

## کاربرد مدل‌های فیزیکی در آموزش دروس مهندسی

علی فاخر

عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه تهران

**چکیده:** مدل‌های فیزیکی همواره برای تحقیق در مسائل علوم و مهندسی به کار رفته‌اند، اما در سالهای اخیر استفاده از مدل‌های فیزیکی در آموزش دروس نیز رواج یافته است. این مقاله به تشریح تحقیق انجام شده در خصوص به کارگیری چند مدل فیزیکی برای آموزش درس مهندسی پی سی پردازد. در این تحقیق چهار مدل فیزیکی طراحی و ساخته شد. اثرهای مقیاس و مرز در مدل‌های آموزشی باید آن قدر کاهش یابد که مانع رسیدن به اهداف آموزشی نشود. بنابراین، ارزیابی آموزشی مدل‌ها ضرورت دارد. پس از آن که مدل‌ها ساخته شد، ابتدا توسط مؤلف و همکاران مورد بررسی آزمایشی قرار گرفت و معایب اولیه آنها برطرف گردید. سپس برنامه‌ریزی شد که دانشجویان به کارکردن با این مدل‌ها بپردازند. در هر جلسه پس از اتمام کار دانشجویان، پرسشنامه‌های نظرخواهی و سنجش اطلاعات دانشجویان در اختیار آنان قرار گرفت. در پایان نتایج بررسی شد و نتیجه‌گیری به عمل آمد. در این تحقیق علاوه بر مطالعه منابع منتشر شده در این زمینه، با تعداد زیادی از استادان دروس مهندسی پی در نقاط مختلف جهان تماس‌های مستقیم برقرار شد تا تجربه‌های مشابه جمع‌آوری و جمع‌بندی شود.

**واژه‌های کلیدی:** آموزش، دروس مهندسی، مدل‌های فیزیکی، خواص خاک، مهندسی

پی، ارزیابی مدل‌ها.

## ۱. مقدمه

هر روزه روشهای آموزش جدیدتر و گسترده‌تر می‌شود تا اولاً کارایی آموزش را بیشتر کند و ثانیاً خصوصیات نسل جدید را در آموزش در نظر بگیرد. اصولاً هر نسل جدید در مقایسه با نسل قبل خصوصیات جدیدتری دارد. بنابراین، روش آموزش نسل جدید نیز باید با نسل قبلی تفاوت داشته باشد.

در یک تقسیم‌بندی نسبتاً قدیمی، اهداف آموزشی به شش مرحله مطابق ذیل تقسیم شده است

[۱]:

الف. به خاطر سپردن محض<sup>۱</sup>؛

ب. درک کردن<sup>۲</sup>؛

ج. به کار بردن<sup>۳</sup>؛

د. تجزیه و تحلیل کردن<sup>۴</sup>؛

ه. ترکیب کردن و به هم ربط دادن<sup>۵</sup>؛

و. ارزشیابی کردن<sup>۶</sup>.

این تقسیم‌بندی علی‌رغم این که چندان جدید نیست، کماکان مورد قبول است و در مقایسه با سایر تقسیم‌بندیها از آن استقبال می‌شود [۲]. سه هدف اول؛ یعنی به خاطر سپردن محض، درک کردن و به کار بردن، باید در مورد هر فارغ‌التحصیل دوره کارشناسی تحقق یابد. رسیدن به سایر اهداف می‌تواند در دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترا دنبال شود. روشهای متداول و سنتی تدریس، که معمولاً بر مبنای گنگگوی یک طرفه استاد قرار دارد، در رسیدن به هدف "درک کردن" ضعیف و در رسیدن به هدف "به کار بردن" عاجز است. بنابراین، باید در رشته‌های مختلف تحصیلی ابزار و روشهایی به کار گرفته شود که این اهداف را برآورده سازد و همچنین، زمینه را برای نیل به اهداف تکمیلی فراهم آورد. تحقیق تشریح شده در این مقاله تلاشی در این زمینه است. مکانیک خاک و مهندسی پی بخشی از مهندسی عمران است که به مطالعه رفتار خاک

