



## آنالیز دو بعدی شبه استاتیکی پایداری شیب خاکریزهای واقع بر خاک رس نرم بهبود یافته بوسیله ستون های سنگی در مقابل لغزش های عمیق با روش تفاضل محدود

فرشاد فیاض جهانی<sup>۱</sup>، محمد شریفی پور<sup>۲</sup>، مهرداد حیاتی<sup>۳</sup>

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه رازی کرمانشاه

۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه رازی کرمانشاه

:

Farshad\_fayyaz@yahoo.com

### خلاصه

در این مطالعه یک آنالیز دو بعدی شبه استاتیکی تفاضل محدودی به منظور تعیین ضریب اطمینان لغزش های عمیق خاکریزهای واقع بر خاک رس بهبود یافته بوسیله ستون های سنگی انجام شده است. از جمله فاکتور های تاثیرگذار بر مقدار ضریب اطمینان، فاصله، ضخامت، ارتفاع و زاویه اصطکاک ستون های سنگی، چسبندگی رس نرم-زاویه اصطکاک، ارتفاع خاکریز و نیز شرایط آب زیر زمینی می باشند. در این مطالعه اثر موارد ذکر شده به همراه مقادیر متفاوت ضریب زلزله (۰.۲۵-۰.۳-۰.۳۵) مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران بررسی شده است. نتایج این بررسی ها به شکل یک سری نمودار های طراحی به همراه تفسیر موارد مورد بررسی که می توان از آنها در کارهای مهندسی استفاده نمود، آورده شده است.

**کلمات کلیدی:** ضریب اطمینان، لغزش عمیق، ستون های سنگی، شبه استاتیکی، آنالیز تفاضل محدود.

### ۱. مقدمه

مسائل پایداری شیب ها در حال حاضر یک موضوع تحقیقاتی برای مهندسان ژئوتکنیک می باشد. آنالیز پایداری شیب را می توان بوسیله روش تعادل حدی (LEM)، روش آنالیز حدی (LAM)، اجزاء محدود (FEM) و تفاضل محدود (FDM) انجام داد [۱]. در این چند سال اخیر روش تفاضل محدود بطور گسترده ای به منظور آنالیز پایداری شیب ها از جمله تعیین ضریب اطمینان (FS) مورد استفاده قرار گرفته است [۲-۴ و ۵].

روش تفاضل محدود یکی از قدیمی ترین روش های عددی بمنظور حل معادلات دیفرانسیلی می باشد. در این روش هر عبارتی در قالب معادلات حاکمه بطور مستقیم بوسیله عبارات ریاضی و بر حسب متغیر های محیطی در نقاط مجزا بیان می شوند. که این متغیر ها در داخل خود المانها تعریف نشده اند [۶]. به عنوان مقایسه ای با روش های تعادل حدی، روش های تفاضل محدود دارای مزیت هایی برای محاسبه ضریب اطمینان پایداری شیب به قرار زیر می باشند [۷]:

۱. هیچ نیازی به معرفی ناحیه گسیختگی های آزمایشی و نیز حالت های ممکن و مختلف گسیختگی و نیز نواحی لغزش های بحرانی که از نتایج عددی تعیین می شوند نیست. (به عنوان مثال نرخ کرنش، پلاستیسیته).
۲. هیچ نیازی به فرض کردن توابعی برای نیروهای بین قطعه ای نمی باشد.
۳. تمام سطوح گسیختگی ممکن در یک لحظه اتفاق می افتند.
۴. شبیه سازی المان های سازه ای از قبیل بولت های سنگی، نلینگ و ژئوگرید بهتر صورت می گیرد.

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است ناپایداری شیب خاکریزها ممکن است موضعی، در راستای شیب در داخل خاکریز و یا در فونداسیون بصورت موضعی، سطحی، عمومی و یا گسیختگی عمیق باشد. معمولاً از گسیختگی عمیق شیب با عنوان گسیختگی کلی شیب (Global slope failure) نام برده می شود که اغلب بواسطه وجود یک پی ضعیف در زیر خاکریز ایجاد می شود. گسیختگی های موضعی و سطحی اغلب در خاکریزهای با ارتفاع کمتر از ۱۰ متر بدلیل تنش ایجاد شده کمتر، مقاومت کمتر، دانسیته کمتر و نیز نیروی تراوش (بعد از اینکه شیب بوسیله باران اشباع شد) ایجاد می شوند. گسیختگی های رایج نیز عموماً از پنجه شیب عبور می کنند [۲]. روش های مختلفی بمنظور مقابله با گسیختگی عمیق شیروانی وجود دارد که از جمله آنها می توان به شمع های کوبشی ماسه ای، ستون های سنگی و ستون های عمیق ترکیبی اشاره نمود که از بین آنها ستون های سنگی به عنوان یک روش مناسب و اقتصادی به منظور حل مسئله گسیختگی عمیق شیروانی های خاکی کاربرد دارد [۸-۱۰]. همچنین از ستون های سنگی به منظور افزایش ظرفیت باربری- کاهش نشست و افزایش سرعت تحکیم در لایه های عمیق خاک رس استفاده می کنند. ستون های سنگی به جهت مقاومت و سختی بالاترشان نسبت به خاک باعث بهبود خاک می شوند. همچنین ستون های سنگی دارای سختی و مقاومت بیشتری به جهت تفاوت کیفی بین سنگ و ماسه نسبت به ستونهای کوبشی ماسه ای می باشند و تفاوت ستون های سنگی با ستون های ترکیبی عمیق به این جهت است که مقاومت ستون های سنگی بستگی به زاویه اصطکاک و تنش محدود کننده آنها دارد. پایداری شیب خاکریز های واقع بر ستون های ترکیبی عمیق بوسیله هان و همکاران در سال ۲۰۰۵ بررسی شد. کریستولاس و همکاران در سال ۱۹۷۷ پایداری خاکریزهای واقع بر ستون های سنگی را با استفاده از تعادل حدی و با فرض سطح لغزش دایروی در حالت ستون های تکی و معادل بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ضریب اطمینان محاسبه شده در حالت ستون های تکی بیشتر از معادل می باشد.