

بررسی تاثیر تغییرات مکش بافتی بر رفتار گود مهار شده در خاک متورم شونده

مریم منصوری¹، عالیه لیبب²، علی اخترپور³

1- دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد

2- دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد

3- دانشیار دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

akhtarpour@um.ac.ir

چکیده:

با توجه به نیاز روزافزون به ساخت و ساز، مسائل مربوط به گودبرداری و پایداری گود مورد اهمیت قرار گرفته است. یکی از عوامل منجر به ناپایداری گود، نفوذ آب به گود می باشد. نفوذ آب باعث کاهش مکش بافتی و در نتیجه کاهش مقاومت برشی و نیز افزایش حجم خاک در خاک های متورم شونده می شود. در این پژوهش گود مهار شده با دو روش شمع-انکر و شمع به تنهایی، در معرض عوامل تغییر دهنده مکش بافتی مانند ترکیدگی لوله، چاه جذبی و شرایط آب و هوایی قرار گرفته است. با استفاده از نرم افزار SIGMA/W و آنالیز کوپل تأثیر هم زمان تغییر در مکش بافتی و تغییر در تنش و کرنش مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به رفتار مخرب خاک های متورم شونده در شرایط غیر اشباع، خاک مورد مطالعه در این پژوهش از نوع متورم شونده می باشد. نتایج نشان داد که افزایش رطوبت در خاک و در نتیجه کاهش مکش بافتی در خاک متورم شونده باعث افزایش نیرو در انکرها و لنگر در شمع می شود. همچنین میزان افزایش نیرو در انکرها در صورت مدل سازی ترکیدگی لوله و چاه جذبی بسیار بیشتر از شرایط تأثیر مرز آب و هوایی برای دو ماه پربارش از سال است. با افزایش فاصله ی چاه جذبی و ترکیدگی لوله از گود افزایش نیروی ایجاد شده در انکرها کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: خاک غیر اشباع، خاک متورم شونده، پایدار سازی گود، تحلیل کوپل، چاه جذبی، ترکیدگی لوله، شرایط آب و هوایی

سریع آن است [5]. جوهری و کلاتری در سال 2020، خرابی

گود تقویت شده با شمع در خاک غیر اشباع را مورد بررسی قرار دادند [5].

مکش بافتی که به عنوان اختلاف فشار هوای منفذی و فشار آب منفذی تعریف می شود، نقش عمده ای در رفتار مقاومت برشی خاک های غیر اشباع دارد. با کاهش مکش بافتی مقدار تنش مؤثر و مقاومت برشی کاهش می یابد؛ این امر باعث کاهش پایداری می شود [6-8]. طبق مطالعات انجام شده بر روی خاک غیر اشباع توسط محققین، مسائل مربوط به خاک غیر اشباع یکی از عواملی است که در پایداری گود دخیل می باشد؛ و پایداری گود در خاک غیر اشباع ارتباط تنگاتنگی با تغییرات خواص خاک و پارامترهای مکش بافتی دارد [5, 7, 9].

تحقیقاتی بر روی خاک غیر اشباع با هدف بررسی تأثیر چرخه های تر و خشک شدن خاک بر روی پارامترهای مقاومت برشی انجام گردید. نتایج حاصل نشان داد که اثرات تر و خشک کردن

1-مقدمه:

در پروژه های عمرانی مختلف از قبیل ساختمان سازی، راه سازی و ... نیاز به حفاری گود می باشد؛ از این رو بررسی و مطالعه روش های پایداری گود و همچنین عوامل تهدید کننده پایداری آن امری مهم می باشد. یکی از روش های پایداری گود استفاده از انکر است. از این روش به طور گسترده ای در مهندسی به منظور حفاظت در برابر زمین لغزش و سایر بلایای زمین شناسی استفاده می شود [1, 2]. محققان مطالعاتی بر روی انکرها با هدف بررسی تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل زاویه و طول مهاری انکر، تعداد و نیروی پیش تنیدگی انکرها و ... انجام دادند و مقادیر بهینه ای برای این پارامترها به دست آوردند [1, 3, 4]. یکی دیگر از روش های پایدار سازی گود استفاده از شمع بتنی و فولادی در جداره گود می باشد. از این شمع ها به طور گسترده در مناطق شهری و صنعتی به عنوان یک سیستم نگه دارنده موقت یا دائمی استفاده می شود. مزیت اصلی این سیستم هزینه نسبتاً پایین و ساخت

افزایش نیروهای داخلی اجزای سازه‌ای یک گود تقویت شده با روش انکراژ و شمع با گذشت زمان به کمک تحلیل کوپل در نرم افزار SIGMA/W مورد بررسی قرار گرفته است.

2- مشخصات مصالح

خاک مورد بررسی در این پژوهش از منطقه خانگیران سرخس می‌باشد. مشخصات این خاک در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1. خصوصیات خاک متورم شونده [17, 18]

Value	Soil characteristics
18.37	Soil specific weight ($\frac{KN}{m^3}$)
23%	plasticity limit
42%	Liquid limit
25	(Kpa) cohesion
14	(°)Friction Angle
2.7	(Gs) specific density
19%	The percentage of field natural humidity
6.78%	Residual water content (θ_r)
38.41%	Saturated water content (θ_s)

Table1 . Properties of swelling soil [17, 18]

2-1- خصوصیات هیدرولیکی

خصوصیات هیدرولیکی خاک با دو نمودار منحنی مشخصه آب-خاک و همچنین نمودار هدایت هیدرولیکی در برابر مکش بافتی مشخص می‌گردد. مقدار 10^{-6} سانتی‌متر بر ثانیه به عنوان نفوذپذیری اشباع برای این خاک که از جنس رس می‌باشد در نظر گرفته شده است [19]. نمودار هدایت هیدرولیکی در برابر مکش بافتی، با توجه به هدایت هیدرولیکی اشباع انتخاب شده و منحنی مشخصات آب-خاک توسط رابطه ونجن اشتن [20] تخمین زده می‌شود. نمودارهای منحنی مشخصه آب-خاک و هدایت هیدرولیکی-مکش بافتی در شکل 1 و 2 آورده شده است.

شکل 1. منحنی مشخصه آب-خاک [17]

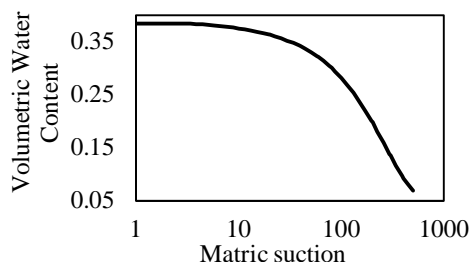


fig 1. swcc curve [17]

می‌تواند باعث ناپایداری شیروانی‌ها در حین و پس از باران شود [10, 11]. به‌طور کلی نفوذ آب به نیمرخ خاک، مکش خاک و در نتیجه مقاومت برشی موجود را کاهش می‌دهد، در نتیجه مهم است که بتوان از ناحیه خاک غیراشباع در یک شیب با کنترل سطح آب زیرزمینی و شرایط مرزی جریان در سطح شیروانی به‌عنوان یک روش تثبیت شیب محافظت کرد [12]. در پژوهش سابق مؤلفین، سعی شد تا عواملی که باعث نفوذ آب به داخل خاک می‌شود از جمله ترکیب لوله، چاه جذبی و لایه آرتزین را به‌عنوان عوامل مؤثر در پایداری گود مورد بررسی قرار گیرد [13]. چرخه‌های ناشی از عوامل آب و هوایی باعث ایجاد چرخه‌های تر و خشک شدن می‌شوند و می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر رفتار مکانیکی خاک و عملکرد آن در کاربردهای مختلف ژئوتکنیکی تأثیر بگذارد [14]. بالاتر و همکاران مدل‌سازی این شرایط را با کمک SLOPE/W و SEEP/W انجام داده‌اند [15].

شکست‌های شیروانی ناشی از باران در خاک‌های متورم شونده بدلیل کاهش مقاومت برشی و افزایش حجم خاک می‌باشد. چسبندگی و اناپالی باهداف ارزیابی اثر تورم بر روی پایداری لایه سطحی یک شیروانی با خاک متورم شونده در سال 2015 مطالعاتی با استفاده از نرم‌افزار SIGMA/W و SEEP/W انجام دادند؛ نتایج نشان داد که خاک متورم شونده تأثیر نامطلوبی بر پایداری شیروانی دارد [16].

تغییر در مکش بافتی و در نتیجه تورم خاک می‌تواند باعث افزایش نیرو در انکرها شود. در صورتی که این افزایش نیرو بیش از ظرفیت انکرها باشد، می‌تواند باعث خسارات جبران ناپذیری گردد. همچنین افزایش حجم در قسمتی از خاک در صورت نامتقارن بودن می‌تواند منجر به آثار مخربی در سازه شود. علیرغم مطالعات انجام شده بر روی تأثیر خاک متورم شونده در شرایط غیر اشباع بر پایداری شیروانی، اثر وجود این نوع خاک بر تغییرات نیروها در انکرها کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. لذا هدف از این پژوهش در نظر گرفتن اثر تورم بر تغییر نیروی انکرها و شمع و همچنین میزان تورم ایجاد شده در خاک می‌باشد. بدین منظور اثر وجودی یک چاه جذبی و ترکیب لوله آب و تغییر موقعیت آن‌ها و همچنین شرایط آب‌وهوایی بر روی

شکل 2. منحنی هدایت هیدرولیکی-مکش بافتی

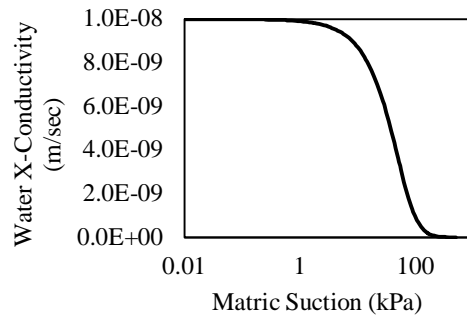


fig2 . Hydraulic conductivity-matric suction curve

که در این رابطه θ درصد رطوبت حجمی، θ_r درصد رطوبت ماندگار و θ_s درصد رطوبت اشباع است.