۱. Mere Knowledge

۲. Comprehension

۳. Application

۴. Analysis

۵. Synthesis

۶. Evaluation

می‌پردازد تا امکان طراحی و اجرای ایمن و اقتصادی پی ابنیه را فراهم آورد. این تحقیق بر آموزش مهندسی پی در دوره‌های کارشناسی مهندسی عمران متمرکز شده است. درس مهندسی پی در برنامه فعلی آموزش کارشناسی مهندسی عمران به صورت ۲ واحدی عرضه می‌شود و پیش‌نیاز آن درس ۳ واحدی مکانیک خاک است.

مدلهای فیزیکی در واقع شبیه‌سازی یک پدیده با مقیاس کوچک است. انتخاب مقیاس در مدل‌های تحقیقی و آموزشی باید به گونه‌ای انجام شود که مانع تشابه‌سازی صحیح نشود. سؤال اصلی تحقیق حاضر این بود که آیا مدل‌های فیزیکی تهیه شده در این تحقیق می‌تواند در بهبود آموزش در مهندسی پی مؤثر باشد و همچنین تخمین میزان این تأثیر مورد توجه بود. اگرچه نتایج حاصل از این تحقیق را نمی‌توان به تمام دروس مهندسی تعمیم داد، لیکن با توجه به تشابه خصوصیات کلی دروس و دانشجویان مهندسی، می‌توان از آن به عنوان تجربه‌ای سودمند در سایر دروس بهره جست.

## ۲. ضرورت تحقیق

به‌کارگیری روشهای جدید آموزشی مستلزم تحقیق و نوآوری است و فقط با تحقیق بر روی روشهای مختلف می‌توان موفقیت آنها را سنجید. نکته مورد تأکید مقاله حاضر این است که اگر دانشجویی با علاقه و انگیزه معین فردی و اجتماعی در کلاس درس حاضر شود، باید روش آموزشی به گونه‌ای باشد که او یا همان علاقه و انگیزه فردی و اجتماعی، هرچه بیشتر به اهداف آموزشی دست یابد؛ به بیان دیگر، می‌توان گفت که هر چه دانشجو از نظر فردی و اجتماعی بی‌علاقه و بی‌انگیزه باشد، باید روش آموزشی مورد استفاده، جذاب‌تر و کارا تر باشد. علاوه بر این، روش آموزشی می‌تواند به گونه‌ای باشد که انگیزه یادگیری را در دانشجو افزایش دهد. انجام دادن تحقیقاتی نظیر پژوهش حاضر می‌تواند به بهره‌وری آموزش کمک کند.

آموزش مهندسی پی به طور معمول به صورت نظری انجام می‌شود. ممکن است اولین هدف آموزشی؛ یعنی "به‌خاطر سپردن" با این روش حاصل شود، اما هدف آموزشی "درک کردن" و همچنین هدف "به‌کار بردن" با آموزش نظری مقدور نیست. برای ایجاد درک مفاهیم مهندسی پی در دانشجو می‌توان علاوه بر آموزش نظری و کتاب یا جزوه، از اسلاید، فیلم، برنامه‌های رایانه‌ای آموزشی [۳] و بازدید محلی [۴] استفاده کرد. مدل‌های فیزیکی مهندسی پی نیز می‌تواند در رسیدن

به اهداف آموزشی مؤثر باشد. تحقیقاتی نظیر تحقیق حاضر می‌تواند به توسعه این قبیل وسایل آموزشی کمک کند. این وسایل در زمینه مهندسی پی در کشور به ندرت موجود است.

### ۳. مرور منابع

استفاده از وسایل و ابزار آموزشی، در رشته‌های علوم تربیتی بحث بسیار گسترده‌ای دارد و کتب بسیار مفصلی با عنوان تکنولوژی آموزشی وجود دارد که به این مباحث می‌پردازد. در این مقاله برای اختصار فقط منابع موجود در خصوص آموزش مهندسی ژئوتکنیک (مکانیک خاک، مکانیک سنگ، مهندسی پی و تونل، زمین‌شناسی مهندسی) مرور شده است. مهندسی پی بخشی از مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد.

در کنار تدریس کلاسی و مطالعه کتاب و جزوه و همچنین نمایش فیلم و اسلاید، موارد ذیل در آموزش ژئوتکنیک به کار رفته است:

الف. آزمونهای استاندارد مصالح؛

ب. بازدیدهای صحرایی؛

ج. مدل‌های فیزیکی؛

د. برنامه‌های رایانه‌ای آموزشی.

آزمونهای استاندارد آزمایشگاهی بحث مفصلی دارد و به موضوع این مقاله چندان ارتباط ندارد. البته، به آزمونهای غیراستاندارد اشاره خواهد شد. بازدیدهای صحرایی نیز در آموزش مهندسی بسیار مفید است. موضوع اصلی گردهمایی استادان ژئوتکنیک انگلستان در سال ۱۹۹۸ میلادی به استفاده بهینه از بازدیدهای صحرایی اختصاص داشت. در زبان فارسی نیز به مراجع مفیدی در خصوص بازدید آموزشی برخورد می‌شود [۴].

برنامه‌های رایانه‌ای نیز در رشته‌های مختلف برای آموزش به کار رفته است. این برنامه‌ها که یادگیری به کمک رایانه<sup>۱</sup> یا به اختصار CAL نامیده می‌شود، در رشته‌های مختلف از جمله مهندسی ژئوتکنیک تولید شده است. یک برنامه رایانه‌ای مفصل و جامع در این زمینه Geotechnical CAL نامیده می‌شود. این برنامه با همکاری گسترده تعدادی از دانشگاههای مختلف

۱. Computer Assisted Learning

تهیه شده است. ارزیابی مواد درسی این برنامه با روشی مشابه روش تحقیق تشریح شده در مقاله حاضر با نظرخواهی از دانشجویان انجام شده است [۵]. بخشی از برنامه GeotechniCAL که به مباحث مهندسی پی ربط دارد به ConFound موسوم است [۶]. گزارش کوتاهی نیز از ارزیابی برنامه ConFound منتشر شده است [۷]. البته، برای آموزش مهندسی ژئوتکنیک غیر از برنامه بزرگ GeotechniCAL، برنامه‌های متفاوت دیگری نیز تهیه شده است [۳].

### ۱.۳. مدل‌های فیزیکی خواص خاک

در هر مؤسسه آموزش عالی در سطح جهان، دانشجویان دروس مهندسی با تجهیزات اندازه‌گیری و آزمایشگاه‌های برای آشنایی با خواص مصالح و پدیده‌های مختلف آشنا می‌شوند. میزان این آشنایی از توصیف کلاسی تا نمایش دستگاهها و آزمایشها و در نهایت تا انجام دادن آزمایشها توسط گروه یا تک تک دانشجویان متغیر است. تراکم سرفصلهای مورد نظر برای دروس و فشار زمان‌بندی موجب شده است که در برخی از مؤسسات آموزش عالی از کارهای آزمایشگاهی، نقشه کشی عملی و کارهای صحرایی کاسته شود [۸]، اما استدلالهای قوی برای حفظ تدریس عملی و آزمایشگاهی در آموزش مهندسی برای بیان موضوعات مشکل وجود دارد. به علاوه، کم و بیش می‌توان ادعا کرد که ممکن است مهندسان جوان سالها پس از فراغت از تحصیل فرصت لمس و برخورد مستقیم با مصالح را نیابند، بنابراین این نوع آموزشها در دوران تحصیل ضروری است.

