



شبیه‌سازی دینامیکی گروه ریز شمع تحت بار دینامیکی به روش دوفازی

رضا خدابنده^۱، سید احسان سیدی حسینی نیا^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

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

reza.khodabandeh@mail.um.ac.ir

esevedi@um.ac.ir

خلاصه

در این پژوهش شبیه‌سازی گروه شمع تحت بار دینامیکی قائم به روشی نوینی به نام دوفازی که نوعی از همگن‌سازی میان خاک و مسلح‌کننده است صورت گرفته است. مدل‌سازی و تحلیل گروه ریز شمع با این روش بسیار سریع‌تر و آسان‌تر است. هدف از انجام این مدل‌سازی مقایسه نتایج تحلیل باحالتی است که گروه شمع‌ها به صورت مجزا مدل‌سازی و تحلیل می‌شوند. در این پژوهش مدل‌سازی‌ها با نرم‌افزار مبتنی به روش اختلاف محدود FLAC دوبعدی صورت گرفته است. نتایج حاصل حاکی از دقت خوب این روش در کنار سرعت بالای آن دارد.

کلمات کلیدی: همگن‌سازی، دوفازی، گروه شمع، FLAC

۱. مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون ساخت سازه‌های مختلف و روبه‌رو شدن با خاک‌های مسئله‌دار، اهمیت به‌سازی خاک^۳ دوچندان شده است. در بحث به‌سازی خاک دو روش در برابر ما قرار دارد، یکی استفاده از المان‌های باربر درون خاک (خاک مسلح^۴) و دیگری بهبود خواص مکانیکی خاک است. استفاده از ریز شمع به دلیل قرار دادن المان و سپس تزریق دوغاب به آن ترکیبی از دو روش ذکر شده است، که عملکرد مناسبی در به‌سازی خاک دارد. [۱] بررسی پژوهش‌های پیشین در مورد گروه ریز شمع‌ها و عملکرد آن‌ها روشنگر آن است که، مطالعات اندکی در زمینه‌ی خاک مسلح شده با تعداد زیادی ریز شمع انجام گرفته است، و انجام پژوهش‌های بیشتر ضروری است. تحلیل و بررسی گروه ریز شمع به دلیل اثری که این المان‌ها بر یکدیگر می‌گذارند و تعداد زیاد آن‌ها امری پیچیده و دشوار است و از طرفی تحلیل و بررسی گروه ریز شمع به روش آزمایشگاهی امری بسیار پرهزینه و زمان‌بر است، به همین دلیل رفتار خاک مسلح به کمک روش‌های عددی مختلفی نظیر روش اجزای محدود^۵ و روش اختلاف محدود^۶ مطالعه می‌شوند. با توجه به سیستم لایه‌ای خاک مسلح و آرایش منظم لایه‌ها رفتار محیط خاک مسلح را از دو روش دیگر نیز می‌توان مطالعه نمود. در دیدگاه اول، به هر عنصر تشکیل دهنده توجه شده و خصوصیات رفتاری هر یک در تحلیل رفتار کلی مجموعه در نظر گرفته می‌شود، به عبارت دیگر، خاک و تسلیح‌کننده به صورت مجزا در تحلیل در نظر گرفته می‌شوند. در مقابل، روش تحلیلی دیگری در پیش گرفته شده است که در آن، خصوصیات معادلی برای کل این مجموعه منظم در نظر گرفته می‌شود، به طوری که بتوان به کمک آن، رفتار مجموعه اولیه را با تقریب قابل قبولی به دست آورد. روش‌هایی که در دیدگاه دوم قرار می‌گیرند، به روش‌های همگن‌سازی معروف می‌باشند. در روش‌های همگن‌سازی، محیط خاک مسلح (که به طور ذاتی یک محیط غیر همگن می‌باشد) با یک محیط معادل همگن ولی ناهمسان جایگزین می‌شود. به کارگیری روش‌های عددی برای محیط‌های ناهمگن که از عناصر مختلف با رفتارهای متفاوت تشکیل شده‌اند (نظیر خاک مسلح)، مشکلاتی را به همراه دارد. به عنوان مثال، می‌توان به پیچیده شدن شبکه، عدم جفت‌وجور شدن المان‌های تشکیل شده با رفتارهای مختلف و در نتیجه طولانی شدن مدت‌زمان تحلیل و گران‌تر تمام شدن آن اشاره نمود. با کمک روش‌های همگن‌سازی، مطالعه محیط سیستم چندلایه به صورت راحت‌تر، ارزان‌تر و سریع‌تر انجام می‌گیرد. [۲]