در ادامه به کمک رابطه زیر مقدار تنش مؤثر برای هر مکش بافتی و سربار مشخص محاسبه می‌شود [8]. در اینجا ترم اول نشان‌دهنده سربار موجود و ترم دوم ضرب پارامتر تنش مؤثر که در رابطه (2) بیان شد در مکش بافتی می‌باشد.

$$\sigma' = (\sigma_n - u_a) + \chi(u_a - u_x) \quad (3)$$

در رابطه فوق σ' تنش مؤثر، σ_n تنش کل، u_a فشار هوای حفره-ای، u_w فشار آب حفره‌ای، χ پارامتر تنش مؤثر می‌باشد. در ادامه میزان مدول متورم شوندگی با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$m_v = \frac{3(1-2\nu)}{E} = \frac{\left(\frac{\Delta H}{H_0}\right)}{\Delta \sigma'} \quad (4)$$

در رابطه فوق m_v ضریب قابلیت فشرده‌گی حجمی، ν ضریب پواسون، E مدول الاستیسیته، ΔH تغییرات ضخامت، H_0 ضخامت اولیه، $\Delta \sigma'$ تغییرات تنش مؤثر می‌باشد. مدول متورم شوندگی محاسبه‌شده بین دو تنش مؤثر به تنش مؤثر میانگین اختصاص داده می‌شود. در ادامه با حذف نتایجی که موجب زیاد شدن خطا می‌گردد نمودار مدول متورم شوندگی در برابر تنش مؤثر مطابق شکل 3 به دست می‌آید. بدیهی است این مدول به‌طور کلی با مفهوم مدول الاستیک خاک در بارگذاری متفاوت است و اندازه آن کاملاً به میزان خاصیت متورم شوندگی خاک بستگی دارد. معادله حاصله جهت تحلیل تغییر شکل ناشی از تغییر مکش به نرم‌افزار معرفی شده است.

شکل 3. نمودار مدول متورم شوندگی - تنش مؤثر

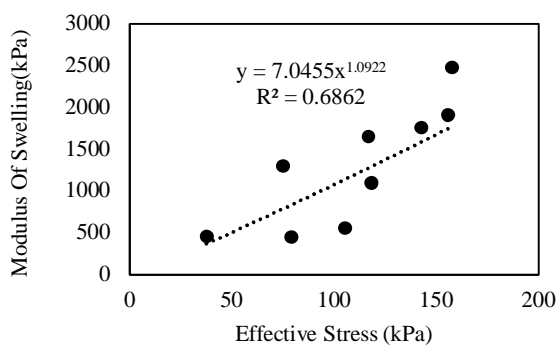


fig.3 Diagram of swelling modulus - effective stress

2-2- مدول متورم شوندگی خاک E_{swell}

در نرم‌افزار Geostudio با تغییر در مکش بافتی تنش مؤثر تغییر کرده و با تغییر در تنش مؤثر بر اساس مدول متورم شوندگی، کرنش حجمی در خاک تغییر می‌کند. لذا برای انجام محاسبات در این نرم‌افزار نیاز به دو مدول می‌باشد. در مرحله اول که مدلسازی شرایط درجا و گودبرداری و نصب انکرها می‌باشد، مقدار مدول برابر 18000 کیلوپاسکال در نظر گرفته می‌شود. ولی در مرحله اعمال تغییرات رطوبتی به خاک و برای شبیه‌سازی تورم بایستی مدول متورم شوندگی که در آن تغییر در تنش مؤثر به تغییر در کرنش‌های حجمی ارتباط داده می‌شود؛ استفاده گردد. در پژوهش حاضر به‌منظور شبیه‌سازی رفتار تورمی خاک در نرم‌افزار، رابطه‌ای توسط مؤلفین بین مدول متورم شوندگی خاک و تنش مؤثر به کمک داده‌های مرجع [17] ارائه شده است و روند آن در ادامه ذکر گردیده است.

در مرجع مذکور آزمایش تحکیم یک‌بعدی ترزاقی به‌صورت غیراشباع با ثابت نگه‌داشتن سربار و اعمال مکش‌های بافتی مختلف به خاک انجام شد. مطابق رابطه 1 برای منحنی مشخصه می‌توان درصد رطوبت حجمی مربوط به مکش‌های بافتی مورد نظر را محاسبه کرد [21].

$$\theta = 0.0001\psi_m^2 - 0.1133\psi_m + 38.522 \quad (1)$$

در رابطه فوق ψ_m مکش بافتی، θ درصد رطوبت حجمی می‌باشد. و با توجه به رابطه ونجن اشتن Van Genuchten می‌توان پارامتر تنش مؤثر (χ) را به دست آورد [20].

$$\chi = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2)$$

3- صحت‌سنجی

به منظور اطمینان از صحت مدل‌سازی‌های انجام شده در این تحقیق یکی از آزمایش‌های تحکیم انجام شده توسط نادریزیدی و همکاران [17]، با استفاده از تک‌المان در حالت متقارن محوری (Axisymmetric) با نرم‌افزار SIGMA/W مدل‌سازی شده است. همانطور که در شکل 4 مشاهده می‌شود؛ هندسه مدل عددی یک تک‌المان با ابعاد 1 در 1 مترمربع بوده و مرزهای جانبی مدل در جهت افق و مرز تحتانی مدل در جهت قائم بسته شده است. در این مدل سربار معادل 25 کیلوپاسکال با مکش بافتی اولیه 200 کیلوپاسکال در نظر گرفته شد. در مرحله بعد با اعمال تابع E (که در بخش 2 استخراج شد) به مصالح و تغییرات مکش از مقدار 200 کیلوپاسکال به 100 کیلوپاسکال تورم در این نمونه شبیه‌سازی شده است. مطابق جدول 2 میزان درصد کرنش افزایش حجم در مدل عددی معادل 3/119% بوده که در تطبیق با مرجع [17] با شرایط مشابه می‌باشد.

شکل 4. هندسه تک‌المان

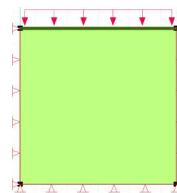


fig4 . Single element geometry

جدول 2. مقایسه مقدار محاسبه شده و آزمایش شده

Time (d)	Y-Displacement (m)	Calculated strain percentage	Experimental strain percentage
0	0		
1	-0.22344	3.119	3.11
2	-0.19225		

Table2. Comparison of calculated and tested value

4- مدل‌سازی عددی

به‌منظور بررسی اثر تغییرات مکش بافتی بر گود پایدار شده با انگر از نرم‌افزار SIGMA/W استفاده شده است. مراحل ساخت گود با آنالیز بارگذاری-تغییرشکل¹ و تغییر مکش بافتی هم‌زمان با تغییرشکل‌ها با کمک آنالیز کوپل² مدل‌سازی شده است. آنالیز کوپل در اینجا به مفهوم جفت شدن انتقال آب و رفتار تنش-کرنش برای شبیه‌سازی فشار آب حفره‌ای گذرا و تغییر شکل (یعنی تحکیم) ناشی از بارگذاری و/یا باربرداری و/یا تغییرات در شرایط هیدرولیکی می‌باشد [22]. نرم‌افزار Geostudio به‌منظور آنالیز کوپل در شرایط خاک اشباع-غیراشباع از رابطه زیر استفاده می‌کند:

$$(5) \{\delta\sigma\} = [D']\{\delta\varepsilon\} + \{m\}\alpha\delta u_w$$

که:

$$(6) \{m\}^T = \{1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\}$$

که در آن $\{\delta\sigma\}$ و $\{\delta\varepsilon\}$ بردارهای متشکل از شش افزایش تنش و شش افزایش کرنش هستند. $[D']$ ماتریس سختی تنش موثر، δu_w تغییرات فشار آب حفره ای و $\{m\}$ بردار پارامترهای حالت است. ماتریس $\{m\}^T$ شامل یک‌هایی است که در سه موقعیت اول قرار دارند زیرا فشار آب به‌صورت ایزوتوپی عمل می‌کند. سه موقعیت آخر $\{m\}^T$ صفر هستند زیرا آب نمی‌تواند تنش برشی را تحمل کند. ضریب α به‌طور شهودی بین 0 و 1 بسته به درجه اشباع متفاوت است. ضریب α برابر با درجه اشباع مؤثر در نظر گرفته شده است [20]:

$$(7) \alpha = S_e = \frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

در رابطه فوق θ_w درصد حجمی رطوبت خاک، θ_r درصد حجمی رطوبت پسماند خاک و θ_s درصد حجمی رطوبت اشباع خاک می‌باشد. ابعاد مدل 54 در 36 متر بوده و سطح آب زیرزمینی در 36 متری زمین در نظر گرفته شده است. شرایط اولیه مکش در خاک به‌صورت هیدرواستاتیک با بیشینه مکش 200 کیلو پاسکال در نظر گرفته شده است. در این پژوهش دو نوع مدل‌سازی انجام شده است. مدل نوع یک، گودی به عمق 12 متر که به‌وسیله شمع و چهار ردیف انگر پایدار شده است.

مدل نوع دو، گودی است با همان مشخصات که تنها به وسیله‌ی شمع پایدار شده است.

مدل یک

مدل 1 شامل یک گود پایدار شده با شمع و چهار ردیف انکر به فواصل افقی دو متر و قائم سه متر می‌باشد. به منظور مدل‌سازی این حالت ابتدا آنالیز درجا انجام شده است. سپس توسط آنالیز بار-تغییر شکل لایه اول خاک برداشته شد. در مرحله بعد انکر فعال‌سازی شده و نیروی کششی به آن اختصاص داده شد. این مراحل به صورت لایه به لایه تا آخرین انکر انجام شد. طراحی انکر مطابق استاندارد FHWA-IF-99-015 [23] انجام شده است و مشخصات انکرها در جدول 2 آورده شده است. شمع مورد استفاده 2IPE24 بوده و طول آن 14 متر است. فاصله افقی شمع‌ها نیز دو متر می‌باشد.

جدول 2. مشخصات انکرها

Anchor angle	Tensile capacity (kN)	The length of the unbounded part	The length of the bounded part	Anchor number
10	450	11	12	1
10	450	9	12	2
10	450	7	12	3
10	600	5	12	4

Table 2. Properties of anchors

مدل 2

مدل شامل یک گود پایدار شده با شمع به فواصل افقی دو متر می‌باشد. در مدل‌سازی این حالت مشابه حالت قبل ابتدا آنالیز درجا انجام شده و سپس گود برداری انجام می‌شود. شمع مورد استفاده در این مدل یک شمع بتنی با مقطع دایره ای به قطر یک متر و طول 14 متر بوده و مدول الاستیسیته آن 28 مگاپاسکال است.

در ادامه شرایط هیدرولیکی برای سه حالت اعمال شرایط مرزی آب و هوایی، ترکیب لوله و چاه جذبی مورد تحلیل قرار گرفته است. برای این مرحله از تحلیل از آنالیز کوپل به منظور در نظر گرفتن هم‌زمان شرایط هیدرولیکی و تغییر شکلی استفاده شده است. در این پژوهش ترکیب لوله و همچنین چاه جذبی مطابق

روش متداول اعمال مرز فشار آب، برای هر دو مدل 1 و 2 شبیه سازی شده است و شرایط آب و هوایی با اعمال مرز Climate تنها برای مدل 1 شبیه سازی شده است.

