



## برآورد فشار هیدرولیکی و تراوش در بستر چند لایه سدهای بتنی با استفاده از روش المان مرزی

محمد جواد کتابداری<sup>1</sup>، حسنعلی سپیانی<sup>2</sup>

1- دانشیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[ketabdar@aut.ac.ir](mailto:ketabdar@aut.ac.ir)

### خلاصه

روشهای مختلفی جهت محاسبه نیروی زیرفشار و تراوش در بستر سازه های آبی وجود دارد که از آنجمله می توان به روشهای ترسیمی و عددی اشاره نمود. در روشهای عددی، ابتدا محدوده مورد مطالعه شبکه بندی شده و سپس معادلات حاکم که با فرض سیال غیرلزج در مسئله تراوش معادله لاپلاس می باشد، با توجه به شرایط مرزی و نیز نوع روش عددی گسسته و حل می شوند. روش المان مرزی، یکی از روشهای عددی جهت حل معادلات دیفرانسیل می باشد که در آن شبکه بندی تنها در مرزها صورت می گیرد. در این تحقیق، به کمک روش المان مرزی، تغییرات فشار و مقدار تراوش از بستر سد انحرافی با خاک چند لایه مورد محاسبه قرار گرفت. خروجیهای مدل با روش تفاضل محدود مقایسه و معتبرسازی گردید. نتایج نشان داد که روش المان مرزی، ابزاری مناسب جهت محاسبه نیروی زیرفشار و تراوش در زیر سدهای بتنی می باشد.

کلمات کلیدی: فشار هیدرولیکی، تراوش، معادله لاپلاس، خاک چند لایه ای، روش المان مرزی

### 1. مقدمه

محاسبه منحنی های خطوط هم پتانسیل فشار و خطوط مسیر جریان در تعیین نیروهای زیرفشار سازه های هیدرولیکی و تعیین دبی تراوش از زیر سپری ها و بدنه و پرده آب بند سدها و تعیین احتمال روانگرایی در پایین دست سدها امری اجتناب ناپذیر است. در این راستا روش های مختلفی بکار گرفته می شود از جمله روش ترسیمی که مملو از تقریب و خطاست و روشی کاملاً تقریبی است که فقط برای محیط های همگن و شرایط مرزی ساده پاسخگوست. روش دیگر، روش عددی تفاضل محدود می باشد. در این روش همه ی محیط مورد مطالعه مش بندی گردیده و با تبدیل معادله لاپلاس حاکم به معادلات تفاضلی محدود، اقدام به حل معادله در تک تک نقاط مش بندی می نماییم. در روش تفاضل محدود با توجه به غیر صریح بودن معادله حاکم در شرایط این دسته مسایل، می باید در ابتدا یک فرض اولیه در تمام نقاط در نظر بگیریم و سپس به روش تکرار به حل واقعی نزدیک گردیم. از دیگر معایب این روش این است که باید کل محیط مورد مطالعه مش بندی گردد. بدین ترتیب برای محیطی که مش بندی گردیده و دارای  $n$  گره ی مجهول می باشد، در هر مرحله از تکرار می باید ماتریس مجهولاتی از مرتبه ی  $n$ ، حل گردد. بنابراین حجم محاسبات بسیار زیاد و زمان محاسبه قابل ملاحظه است. در این مقاله سعی شده از روش مبتنی بر روش عددی المان مرزی استفاده گردد. برای صحت سنجی این روش و کد نوشته شده، به حل یک مسئله ساده یعنی تراوش آب از زیر یک سازه هیدرولیکی و مقایسه نتایج دو روش تفاضل محدود و المان مرزی پرداخته شده است.

### 2. روش المان مرزی

می دانیم که تراوش سیالات در محیط سه بعدی خاک از معادله لاپلاس تبعیت می نماید [1]:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

و در دو بعد: