

مدل سازی و تعیین رفتار جداساز مخلوط خاک و خرده لاستیک در فصل مشترک خاک و سازه

محمدرضا عطارزاده^۱، فریدون خسروی^{۲*}، امید فرجی^۳

۱- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، ۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، ۳- کارشناس ارشد سازه دانشگاه جامع

امام حسین(ع)

(دریافت: ۹۹/۰۳/۲۷، پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۳)

چکیده

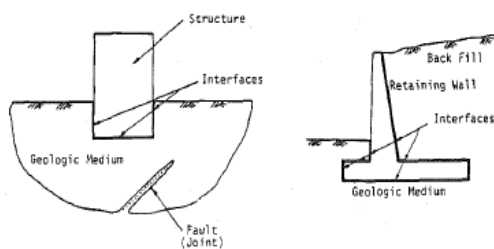
در روش المان محدود نازک لایه‌ای در فصل مشترک خاک و سازه، برای شبیه‌سازی اندرکنش دینامیکی خاک-سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. رفتار تشکیل‌دهنده فصل مشترک خاک و بتن تحت تاثیر نیروی خارجی به مولفه‌های نیروی برشی و قائم تجزیه می‌شود. به‌کارگیری خرده لاستیک فرسوده جهت تسلیخ خاک‌ها، روشی مناسب برای افزایش مقاومت و ظرفیت باربری و افزایش میرایی در خاک‌هاست. لذا برای شبیه‌سازی رفتار مصالح در فصل مشترک از مخلوط خاک و خرده لاستیک استفاده شده است که با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS نتایج قابل قبولی در زمینه عملکرد مطلوب جداسازهای لرزه‌ای در مقایسه با مدل پنگ و مدل رفتاری دراگر پراگر ارائه می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: اندرکنش خاک-سازه، آباکوس، فصل مشترک، نیروی زلزله

۱- مقدمه

پاسخ یک سیستم سازه-پی در معرض بارگیری‌های دینامیکی مانند زمین‌لرزه و انفجار، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تاثیر ویژگی‌های فصل مشترک یا اتصال بین سازه و پی قرار گیرد (شکل ۱). اغلب تحلیل طراحی سازه‌ها و پی‌ها تحت بارهای دینامیکی با فرض اتصال کامل در سطوح، در تمام مراحل بارگذاری به‌طور ساده‌ای انجام می‌شود و در این‌صورت اثرات اندرکنش خاک-سازه تا حد محدودی اعمال می‌شود، زیرا حرکات نسبی در تحلیل به‌کار برده نمی‌شوند.

اصولاً ضروری است که حرکات نسبی در بارگذاری‌های دینامیکی مانند لغزش و جدایی، در سطوح اعمال و در مراحل مختلف بارگذاری رخ دهد. بنابراین، برای تحلیل واقعی از رفتار تغییر شکل در فصل مشترک یک مساله اندرکنش ساختار سطحی (میان لایه)، می‌تواند رفتار غیر خطی شدیدی در سیستم ایجاد نمود، و از آنجائی که تحلیل مفهومی و ریاضی رفتار اینتر فیس دشوار می‌باشد. در نتیجه روش‌های عددی مانند روش المان محدود اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵].



شکل (۱): مسائل اندرکنش خاک و سازه، (الف) سیستم سازه-پی، (ب) دیوار حائل

۲- تحقیقات پیشینه

می‌توان رفتار فصل مشترک بین خاک و سازه تحت بارگیری‌های دینامیکی را شبیه‌سازی نمود که بررسی‌های جامع در این زمینه در نشریات مختلف یافت می‌شود [۲-۳].

توکی، ساتو و میورا [۴] از المان فصل مشترک پیشنهاد شده توسط گودمن و همکاران [۵] برای مطالعه رفتار یک سیستم سازه پی تحت بارهای دینامیکی استفاده کردند.