³ Soil improvement

⁴ Soil reinforcement

⁵ Finite element method

⁶ Finite difference method



یازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران

۱۱ و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۸

دانشگاه شیراز، شیراز، ایران



یکی از کارهای ارزشمند در زمینه بررسی رفتار دینامیکی گروه ریز شمع توسط ال-شارنوبی و نواک [۳]، به صورت صحرایی انجام شده است. این پژوهش به هدف بررسی پاسخ گروه ریز شمع تحت بارهای دینامیکی قائم، افقی، پیچشی و استاتیکی قائم صورت گرفته است. در این مدل سازی این کار صحرایی مدل سازی شده است.

۲. معرفی نرم افزار

مدل سازی عددی انجام شده در این پژوهش به وسیله نرم افزار FLAC [۴] دوبعدی صورت گرفته است. این نرم افزار یک برنامه تفاضل محدود است که برای محاسبات مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. این برنامه رفتار سازه هایی را که در آن خاک یا سنگ و یا سایر مصالحی که ممکن است بعد از حد تسلیم به حد پلاستیک برسند به خوبی مدل سازی می کند. این نرم افزار برای مهندسی ژئوتکنیک و معدن طراحی شده و قابلیت های بسیار گسترده ای دارد. (۴)

۳. روش انجام پژوهش

مدل مورد بررسی برگرفته شده از یک آزمایش صحرایی است. در این آزمایش صحرایی ۱۰۲ شمع که به یک کلاهک بتنی به ضخامت ۱۱۰ میلی متر متصل شده است. مدل سازی به روش اختلاف محدود صورت گرفته است. مدل سازی یک بار به روش مجزا انجام شده است، یعنی شمع ها به صورت تکی و جداگانه در محیط خاک قرار گرفته اند، سپس بار دیگر مدل سازی با روش همگن سازی (دوفازی) انجام شده است. مدل رفتاری استفاده شده الاستیک است. کلاهک بتنی تحت بار دینامیکی قائم قرار گرفته است. مشخصات شمع ها استفاده شده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات شمع ها

وزن مخصوص (KN/m^3)	مدول یانگ (GPa)	طول (m)	قطر (m)
76.8	200	1.060	0.0267

خاک از نوع ماسه بوده که مشخصات آن در جدول ۲ آمده است. یکی از پارامترهای بسیار مهم در تحلیل های دینامیکی مدول یانگ خاک است که به وسیله نسبت پواسون به مدول برشی و مدول بالک مرتبط می شود. در این پژوهش سرعت موج برشی در خاک در اعماق مختلف ارائه شده است و با استفاده از رابطه

$$G = \rho * v_s^2 \quad (1)$$

مدول برشی خاک قابل محاسبه است. که در این رابطه ρ جرم مخصوص خاک و v_s سرعت موج برشی در خاک است.