اگرچه آزمایشهای استاندارد خواص مصالح در آزمایشگاه را می‌توان به نحوی مدل‌های فیزیکی قلمداد کرد، مدل‌های ساده و ابتکاری نیز توسط استادان مهندسی در سراسر جهان به کار می‌رود. پروفیسور برلند که بنیانگذار نظریه‌های جدید در مکانیک خاک است، سخنرانی یادواره‌نش را در نهمین کنفرانس اروپایی مکانیک خاک و مهندسی پی به این موضوع مهم اختصاص داد [۹]. مقاله وی حاوی توصیف و عکسهایی از مدل‌های ساده‌ای است که می‌تواند رفتار مصالح ژئوتکنیکی را در کلاس نشان دهد. سایر استادان روشها و ابزار را به کار می‌برند که به پاره‌ای از آنها در زمینه آموزش مهندسی ژئوتکنیک اشاره می‌شود:

- به دانشجویان توصیه شده است که ایجاد خط گسیختگی در خاک را با اعمال فشار بر یک قالب کره صیقل‌دهنده در دماهای مختلف ملاحظه کنند [۱۰].
- مقاومت برشی خاکهای دانه‌ای تابع سربار است. برای نشان دادن این موضوع، تجربه شده است

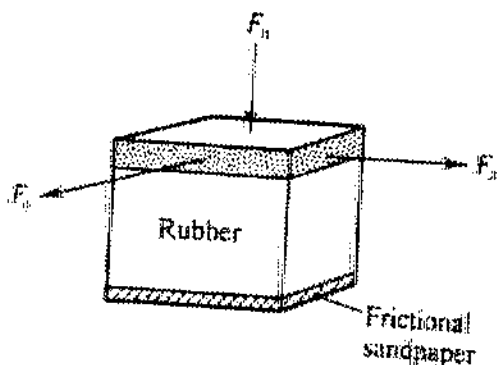
که می‌توان از دانشجویان خواست تا یکدیگر را با طنابی که به یک ترازوی مکانیکی روی سکوی پوشیده با ماسه متصل است، بکشند [۱۱]. بیشترین نیروی کشش برای سنگین‌ترین دانشجو ثبت می‌شود.

- نمایش ساده از تأثیر تنش مؤثر عبارت از قهوه و کیوم شده است. بسته و کیوم دارای مقاومت و سختی بسیار خوب است، چون فشار حفره‌ای منفی موجب افزایش تنش مؤثر می‌شود. وقتی که بسته با سوزن سوراخ می‌شود، فشار حفره‌ای زیاد می‌شود و تنش مؤثر کاهش می‌یابد، لذا سختی و مقاومت بسته قهوه کم می‌شود. این آزمایش را می‌توان با ماسه و کیوم شده هم انجام داد [۱۰].

- استفاده از "مدل استوانه و فنر" برای نشان دادن پدیده تحکیم متداول است. استوانه با آب پر می‌شود و نیروی وارد بر صفحه سوراخ‌دار ابتدا به وسیله آب تحمل می‌شود. سپس با انجام دادن زهکشی، نیرو به فنرها منتقل می‌گردد. استفاده از استوانه شفاف که امکان رؤیت فنرها را می‌دهد تجربه شده است. سه استوانه با مقطع مشابه و ارتفاع متغیر برای نشان دادن تأثیر طول مسیر زهکشی قابل استفاده است [۱۱].

- برخی از مدرسان ژئوتکنیک برای نشان دادن پدیده تحکیم خاک رس از یک پاکت چیپس استفاده می‌کنند. پاکت باید حاوی مقداری هوا باشد و با اعمال فشار خارجی، هوا را محبوس نگه دارد. پس از این که بار خارجی به پاکت چیپس اعمال شد، بار خارجی عمدتاً توسط سیال حفره‌ای (هوا) تحمل می‌شود. سپس می‌توان با ایجاد سوراخ با یک سوزن، خارج شدن سیال حفره‌ای و انتقال فشار به دانه‌های چیپس را ملاحظه کرد. برخی از استادان ژئوتکنیک از پاکت بزرگ چیپس که مخصوص این کار تهیه شده است، استفاده کرده و بار وارد بر پاکت را ۲۰ کیلوگرم ذکر کرده‌اند [۱۲]. مؤلف نیز در کلاس برای نشان دادن تحکیم از پاکت چیپس متوسط استفاده می‌کند و پس از اتمام آزمایش، چیپس به دانشجویان تعارف می‌شود تا میل کنند و خاطره‌ای در ذهنشان باقی بماند.