4-1- مدل‌سازی تأثیر شرایط آب و هوایی (شرایط مرزی Climate)

در نرم افزار SEEP/W امکان مدل‌سازی تبادل رطوبت خاک و هوا از طریق عواملی چون دما، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد، ارتفاع پوشش گیاهی و تابش خورشیدی می‌باشد. در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی دو ماه پربارش شهر سرخس از روش پنمان-مونیت³ جهت محاسبات تبخیر و تعرق استفاده شد. معادله پنمان-مونیت تبخیر و تعرق بالقوه را به دو ترم تشعشع و آئرو دینامیکی جدا می‌کند و یک مدل ترکیبی در نظر گرفته می‌شود (موازنه انرژی و روش آئرو دینامیکی) [24]:

$$q_{PET} = q_{PET}^{rad} + q_{PET}^{aero} = \frac{1}{h_{fg}} \left[\frac{\Gamma(q_n - q_g)}{\Gamma + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} + \frac{p_a c_{sa} (p_{v0}^a - p_v^a) / r_a}{\Gamma + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \right] \quad (8)$$

که در آن q_{PET} شار تبخیر بالقوه، h گرمای نهان تبخیر، q_n تشعشع خالص، q_g شار حرارتی زمین، ρ_a میانگین چگالی هوا (اتمسفرف)، c_{sa} گرمای ویژه هوای مرطوب، $(p_{v0}^a - p_v^a)$ کمبود فشار بخار، P_{v0}^a فشار بخار اشباع در دمای متوسط هوا، P_v^a فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع مرجع، Γ_c مقاومت در سطح حجیم (سایبان زراعی)، Γ_a مقاومت آئرو دینامیکی می‌باشد.

پارامترهای ورودی برای روش پنمان-مونیت شامل دما در برابر زمان، بارندگی در برابر زمان، رطوبت نسبی در برابر زمان، سرعت باد در برابر زمان، ارتفاع پوشش گیاهی در برابر زمان و تابش خورشیدی می‌باشد. در اینجا از پارامتر ارتفاع پوشش گیاهی نسبت به زمان صرف نظر شده است. تابع دما در برابر زمان به صورت سینوسی وارد شده است. بدین شکل که بیشینه دما در ساعت 13 و کمینه دما در ساعت 1 بامداد اعمال می‌گردد.

مدل‌سازی لوله آب در گود به صورت یک ناحیه دایره‌ای شکل با قطر کوچک صورت گرفته است. تحلیل ترکیب‌گی لوله به صورت Coupled Stress/PW و در زمان یک سال انجام شده است. شرایط مرزی برای لوله از نوع هد فشار آب⁵ و با توجه به فشار آب شهری مقدار 200 مگا پاسکال تعریف شده است.

چاه جذبی در گود با کمک دستور خط⁶ و به عمق 12 متر (عمق پرشدگی 10 متر) مدل‌سازی شده است. در مدل‌سازی چاه جذبی از قطر چاه در برابر ابعاد گود صرف نظر شده است. شرایط مرزی برای چاه از نوع هد کل آب⁷ به مقدار 34 متر می‌باشد. تحلیل چاه جذبی به صورت کوپل تنش و فشار آب حفره‌ای⁸ و در زمان یک سال انجام شده است.

برای بررسی تأثیر موقعیت لوله و چاه جذبی در پایداری گود، در سه موقعیت متفاوت، یعنی داخل گوه گسیختگی، روی خط گوه گسیختگی و در نهایت خارج از آن در نظر گرفته شده است. در شکل 6 و 7 به ترتیب موقعیت قرارگیری لوله‌ها و چاه جذبی مشاهده می‌شود.

شکل 6. موقعیت ترکیب‌گی لوله در مختصات متفاوت

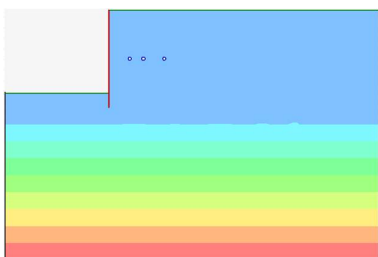


fig. 6 Pipe burst position in different locations

شکل 7. موقعیت چاه جذبی در مختصات متفاوت

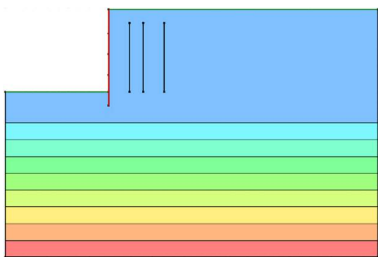


fig7 . The position of the absorption well in different locations

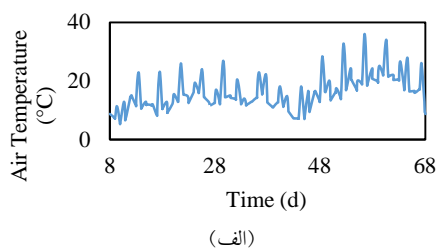
5- نتیجه گیری و بحث

⁷ Water Total Head
⁸ CoupledStress/PWP

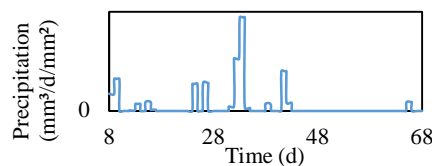
به منظور محاسبه تابش خورشیدی عرض جغرافیایی سرخس (36/5) زمان شروع تحلیل (اول فروردین ماه 1398) و ضریب آلبدو⁴ منطقه اعمال شده است. انعکاس انرژی تابیده به سطح زمین، آلبدوی زمین گفته می‌شود و مقدار آن با توجه به پژوهش زهرا حجازی زاده و همکاران 0/22 در نظر گرفته شده است [25]. در این پژوهش شرایط آب و هوایی دو ماه پربارش فروردین و اردیبهشت در سال 1398 سرخس مورد مطالعه قرار گرفته است و نمودارهای آن در شکل 5 مشاهده می‌گردد.

شکل 5. توابع آب و هوایی شامل الف) دما-زمان ب) بارندگی-زمان ج)

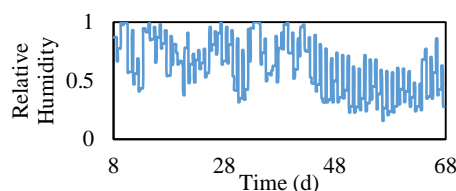
رطوبت نسبی-زمان د) سرعت باد-زمان



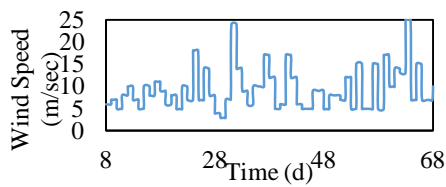
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

fig 5 Climate functions include a) temperature-time b) precipitation-time c) relative humidity-time d) wind speed-time

4-2 مدل‌سازی ترکیب‌گی لوله آب و چاه جذبی

⁴ Albedo
⁵ Water Pressure Head
⁶ Line

شکل 9. کانتور. الف) کانتور فشار آب حفره‌ای مدل 2 در روز 365 ام. ب) کانتور جایه جایی های کلی مدل 1 در روز 365 ام

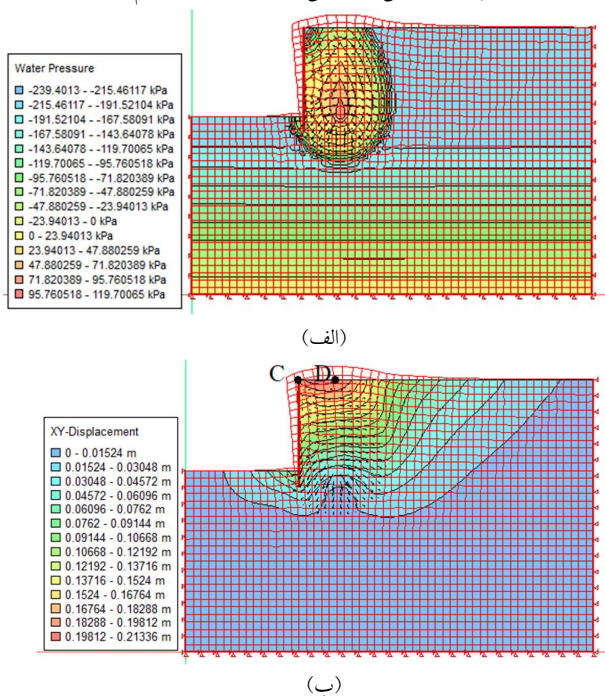


fig. 9 Contour. A) pore water pressure contour model 1 on the 365th day. b) The contour of the overall displacements of model 1 on the 365th day

شکل 10 و 11 نمودارهای لنگر خمشی عضو قائم در مدل 1 و مدل 2 را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود در هر دو مدل با افزایش فاصله چاه از جداره گود میزان لنگر ایجاد شده در عضو قائم کاهش می‌یابد. تفاوت دو مدل در این است که در مدل یک همواره با گذر زمان مقدار لنگر افزایش می‌یابد در حالیکه در مدل دو تغییرات لنگر با زمان به موقعیت چاه جذبی بستگی دارد. بدین صورت که با افزایش فاصله چاه از دیواره گود تأثیر زمان بر تغییرات ممان کم می‌شود و در فاصله 8 متری چاه از جداره گود، ممان مستقل از زمان می‌باشد. علت این امر می‌تواند به خاطر حرکت آزادانه شمع در مدل دو و در نتیجه تأثیر گذاری کمتر چاه در فاصله دور از گود بر ممان خمشی باشد. در فواصل سه متری مقدار ممان تا 90 روز افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. حداکثر مقدار ممان برای فاصله پنج‌متری در 180 روز رخ می‌دهد. مقادیر ممان خمشی برای روش پایدارسازی با شمع بیشتر از 2 برابر روش انکراژ می‌باشد. علت این امر این است که در مدل یک، بخشی از نیروی وارد شده توسط انکرها تحمل می‌شود در حالیکه در مدل دو تمام نیرو به شمع وارد می‌شود.

در این بخش به تحلیل و بررسی اثر هر یک از حالات پر شدن چاه جذبی، ترکیب لوله و شرایط آب‌وهوایی در پایداری گود پرداخته شده است. پارامترهای ممان خمشی دیواره گود، نیروی برشی انکرها، فشار آب حفره‌ای در بالای گود و حداکثر مقدار جابجایی افقی و قائم روی سطح زمین برای بررسی پایداری گود مورد مقایسه قرار گرفتند.

