

بررسی پایداری گودال‌های برداشت مصالح در مخروط افکنه کرج

سمیه زارع شیبانی^{1*}، عبدالله سهرابی بیدار²، کاظم مرادی هرسینی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تهران

2- استادیار دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

3- دکترای زمین شناسی مهندسی، مهندسین مشاور سازه پردازی ایران

Somayeh.zare90@yahoo.com

چکیده

برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌های مخروط افکنه کرج باعث ایجاد گودال‌های عمیق و عریض منطقه شده است که در حالت فعلی به صورت تقریباً پایدار می‌باشند. با توجه به این که در گزینه منتخب ساماندهی مخروط افکنه کرج تغذیه مصنوعی آب‌زیرزمینی مدنظر می‌باشد لذا بررسی پایداری شیروانی‌ها در این شرایط حائز اهمیت است. بدین جهت در این مقاله در طی سناریوهای مختلف و با کمک نرم-افزار SLOPE/W به بررسی پایداری شیروانی‌های 8 گودال برداشت شن و ماسه واقع در منطقه مذکور پرداخته شده است. در تحلیل پایداری داده‌هایی شامل زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، حداکثر وزن مخصوص خشک، عمق آب زیرزمینی، شیب و عمق دیواره و عرض گودال و همچنین نسبت افقی و عمودی بار دینامیکی زلزله در شرایط وقوع زلزله مد نظر قرار گرفته و ضرایب اطمینان در شرایط بالا آمدن تراز آب زیرزمینی و وقوع زلزله محاسبه شده است. نتایج نشان داد در حالت فعلی تمام گودال‌ها دارای ضریب اطمینان بالاتر از یک بوده و پایدار می‌باشند و با بالا آمدن تراز آب زیرزمینی و اعمال بار دینامیکی پایداری کاهش می‌یابد. همچنین در شرایط بالا آمدن تراز آب زیرزمینی و اعمال بار دینامیکی گودال‌های شماره 5 و 6 از پایداری بیشتری نسبت به سایر گودال‌ها برخوردار می‌باشند.

کلمات کلیدی: بررسی پایداری، مصالح رودخانه‌ای، تغذیه مصنوعی، زمین لغزش

1- مقدمه

استفاده از شن و ماسه از دیرباز به همراه پیشرفت انسان در عرصه‌های مختلف کاربرد بیشتری یافته است. شن و ماسه به عنوان مصالح ساختمانی در جاده‌ها و بزرگراه‌ها به عنوان مصالح زیرساخت، اساس و عملیات روسازی، برای زیرسازی خطوط لوله و در صنایعی نظیر انواع ریخته‌گری، موزاییک‌سازی و غیره نمونه‌هایی از عمده موارد مصرف شن و ماسه به شمار می‌آید که ضرورت استفاده از این منابع را اجتناب ناپذیر می‌سازد. دو منبع مهم برای تامین این مصالح معادن شن و ماسه و مصالح رودخانه‌ای می‌باشند (Fookes P.G. et al., 2001). نیاز به فراوری کمتر، سهل الوصول بودن و نزدیکی به جاده‌های حمل و نقل و محل مصرف منابع شن و ماسه که نهایتاً بالا بردن ارزش اقتصادی آنرا رقم می‌زند؛ از جمله دلایلی است که استفاده روز افزون از این منابع ارزشمند را به دنبال داشته است. از سوی دیگر نهشته‌های رودخانه‌ای مناسب معمولاً نزدیک محل مصرف با جاده‌های دسترسی، قرار دارند که این امر منجر به کاهش قیمت تمام شده مصالح می‌گردد. این مزایا، جایگاه ویژه‌ای به مصالح رودخانه‌ای داده و به همین دلیل موجب اعمال فشار زیادی برای منابع طبیعی نسبت به گزینه‌ی معادن شن و ماسه کوهی می‌گردد. برداشت شن و ماسه از نقاط مختلف رودخانه‌های مخروط افکنه کرج باعث ایجاد تعداد زیادی گودال با دیواره‌های قائم تا ارتفاع 40 متر و عرض تا 140 متر شده است که دارای پتانسیل وقوع لغزش می‌باشد.