- رفتار مصالح "الاستیک - پلاستیک کامل" با استفاده از مدلی ساده مطابق شکل (۱) قابل ارزیابی است. این مدل از یک قطعه لاستیکی نرم تشکیل می‌شود که بر روی کاغذ سمباده قرار دارد. یک صفحه صلب هم بر روی آن واقع است. نیرو بر صفحه فوقانی اعمال می‌شود. اگر نیروی برشی بزرگ باشد، قطعه لاستیکی می‌لغزد و گرنه تغییر شکل الاستیک می‌دهد [۱۰].



شکل ۱. مدل "الاستیک - پلاستیک کامل"

مدل رفتاری Cam-Clay برای خاکهای رس پیشنهاد شده است. این مدل با نموداری سه بعدی در کلاس تدریس می شود که درک آن برای دانشجویان مشکل است. گاهی به دانشجویان تکلیف داده می شود که این نمودار سه بعدی را با مقوا یا پلاستیک محکم و شفاف بسازند و مسیرهای مختلف آزمایشها را روی آن نشان دهند [۱۳].

- استفاده از برگه ذرت پرشته<sup>۱</sup> در تدریس مکانیک خاک به عنوان سنگدانه و نشان دادن رفتار توده خاک سابقه دارد [۱۴]. کش لاستیکی نیز برای اندازه گیری مدول یانگ توسط دانشجویان به کار می رود. عسل باکرم پوست مقایسه می شود تا رفتار پلاستیک با رفتار ویسکوز مقایسه شود [۱۴].

### ۲.۳. مدل‌های ثقلی مهندسی پی

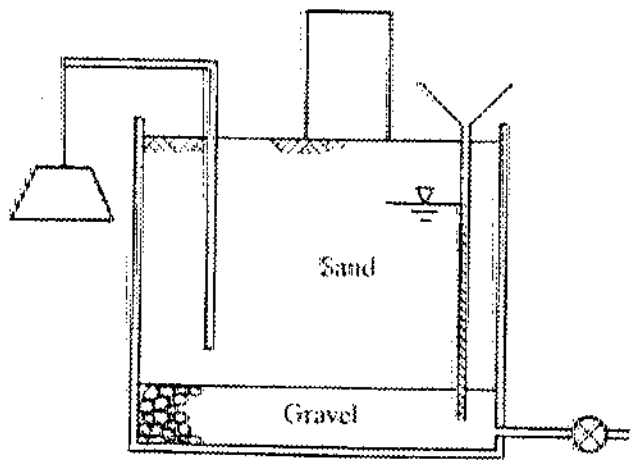
آموزش تحلیل و طراحی سازه یا یک سیستم مهندسی، مفصلتر و مشکلتر از آموزش خواص مصالح برای دانشجویان مهندسی است [۸]. استادان مهندسی با کمک مدل‌های فیزیکی بسیار ساده می توانند مفاهیم تحلیل و طراحی را به دانشجویان تشریح کنند.

مدل‌های فیزیکی مهندسی پی به طور کلی به دو دسته مدل‌های "وزنی" و "گریناز مرکز" تقسیم

می‌شوند. مدل‌های وزنی تحت تأثیر جاذبه زمین قرار دارند و به اصطلاح مدل‌های "یک بی" خوانده می‌شوند. این قسمت از مقاله به ذکر مثالهایی از مدل‌های ثقلی می‌پردازد:

- مدل ظرفیت باربری پی سطحی معمولاً شامل یک مخزن خاک است و پی سطحی که اغلب یک صفحه فلزی است، بر سطح خاک قرار می‌گیرد. سیستم اعمال بار می‌تواند به صورت ثقلی با وزنه یا به صورت پیوسته با جک مارپیچی، سیلندر هوای فشرده یا موتورهای الکتریکی باشد [۸].