5-1- تأثیر چاه جذبی در عملکرد گود

در تصاویر 8 و 9 به ترتیب کانتورهای فشار آب حفره ای و جابجایی کلی مدل در روز 365 ام آورده شده است؛ با این تفاوت که شکل 8 مربوط به روش انکراژ (مدل یک) و شکل 9 مربوط به سیستم شمع (مدل دو) می‌باشد. نقاط A و B مرتبط به پیشینه جابجایی قائم و افقی در مدل یک و نقاط C و D به ترتیب مربوط به پیشینه جابجایی افقی و قائم در مدل دو می‌باشد. بدلیل اینکه انکرها از حرکت بالای گود جلوگیری می‌کنند؛ حداکثر جابجایی افقی در سیستم انکراژ کمی قبل از چاه رخ می‌دهد. ولی در پایداری به روش شمع؛ حداکثر مقدار جابجایی افقی در بالای گود رخ می‌دهد.

شکل 8. کانتور. الف) کانتور فشار آب حفره‌ای مدل 1 در روز 365 ام. ب) کانتور جایه جایی های کلی مدل 1 در روز 365 ام

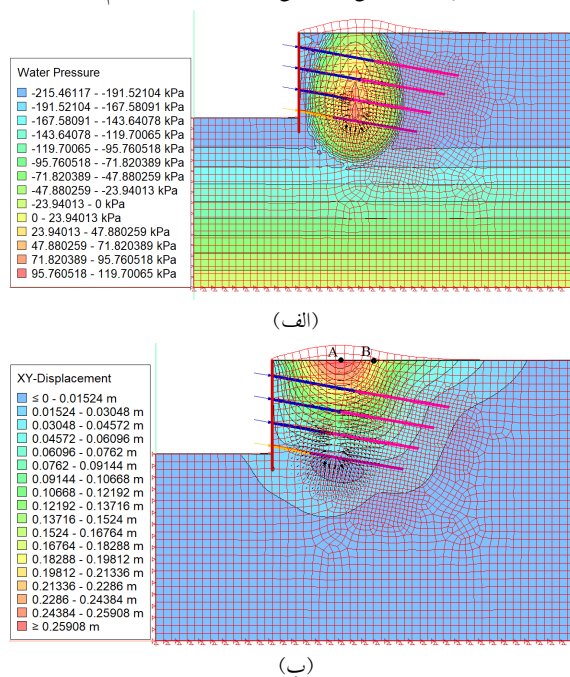
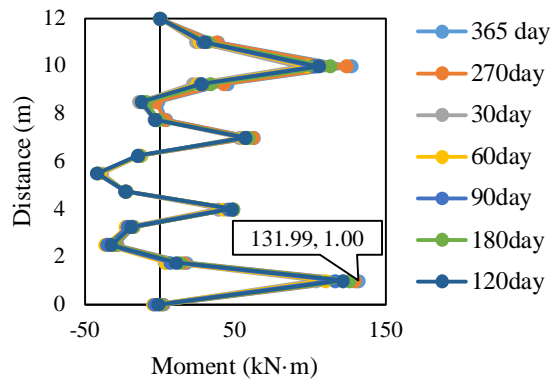
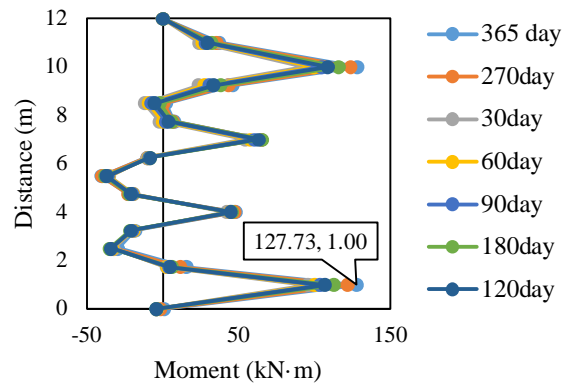


fig. 8 Contour. A) pore water pressure contour model 1 on the 365th day. b) The contour of the overall displacements of model 1 on the 365th day

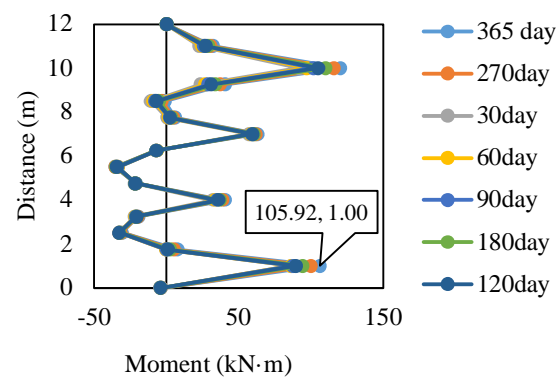
شکل 10. نمودار ممان خمشی - عمق دیواره گود برای گود پایدارسازی به روش انکراژ در مجاورت چاه جذبی. الف) 3 متر، ب) 5 متر، ج) 8 متر از جدارگود



(الف)



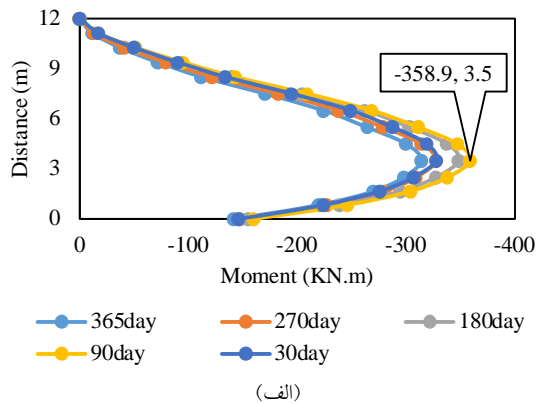
(ب)



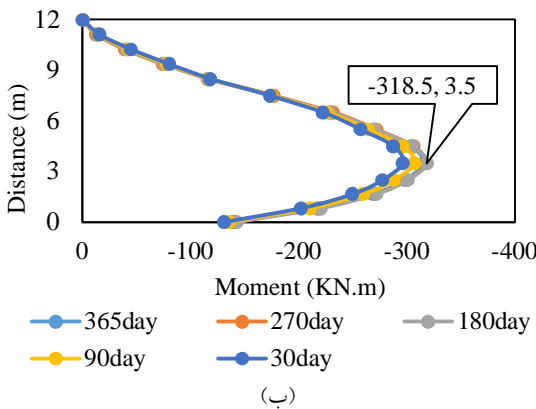
(ج)

fig. 10 Diagram of bending moment-depth of the excavation wall for the stabilization excavation by anchoring method in the vicinity of the absorption well. a) 3 meters, b) 5 meters, c) 8 meters from Jadhargod

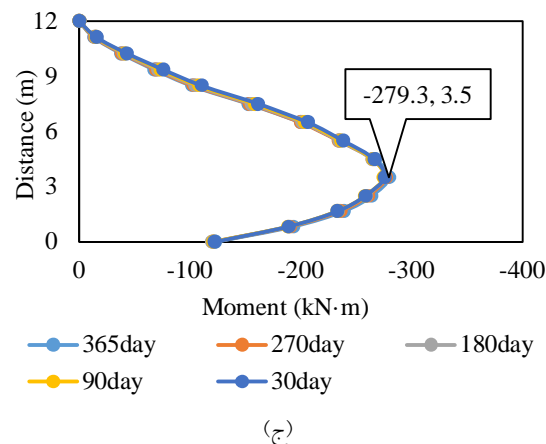
شکل 11. نمودار ممان خمشی - عمق دیواره گود برای گود پایدارسازی به روش شمع در مجاورت چاه جذبی. الف) 3 متر، ب) 5 متر، ج) 8 متر از جدارگود



(الف)

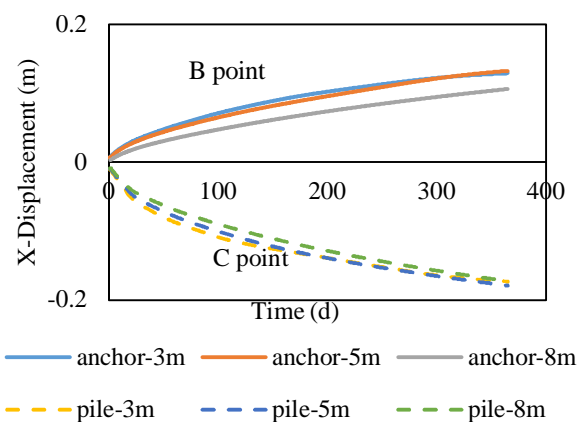


(ب)



(ج)

fig 11 . Diagram of bending moment-depth of the excavation wall for the stabilization pit by the pile method in the vicinity of the absorption well. a) 3 meters, b) 5 meters, c) 8 meters from excavation wall
شکل 12 جا به جایی های افقی و قائم مدل یک و دو را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، کلیه مقادیر جابجایی های افقی در حالت بدون انکر، منفی می باشد و حرکت خاک به سمت گود می باشد. در صورتی که در حالت پایدارسازی با انکر مقادیر حداکثری جابجایی مقادیر مثبت می باشند. علت این

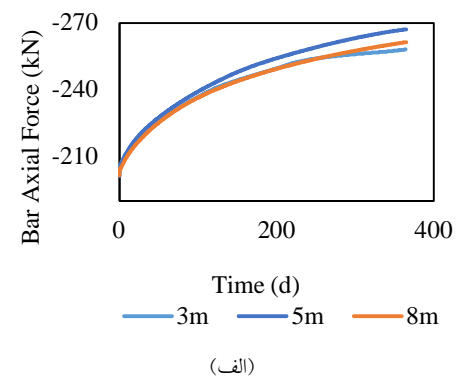


(ج)

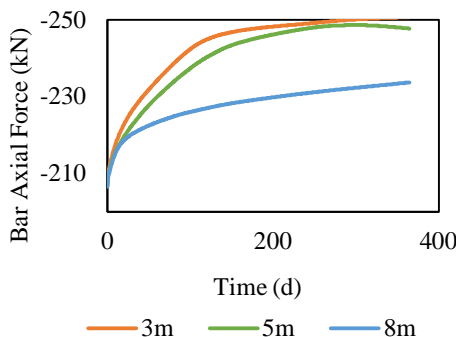
fig12 . Maximum displacements a) vertical displacements versus time, b) horizontal displacements versus time

مطابق شکل 13 با افزایش فاصله چاه از گود، افزایش نیروی محوری انکرها کاهش می‌یابد. علت این امر قرارگیری چاه در گوه گسیختگی در نزدیکی شمع می‌باشد. مطابق شکل 14 هرچه فاصله چاه از گود کمتر باشد، درصد افزایش نیروی تمامی انکرها به جز انکر ردیف اول افزایش می‌یابد. علت استثنا بودن ردیف اول انکر را می‌تواند این گونه تفسیر نمود که فاصله کم چاه از لبه انکر باعث می‌شود که نیرو به صورت کامل در انکر بسیج نشود. شکل 13. نمودار نیروی محوری انکر ها در برابر زمان الف) انکر 1 ب)

