



مدل عددی سه بعدی جریان اطراف پایه‌های استوانه‌ای شکل به روش حجم محدود

یاسین آقایی شلمانی^۱، حبیب حکیم زاده^۲

دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز
Y_Aghaee@sut.ac.ir

خلاصه

در این مقاله به جزئیات شبیه سازی عددی سه بعدی جریان در اطراف پایه‌های استوانه‌ای پل‌ها پرداخته شده است. معادلات حاکم استفاده شده در این شبیه سازی، معادلات متوسط گیری شده در زمان ناویر-استوکس (معادلات رینولدز) بوده و گسسته سازی این معادلات به روش حجم محدود بر روی یک شبکه با ساختار انجام گرفته است. برای حل معادلات گسسته سازی شده از روش صریح گام به گام استفاده شده است. جهت مدلسازی تنشهای رینولدز از مدل آشفته پرانتل استفاده شده است. در نهایت نتایج شبیه سازی‌ها در مورد الگوی جریان با نتایج تجربی و عددی سایر پژوهشگران مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: مدل عددی، پایه‌های استوانه‌ای، شبیه سازی سه بعدی جریان، روش حجم محدود، مدل آشفتگی

مقدمه

هنگامی که سازه‌ای در برابر جریان سیال قرار می‌گیرد این سازه سبب تغییراتی در شکل جریان می‌گردد که در غالب موارد تغییرات ایجاد شده در جریان بسیار پیچیده هستند. پایه پل یک نمونه از چنین سازه‌هایی است که در مسیر جریان رودخانه قرار گرفته و الگوی جریان در اطراف آن را تغییر می‌دهد. پیچیدگی الگوی جریان اطراف یک پایه استوانه‌ای با پیشرفت حفره آبشستگی بیشتر می‌شود. اگر پایه‌ای در برابر جریان آب وجود داشته باشد، سرعت جریان در برخورد به سطح بالا دست پایه به مقدار صفر می‌رسد. به دلیل اینکه پروفیل سرعت از سطح آزاد به سمت کف از میزان ماکزیمم به صفر کاهش می‌یابد، فشار دینامیکی ($\rho u^2 / 2$) نیز از سطح آزاد به سمت کف کاهش می‌یابد که u سرعت جریان در هر تراز است. این گرادیان فشار رو به پایین، جریان رو به پایینی را در جلوی پایه ایجاد می‌کند. جریان رو به پایین در هر تراز بالای بستر، دارای توزیع سرعت خاصی است به طوری که در محل برخورد جریان اصلی به پایه و همچنین در فاصله‌ای در بالا دست پایه دارای سرعت صفر است. مقدار حد اکثر سرعت جریان رو به پایین در صورتی که حفره آبشستگی وجود نداشته باشد، در مجاورت بستر و با توجه به شکل پایه حدوداً برابر $0.4u_0$ است که در آن u_0 سرعت ورودی جریان است [۱].

جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر در جهات مختلف پراکنده می‌شود و بستر را نیز حفر می‌کند. مقداری از این جریان که به سمت بالادست بازگشت می‌کند، در برخورد با جریان اصلی رودخانه مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می‌کند و در داخل حفره کنده شده گردابی را تشکیل می‌دهد. این گرداب در دو طرف پایه امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب بوجود می‌آورد. تشکیل گرداب نعل اسبی^۳ در داخل حفره آبشستگی باعث تسریع حفر گودال شده و ذرات جدا شده از بستر توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند. این گرداب در شروع آبشستگی بسیار ضعیف است و عمل آبشستگی تحت تاثیر جریان رو به پایین است، ولی به تدریج پس از تشکیل حفره آبشستگی، قدرت این گرداب افزایش می‌یابد.

به دلیل ایجاد منطقه کم فشار در پایین دست و کنار پایه، جریان به صورت لایه‌های برشی چرخان که در سطح پایه ایجاد می‌شود، از پایه جدا شده و تشکیل گرداب‌هایی را می‌دهد که محورشان تقریباً عمود بر کف بوده که مانند گردباد ذرات رسوب را از پایین به سمت بالا می‌مکد. این ذرات توسط گرداب‌های جدا شده از پایه به پایین دست حمل می‌شوند. به این گرداب‌ها، گرداب‌های دنباله دار^۴ گفته می‌شود [۱].

مدل‌های تجربی فراوانی در زمینه پیش بینی جریان و آبشستگی اطراف پایه‌های پل صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به کارهای انجام یافته توسط (اتما^۵ ۱۹۸۰)، چو و ملویل^۶ (۱۹۸۷)، درگاهی^۷ (۱۹۹۰)، کنت و فرانسیز^۸ (۲۰۰۳) اشاره نمود. همچنین در برخی مطالعات آزمایشگاهی روابطی

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های دریایی

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران

^۳ Horseshoe Vortex

^۴ Wake vortex

^۵ Ettema

^۶ Chiew & Melville

^۷ Dargahi

^۸ Kent & Francis