- آزمایش ساده‌ای که نشان‌دهنده عملکرد تنش مؤثر باشد، در شکل (۲) آمده است. این آزمایش تأثیر فشار آب حفره‌ای را بر ظرفیت باربری پی‌های سطحی و عمیق نشان می‌دهد. یک پی سنگین بر سطح خاک و همچنین یک پی عمیق با بارگذاری خارج از مرکز مطابق شکل نصب می‌شود. شیر زهکشی بسته و آب از طریق قیف اضافه می‌شود تا سطح آب بالا بیاید. همچنان که سطح آب و فشار آب حفره‌ای بالا می‌رود، تنش مؤثر کاهش می‌یابد و هر دو پی گسیخته می‌شوند [۱۰].



شکل ۲. آزمایش بالا آمدن آب زیرزمینی و تأثیر فشار آب حفره‌ای بر ظرفیت باربری پی سطحی

### ۳.۳. مدل‌های گریز از مرکز

در مدل‌های ثقلی وزن واحد حجم خاک ثابت نگه داشته می‌شود و ابعاد مدل کاهش می‌یابد. اما واقعیت این است که برای ساخت مدل با مقیاس مناسب باید وزن واحد حجم خاک افزایش داده شود [۱۰]. افزایش وزن واحد حجم خاک با افزایش شتاب در مدل‌های گریز از مرکز انجام می‌شود.



در مدل‌های گریز از مرکز ژئوتکنیکی، گهواره‌ای قوی حول یک محور قائم می‌چرخد و شتاب گریز از مرکز بر آن وارد می‌شود. مدل اصلی مورد مطالعه در درون گهواره قرار می‌گیرد. گهواره در حالت سکون به صورت آویزان قرار دارد. وقتی که گردش حول محور قائم آغاز شد، نیروی گریز از مرکز به تدریج موجب می‌شود که گهواره در وضعیت تقریباً افقی قرار گیرد و شتاب لازم به مدل اعمال شود.

جدول (۱) به ارایه مقایسه مدل‌های آموزشی گریز از مرکز با سایر روشها می‌پردازد [۱۹].

جدول ۱. مقایسه چند روش آموزشی از جنبه‌های مختلف

روش	لحن مصالح	مشاهده پدیده‌های	مشاهده پدیده‌های	هزینه	وقت‌گیر
ژئوتکنیکی <td>گسستگی <td>متوسط (۳) <td>تغییر شکل <td>خوب <td>بودن</td> </td></td></td></td>	گسستگی <td>متوسط (۳) <td>تغییر شکل <td>خوب <td>بودن</td> </td></td></td>	متوسط (۳) <td>تغییر شکل <td>خوب <td>بودن</td> </td></td>	تغییر شکل <td>خوب <td>بودن</td> </td>	خوب <td>بودن</td>	بودن
انجام دادن آزمایش‌های آزمایشگاهی	عالی	متوسط (۳)	متوسط (۳)	خوب	متوسط
نمونه‌های خاک و سنگ					
به‌کارگیری مدل‌های	عالی	خوب	خوب	خوب	خوب
فیزیکی ثقیل					
به‌کارگیری مدل‌های فیزیکی	خوب (۱)	عالی	عالی	متوسط (۴)	خوب
گریز از مرکز					
بازدید سحرایی	متوسط (۲)	خوب	خوب	بد	بد
برنامه‌های آموزشی رایانه‌ای	بد	خوب	خوب	عالی	عالی

(۱) به دلیل کوچک بودن اندازه توده خاکی یا سنگی در مدل گریز از مرکز

(۲) به دلیل مشکلات دسترسی به پرتگاهها و ارتفاعات و نظایر آن

(۳) به دلیل وقوع پدیده در نمونه (نه در توده یا سازه ژئوتکنیکی)

(۴) به دلیل گران بودن ساخت اولیه دستگاه مدل

در سال ۱۹۸۹ میلادی، کریگ نقش آموزشی مدل‌های گریز از مرکز ژئوتکنیکی را [۸] پیشنهاد کرد. بخش مهندسی عمران دانشگاه منچستر که یکی از قدیمی‌ترین مراکز مدل‌های گریز از مرکز ژئوتکنیکی است، علاوه بر مدل‌های تحقیقاتی، دارای مدل آموزشی گریز از مرکز نیز هست.