جدول ۲- مشخصات خاک

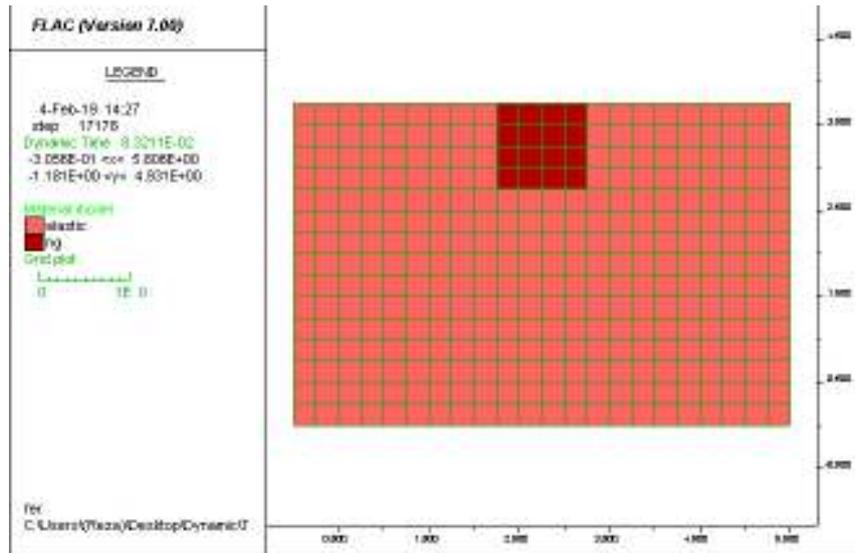
نسبت پواسون	0.3	وزن مخصوص (KN/m^3)	16.8
سرعت موج برشی (m/s)		عمق (m)	
	87	0-0.5	
	100	0.5-1	
	120	1-1.5	
	130	1.5-2	
	170	2-3	

در شکل ۱ نحوه قرارگیری ریز شمع ها و فواصل آن ها مشخص شده است. این گروه ریز شمع شامل ۱۰۲ ریز شمع بوده که با اتصالی صلب به کلاهک بتنی متصل شده اند و فاصله بین ریز شمع ها ۸۰٫۲ میلی متر است. کلاهک بتنی نیز مستطیلی به طول ۱۲۷۱٫۲ میلی متر و عرض ۷۹۰ میلی متر است.



۳-۲. مدل سازی گروه ریز شمع به روش دوفازی

در شکل ۳ هندسه مدل ایجاد شده به روش دوفازی ارائه شده است. در این بخش تمام بخش های مدل سازی مشابه حالت مجزا است، با این تفاوت که به جای مدل سازی جداگانه شمع ها فضای زیر کلاهک بتنی به صورت همگن مدل سازی می شود که این امکان را فراهم می کند که از شبکه بندی درشت تری استفاده شود که باعث سریع تر شدن زمان ایجاد هندسه مدل و کوتاه تر شدن مدت زمان تحلیل نرم افزار می شود. ابعاد شبکه نسبت به حالت دوفازی درشت تر شده و ابعاد تمام بخش های شبکه یکسان است. محیط زیر کلاهک بتنی از مدل رفتاری دوفازی استفاده می کند و سایر بخش ها نیز رفتار الاستیک دارند.



شکل ۳- ناحیه مدل سازی شده به روش دوفازی

مدل رفتاری بخش دوفازی به صورت فیش نویسی وارد نرم افزار شده و پارامترهای ورودی مشخص و تعریف شده ای دارد که در جدول ۳ آمده است. اکثر پارامترها مشابه پارامترهایی می باشند که در بخش مجزا برای شمع و خاک تعریف شده است. تنها پارامتر جدید برای این مدل پارامتر λ است که مشخص کننده نسبت مساحت ریز شمع ها به کل مساحت بخش دوفازی است.

جدول ۳- ورودی های مدل تعریف شده دوفازی

وزن مخصوص (KN/m^3)	16.8
مدول برشی (MPa)	13.2
نسبت پواسون	0.3
نسبت سطح شمع به خاک (λ)	0.036
مدول یانگ شمع (GPa)	200
تنش گسیختگی شمع (kg/cm^2)	2400