یوشیمی و کیشیدا در سال ۱۹۸۱ از روش پیچش حلقوی برای آزمایش فصل مشترک و تغییر شکل ماسه‌ای استفاده کردند. از یک دستگاه آزمون برش ساده برای مطالعه رفتار واسط بین چندین نوع خاک و صفحات فولادی با زبری مختلف استفاده شده‌است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که زبری سطح، تاثیر مهمی

$$[C_i] = \begin{bmatrix} [C_{nm}]_i & [C_{ns}]_i \\ [C_{sn}]_i & [C_{ss}]_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن، $[C_{nm}]$ جزء مولفه نرمال، و $[C_{ss}]$ مولفه برشی، و $[C_{ns}]$ ، $[C_{sn}]$ مولفه اثرات کوپلینگ بین رفتارهای نرمال و برشی است. در این زمان، اجزای جفت شدگی در نظر گرفته نمی‌شوند. زیرنویس i نشان دهنده مقادیر فصل مشترک مربوطه می‌باشند.

از آنجا که سطوح مشترک اینترفیس توسط مواد ساختاری و زمین‌شناسی احاطه شده است، مشخصات آن در طول فرآیند تغییر شکل به ویژگی‌های ناحیه نازک لایه فصل مشترک و وضعیت تنش و خواص عناصر اطراف آن بستگی دارد. لذا سفتی نرمال به صورت رابطه (۲) بیان شده است.

$$[C_{nm}]_i = [\alpha_m^i, \beta_m^g, \gamma_m^{st}] \quad (2)$$

که در آن، $\alpha_m^i, \beta_m^g, \gamma_m^{st} (m=1, 2, \dots)$ خواص فصل مشترک، زمین‌شناسی (خاک یا سنگ)، و عناصر ساختاری است. برای کاربرد عددی رابطه فوق به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$[C_{nm}]_i = \lambda_1 [C_{nm}]_i + \lambda_2 [C_{nm}]_g + \lambda_3 [C_{nm}]_{st} \quad (3)$$

که در آن، $[C_{nm}]_i$ رفتار نرمال نازک لایه است؛ اندیس g و st نشان‌دهنده مصالح زمین‌شناسی و ساختمانی و λ_1, λ_2 و λ_3 عوامل مشارکت (ضرایب تناسب) هستند که از صفر تا یک تغییر می‌کنند. یکی از ساده‌سازی‌های معادله بالا فرض $\lambda_1 = 1$ و $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$ می‌باشد. بدین معنی که مولفه نرمال براساس رفتار نرمال عنصر لایه نازک تنها به‌عنوان عنصر خاک مجاور ارزیابی می‌شود. برای به‌دست آوردن مقادیر مناسب λ بر پایه آزمایش و سعی و خطا در آن جواب‌های عددی با مشاهدات آزمایشگاهی یا کارگاهی مقایسه می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد نتایج رضایت‌بخشی با قرار دادن خواص ماده زمین‌شناسی برای رفتار نرمال فصل مشترک به‌دست می‌آید.

در ماتریس $[C_{ss}]_i$ نیروی برشی در فصل مشترک با استفاده از نتایج آزمایش‌های برش مستقیم (استاتیک یا چرخه‌ای) فصل مشترک به‌دست می‌آید. روش ارزیابی $[C_{ss}]_i$ در شکل (۳) نشان داده شده است. جایجایی برشی نسبی (کوچک) u_r^0 مربوط به کرنش برشی θ که در شکل (۴) مشاهده می‌شود.

$$\theta = \frac{u_r^0}{t'} \quad (4)$$

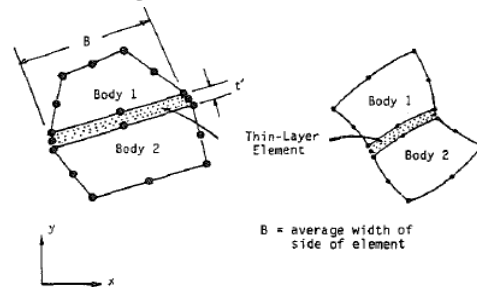
بر ضریب اصطکاک در تسلیم دارد.