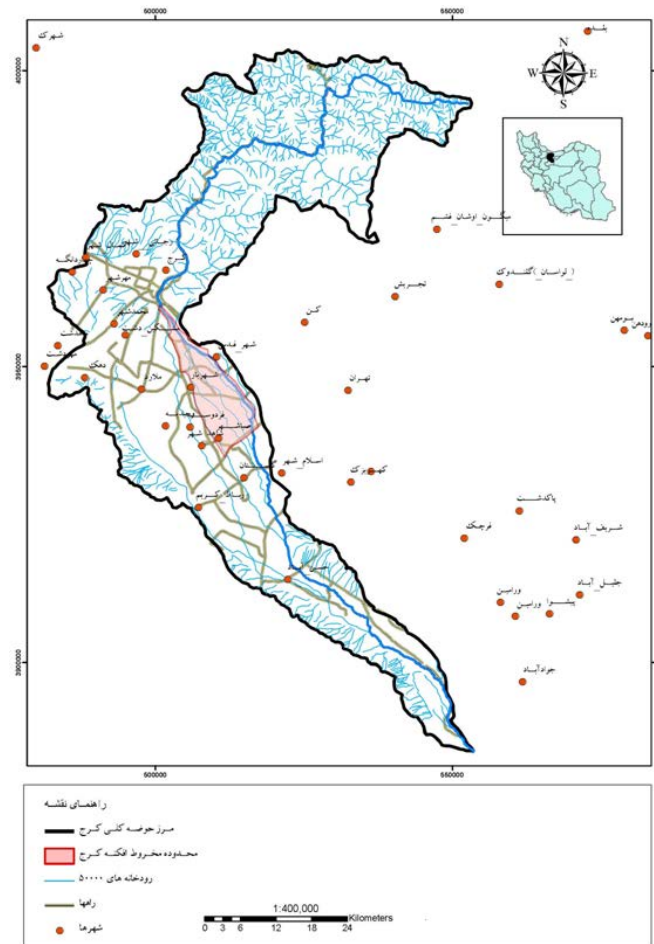
لغزش شیروانی ممکن است در شرایط طبیعی و صرفاً تحت اثر مؤلفه برشی وزن توده لغزنده اتفاق بیفتد و یا ممکن است در شرایط غیرطبیعی و بر اثر عواملی چون زلزله، باران های شدید و طولانی و یا جریان سیل رخ دهد (Rahimi, A. et al., 2010). در لغزش شیروانی تحت شرایط طبیعی، عوامل جانبی دیگری مانند فرسایش قسمت‌هایی از شیب بر اثر جریان آب و یا باد و یا بالا آمدن تدریجی سطح آب زیرزمینی و یا حتی فعالیت‌های تدریجی بشری شامل انواع بارگذاری و باربرداری می‌تواند مؤثر باشد. ولی از آنجا که تأثیر این عوامل در ناپایداری شیب به صورت تدریجی و در یک زمان نسبتاً طولانی است، می‌توان این ناپایداری‌ها را از ناپایداری‌های دسته دوم یعنی ناپایداری‌های واقع شونده در شرایط غیر طبیعی متمایز کرد. در کشور ما به علت شرایط توپوگرافی و نیز به علت تواتر وقوع حوادثی چون سیل و زلزله، لغزش شیروانی‌ها در هر دو حالت شرایط فوق (شرایط طبیعی و غیرطبیعی) اتفاق افتاده و می‌توان انتظار داشت که در آینده نیز اتفاق افتد. لغزش زمین و نیز خاکریزها ممکن است همراه با تغییر مکان محدود و یا تغییر مکان‌های زیاد باشد، که در هر صورت موجب مشکلات و یا ویرانی برای سازه‌های بر روی شیب و یا پایین دست آن خواهد بود. بررسی‌های انجام شده اثرات قابل ملاحظه بالا آمدن تراز آب (Schnellmann, R. et al., 2010) و نوسانات تراز آب (Jia, G.W. et al., 2009) در پایداری شیروانیها بزرگ را نشان داده است. علاوه بر این هانت و همکاران (Haut, B.K. et al., 2011) به اثرات زمین لرزه و بارش‌های شدید در پایداری شیروانیها پرداخته‌اند. در این مقاله به بررسی پایداری شیروانی گودال‌های برداشت شن و ماسه واقع در مخروط افکنه کرج در حالت طبیعی و در هنگام ذخیره سیلاب و تغذیه مصنوعی پرداخته شده و همچنین اثرات ناشی از بار دینامیکی وقوع زلزله بر پایداری این شیروانی‌ها بررسی شده است. در این بررسی از نرم‌افزار SLOPE/W (GEO-SLOPE, 2007) استفاده شده است.

