



تحلیل دینامیکی سیستم سد و مخزن و پی به روش نیمه تحلیلی

محمود عبدالهی^۱، رضا عطارنژاد^۲

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی دانشگاه تهران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

^۱ abdollahima@ut.ac.ir

خلاصه

در این مقاله تحلیل دینامیکی سد و مخزن و پی در حوزه‌ی زمان به روش نیمه تحلیلی ارائه می‌گردد. سد انعطاف‌پذیر و طول مخزن تا بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود. ضخامت سد ثابت و سیال تراکم‌پذیر در نظر گرفته شده و از لزجت سیال صرف‌نظر می‌شود. برای استخراج معادله‌ی حاکم بر سد از تئوری تیر تیموشنکو استفاده می‌شود. در این تئوری جابه‌جایی‌های ناشی از نیروی برشی و نیروی اینرسی در تغییر شکلها در نظر گرفته می‌شود. تکیه‌گاه سد به صورت ارتجاعی در نظر گرفته شده و با فنرهای طولی و دورانی مدل می‌گردد. در نهایت پاسخ سیستم که شامل فشار هیدرودینامیکی وارد بر وجه سد و مقدار جابه‌جایی سد در برابر شتاب واحد به دست خواهد آمد. نتایج با نتایجی که توسط تسای برای حالتی که از تئوری تیر اویلر-برنولی برای استخراج معادله‌ی حاکم بر سد استفاده شده مقایسه می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن تئوری تیر تیموشنکو در اندرکنش سد و مخزن، مقدار پاسخ سیستم افزایش پیدا می‌کند. همچنین با در نظر گرفتن اثر انعطاف‌پذیری تکیه‌گاه سد مقدار جابه‌جایی سد افزایش پیدا می‌کند.

کلمات کلیدی: اندرکنش سد و مخزن و پی، فشار هیدرودینامیکی، سیال تراکم‌پذیر، تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر، روش نیمه تحلیلی.

۱. مقدمه

محاسبه فشار هیدرودینامیکی اعمال شده بر وجه بالادست سد، یکی از موارد مهم در طراحی و ارزیابی امنیت سد به خصوص در مناطق لرزه خیز می‌باشد که بعد از کار کلاسیک و سترگارد [۱] در سال ۱۹۳۳ مورد توجه ویژه قرار گرفت. تا کنون روش‌های عددی و تحلیلی مختلفی برای محاسبه فشار هیدرودینامیکی وارد بر وجه بالادست سد مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله روش‌های عددی می‌توان به روش تفاضل محدود، روش المان محدود، روش المان مرزی و یا ترکیبی از این روش‌ها و روش‌های دیگر اشاره کرد.

اگر چه در حل تحلیلی و سترگارد انعطاف‌پذیری سد و تراکم‌پذیری آب مخزن در نظر گرفته نشده بود ولی برای سالیان متمادی در طراحی و تحلیل سدهای بتنی مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه چوپرا [۲] یک حل تحلیلی برای تعیین فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد صلب، با استفاده از تحلیل هارمونیک معادله‌ی موج حاکم بر مخزن ارائه نمود. Chwang با استفاده از جبر مختلط و تعریف تابع پتانسیل دوبعدی که بیانگر فشار هیدرودینامیکی در حوزه‌ی مخزن می‌باشد تحلیل دقیقی را بر مسئله اندرکنش سد و مخزن ارائه داد. او در محاسبات خود، سد را صلب و مخزن را به صورت افقی در نظر گرفت و شیب بالادست سد را در محاسبات وارد نمود و همچنین از تراکم‌پذیری سیال صرف‌نظر نمود [۳]. Liu با بسط روش چوانگ مقدار فشار هیدرودینامیکی را برای مخزن مثلثی تعیین نمود. فرضیات اولیه او عیناً همانند فرضیات روش چوانگ بوده، با این تفاوت که او علاوه بر شتاب افقی، مؤلفه‌ی عمودی شتاب ارتعاش زمین را نیز وارد فرمولاسیون کرد [۴].

لی و تسای [۵] با استفاده از روش جداسازی متغیرها و انتقال لاپلاس، یک روش نیمه تحلیلی برای تعیین پاسخ سیستم سد و مخزن ارائه نمود. آنها در مطالعات خود مقطع سد در ارتفاع را ثابت در نظر گرفتند و همچنین با فرض صلب بودن فونداسیون سد، سد را به صورت تیر طره مدل نمودند و برای استخراج معادله‌ی حاکم بر سد از تئوری تیر اویلر-برنولی استفاده نمودند. علی‌رضا فرساد و رضا عطارنژاد [۶] در سال ۲۰۰۳ با گسترش و بسط روش تسای، مقدار فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد با مقطع متغیر و فرضیات حل تسای را به دست آوردند.

در این نوشتار به روش نیمه تحلیلی، مقدار فشار هیدرودینامیکی وارد بر وجه بالادست سد با فرض فونداسیون انعطاف‌پذیر سد و با در نظر گرفتن جابه‌جایی‌های ناشی از نیروی برشی و نیروی اینرسی در تغییر شکلها، به دست خواهد آمد. بدین منظور از تئوری تیر تیموشنکو برای استخراج معادله‌ی حاکم بر سد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور مدل کردن تکیه‌گاه سد به صورت ارتجاعی از فنرهای طولی و دورانی استفاده می‌شود.