پایکوسکای و همکاران در سال ۱۹۹۵ نشان دادند که جهت فشار به طور قابل توجهی بر جایجایی برشی - مماسی و رفتار تغییر حجم مصالح اینترفیس تاثیر می‌گذارد.

ایسن برگ و واون [۶-۷]، به بررسی دقیق رفتار سطح مشترک (از یک عنصر پیوسته-حاک) تحت بارگذاری دینامیکی پرداختند. جنبه‌های لغزش، جدا سازی و پیوند مجدد با اعمال تنش مجاز مورد بررسی قرار دادند. از مدلی برای به‌دست آوردن راه‌حل‌هایی برای تعیین رفتار اندرکنش از جمله سازه‌های مهار هسته‌ای و سیلندرهای مدفون در معرض شوک ناشی از انفجار هوایی مورد استفاده قرار گرفت [۸].

۳- روابط تحلیل فصل مشترک

شکل (۲) به‌طور شماتیک میان لایه بین دو قسمت خاک و سازه پیشنهادی را برای شبیه‌سازی فصل مشترک نشان می‌دهد. این المان برای حل تعدادی از مسائل اندرکنش خاک-سازه استاتیک ۲ و ۳ بعدی، مانند سازه‌های پشتیبان خط‌آهن، لوله‌های مدفون، دیواره‌ای نگهدارنده و تونل‌ها استفاده شده است [۹-۱۰]. در این مطالعه عنصر لایه نازک در مسائل اندرکنش خاک و سازه به‌عنوان المان محدود مورد استفاده قرار گرفته است که در آن معادلات المان نازک لایه به‌طور جداگانه استخراج می‌شوند و سپس به معادلات المان خاک و سازه اضافه می‌شوند. ایده اساسی المان لایه نازک براساس این فرض است که رفتار نزدیک فصل مشترک شامل یک منطقه نازک محدود است [۱۱]. رفتار این منطقه یا لایه نازک می‌تواند به‌طور قابل توجهی متفاوت از رفتار مواد ساختاری و زمین‌شناسی اطراف باشد.



شکل (۲) : عنصر لایه نازک

به عبارت دیگر، عنصر لایه نازک فصل مشترک اساساً مانند هر عنصر جامد دیگر (خاک، سنگ یا سازه) در نظر گرفته می‌شود، و روابط حاکم بر المان نازک لایه و ماتریس فصل مشترک بنیادی، $[C_i]$ به‌صورت زیر نشان داده می‌شود [۱۱]:

برشی و نیروی نرمال در فصل مشترک با توجه به مقادیر مدل برشی G و دیگر پارامترهای مقاومتی فصل مشترک می‌بایست در مقابل معادله حرکت ارتعاشی متناسب گردد که حل آن از پیچیدگی خاصی برخوردار می‌باشد، لذا در این حالت برای سادگی حل مسئله، از روش مدل پنگ و از روش اجزا محدود استفاده می‌شود.

۴- تحلیل میرایی - خرده لاستیک

به منظور مستهلک نمودن نیروهای ناشی از بار دینامیکی که در معادلات حرکت مشاهده می‌شود لازم است میرایی لازم را در فصل مشترک ایجاد نمود، که در این حالت مصالح موجود در فصل مشترک که ممکن است از جنس نوع مخلوط خاک متراکم بوده و یا از مصالح مصنوعی و مکانیکی باشد.

در این مقاله به کاربرد مخلوط خاک با خرده لاستیک جهت استفاده به‌عنوان جداساز لرزه‌ای (به‌عنوان اینترفیس) پرداخته شده است.