2- معرفی منطقه و طرح مسئله

مخروط افکنه کرج که بخشی از دشت تهران- کرج می‌باشد با مساحتی در حدود 210 کیلومترمربع در جنوب و جنوب غربی تهران قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر در مختصات عرض جغرافیایی 35 درجه و 35 دقیقه تا 35 درجه و 47 شمالی و طول جغرافیایی 51 درجه تا 51 درجه و 9 دقیقه شرقی (حد فاصل بین پل راه آهن تا اتوبان ساوه) قرار دارد که در شکل 1 نشان داده شده است.

با توجه به کم شدن سطح آب زیرزمینی منطقه در چند دهه اخیر به علت استفاده بیش از حد مخزن و همچنین عدم تغذیه مناسب مخزن آب زیرزمینی به دلیل استفاده از حداکثر آب عبوری از سد مخزنی بالا دست برای مصرف آب شرب تهران و عدم آبرگذری مناسب و تغذیه سفره باعث کاهش و افت سطح اساس آب زیرزمینی شده است. بنابراین هرگونه عملیات ساماندهی رودخانه در جهت کنترل سیلاب رودخانه باید بر اساس استفاده بهینه از سیلاب در جهت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی باشد تا به عملیات پخش و ذخیره سیلاب در منطقه امکان تغذیه فراهم آید. به منظور بررسی وضعیت پایداری شیروانی‌های کناره رودخانه‌ها و گودال‌های حاصل از برداشت شن و ماسه در منطقه طرح، در ابتدا بازدیدهایی از محدوده طرح انجام شده است. طی بازدیدهای صورت گرفته مشاهده شد که در محدوده مخروط افکنه کرج دیواره‌های حاشیه رودخانه‌های مورد بحث و ترانشه‌های حاصل از برداشت در حالت عادی به صورت تقریباً قائم، پایدار باشد. اما پایداری این دیواره‌ها در هنگام رهاسازی آب از مخزن سد کرج در مسیر رودخانه در دبی سیلابی با دوره بازگشت بالا و پایداری ترانشه‌های موجود در شرایط آبرگیری به منظور تغذیه مصنوعی که یکی از اهداف این طرح است دارای اهمیت می‌باشد. در این مطالعه وضعیت پایداری 8 گودال حاصل از برداشت مصالح رودخانه-

ای مورد بررسی قرار گرفته است. مختصات گودال‌های مورد بررسی و مشخصات هندسی آن‌ها در جدول 1 مورد اشاره قرار گرفته است.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

جدول 1- مشخصات هندسی و موقعیت گودال‌های مورد بررسی

شماره گودال	X	Y	شیب گودال	عمق گودال‌ها	عرض گودال
1	503,855	3,955,301	85	20	80
2	505,156	3,952,499	80	20	100
3	504,959	3,950,611	80	30	130
4	505,812	3,951,129	85	35	130
5	508,272	3,951,322	80	20	70
6	507,691	3,949,182	85	25	65
7	505,441	3,954,232	80	25	110
8	503,941	3,953,423	80	30	110

3- مواد و روش‌ها

در تعیین ضریب اطمینان پایداری شیروانی‌های خاکی در نرم‌افزار SLOPE/W از روش‌های تعادل حدی استفاده شده است. روش‌های تعادل حدی موجود در نرم‌افزار SLOPE/W شامل روش ساده شده بی‌شاپ، روش ساده شده جانبی، روش اسپنسر، روش مورگنسترن - پرایس، روش گروه مهندسی و روش سارما می‌باشند. تفاوت اصلی هر یک از این روش‌ها در ارضا یا عدم ارضای تعادل نیروها و تعادل گشتاور آنها برای پایداری هر قطعه از سطح لغزش شیروانی و همچنین تأثیر یا عدم تأثیر نیروهای افقی (برشی) و قائم وارد بر قطعه‌ها در محاسبات مربوط به تحلیل پایداری سطح لغزش احتمالی شیروانی خاکی است (مهدوی ا. و عطرچیان م، 1389). در این مقاله از روش ساده شده بی‌شاپ برای تعیین ضریب اطمینان پایداری شیروانی خاکی استفاده شده است. این روش مبتنی بر تعادل گشتاور بوده که بر اساس آن از تأثیر نیروهای قائم در تحلیل پایداری قطعه استفاده شده ولی از تأثیر نیروهای افقی در تحلیل پایداری صرف نظر می‌گردد. در این روش، مدل توصیف شده برخلاف مدل‌های عادی، دارای مجهول تکراری می‌باشد. مدلی که برای تعیین ضریب اطمینان با استفاده از روش فوق مورد استفاده قرار گرفته، در غیاب هرگونه فشار آب حفره‌ای به صورت رابطه 1 بیان شده است:

$$F_s = \frac{\sum[(c + w \cdot \tan \phi) \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}]}{\sum w \cdot \sin \alpha} \quad (1)$$

که در آن F_s ضریب اطمینان، C چسبندگی توده خاک، ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک، W وزن هر قطعه توده خاک، α زاویه سطح لغزش هر قطعه و β عرض قطعه می‌باشد. چنان که دیده می‌شود ضریب اطمینان در هر دو طرف معادله قرار دارد. برای حل این موضوع، راهکاری ارائه شده است و بر این اساس پارامتر دیگری به نام ma با رابطه 2 تعریف می‌شود:

$$m_a = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \cdot \tan \phi}{F_s} \quad (2)$$

بنابراین برای حل این مسئله، لازم است تا از روش سعی و خطا استفاده کنیم. معمولاً توصیه می‌شود که با فرض ضریب اطمینان برابر با یک، حل این مسئله را شروع و با داشتن ضریب اطمینان اولیه فرضی، مقدار ma محاسبه شده و با جای گذاری در رابطه 1، ضریب اطمینان جدیدی بدست می‌آید. حال این ضریب اطمینان جدید را مجدداً در رابطه 2 قرار داده و دوباره ضریب اطمینان دیگری حاصل می‌شود. این عمل را آن قدر ادامه می‌دهیم تا آخرین ضریب اطمینان بدست آمده با مقدار قبلی آن دارای تفاوت ناچیزی باشد (طاحونی ش، 1375).

جهت بررسی پایداری شیروانی‌ها در شرایط وقوع زلزله، مدل SLOPE/W نیروی لرزه‌ای را به صورت نسبتی از وزن هر قطعه به مرکز آن قطعه اعمال می‌کند. این نسبت دارای دو مؤلفه افقی و عمودی می‌باشد که نسبت افقی دارای مقادیری بین 0 تا 1 و نسبت عمودی بین -1 تا 1 می‌باشد. مقادیر مثبت نسبت افقی نشان‌دهنده اضافه نیروی افقی عمل‌کننده در جهت شیب لغزش می‌باشد. مقادیر منفی نسبت عمودی بیانگر اضافه نیروی عمودی به سمت بالا (برخلاف جهت وزن قطعه) و مقادیر مثبت در جهتی همانند وزن قطعه (رو به پایین) اعمال می‌باشد (Krahn, J. 2004).

4- داده‌های مورد نیاز

به منظور تحلیل پایداری استاتیکی علاوه بر مشخصات هندسی ذکر شده در جدول 1، پارامترهای وزن مخصوص خاک (KN/m^3)، ضریب چسبندگی (KN/cm^2)، زاویه اصطکاک داخلی و سطح آب زیرزمینی نیز مورد نیاز می‌باشد. همچنین جهت بررسی پایداری شیروانی‌ها در شرایط وقوع زلزله مقادیر نسبت افقی و عمودی بار دینامیکی زلزله به ترتیب برابر با 0/2 و 0/1- در نظر گرفته شده

است. داده‌های مورد نیاز جهت بررسی پایداری گودال‌های مورد مطالعه به شرح جدول 2 مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها براساس نتایج مطالعات ژئوتکنیک ساختگاه بدست آمده است.