انکر 2 ج) انکر 3 د) انکر 4

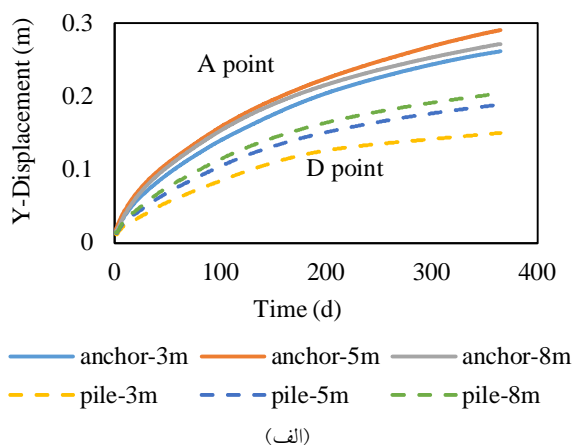


(الف)



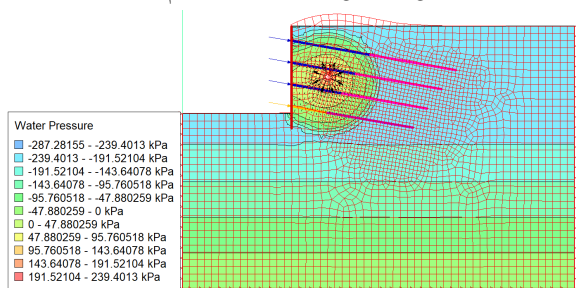
امر این است که انکرها از حرکت خاک به سمت گود جلوگیری می‌کنند. وجود چاه به عنوان یک عامل مخرب در ناحیه متصل باعث کاهش مقاومت سیستم خاک و انکر می‌گردد. بنابراین هرچه چاه از گود فاصله گرفته و به ناحیه متصل نزدیک‌تر گردد؛ میزان جابجایی‌های افقی به سمت گود (جا به جایی افقی منفی) افزایش می‌یابد. در این حالت گود جابجایی منفی را نیز تجربه می‌کند که در فاصله هشت متری برابر 7 سانتی‌متر و در فاصله 5 متری 4/5 و در 3 متری برابر 4 سانتی‌متر می‌باشد.

جابجایی‌های افقی در حالت بدون انکر بحرانی‌تر و بیشتر از حالت با انکر می‌باشد. مقادیر جابجایی قائم نیز برعکس می‌باشد؛ زیرا انکر مانع جابجایی افقی شده و مقدار جابجایی قائم افزایش می‌یابد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، در حالت گود بدون انکر با افزایش فاصله چاه از جداره گود مقدار جابجایی قائم بیشتر می‌شود چرا که وقتی چاه به گود نزدیک باشد بخش بیشتری از نیروی ایجاد شده صرف جابجایی افقی گود می‌شود. ولی در حالت با انکر با افزایش فاصله چاه از جداره گود تا 5 متر مقدار جابجایی بیشتر و بعد از کاهش می‌یابد (مطابق شکل 11 الف))، جابجایی افقی در هر دو حالت با افزایش فاصله چاه از جداره گود افزایش و سپس کاهش می‌یابد؛ زیرا چاه با فاصله 5 متر و 3 متر داخل و روی گوه گسیختگی قرار دارد و شرایط بحرانی‌تری نسبت به چاه با فاصله 8 متری که بیرون از گوه قرار دارد، دارند. شکل 12. حداکثر جابجایی‌های الف) قائم در مقابل زمان، ب) افقی در مقابل زمان

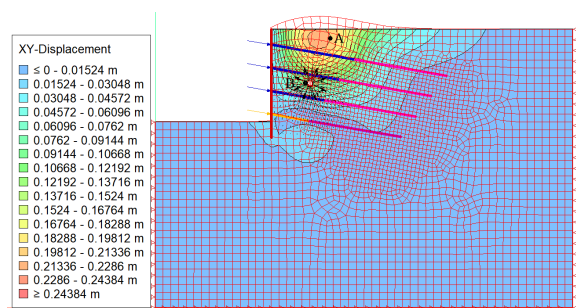


مربوط به بیشینه جابجایی قائم و افقی در مدل یک و نقاط C و D به ترتیب مربوط به بیشینه جابجایی افقی و قائم در مدل دو می‌باشد. حداکثر جابجایی افقی در مدل یک کمی قبل از چاه رخ می‌دهد. ولی مدل دو حداکثر مقدار جابجایی افقی در بالای گود رخ می‌دهد. علت این مسئله جلوگیری انکرها از حرکت افقی بالای گود است.

شکل 15. کانتور الف) کانتور فشار آب حفره‌ای مدل 1 در روز 365 ام. ب) کانتور جایه جایی های کلی مدل 1 در روز 365 ام



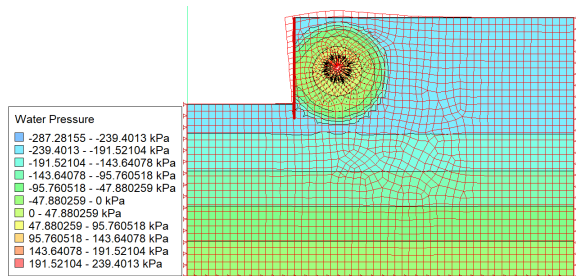
(الف)



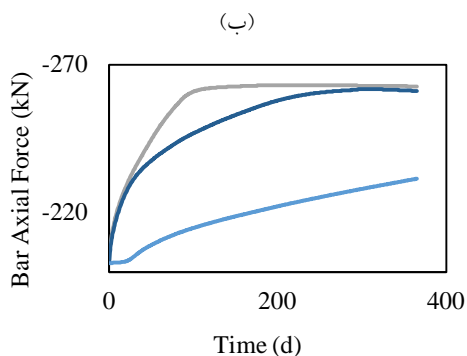
(ب)

fig. 15 Contour. A) Model 1 pore water pressure contour on the 365th day. b) The contour of the overall displacements of model 1 on the 365th day

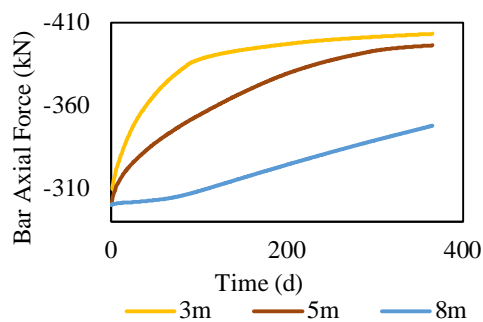
شکل 16. الف) کانتور فشار آب حفره‌ای مدل 2 در روز 365 ام. ب) کانتور جایه جایی های کلی مدل 2 در روز 365 ام



(الف)



(ج)



(د)

fig. 13 Diagram of axial force of anchors against time a) Anchor 1 b) Anchor 2 c) Anchor 3 d) Anchor 4

شکل 14. درصد افزایش نیروی انکرها در صورت وجود چاه جذبی

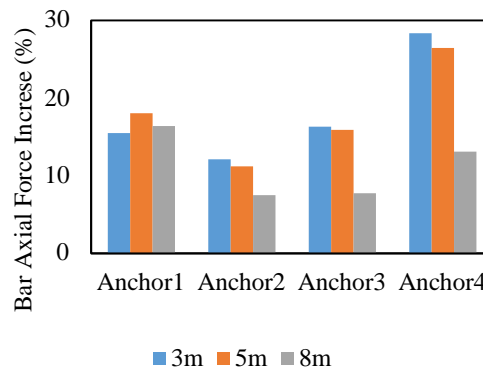


fig14 . The percentage of increase in the force of anchors in the presence of an absorption well

5-2- تأثیر ترکیب لوله بر عملکرد گود

در ادامه به بررسی تأثیر ترکیب لوله در سه مکان مختلف داخل گوه گسیختگی، روی گوه گسیختگی و خارج از آن بر عواملی چون لنگر وارد بر شمع، نیروی محوری انکرها و جابه‌جایی‌های افقی و قائم پرداخته می‌شود. در شکل 15 و 16 به ترتیب کانتورهای فشار آب حفره‌ای و جابجایی کلی مدل در روز 365 ام آورده شده است؛ با این تفاوت که شکل 15 مربوط مدل یک و شکل 16 مربوط به مدل دو می‌باشد. نقاط A و B به ترتیب

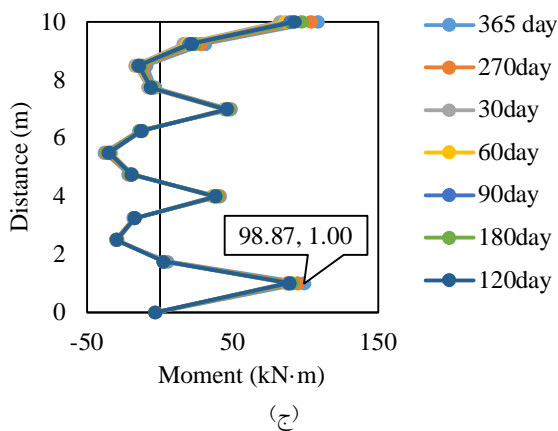


fig17 . Diagram of the bending moment of the pile in the excavation stabilized with the pile and anchor in the vicinity of the pipe burst at distances a) 3 meters b) 5 meters c) 8 meters from the excavation

شکل 17 لنگر وارد بر شمع یک گود پایدار شده با شمع را نشان می دهد. فاصله لوله از گود بر تغییرات فشار آب حفره ای با زمان و در نتیجه تغییرات لنگر با زمان تاثیر گذار است. مطابق شکل 18 تغییرات لنگر با زمان به فاصله ی لوله از گود بستگی دارد. همچنین با توجه به این شکل می توان دریافت با افزایش فاصله لوله از گود میزان لنگر وارد بر شمع کاهش می یابد. با مقایسه شکل های 17 و 18 می توان دریافت که مقدار لنگر شمع گود پایدار شده با شمع و انکر کمتر از گود پایدار شده با شمع است. علت این امر این است که انکر بخشی از نیروی وارد شده ناشی از ترکیدگی لوله را به خود جذب می کند.