آشنایی با این مدل بخشی از آموزش اجباری دانشجویان است [۱۵]. معمولاً نمونه‌هایی به طول ۴ الی ۱۶ اینچ و عمق ۱ اینچ از رس کائولین در آن گنجانده می‌شود. برنامه عادی کلاس شامل مشاهده ایجاد گسیختگی پیش‌رونده و در نهایت ایجاد گسیختگی در شبروانی در خاک رس تحکیم یافته است. همچنین، دانشجویان ملاحظه می‌کنند که هرگز یک سطح گسیختگی ناگهانی در رس نرم به وجود نمی‌آید. هرچه خاک محکمتر باشد، ما با گسیختگی شکننده‌تری مواجه‌ایم. علاوه بر مدل‌های شبروانیها، نمایشی از گسیختگی خاک زیرپی، تعامل پی سطحی و شبروانی و همچنین محدوده برشی در اطراف تونل به دانشجویان ارائه می‌شود [۱۶].

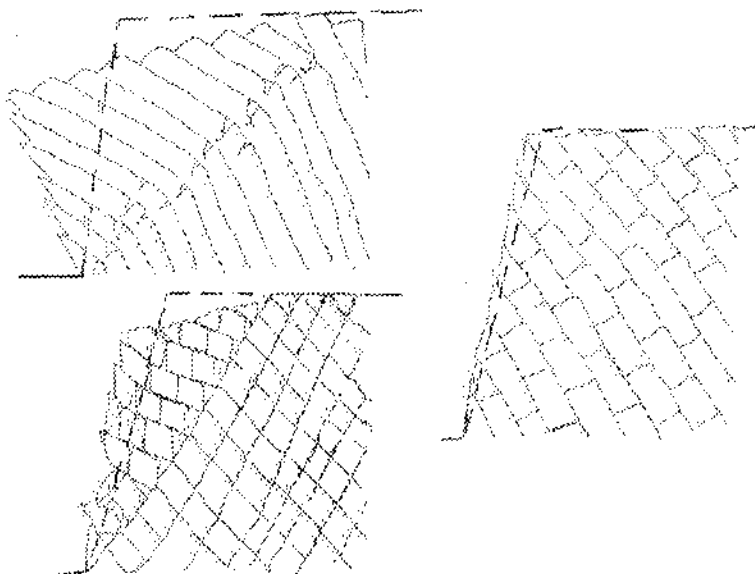
پروفیسور اسکوفیلد نیز یک مدل گریز از مرکز آموزشی با عنوان "مدل گریز از مرکز شخصی" در دانشگاه کمبریج ابداع کرده است [۱۷]. در دانشگاه کلورادو نیز از مدل گریز از مرکز برای آموزش و تدریس استفاده می‌شود [۱۸].

#### ۴.۳. مدل‌های اصطکاکی

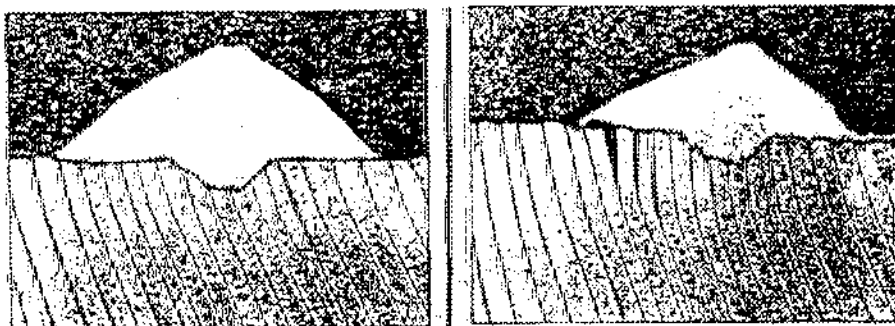
مدل‌های اصطکاکی کف برای مطالعه کیفی مکانیزمهای گسیختگی در ژئوتکنیک به کار رفته‌اند [۲۰]. مبانی تئوریک این روش به صورت مبسوط مورد تحقیق قرار گرفته است [۲۱]. مدل اصطکاکی کف، مدل افقی و دوبعدی از مقطع قائم سازه واقعی است. نیروی جاذبه در مدل اصطکاکی با استفاده از اصطکاک لغزشی بین مصالح مدل و کاغذ سمباده کف شبیه‌سازی می‌شود. نیروی اصطکاک روی هر المان متناسب با سطح تماس آن المان با کاغذ سمباده است و برآیند آن روی مرکز سطح المان قرار دارد، با این روش نیروهای ثقلی شبیه‌سازی می‌شوند.