جدول 2- داده‌های ژئوتکنیکی جهت تحلیل پایداری

شماره معدن	عمق آب‌زیرزمینی	حداکثر وزن مخصوص خشک (KN/m^3)	زاویه اصطکاک داخلی	چسبندگی (KN/cm^2)
1	80	21/8	34	0/0048
2	100	22/1	40	0/0019
3	110	21/2	39	0/0058
4	110	22/3	38	0/0087
5	90	22/0	39	0/0087
6	80	21/3	38	0/0087
7	120	22/0	38	0/0097
8	80	19/7	38	0/0068

5- بحث

برداشت مصالح از رودخانه می‌تواند با حفر ترانشه، ایجاد حفره در کف رودخانه یا برداشت سطحی تپه‌های شن (برداشت همه مصالح یک تپه شنی بالاتر از یک سطح فرضی) صورت گیرد. در محدوده مورد مطالعه برداشت شن ماسه عموماً با حفر ترانشه و ایجاد گودالهای بزرگ در سطح زمین صورت پذیرفته است. شکل 2 نمایی از گودالهای ایجاد شده در اثر برداشت مصالح شن و ماسه را نشان می‌دهد.

در محدوده مخروط افکنه کرج ترانشه‌های حاصل از برداشت شن و ماسه در حالت فعلی به صورت تقریباً قائم و پایدار می‌باشند. با توجه به اینکه در محدوده بستر رودخانه‌های کرج تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مد نظر می‌باشد لذا بررسی پایداری شیروانی‌ها در این شرایط حائز اهمیت است. بدین جهت در طی سناریوهای مختلف و با کمک نرم‌افزار SLOPE/W به بررسی پایداری دیواره‌های گودال‌های برداشت شن و ماسه واقع در بستر رودخانه‌های منطقه پرداخته شده است. جهت طراحی مدل این گودال‌ها، اطلاعات اولیه در جداول 1 و 2 آورده شده است. به منظور بررسی پایداری گودال‌ها 4 سناریو مختلف در نظر گرفته شده است. همچنین با لحاظ نمودن 4 سناریو در تحلیل پایداری دینامیکی مجموعاً 8 حالت مختلف برای هر گودال مورد بررسی قرار گرفته است. سناریوهای در نظر گرفته شده با توجه به هدف مطالعات که بررسی پایداری گودال‌ها با هدف تغذیه مصنوعی می‌باشد، به وضعیت تراز آب در محدوده گودال مرتبط است. سناریوهای در نظر گرفته شده به ترتیب شامل وضعیت فعلی تراز آب زیرزمینی و ناشی از افزایش تراز آب زیرزمینی تا کف گودال‌ها، یک متر بالاتر اکف گودال‌ها و پر شدن دو سوم ارتفاع گودال‌ها در اثر ذخیره سیلاب و تغذیه مصنوعی می‌باشد. جدول 3 توصیف سناریوهای در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد.

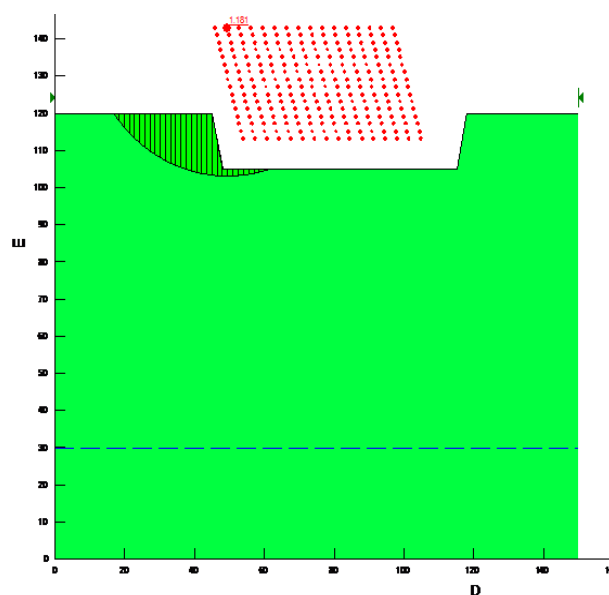
چنان‌که اشاره شد، جهت مدل سازی پایداری از نرم افزار SLOPE/W استفاده شده است. شکل 3 به عنوان نمونه محیط مدل‌سازی شده گودال شماره 1 را در حالت استاتیکی و در سناریوی اول یعنی شرایط طبیعی آب زیرزمینی نشان داده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، کمترین ضریب اطمینان به دست آمده 1/18 می‌باشد که نشان دهنده شرایط ایمن برای این گودال می‌باشد.