شکل 18. نمودار ممان خمشی شمع در گود پایدار شده با شمع در مجاورت ترکیدگی لوله به فواصل الف) 3 متر ب) 5 متر ج) 8 متر

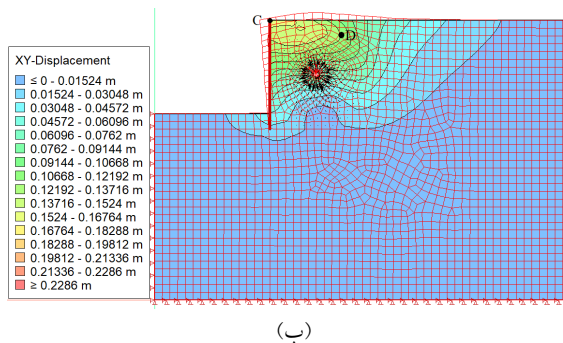
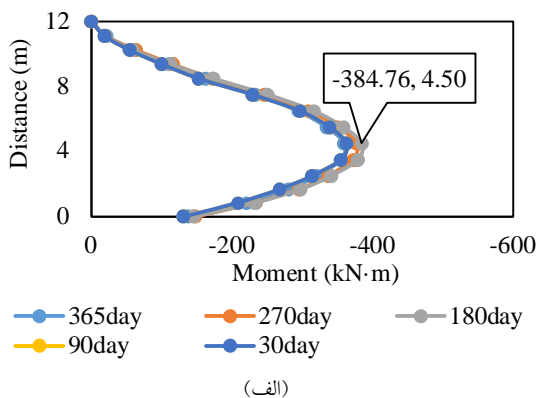
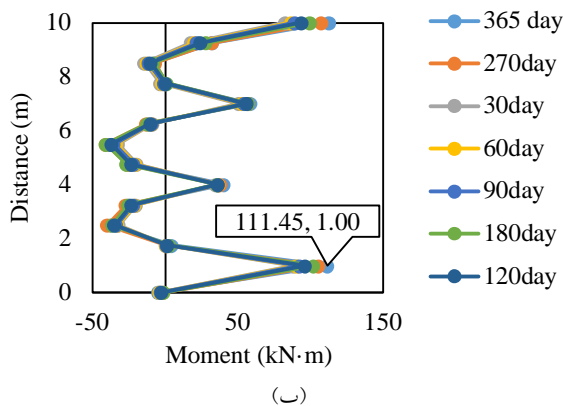
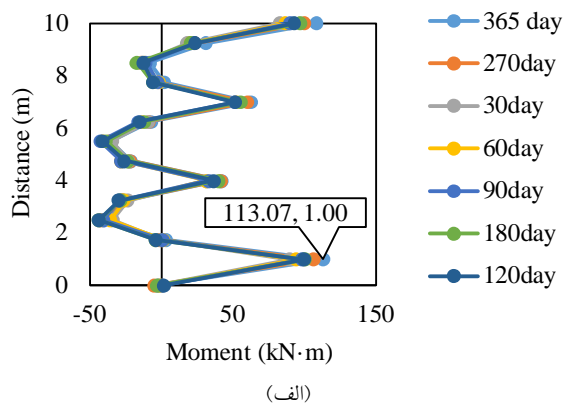


fig. 16 A) model 2 pore water pressure contour on the 365th day. b) The contour of the overall displacements of model 1 on the 365th day

شکل 17 نشان دهنده ی لنگر وارد بر شمع در یک گود پایدار شده با انکر می باشد. از آنجا که با گذر زمان میزان فشار آب حفره ای افزایش می یابد، لنگر وارد بر شمع نیز باید افزایش می یابد که در شکل 17 ملاحظه می گردد که این اتفاق می افتد. همچنین با افزایش فاصله لوله از گود میزان فشار آب حفره ای و در نتیجه لنگر وارد بر شمع کاهش می یابد.

شکل 17. نمودار ممان خمشی شمع در گود پایدار شده با شمع و انکر در مجاورت ترکیدگی لوله به فواصل الف) 3 متر ب) 5 متر ج) 8 متر از گود



متر خارج از گوه گسیختگی است بدیهی است که در هردو شمع پایدار شده به وسیله شمع و انکر پس از گذر 365 روز با افزایش فاصله لوله از گود تا 5 متر جابه‌جایی افقی افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد.

شکل 19. حداکثر جابه‌جایی‌های الف) قائم (در نقطه A و D) و ب) افقی (در نقطه B و C) در طول زمان

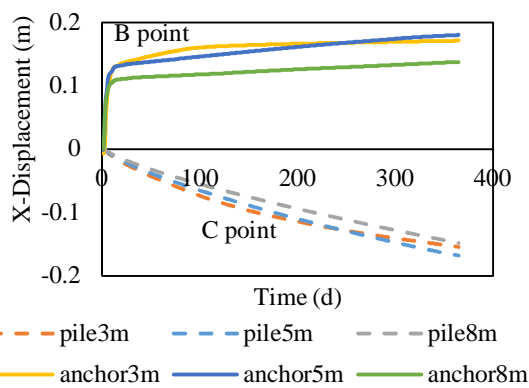
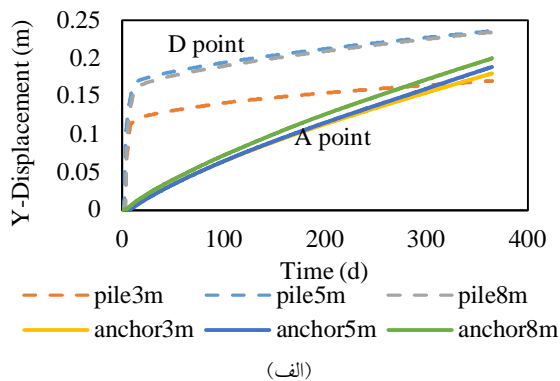


fig 19. Maximum displacements a) vertical (at point A and D) and b) horizontal (at point B and C) during time

مطابق شکل 20 به علت ترکیب لوله و تغییر در مکش بافتی نیروی محوری در انکرها افزایش می‌یابد. انکر 1 بالاترین ردیف انکر و انکر 4 پایین‌ترین ردیف انکر است. مطابق شکل 20 افزایش نیروی بالاترین انکر تقریباً مستقل از محل ترکیب لوله است در حالی که در سه انکر دیگر با افزایش فاصله ترکیب لوله از گود به علت کاهش فشار آب حفرة ای نیروی انکر کاهش می‌یابد. شکل 21 نشان‌دهنده درصد افزایش نیروی محوری در انکرها است. انکر شماره 2 همواره کمترین افزایش نیرو را دارد. علت این مسئله می‌تواند در مرکز واقع شدن این انکر و نزدیک بودنش به لوله و در نتیجه کمتر بودن تغییر شکل‌ها باشد.

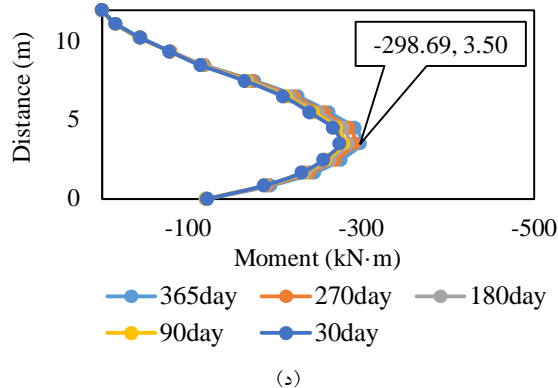
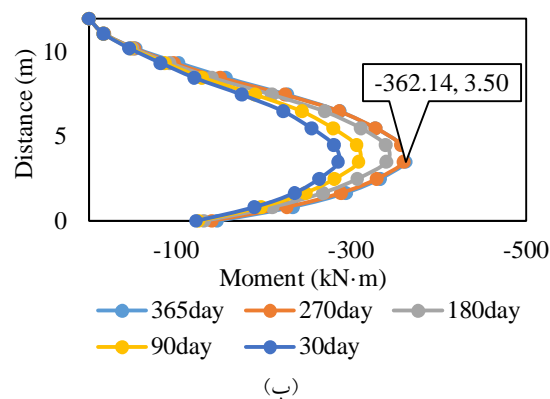


fig . 18 Diagram of the bending moment of the pile in the excavation stabilized with the pile in the vicinity of the pipe burst at distances a) 3 meters b) 5 meters c) 8 meters

در گود پایدار شده به کمک شمع، حداکثر مقدار جابه‌جایی افقی در بالای گود و حداکثر مقدار جابه‌جایی قائم در پایین لوله رخ می‌دهد. در صورت استفاده از انکر در پایدارسازی، انکرها از حرکت بالای گود جلوگیری می‌کنند از این رو حداکثر جابه‌جایی قائم در نزدیکی سطح زمین و کمی قبل از لوله اتفاق می‌افتد و حداکثر جابه‌جایی افقی در سمت چپ لوله رخ می‌دهد. مطابق شکل 19 با دور شدن از گود از فاصله معینی به بعد تاثیر گود از بین رفته و جابه‌جایی قائم ثابت می‌ماند. این فاصله برای گود پایدار شده با انکر و گود پایدار شده با شمع متفاوت است. به طوری که در گود پایدار شده با انکر به دلیل وجود انکرها تا فاصله بیش از 8 متر و تاثیر انکر هنوز افزایش جابه‌جایی قائم موجود است ولی در گود پایدار شده با شمع از آنجا که از ناحیه تاثیر شمع خارج می‌شود دیگر افزایش جابه‌جایی قائم نبوده و پس از فاصله پنج متر جا به جایی قائم ثابت باقی می‌ماند. مطابق شکل 19 (ب) در گود پایدار شده به وسیله شمع جابه‌جایی‌های افقی منفی (به سمت گود) می‌باشد. از آنجا که فاصله 3 متر داخل گوه گسیختگی و فاصله 5 متر روی گوه گسیختگی و فاصله 8

3-5- تأثیر شرایط آب و هوایی (شرایط مرزی Climate)

از عوامل تأثیرگذار بر مکش بافتی شرایط آب و هوایی می‌باشد. در این پژوهش شرایط آب و هوایی دو ماه پربارش از شهرستان سرخس به مدل اعمال شده است. در قسمت‌های الف و ب شکل 22 به ترتیب کانتورهای فشار آب حفره‌ای و جابه‌جایی کلی در روز 60 ام می‌باشد. در شکل 22 نقطه A بیشینه جابه‌جایی افقی و نقطه B بیشینه جابه‌جایی قائم می‌باشد.