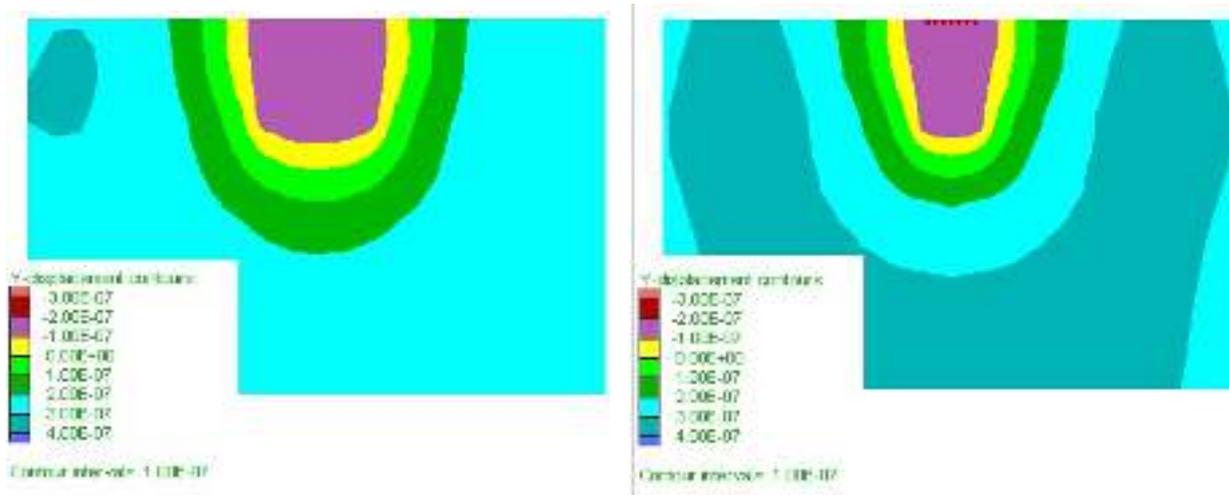
۴. نتایج

پس از مدل سازی و تحلیل دینامیکی از دو روش ذکر شده در فرکانس ۱۰ هرتز میزان بیشینه نشست زیر کلاهک بتنی به وسیله نرم افزار FLAC به دست آمده است و در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج، میزان بیشینه نشست، زیر کلاهک بتنی تحت بار دینامیکی قائم، در روش دوفازی بسیار نزدیک به روش مجزا بوده و از دقت بالایی برخوردار است. همچنین این دو روش عددی دقت مناسبی برای تخمین بیشینه نشست گروه ریزشمع تحت بار دینامیکی قائم دارند.

جدول ۴- مقایسه نشست‌ها برحسب میکرومتر (حاصل از دو روش مدل سازی و آزمایش صحرایی)

روش مجزا	روش دوفازی	کار صحرایی
0.164	0.178	0.124

در ثانیه‌ای که بیشینه نشست اتفاق می افتد، کانتورهای مربوط به جابه‌جایی قائم برای دو روش مجزا و دوفازی در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل این کانتورها دقت بسیار خوبی دارند. کانتور ارائه شده برای روش مجزا، در بالای ریزشمع‌ها به دلیل تمرکز تنش، میزان نشست‌ها را کمی بیشتر نشان می‌دهد اما در سایر نقاط مشابه روش دوفازی است.