کاربرد لاستیک طبیعی برای محافظت لرزه‌ای ساختمان‌ها اولین بار در سال ۱۹۶۹ با قرار دادن بلوک‌های بزرگ لاستیکی در زیر ساختمان یکی از مدارس بزرگ یوگسلاوی آغاز شد. با توجه به این‌که سختی قائم این بلوک‌ها تقریباً برابر سختی افقی آنها می‌باشد، ساختمان علاوه بر نوسان افقی در جهت قائم نیز نوسان می‌کند. آزمایش‌های باربری کالیفرنیا بر روی نمونه‌هایی از ماسه تنها و ماسه مسلح با خرده پلاستیک در مقادیر ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ درصد وزنی خرده پلاستیک در مخلوط با خاک مطابق با ASTM D188307 انجام گرفتند. نتایج نشان داد که افزودن خرده پلاستیک به خاک، سبب افزایش مقاومت نمونه مسلح در مقایسه با نمونه غیرمسلح می‌گردد. این افزایش در مقاومت، با افزایش درصد خرده پلاستیک و هم چنین میزان کرنش اعمال شده بر نمونه قابل ملاحظه‌تر است و نیز منحنی تنش کرنش نمونه غیرمسلح و همچنین نمونه مسلح با ۰/۵ و ۱ درصد خرده پلاستیک، دارای نقطه حداکثر تقریباً مشخص می‌باشد. با تسلیح خاک با ۱/۵ درصد خرده پلاستیک، رفتار نمونه به سمت رفتاری انعطاف‌پذیرتر گرایش پیدا می‌کند و نقطه حداکثر تنش ملاحظه نمی‌گردد. نکته قابل توجه دیگر این‌که با افزایش فشار همه جانبه، مقاومت نمونه‌های غیرمسلح و مسلح به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [۱۲].

۵- مدل سازی

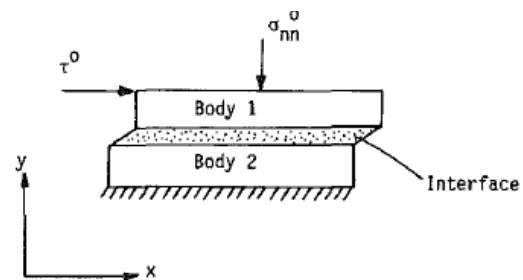
در فصل مشترک خاک و سازه علاوه بر انتقال نیرو، ممکن است جابه‌جایی جزئی، لغزشی و دیگر تغییرشکل‌های غیرپیوسته وجود

که در آن، t' ضخامت اینترفیس می‌باشد. مدول برشی سطح مشترک لایه واسط، G می‌باشد.

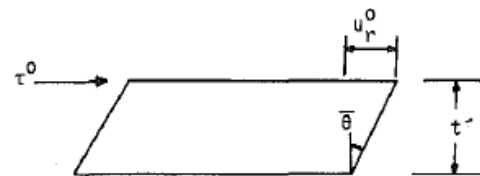
$$G_i = \frac{\partial \tau^0}{\partial \theta} \quad (5)$$

که در آن، τ^0 تنش برشی کل در فصل مشترک است. برای مسایل دو بعدی (کرنش صفحه‌ای)، اندازه $1 \times 1 [C_{ss}]_i$ است که G_i مدول برشی فصل مشترک است. در مساله اندرکنش خاک-سازه، مقدار G_i به عوامل متعددی بستگی دارد، مانند دامنه جابجایی نسبی، u_r^0 ؛ ضخامت لایه واسط، t' ؛ تنش برشی، τ^0 ؛ تنش نرمال، σ_{mm}^0 و زبری سطح مشترک، μ در مورد بارگیری چرخه‌ای G_i وابسته به تعداد سیکل‌ها (N) می‌باشد. بنابراین، G_i ، به‌صورت رابطه (۶) نشان داده می‌شود:

$$G_i = F(\sigma_{mm}^0, \tau^0, u_r^0, N, t') \quad (6)$$



شکل (۳): نمای آزمایش برش مستقیم



شکل (۴): تغییر شکل فصل مشترک.

