



مدلسازی عددی جریان سطح آزاد با استفاده از روش هیدرودینامیک ذرات هموار شده تراکم ناپذیر

رسول معمارزاده^۱، کورش حجازی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

rasoul_meamar@sina.kntu.ac.ir

خلاصه

پیش بینی دقیق موقعیت سطح آزاد یکی از مسائل اساسی در شبیه سازی عددی جریان‌های با سطح آزاد^۱ می‌باشد. روش ISPH^۲، روش بدون شبکه‌ی مبتنی بر ذرات بوده که قادر به مدل‌سازی جریان‌های با سطح آزاد دارای تغییر شکل‌های زیاد با دقت بالا می‌باشد. در این مقاله از روش هیدرودینامیک ذرات هموار شده تراکم ناپذیر (ISPH) برای مدل‌سازی عددی جریان‌های با سطح آزاد استفاده شده است. معادلات حاکم در این مدل، معادلات بقای جرم و ناویر - استوکس می‌باشند که به شکل لاگرانژی و با استفاده از روش دو گام جزئی حل شده اند. در گام اول معادله‌ی ناویر - استوکس بدون در نظر گرفتن جمله‌ی فشار و ارضای کامل تراکم ناپذیری مورد حل قرار می‌گیرد. در گام بعد، معادله‌ی پواسون برای اعمال جمله‌ی فشار و حاکمیت پیوستگی حل شده، و موقعیت و سرعت دقیق ذرات به دست می‌آید. در مدل حاضر از شیوه‌ای جدید برای اختصاص چگالی به ذرات برای انجام محاسبات استفاده شده است. با استفاده از این شیوه، روش ISPH پایدار شده و دقت محاسبات آن نیز بهبود یافته است. به منظور بررسی دقت روش هیدرودینامیک ذرات هموار شده تراکم ناپذیر در مدل‌سازی جریان‌های با سطح آزاد، مسئله‌ی شکست سد دو بعدی و حرکت موج تنها در عمق یکنواخت مورد حل قرار گرفت. مطابقت خوب محاسبات با داده‌های آزمایشگاهی و عددی برای مسئله‌ی شکست سد و با نتایج تحلیلی برای مسئله‌ی حرکت موج تنها، نشان می‌دهد که مدل هیدرودینامیک ISPH موجود ابزاری مناسب برای شبیه سازی مسائل پیچیده‌ی جریان سطح آزاد می‌باشد.

کلمات کلیدی: جریان با سطح آزاد تراکم ناپذیر، هیدرودینامیک ذرات هموار شده تراکم ناپذیر، روش گام به گام جزئی، شکست سد، موج تنها.

۱. مقدمه

جریان‌های با سطح آزاد از اهمیت بالایی در علوم هیدرولیک و هیدرودینامیک، مسائل صنعتی و زیست محیطی و در حوزه‌هایی مانند هوافضا، صنعت اتومبیل و مهندسی عمران برخوردار می‌باشند. حرکت سیال در کانال‌های باز، جریان ناشی از شکست سد، شکست امواج در ساحل از نمونه‌های پر اهمیت جریان‌های با سطح آزاد در مسائل هیدرولیکی می‌باشند. شبیه سازی این نوع جریان‌ها به دلیل شرایط مرزی سطح آزاد متغیر حاکم بر آنها دشوار می‌باشد.

به طور کلی برای حل معادلات حاکم بر جریان‌های با سطح آزاد و ردیابی سطح آزاد سه دسته روش اویلری، لاگرانژی و اویلری - لاگرانژی وجود دارد. روش‌های Marker and cell و Volume of Fluid از جمله روش‌های قدرتمند برای مدل‌سازی این نوع جریان‌ها می‌باشند، که از یک شبکه‌ی ثابت اویلری برای حل معادلات ناویر - استوکس استفاده می‌نمایند. در روش MAC از ذرات نشانگر برای مشخص کردن سطح آزاد استفاده می‌شود، در حالی که در روش VOF با حل معادله‌ی انتقال تابع کسر حجمی^۳ ردیابی سطح آزاد انجام می‌شود. با وجود موفقیت‌های این

¹ Free surface flows

² Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics

³ volume fraction