شکل 2- تصویر گودال معدن قدرت مکانیک در بستر رودخانه سیاه آب شرقی

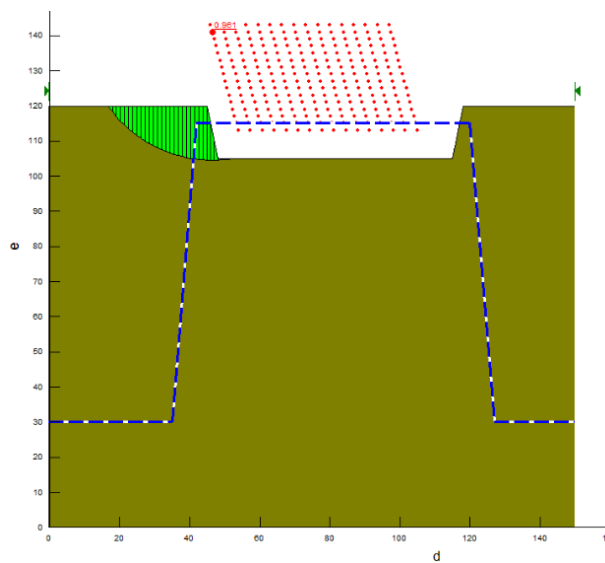
جدول 3- توصیف سناریوهای در نظر گرفته شده جهت تحلیل پایداری

شماره	توصیف سناریو
سناریو 1	در وضعیت فعلی
سناریو 2	در وضعیت فعلی با در نظر گرفتن بار زلزله
سناریو 3	تراز آب در کف گودال
سناریو 4	تراز آب در کف گودال با در نظر گرفتن بار زلزله
سناریو 5	تراز آب یک متر بالاتر از کف گودال
سناریو 6	تراز آب یک متر بالاتر از کف گودال با در نظر گرفتن بار زلزله
سناریو 7	تراز آب تا دو سوم ارتفاع کف گودال
سناریو 8	تراز آب تا دو سوم ارتفاع کف گودال با در نظر گرفتن بار زلزله



شکل 3- تحلیل پایداری شیروانی گودال شماره 1 در وضعیت فعلی

شکل 4 محیط مدل سازی شده همان گودال را در حالت استاتیکی و در سناریوی چهارم، یعنی پر شدن دو سوم گودال در اثر ذخیره سیلاب نشان داده است. چنان که مشاهده می شود، در این گودال و در وضعیت بالا آمدن تراز آب زیر زمینی مقدار ضریب اطمینان کاهش یافته و به 0/96 رسیده است که نمایانگر شرایط ناپایدار می باشد. با در نظر گرفتن 8 تحلیل برای هر گودال در مجموع 64 تحلیل پایداری شیروانی به انجام رسیده و مقادیر بحرانی ضریب اطمینان در مقابل لغزش محاسبه شده است. جدول 4 مقادیر ضریب اطمینان به دست آمده برای تحلیل های مختلف را در دو حالت استاتیکی و اثرات ناشی از بار دینامیکی وقوع زلزله را نشان می دهد.



شکل 4- تحلیل پایداری شیروانی گودال شماره 1 در وضعیت آنگیری جریان سیلابی تا دو سوم ارتفاع گودال

جدول 4- ضرایب اطمینان در شرایط مختلف تحلیل پایداری

شماره گودال	ضریب اطمینان سناریو 1	ضریب اطمینان سناریو 2	ضریب اطمینان سناریو 3	ضریب اطمینان سناریو 4	ضریب اطمینان سناریو 5	ضریب اطمینان سناریو 6	ضریب اطمینان سناریو 7	ضریب اطمینان سناریو 8
1	1.18	0.541	1.03	0.49	0.97	0.46	0.96	0.43
2	1.46	0.966	1.29	0.92	1.2	0.88	0.7	0.55
3	1.36	0.68	1.22	0.64	1.15	0.61	0.86	0.58
4	1.41	0.91	1.2	0.875	1.15	0.85	0.8	0.825
5	1.81	1.051	1.75	0.951	1.05	0.897	1.2	0.507
6	1.914	1.268	1.9	1.16	1.87	1.084	1.35	0.624
7	1.44	0.798	1.3	0.75	1.25	0.72	0.92	0.65
8	1.35	0.671	1.2	0.62	1.14	0.59	0.84	0.56

