخصه اصلی جریان در کانال های باز خمیده، جریان حلزونی قوی ای است که گهگاه با نام هایی چون جریان مارپیچی، جریان ثانویه و یا جریان عرضی نیز خوانده می شود. جریان حلزونی اصلی ترین نقش را در شکل گیری و توسعه شیب عرضی بستر و نیز چگونگی توزیع تنش برشی در کف کانال های خمیده ایفا می کند. در مقاله حاضر، با استفاده از مدل عددی سه‌بعدی «سیم»، در ابتدا به چگونگی روند رشد و استهلاک جریان حلزونی در طول یک کانال قوسی U شکل پرداخته شده، سپس تاثیر پارامتر عدد فرود جریان و عرض نسبی کانال (نسبت $B/h$) بر تغییرات جریان حلزونی در این دسته از کانال ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که با تغییر در عدد فرود جریان، تغییر قابل ملاحظه ای در نحوه رشد و استهلاک جریان ثانویه در کانال مشاهده نمی شود. ولی تغییر در نسبت $B/h$ موجب تغییرات چشمگیری در نحوه رشد و استهلاک جریان ثانویه می گردد.

**کلمات کلیدی: جریان حلزونی، قوس ۱۸۰ درجه، شبیه سازی عددی، مدل «سیم».**

## ۱. مقدمه

جریان در مجاری هیدرولیکی دارای طبیعت سه بعدی بوده و علاوه بر جهت غالب که همان جهت اصلی[1] نامیده می شود، در جهات دیگر نیز وجود دارد. این جریان ها که در داخل مقطع عرضی رخ می دهند به جریان های ثانویه موسوم هستند. در منابع مختلف، محققین از این نوع جریان، علاوه بر جریان ثانویه، با نام هایی چون حرکت ثانویه، چرخش ثانویه، جریان عرضی، چرخش عرضی، جریان مقطعی و ... نام برده اند.

Ciray در سال ۱۹۶۷ تعریفی نسبتا کاربردی برای جریان ثانویه ارائه داده است [۱]: «اگر در یک جریان سه بعدی، اندازه یک بردارِ تشکیل شده از تعادل دو مولفه از بردار سرعت محلی، در مقایسه با مولفه سوم کوچک باشد، بردار سرعت اخیر (بردار سوم)، جریان اصلی در کانال را تشکیل می دهد و دو مولفه قبلی جریان های ثانویه را تشکیل می دهند». رزوفسکی [۲] با ارائه یک توضیح ریاضی برای نحوه شکل گیری جریان ثانویه ناشی از فشار، نشان داد که با ورود جریان به قوس، نیروی گریز از مرکز بر آن اثر می کند که این نیرو در راستای شعاع قوس و نیز در جهت عمق بخاطر تغییرات سرعت، متغیر می باشد. نیروی گریز از مرکز موجود در خم باعث ایجاد شیب عرضی در سطح آب می شود که سطح آب را در قوس بیرونی بالا برده و در قوس داخلی باعث کاهش عمق می شود. این پدیده باعث ایجاد گرادیان فشار جانبی در داخل مقطع خواهد شد. حال هرگاه گرادیان فشار مزبور بر نیروی گریز از مرکز غلبه کند، جریانی در جهت عرضی داخل مقطع شکل می گیرد که همان جریان ثانویه می باشد. در اثر این جریان، ذرات موجود در سطح آب بطرف دیواره بیرونی حرکت کرده و ذرات موجود در کف بطرف دیواره داخلی جابجا میشوند. در اثر اندرکنش جریان ثانویه با پروفیل غیر یکنواخت سرعت طولی، الگوی جریان خاصی بنام جریان حلزونی تشکیل می شود که باعث تغییرات زیادی در الگوی جریان قوس نسبت به جریان در کانال مستقیم می شود. همچنین با شکل گیری جریان ناشی از وجود سلول چرخشی عرضی در مقطع کانال، ساختار سرعت در جریان داخل کانال

[1] Primary flow direction