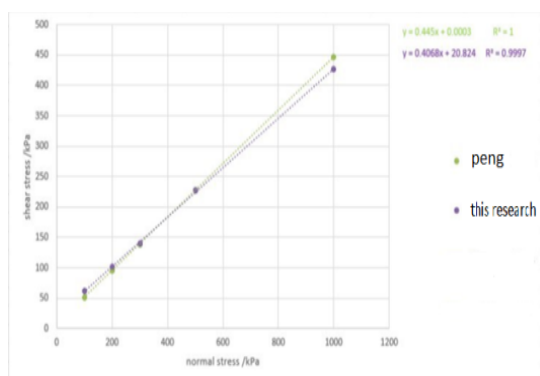
فرمول‌بندی المان لایه نازک مشخص شده در یک فرآیند المان محدود جابجایی برای حل مسایل اندرکنش دینامیکی خاک-سازه با ایده‌آل‌سازی دوبعدی که در آن روابط ساختاری، خاک، و با استفاده از عناصر تک پارامتری ۸ گره‌ای مدل سازی می‌شوند، گنجانده شده است. معادلات حرکت و تعادل دینامیکی نهایی فصل مشترک خاک و سازه به‌صورت زیر بیان می‌شوند:

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{Q^{(t)}\} \quad (7)$$

که در آن، $[M]$ ، $[C]$ و $[K]$ به ترتیب ماتریس‌های جرم کلی، میرایی و سختی هستند. $\{Q^{(t)}\}$ و $\{q\}$ به ترتیب بردار نیروی کل و بردار جابجایی است.

تحلیل مورد فوق بر اساس روابط حاکم در تحمل نیروی

ترسیم شده و با نمودار ارائه شده توسط پنگ مقایسه شده است.



شکل (۷): مقایسه نمودار تنش نرمال و تنش برشی مدل پنگ و مدل پژوهش حاضر.

با توجه به تشابه رفتار مدل پژوهش حاضر با مدل پنگ طبق نمودار بالا، می توان دریافت که با ارائه مقادیر تنش نرمال و تنش برشی در فصل مشترک، می توان برای تعیین جداگر لرزه ای مناسب (مخلوط خاک و درصد بهینه لاستیک) از این روش بهره گرفت.

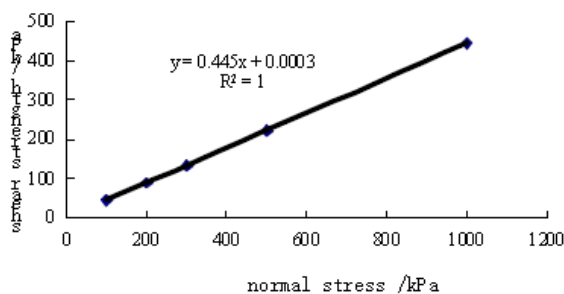
۶- مدل رفتاری خاک و بتن

اهمیت تاثیر اندرکنش خاک و سازه، با تعریف پارامترهای اصلی و مدل رفتاری مناسب برای خاک بررسی می گردد.

یکی از پارامترهای اساسی در تعیین پاسخ سیستم خاک و سازه، تحت بارگذاری دوره ای، مدل رفتاری خاک می باشد. مدل رفتاری مناسب برای محیط خاک علاوه بر تبیین الگوی رفتار غیرخطی خاک تحت سطوح مختلف بارگذاری، باید قابلیت پیش بینی مسیره های مختلف تنش در المان های خاک را داشته باشد. در کنار این توانایی ها، مدل مذکور از جهت حجم محاسبات و پارامترهای به کار گرفته شده در آن، باید به نحوی باشد که امکان استفاده از آن در مسائل اندرکنش خاک و سازه وجود داشته باشد. با توجه به اهمیت مساله مورد بررسی، سطح شتاب زمین لرزه، وضعیت بستر خاکی، وزن و ابعاد سازه و میزان دقت مورد نظر در محاسبات، مدل های رفتاری بسیاری قابل استفاده می باشند.

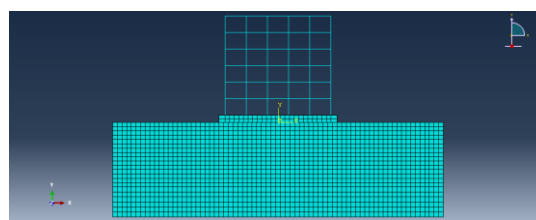
در بین مدل های رفتاری مختلف، در این مقاله، با مقایسه مدل های رفتاری موهر-کولومب و دراگر-پراگر در نتایج شبیه سازی سیستم نیلینگ در گودال ها در نرم افزار آباکوس مقایسه شدند که در نهایت پیشنهاد می شود که در مواردی که تغییرات حجم وابسته به تنش وجود دارد از مدل دراگر-پراگر استفاده شود.