شکل 22. الف) کانتور فشار آب حفره‌ای در روز 60 ام. ب) کانتور تغییر شکل کلی در روز 60 ام

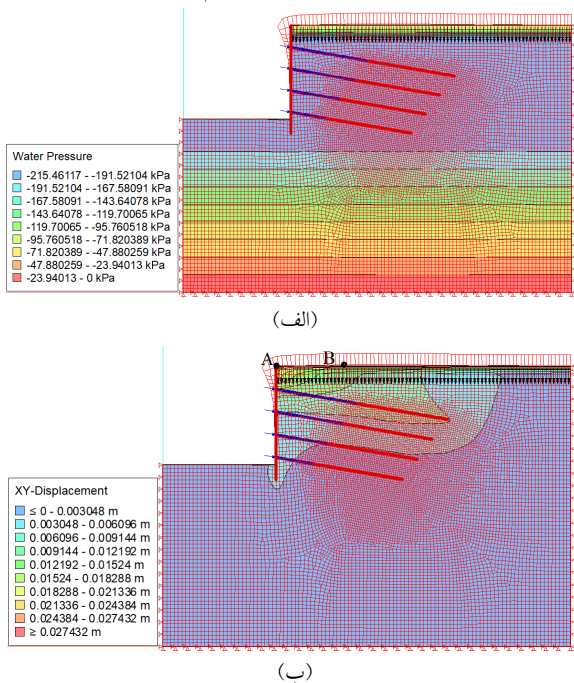


fig22 . a) Contour of pore water pressure on the 60th day. b) contour of overall deformation on the 60th day

مطابق شکل 23 با گذر زمان لنگر وارد بر شمع افزایش می‌یابد. همچنین بر اساس این شکل می‌توان دریافت که شرایط مرزی آب و هوایی تنها بر روی ممان خمشی تقریباً 6 متر بالای شمع تأثیرگذار است. این ناحیه همان ناحیه فعال است [8] که تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی شبانه‌روز قرار می‌گیرد و به کمک این مدل‌سازی کاملاً قابل مشاهده است.

هرچه فاصله لوله از گود بیشتر باشد افزایش نیرو کاهش می‌یابد. از آنجاکه انکر 1 بیشترین جابه‌جایی افقی را تحمل می‌کند افزایش نیروی این انکر نسبتاً از بقیه انکرها بیشتر است.

شکل 20. نمودار نیروی محوری انکرها در برابر زمان (الف) انکر 1 ب) انکر 2 ج) انکر 3 د) انکر 4

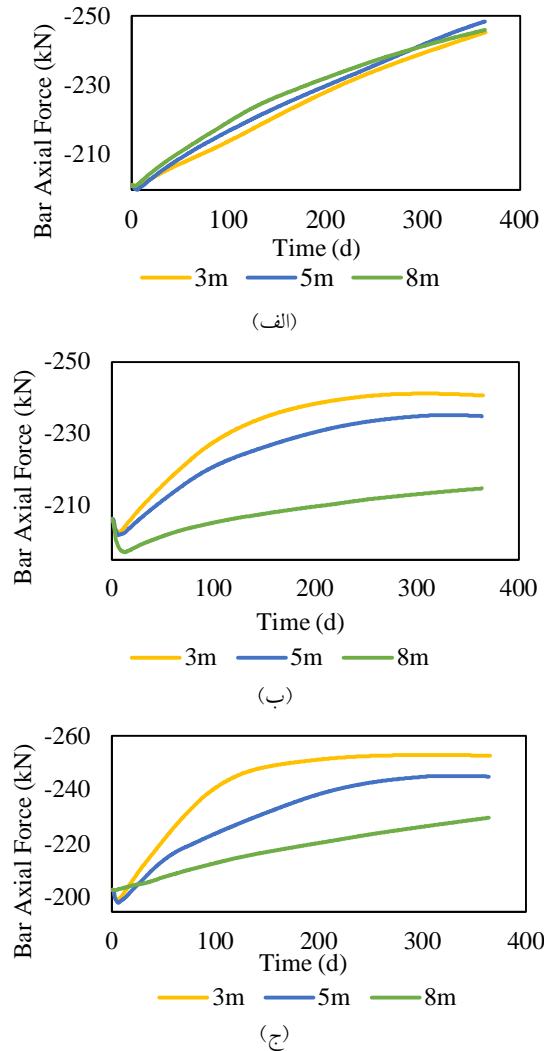


fig .20 Diagram of axial force of anchors against time a) Anchor 1 b) Anchor 2 c) Anchor 3 d) Anchor 4
شکل 21. درصد افزایش نیروی انکرها در ترکیب لوله

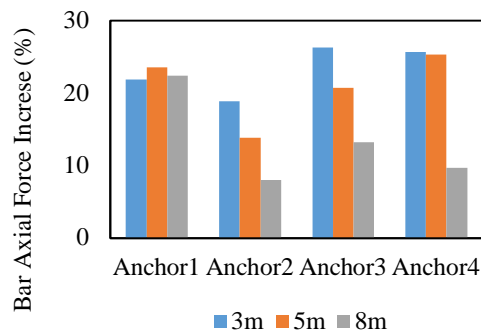


fig21 . Percentage increase in anchor force in pipe burst

مطابق شکل 25 در اثر مدل‌سازی شرایط آب و هوایی تنها در انکر اول افزایش نیرو اتفاق می‌افتد. در انکر های 2 و 3 و 4 تقریباً نیروی محوری تغییری نمی‌کند. مقدار افزایش نیروی انکر اول 4/5 درصد می‌باشد. این مقدار در مقابل افزایش نیروی انکرهای گود در مجاورت چاه جذبی و ترکیدگی لوله بیش از 20 درصد می‌باشند بسیار کمتر است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت وجود چاه جذبی و یا ترکیدگی لوله نسبت به دو ماه پربارش برای پایداری گود بحرانی‌تر است.

شکل 25. نمودار نیروی محوری انکر در برابر زمان تحت شرایط آب‌وهوایی

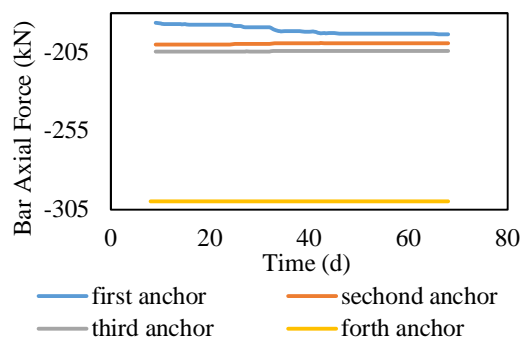


fig25 . Diagram of anchor axial force versus time under climate conditions

6- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با کمک روش عددی اثر وجودی یک چاه جذبی و ترکیدگی لوله آب و تغییر موقعیت آن‌ها و همچنین شرایط آب‌وهوایی بر روی تغییر شکل و نیروهای داخلی در اجزای سازه‌ای یک گود تقویت‌شده با روش انکراژ و شمع با گذشت زمان مورد بررسی قرار گرفته است. خاک مورد بررسی در این پژوهش از نوع متورم شونده هست. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد:

- 1- در صورت وجود ترکیدگی لوله و چاه جذبی که باعث افزایش فشار آب حفره‌ای و در نتیجه نیروهای داخلی می‌شود؛ تغییرات ممان خمشی با زمان به فاصله‌ی لوله و چاه از جداره گود بستگی دارد. بدین صورت که با افزایش فاصله منبع نفوذ آب از جداره گود میزان ممان خمشی وارد بر شمع کاهش می‌یابد.
- 2- میزان کاهش ممان خمشی با افزایش فاصله برای چاه و لوله در مدل 1 و مدل 2 متفاوت است. برای مثال در چاه پایدار شده با شمع و انکر با افزایش فاصله از 3

شکل 23. نمودار لنگر وارد بر شمع در طول آن

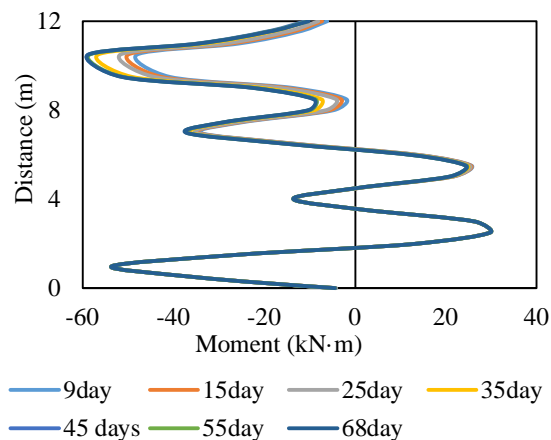
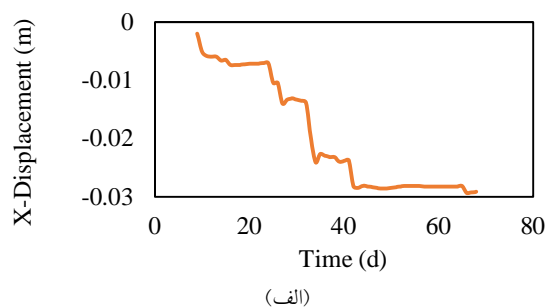
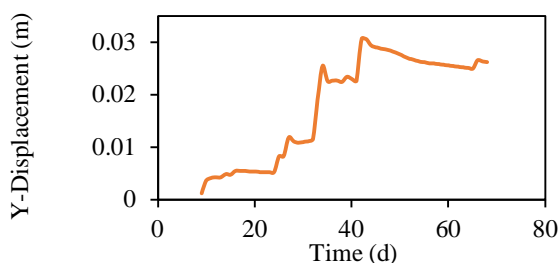


fig23 . Diagram of the moment applied to the pile along its length

در این حالت حداکثر جابه‌جایی افقی در بالای گود و حداکثر جابه‌جایی قائم در سطح زمین و با فاصله از گود می‌باشد. همان‌طور که در شکل 24 ملاحظه می‌شود، جابه‌جایی افقی منفی (به سمت گود) بوده و حداکثر مقدار آن 2/9 سانتی‌متر می‌باشد. حداکثر جابه‌جایی قائم 3 سانتی‌متر بوده و در 42 امین روز اتفاق افتاده است. مقدار جابه‌جایی‌های اتفاق افتاده در اثر شرایط آب و هوایی دو ماه پربارش به مراتب کمتر از جابه‌جایی ناشی از مدل‌سازی چاه جذبی و ترکیدگی لوله به مدت یک سال می‌باشد. شکل 24. نمودار جابه‌جایی حداکثر الف) افقی در نقطه A ب) قائم در نقطه B



(الف)



(ب)

fig .24 Maximum displacement diagram a) horizontal at point A b) vertical at point B

متر به 8 متر، 19/7 درصد کاهش، چاه پایدار شده با شمع به تنهایی 22/2 درصد، ترکیب لوله گود پایدار شده با شمع و انکر 12/5 درصد و ترکیب لوله پایدار شده با شمع به تنهایی 22/4 درصد کاهش ممان خمشی موجود است. این نتایج نشانگر این مسئله است که وجود انکر باعث کم شدن کاهش ممان خمشی با افزایش فاصله می‌گردد.