6. نتیجه گیری و پیشنهادات

با بررسی پایداری شیروانی گودال‌های برداشت شن و ماسه در حالت طبیعی مشخص گردید که تمام شیروانی‌ها در حالت طبیعی پایدار می‌باشد. پس از اجرای طرح ذخیره سیلاب و تغذیه مصنوعی با بالا آمدن سطح آب زیرزمینی تا یک متر بالاتر از کف گودال در همه موارد به غیر از مورد 1، شیروانی‌ها پایدار می‌باشد ولی ضریب اطمینان کاهش می‌یابد. زمانی که تراز آب تا دو سوم ارتفاع گودال بالا می‌آید، تمام شیروانی‌ها بجز گودال‌های شماره 5 و 6 ناپایدار خواهند بود. در این شرایط در بین گزینه‌های مورد بررسی این دو گودال جهت تغذیه مصنوعی از گزینه‌های دیگر مناسب‌تر می‌باشد. با در نظر گرفتن بار دینامیکی وقوع زلزله در شیروانی‌های گودال شماره 6 در همه‌ی شرایط به جز سناریو 8 پایدار می‌باشد. در گودال‌های دیگر در شرایط وقوع زمین‌لرزه، ضریب اطمینان کمتر از یک می‌باشد که نشان دهنده ناپایداری شیروانی‌ها و وقوع لغزش است. با توجه به این مسئله از بین گودال‌های بررسی شده، مورد 6 جهت تغذیه مصنوعی از گزینه‌های دیگر مناسب‌تر می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌گردد که با انجام مطالعات مشابه برای سایر گودال‌ها و شن‌چال‌های محدوده مخروط افکنه کرج، پیش از ارائه طرح‌های اجرایی ساماندهی مخروط-افکنه و طرح‌های تغذیه مصنوعی، ضمن شناسایی گودال‌هایی با شرایط مناسب‌تر، برنامه‌ریزی اجرایی جهت بهسازی گودال‌های دارای شرایط بحرانی در دستور کار قرار گیرد.

قدردانی

نویسندگان این مقاله بدین وسیله از زحمات و کمک‌های آقایان مهندس اکبر علیان‌نژاد و مهندس محمدرضا غفوری در راستای انجام این تحقیق قدردانی نموده و همچنین از حمایت‌ها و مساعدت‌های شرکت مهندسی مشاور سازه پردازی ایران کمال تشکر را دارند.

منابع

- سازه‌پردازی ایران، (1391) شرکت مهندسی مشاور، گزارش "مطالعات زمین‌شناسی و ارزیابی ژئوتکنیک مخروط افکنه کرج". طاحونی ش.، (1375). اصول مهندسی ژئوتکنیک، انتشارات غزال، تهران، جلد اول: مکانیک خاک.
- مهدوی او. عطرچیان م.، (1389). "بررسی روش‌های تعیین ضریب اطمینان پایداری شیروانی خاکی در نرم‌افزار SLOPE/W"، اولین همایش ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک.
- Fookes P.G., Lay J., Sims I., Smith M. R., West G., (2001). Aggregates, Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes (third edition), GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GEOLOGY SPECIAL PUBLICATION NO. 17, The Geological Society, London.
- GEO-SLOPE, (2007), GeoStudio Version 7.12, GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5.
- Huat, B. K., Moayedi, K., Asadi, A., Kazemian, S. and Keykha, A. (2011). "Sensitivity analysis of slopes affected by possible earthquake loading and heavy rainfall: Case study", International Journal of the Physical Sciences, Vol. 6(19), pp. 4649-4655.
- Jia, G.W., L. T. Zhan., Chen, Y. M. and Fredlund, D. G. (2009). "Performance of a large-scale slope model subjected to rising and lowering water levels", Engineering Geology, vol. 106, pp. 92-103.
- Krahn, J. (2004). "Stability Modeling With Slope/W", University Of Alberta.
- Rahimi, A., Rahardjo R. and Leong, E.CH. (2010). "Effect of hydraulic properties of soil on rainfall-induced slope failure", Engineering Geology, Vol. 114, pp. 135-143.
- Schnellmann, R., Busslinger, M., R.Schneider, H. and Rahardjo, H. (2010). "Effect of rising water table in an unsaturated slope", Engineering Geology, Vol. 114, pp. 71-83.