داشته باشد. بنابراین، محاسبات سطح تماس، از مسائل داغ و سوالات دشوار شبیه سازی عددی می باشد. با توسعه مداوم روش اجزای محدود، بسیاری از محققین در چین تحقیقات زیادی انجام داده اند که به روش شبیه سازی عددی سطح تماس تبدیل شده است. در نرم افزار ABAQUS برای محاسبات اجزای محدود، می توان از منحنی تنش نرمال سطح تماس و منحنی تنش برشی حداکثر استفاده کرد. با افزایش تنش نرمال، تنش برشی حداکثر افزایش می یابد. به این ترتیب که تنش برشی ثابت متناظر با تنش نرمال در تمامی سطوح استخراج شده و رابطه بین تنش برشی و تنش نرمال ترسیم می شود. از شکل (۵) می توان مشاهده کرد که مقاومت برشی سطح تماس یک رابطه خطی با تنش نرمال دارد. به معنای دیگر، مقاومت برشی سطح تماس معیار موهر-کولومب را برآورده می کند [۱۴].



شکل (۵): منحنی مقاومت برشی و تنش نرمال سطح تماس.

در این پژوهش جهت بررسی مدل فصل مشترک بین خاک و سازه، مدل ۸ گره ای زیر با مشخصات مکانیکی برای خاک و بتن در مدل پنگ و همکاران مورد بررسی قرار گرفت.



شکل (۶): مدل سازه پژوهش حاضر در نرم افزار ABAQUS.

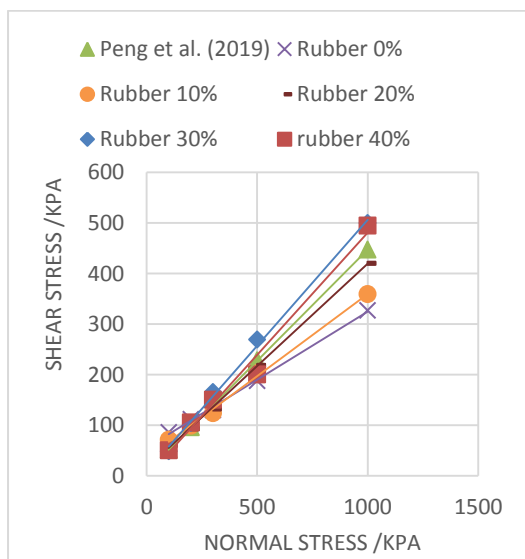
جدول (۲): مشخصات خاک و بتن مدل پنگ و همکاران.

material	Elastic Modulus (Pa)	Poisson ratio	Cohesion (Pa)	Expansion angle	Friction angle
soil	2.5×10^8	0.45	1.9×10^4	30	32
structure	2.5×10^{10}	0.2	-	-	-

مطابق با مدل پنگ جهت بررسی رفتار فصل مشترک به منظور انتخاب جداگر مناسب در مرز تماس خاک و سازه، نمودار تنش برشی برای مقادیر مختلف تنش نرمال ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوپاسکال برای فصل مشترک در شکل (۷)،