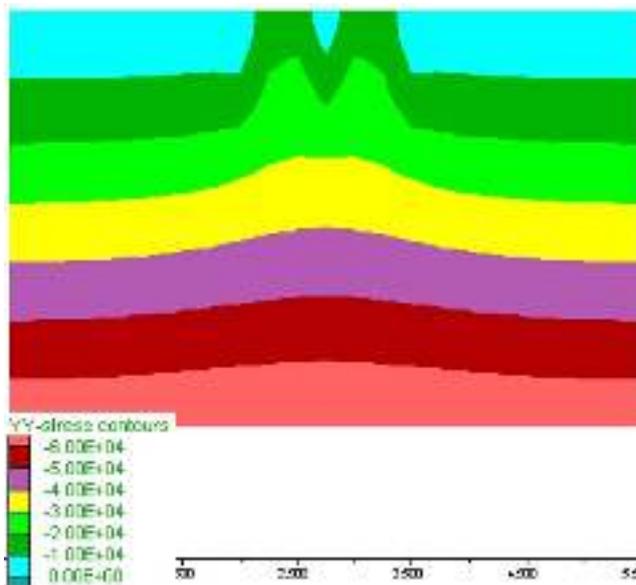


الف - روش مجزا

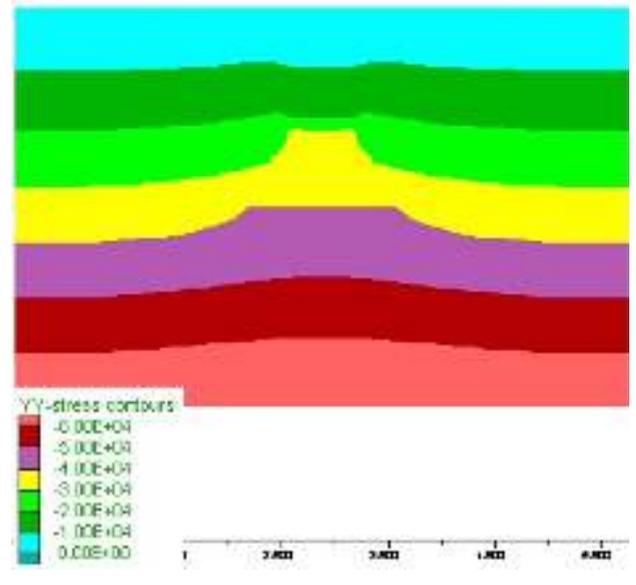
ب = روش دوفازی

شکل ۴- کانتورهای جابه‌جایی قائم

در شکل ۵ کانتورهای تنش کل قائم برای دو روش مجزا و دوفازی نشان داده شده است. با توجه به شکل روش دوفازی برای محاسبه تنش کل قائم دقت بسیار مناسبی دارد. علت بیشتر بودن تنش‌های قائم در روش دوفازی این است که این روش خاک و مسلح کننده را یک ماده در نظر می‌گیرد و به همین دلیل تنش نشان داده شده در کانتور دوفازی نشان‌دهنده تنش در خاک و شمع است در حالی که کانتور روش مجزا تنها نشان‌دهنده تنش قائم در خاک است.