3- مقدار ممان خمشی متأثر از وجود چاه جذبی و ترکیب لوله در شمع، در روش گود پایدار شده با شمع بیش از 2 برابر گود پایدار شده با شمع و انکر است. زیرا انکرها تا حدی در مقابل نیروهای داخلی ناشی از نفوذ آب مقاومت می‌کنند.

4- در گود پایدار شده با سیستم شمع و انکر، جابجایی قائم با افزایش فاصله ترکیب لوله از جداره گود، 10/8 درصد افزایش می‌یابد و در گود پایدار شده با شمع با افزایش این فاصله تا مرز گوه گسیختگی 38/2 درصد افزایش یافته و پس‌از آن تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

5- جابجایی افقی در گود پایدار شده به وسیله شمع تحت تأثیر ترکیب لوله و چاه جذبی، منفی (به سمت گود) می‌باشد. در صورتی که در حالت پایدارسازی با انکر مقادیر حداکثری جابجایی مثبت می‌باشند ولی با افزایش فاصله چاه از جداره گود مقادیر جابجایی‌های افقی منفی نیز افزایش می‌یابد. در این حالت گود جابجایی منفی را نیز تجربه می‌کند. جابجایی افقی تحت شرایط آب و هوایی نیز منفی می‌باشد.

6- در هردو گود پایدار شده به وسیله انکراژ و شمع پس از گذر 365 روز با افزایش فاصله لوله از گود تا مرز گوه گسیختگی جابجایی افقی افزایش یافته و پس‌از آن کاهش می‌یابد.

7- افزایش نیروی بالاترین انکر تقریباً مستقل از محل ترکیب لوله و چاه جذبی است در حالی که در سه انکر دیگر با افزایش فاصله ترکیب لوله و چاه از

جداره گود این درصد افزایش، کاهش می‌یابد. همچنین نیروی انکرها در صورت وجود ترکیب لوله بیشتر از چاه جذبی است.

8- در روش پایدارسازی گود با شمع و انکر، افزایش نیروی انکرها در صورت وجود ترکیب لوله به صورت میانگین 3/43 درصد بیشتر از چاه جذبی در طول یک سال می‌باشد.

9- شرایط آب و هوایی بر روی 6 متر بالایی گود یعنی ناحیه فعال تأثیر می‌گذارد.

10- مقدار جابجایی‌های اتفاق افتاده در اثر شرایط آب و هوایی دو ماه پربارش به مراتب کمتر از جابجایی ناشی از مدل‌سازی چاه جذبی و ترکیب لوله به مدت یک سال می‌باشد. برای مثال کمترین جابجایی افقی برای چاه و ترکیب لوله در فاصله 8 متر رخ می‌دهد که به ترتیب 262 درصد و 373 درصد از شرایط آب و هوایی بیشتر است. همچنین کمترین جابجایی قائم برای چاه جذبی و ترکیب لوله در فاصله 3 متری از گود رخ می‌دهد که به ترتیب 740 درصد و 480 درصد بیشتر از شرایط آب و هوایی است. پایداری گود در صورت وجود چاه جذبی و ترکیب لوله به مدت یک سال نسبت به دو ماه پربارش شهر سرخس بحرانی‌تر می‌باشد.

5- مراجع

- [1]A.P. Pratama, H.C. Hardyatmo, F. Faris, Parametric Study of the Effect of Ground Anchor on Deep Excavation Stability, in: J. Civ. Eng. Forum, 2020, pp. 19.
- [2]R. Zhang, J. Zhao, G. Wang, Stability analysis of anchored soil slope based on finite element limit equilibrium method, Mathematical Problems in Engineering, 2016. (2016)
- [3]C.S. Josefino, N. Guerra, A. Antão, Influence of the embedded length on the overall stability of single anchored retaining walls, Soils Rocks, 40 (2017) 133-145.
- [4]K. Papadopoulou, A. Sofianos, Factors Affecting the Behaviour of Retaining Structures with Prestressed Anchorages Under 2D and 3D

instability of an unsaturated soil slope, *Canadian Geotechnical Journal*, 41 (2004) 1111-1126.

[16]S. Qi, S.K. Vanapalli, Hydro-mechanical coupling effect on surficial layer stability of unsaturated expansive soil slopes, *Computers and Geotechnics*, 70 (2015) 68-82.

[17]A.N. Yazdi, A. Akhtarpour, M.M. Abdalhusein, M.S. Baradaran, Experimental Investigation of the Volume Change of a Swelling Clay and Its Improvement, *Transportation Infrastructure Geotechnology*, (2023) 1-24.

[18]balighi, Laboratory and numerical investigation of the swelling soil behavior using unsaturated triaxial test - case study: Khangiran Sarakhs, in: faculty of engineering Department of civil engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, 1402.

[19]B.M. Das, Principles of geotechnical engineering, Cengage learning, 2021.

[20]M.T. Van Genuchten, A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society of America Journal*, 44 (1980) 892-898.

[21]A. yazdi Laboratory investigation of expansive soil volume change and its improvement method based on unsaturated soil mechanics, in: faculty of engineering Department of civil engineering Ferdowsi university of Mashhad, 1400.

[22]W. Geostudio Sigma, Engineering Book for Stress-Deformation Modeling with Sigma/W, Geo-Slope International Ltd., Calgary, Alberta, Canada, (2012)

[23]P. Sabatini, D. Pass, R. Bachus, Geotechnical engineering circular no. 4: Ground anchors and anchored systems, in, 1999.

[24]GEO-SLOPE, Heat and Mass Transfer Modeling with GeoStudio, Geostudio Help, 2022.

[25]H.z. Zahra, B. Nasrin, R. Alireza, T.n. Meysam, B. Atefe, Spatial-temporal modeling of albedo in the area of Iran, *Applied Research of Geographical Sciences*, 17 (1396) 1-17.

Conditions, *Geotechnical and Geological Engineering*, 34 (2016) 1877-1887.

[5]A. Johari, A. Kalantari, System reliability analysis of soldier-piled excavation in unsaturated soil by combining random finite element and sequential compounding methods, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80 (2021) 2485-2507.

[6]D.G. Fredlund, H. Rahardjo, Soil mechanics for unsaturated soils, John Wiley & Sons, 1993.

[7]A. Gholampour, A. Johari, Reliability-based analysis of braced excavation in unsaturated soils considering conditional spatial variability, *Computers and Geotechnics*, 115 (2019) 103163.

[8]L. Ning, J.L. William, *Unsaturated Soil Mechanics*, 2004.

[9]G. Sivakumar Babu, D. Murthy, Reliability analysis of unsaturated soil slopes, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 131 (2005) 1423-1428.

[10]S.E. Cho, S.R. Lee, Instability of unsaturated soil slopes due to infiltration, *Computers and geotechnics*, 28 (2001) 185-208.

[11]C.P.K. Gallage, T. Uchimura, Effects of wetting and drying on the unsaturated shear strength of a silty sand under low suction, in: *Unsaturated soils 2006*, 2006, pp. 1247-1258.

[12]H. Rahardjo, A. Satyanaga, E.C. Leong, Unsaturated soil mechanics for slope stabilization, *Geotech. Eng. J. SEAGS AGSSEA*, 43 (2012) 48-58.

[13]a. Ali, s. Narges, e.f. Amin, r.k. Amir abas, Effect of matric suction on excavation stability in unsaturated soil, *Journal of the Engineering Geological Society of Iran*, 15 (1401) 1-17.

[14]C.-S. Tang, Q. Cheng, T. Leng, B. Shi, H. Zeng, H.I. Inyang, Effects of wetting-drying cycles and desiccation cracks on mechanical behavior of an unsaturated soil, *Catena*.104721 (2020) 194 ,

[15]J.A. Blatz, N.J. Ferreira, J. Graham, Effects of near-surface environmental conditions on

the effect of matric suction changes on the behavior of an anchored excavation in expansive soil

Maryam Mansouri¹, Aliyeh Labib², Ali Akhtarpour³

1- PhD student, Ferdowsi University of Mashhad

2- PhD student, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Due to the increase in population and the increasing need for construction, the issues related to excavation and stability of the excavation have been given importance. The stability of excavations can be controlled and improved by various methods such as anchoring, retaining walls, shielding, etc. that in each project, according to the characteristics of that project and the type of factors threatening the stability of that excavation, one or more stabilization methods can be used. The excavation investigated in this research is stabilized by two pile-anchor and concrete pile methods. One of the factors leading to the instability of the excavation is the infiltration of water into the excavation. Water infiltration into the excavation can be due to various reasons such as rainfall, rise of the underground water level, pipe burst, etc.; Therefore, the possibility of water infiltration into the excavation should be checked in each excavation, and necessary measures should be taken in case of water infiltration. matric suction is defined as the difference between pore air pressure and pore water pressure, which plays a major role in the shear resistance behavior of unsaturated soils; Now, water infiltration reduces matric suction and as a result reduces shear resistance and increases soil volume in expansive soils. The well studied in this research has been exposed to factors that change matric suction such as pipe burst, absorption well and climate conditions. The boundary conditions of pipe bursting and absorption well are assumed for a period of one year; Also, the weather conditions have been obtained from the meteorological data of the two rainy months of Sarakhs city. Using sigma/W software and Couple analysis, the simultaneous effect of change in matric suction and change in stress and strain has been investigated. Also, the Penman-Monteith method has been used for the calculation of evaporation and transpiration to model the climate conditions. In this research, a comparison was made between different excavation stabilization situations (pile-anchor and pile method) under different conditions of matric suction (pipe burst, absorption well and weather conditions). Also, in this research, the effect of the location of the burst pipe and absorption well (distance from the excavation wall) on factors such as deformations, the moment created in the pile and the forces created in the anchors (behavior of the excavation) was investigated. Considering the destructive behavior of expansive soils in unsaturated conditions, the soil studied in this research is of expansive type. The characteristics of the modeled soil are related to the area of Sarakhs city. In order to consider the effect of soil swelling, the used elasticity modulus is related to the effective stress and as a result matric suction, which is called the swelling modulus. The results showed that the increase in moisture in the soil and as a result the decrease in matric suction in the swelling soil increases the force in the anchors and the bending moment in the pile. Also, the increase in the force of the anchors and the displacement created in the case of pipe bursting and absorption well modeling is much more than the conditions of the climate boundary effect for the two rainy months of the year. By increasing the distance of the absorption well and the bursting of the pipe from the excavation, the increase in the force created in the anchors decreases. climate conditions affect the upper 6 meters of the excavation, i.e. the active zone.

Key words: unsaturated soil, expansive soil, excavation stabilization, Couple analysis, absorption well, pipe burst, climate condition