همچنین کارایی بالا مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین درصد بهینه ماسه و لاستیک برای جداگر لرزهای (مخلوط ماسه و لاستیک) درصدهای مختلف لاستیک ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد مورد بررسی قرار گرفته است. نمودار تنش برشی بر حسب تنش نرمال برای مدل بدون جداگر و دارای جداگر لرزهای با مخلوط خاک و لاستیک با درصدهای مختلف در شکل (۸) با یکدیگر مقایسه شده است. مطابق شکل (۸)، با افزایش و اضافه کردن درصد خرده لاستیک به جداگر لرزهای مقدار شیب نمودار تنش برشی بر حسب تنش نرمال در فصل مشترک جداگر لرزهای افزایش یافته در نتیجه زاویه اصطکاک مصالح جداگر افزایش خواهد یافت. می توان گفت افزایش درصد خرده لاستیک در لایه مسلح علی رغم آنکه ممکن است شکل پذیری بستر را زیاد کند، خاصیت الاستیک و برگشت پذیری نشست پی را افزایش می دهد و در نهایت سبب کاهش نشست ماندگار در کل پی خواهد شد. همچنین نمودار تنش برشی به تنش نرمال جداگرهای لرزهای با نمودار تحقیق مقایسه شده است، که نتایج حاکی از آنست با اضافه شدن خرده لاستیک در جداگر تا ۲۰ درصد، میزان تطابق نمودارهای جداگر در تحقیق حاضر نسبت به تحقیق پنگ افزایش می یابد اما با افزایش ۳۰ درصد خرده لاستیک میزان تطابق کاهش می یابد.

اما افزایش خرده لاستیک با مخلوط خاک تا ۴۰ درصد سبب قالب شدن رفتار خرده لاستیک و کاهش سختی و مدول برشی بستر می گردد و ازدیاد نشست پی را در بر خواهد داشت. لذا می توان گفت برای مخلوط ماسه و خرده لاستیک ۲۰ درصد بهترین تطابق وجود دارد.



شکل (۸): نمودار تنش برشی- تنش نرمال برای درصدهای مختلف خرده لاستیک

جدول (۵-۳) به مشخصات خاک و بتن برای استفاده در مدل سازی خاک- سازه پرداخته شده است:

جدول (۳): پارامترهای ژئوتکنیکی لایه های خاک.

شماره لایه	دانسیتته (kg/m ³)	مدول الاستیسته (Mpa)	نسبت بواسون	زاویه اصطکاک (درجه)	زاویه اتساع (درجه)	نسبت جریان تنش
۱	۱۸۵۰	۱۱۰۰	۰/۲	۳۵	۵	۰/۷۸۸
۲	۱۸۵۰	۲۰۰۰	۰/۳	۳۴	۴	۰/۷۸۸
۳	۱۸۵۰	۵۰۰۰	۰/۴	۳۳	۳	۰/۷۸۸
۴	۱۸۵۰	۸۰۰۰	۰/۵	۳۲	۲	۰/۷۸۸

جدول (۴): پارامترهای مکانیکی پی.

دانسیتته (kg/m ³)	مدول الاستیسته (Mpa)	نسبت بواسون	تنش تسلیم فشاری (Mpa)	تنش تسلیم کششی (Mpa)
۲۴۰۰	۲۹۰۰۰	۰/۲	۲۵	۵

جدول (۵): پارامترهای مخلوط خاک با ۲۰ درصد لاستیک

زاویه اصطکاک داخلی خاک	۳۸۳
چسبندگی (Pa)	۱۸۲۰۰
زاویه اتساع	۷/۳
دانسیتته (Kg/m ³)	۹۵۰
مدول یانگ (Pa)	۱۹/۵ E6
نسبت واسون	۰/۳
میرایی	۰/۰۵

در این مقاله با مقایسه مدل های رفتاری بتن در نرم افزار آباکوس در یک قاب بتن مسلح"، نتایج به دست آمده از مقایسه نمودارهای مدل های مختلف نشان می دهد که مدل آسیب - خمیری بتن علاوه بر رفتار خمیری بتن در فشار، رفتار ترک خوردگی بتن در کشش را به خوبی شبیه سازی می کند. با دقت در تاثیر پارامترهای پلاستیسیته مدل آسیب - خمیری بتن مشخص شده که پارامتر زاویه تورم، تاثیر قابل ملاحظه ای در نمودار بار - تغییر مکان سازه های بتن مسلح مانند قاب، تیر و ... دارد. لذا در پژوهش حاضر برای خاک از مدل دراگر _ پراگر و برای بتن از مدل آسیب - خمیری بتن یا CDP استفاده شده است.