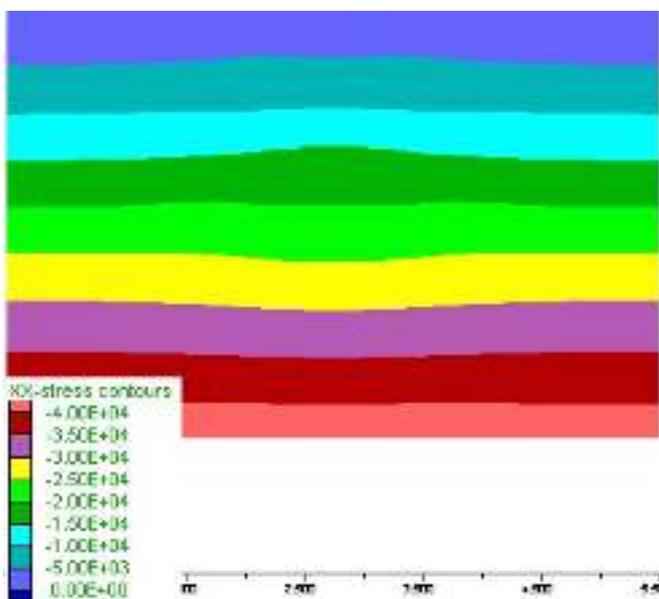
ب= روش دوفازی



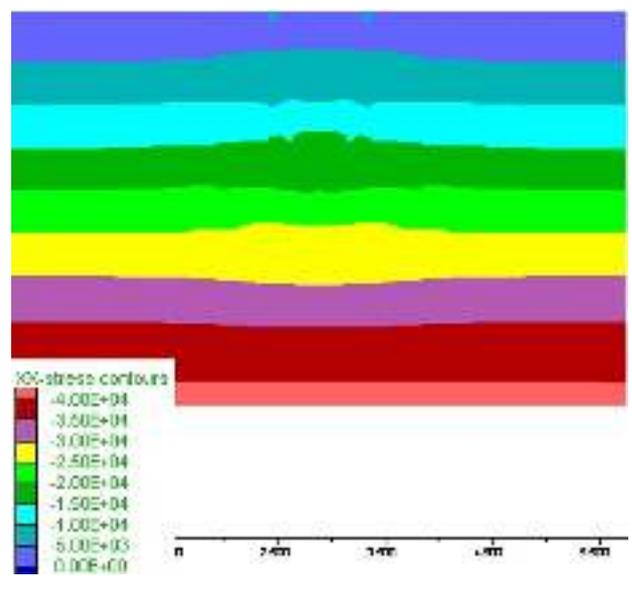
الف- روش مجزا

شکل ۵- کانتورهای تنش قائم

در شکل ۶ کانتورهای تنش افقی برای روش مجزا و دوفازی نشان داده شده است. این شکل بیان کننده دقت بسیار بالای روش دوفازی در پیش‌بینی میزان تنش کل افقی در پی‌های مسلح شده با گروه ریزشمع است.



ب= روش دوفازی



الف- روش مجزا

شکل ۶- کانتورهای تنش افقی



یازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران

۱۱ و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۸

دانشگاه شیراز، شیراز، ایران



۶. نتیجه گیری

از این پژوهش، نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- روش اختلاف محدود به خوبی و با دقت مناسبی میزان بیشینه نشست گروه ریز شمع متصل شده به کلاهک بتنی تحت بار قائم را می تواند مدل سازی کند.
- ۲- میزان نشست گروه ریز شمع مدل سازی شده به روش دوفازی تحت بار دینامیکی قائم تطابق بسیار خوبی با میزان نشست این گروه ریز شمع مدل سازی شده به روش مجزا دارد.
- ۳- کانتورهای جابه جایی قائم در روش دوفازی و روش مجزا تطابق بسیار خوبی باهم دارند.
- ۴- روش دوفازی و مجزا در پیش بینی تنش های افقی در محیط خاک مسلح شده توسط گروه ریز شمع، تطابق خوبی باهم دارند.
- ۴- روش دوفازی و مجزا در پیش بینی تنش های قائم در محیط خاک مسلح شده توسط گروه ریز شمع، تطابق خوبی باهم دارند.
- ۶- با توجه به نتایج حاصل در مدل سازی گروه های ریز شمع می توان برای افزایش سرعت در مدل سازی و تحلیل از روش همگن سازی دوفازی استفاده نمود و مقادیر نشست گروه ریز شمع و تنش ها قائم و افقی را با دقت بالایی به دست آورد.

۸. مراجع

[۱] Transportation usdo. Micropile Design and Construction. USA2005.

[۲] سیدی حسینی نیا، ا. توسعه مدل چند فازه برای تحلیل توده خاک مسلح: دانشکده مهندسی عمران: دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۸.

[۳] Novak besm. dynamic experiments with group of piles. j geotech enrg. 1984;110:719-37.

[۴] 14- "user guide",flac,fast lagrangian analysis of continua,ITASCA consulting Eng,Minnesota



یازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران

۱۱ و ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۸ - دانشگاه شیراز

گواهی ارائه مقاله

بدین وسیله گواهی می شود که مقاله با عنوان:

شبیه سازی دینامیکی گروه ریز شمع تحت بار دینامیکی به روش دوفازی

تهیه شده توسط:

رضا خدابنده، احسان سیدی حسینی نیا

در یازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران که در تاریخ ۱۰ و ۱۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ در دانشگاه شیراز برگزار گردید، ارائه شده است.

دکتر سید احمد انوار

دبیر کنگره



دکتر قاسم حبیبی

دبیر علمی کنگره

