

اعتبارسنجی شبیه‌سازی عددی جریان سیال عبوری از شکستگی‌های سنگی زبر با استفاده از مدلسازی فیزیکی مبتنی بر چاپ سه‌بعدی

احمد رحمانی شهرکی^۱؛ علیرضا باغبانان^{۲*}؛ امین ازهری^۳؛ علی عسکریور کبیر^۴؛ امیرحسین واحدی^۴؛ سینا میرزابیگی^۴

۱- دانشجوی دکترای مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴- کارشناسی‌ارشد مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵؛ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷

(*) نویسنده مسئول: bagh110@iut.ac.ir

چکیده

اعتبارسنجی مدل‌های عددی، ابزاری کلیدی برای استفاده در تحلیل‌های پیشرفته مانند جریان‌های غیرخطی و شبکه‌های پیچیده شکستگی محسوب می‌شود. مدل‌سازی‌های عددی مبتنی بر قانون مکعب، در شبیه‌سازی اثرات زبری سطح و تغییرات فشار هیدرولیکی دقت کافی را ندارند. فلذا تدقیق و تطبیق آنها با نتایج آزمایشگاهی دقیق و داده‌های تجربی ضروری است. در این زمینه تکرارپذیری نمونه‌های مورد آزمایش و تطبیق کامل نمونه‌های آزمایش عددی و تجربی در شرایط مرزی مختلف نیازمند چاپ و کپی‌سازی بادقت بالا است. در این مطالعه، نمونه‌های شکستگی با زبری‌های کنترل‌شده ($JRC=0$)، $JRC=10$ ، $JRC=20$ و $JRC=30$ به‌وسیله چاپ سه‌بعدی تولید شدند. آزمایش‌ها تحت فشارهای هیدرولیکی مختلف انجام شد و نرخ جریان و توزیع فشار ثبت گردید. شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار $STAR-CCM+$ و روش حجم محدود برای حل معادلات ناویر-استوکس انجام شد. نتایج نشان داد داده‌های عددی و آزمایشگاهی با خطای کمتر از ۵٪ مطابقت دارند. افزایش زبری سطح موجب کاهش نرخ جریان شد؛ به‌عنوان نمونه، در فشار ۱۹۵ پاسکال، دبی از ۵۲۳/۵۱ میلی‌لیتر بر دقیقه ($JRC=0$) به ۴۱۸/۸۰۸ میلی‌لیتر بر دقیقه ($JRC=20$) کاهش یافت. همچنین، افزایش فشار هیدرولیکی به‌طور خطی نرخ جریان را افزایش داد؛ برای $JRC=10$ ، دبی از ۴۸۱/۶۲۹ میلی‌لیتر بر دقیقه در ۱۹۵ پاسکال به ۱۰۶۲/۸۳۹۲ میلی‌لیتر بر دقیقه در ۴۸۹ پاسکال رسید. این پژوهش نشان داد که چیدمان آزمایشگاهی طراحی‌شده قادر به اعتبارسنجی دقیق مدل‌های عددی است و این مدل‌های عددی و ستاپ آزمایشگاهی را برای تحلیل‌های پیشرفته‌تر، نظیر جریان‌های غیرخطی و شکستگی‌های متقاطع می‌توان استفاده کرد.

شکستگی زبر، چاپ سه‌بعدی، حل عددی جریان سیال، نفوذپذیری آزمایشگاهی، معادلات ناویر-استوکس

واژگان کلیدی