۷- تحلیل و مقایسه در مدل سازی

با توجه به توضیحات فوق، جداساز خاک به همراه خرده های لاستیک با توجه به اقتصادی بودن و در دسترس بودن و

۸- نتیجه گیری

برای شبیه سازی رفتار فصل مشترک بین رسانه های ساختاری و زمین شناسی تحت بارگذاری دینامیکی، می توان از المان نازک لایه ساده که امکان تغییر شکلها را فراهم می کند، مانند عدم لغزش، لغزش، جدا شدن و پیوند مجدد، استفاده نمود. این مقاله مشخص نموده است که می توان روابط و منحنی رضایت بخشی از رفتار فصل مشترک تحت بارگذاری دینامیکی فراهم آورد.

مخلوط خاک و ۲۰ درصد لاستیک به عنوان جداساز لرزه ای رفتار مناسب الاستو پلاستیک را در فصل مشترک را تا حد قابل قبولی پوشش می دهد که این امر موجب بهبود میرایی هرچه بیشتر جداساز می شود. به طور کلی می توان نتیجه گرفت مخلوط خاک و لاستیک علاوه بر صرفه اقتصادی و به چرخه مصرف آوردن تایرهای فرسوده و همچنین تطابق رفتار با فصل مشترک خاک و سازه، می تواند باعث کاهش قابل توجه تنش فشاری به سازه گردیده و باعث سبک تر شدن سازه ها و در نتیجه کاهش هزینه ساخت آنها گردد.

۹- مراجع

5. R. E. Goodman, R. L. Taylor, and T. L. Brekke, "A Model for the Mechanics of Jointed Rock," Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, vol. 94, no. SM3, pp. 637-659, 1968.
6. D. K. Vaughan and J. Isenberg, "Nonlinear Soil-Structure Analysis of SIMQUAKE II," Research Project 810-2, Final Report for Electric Power Research Institute (EPRI), 1982.
7. D. K. Vaughan and J. Isenberg, "Nonlinear Rocking Response of Model Containment Structures," Earthquake Engineering & Structural Dynamics, vol. 11, pp. 275-296, 1983.
8. C. S. Desai, M. M. Zaman, J. G. Lightner, and H. J. Siriwardane, "Thin-Layer Elements for Interfaces and Joints," International Journal for Numerical and Analytic Methods in Geomechanics, vol. 8, no. 1, pp. 19-43, 1984.
9. C. S. Desai, I. M. Eitani, and C. Haycocks, "An Application of Finite Element Procedure for Underground Structures with Nonlinear Materials and Joints," Proceedings of the Fifth International Congress of the Society of Rock Mechanics, Melbourne, Australia, Apr. 1983.
10. C. S. Desai, J. G. Lightner, and S. M. Sargand, "Mixed and Hybrid Procedures for Nonlinear Problems in Geomechanics," Proceedings of the Fourth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, University of Alberta, Edmonton, Canada, 1982.
11. R. E. Goodman, R. L. Taylor, and T. L. Brekke, "A Model for the Mechanics of Jointed Rock," Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, vol. 94, no. SM3, pp. 637-659, 1968.
۱۲. نجف زاده، لیلا، بررسی رفتار آزمایشگاهی مخلوط خاک و خرده پلاستیک ضایعاتی، نشریه مهندسی عمران، چاپ هفتم، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۴.
13. C. S. Desai, "Behavior of Interfaces Between Structural and Geologic Media," International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Mo., 1981.
14. D. Peng, L. Xiaoling, F. Jingliang, C. Qiang1, and F. Lianhong, "Numerical simulation of soil structure interface mechanical behavior," 2019.
1. Z. Musharraf-uz, "Influence of interface behavior in dynamic soil-structure interaction problems," University libraries.
2. C. S. Desai, "Behavior of Interfaces Between Structural and Geologic Media," International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Mo., 1981.
3. C. S. Desai and J. T. Christian, "Numerical Methods in Geotechnical Engineering," McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y., 1977.
4. T. Toki, T. Sato, and F. Miura, "Separation and Sliding Between Soil and Structure During Strong Ground Motion," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 9, pp. 263-277, 1981.