در امپریال کالج لندن برای آموزش دانشجویان از مدل‌های اصطکاکی کف استفاده می‌شود [۲۲]. بلوکهای مورد استفاده در مدل، از ماسه ریز، روغن مایع و آرد ساخته می‌شود. روش کار این است که یک کاغذ سمباده بزرگ روی میز قرار داده می‌شود و در طرفین آن دو تیغه هادی برای لغزش قرار می‌گیرد. سپس مصالح مورد نظر با ماله روی کاغذ پخش می‌شود و به شکل دلخواه درمی‌آید. ضخامت مصالح معمولاً برابر با ۱۰ الی ۱۵ میلی‌متر است. درزها و ناپیوستگیها با بریدن مصالح با وسیله‌ای مناسب در محل‌های مورد نظر مدل می‌شود. سپس مدل را با دست در جهت جاذبه ثقلی هل می‌دهند تا گسیختگی بروز کند. شکل گسیختگی در حالت‌های مختلف را دانشجویان ترسیم می‌کنند. نمونه‌هایی از گسیختگیها در شکل (۳) ملاحظه می‌شود. مدل‌هایی برای

نشان دادن رفتار پی سدها نیز تهیه شده است. به عنوان مثال، شکل (۴) را ملاحظه کنید.



شکل ۳. نمونه‌هایی از گسیختگیها در مدل اصطکاک کف برای یک شیروانی سنگی با ناپیوستگی



شکل ۴. مطالعه‌ی سد خاکی (مقطع)

جدول (۲) خلاصه‌ای از انواع مدل‌های مورد استفاده در آموزش مهندسی ژئوتکنیک را با ملاحظاتی در مورد آنها ارائه می‌کند.

جدول ۲. انواع مدل‌های فیزیکی در آموزشهای مهندسی ژئوتکنیک

نوع مدل	تقسیم‌بندی	مدل	ملاحظات
	مقاومت برشی	کشیدن دانشجویی روی سکوی ساده‌ای [۱۱]	- جذاب برای دانشجویان - ساده و کم‌هزینه
	تحکیم خاک	اعمال فشار و سوزخ کردن یا کت چپس [۱۲]	- جذاب برای دانشجویان - ساده و کم‌هزینه
مدل‌های بیانگر خواص مصالح ژئوتکنیکی	زهکشی و تراوش	عبور آب از ستوانه شفاف حاوی لایه‌های مختلف با امکان اندازه‌گیری فشار آب [۱۸]	- ساخت اولیه مدل می‌تواند به دلیل وجود آب و چرخش آن پرهزینه باشد
	سایر خواص	نمایش رفتار آلاستیک - پلاستیک کامل آبا فشار افقی قطعه لاستیکی نرم روی کاغذ سمباده [۱۰]	-
مدل‌های بیانگر رفتار سازه ژئوتکنیکی	مدل‌های تقابلی	عملکرد تنش مؤثر بر پی سطحی [۱۰]	ساخت اولیه مدل نسبتاً ساده است
	مدل‌های گریز از مرکز	گیختگی شیره‌ای رسی [۸ و ۱۶]	- ساخت اولیه مدل نسبت به مدل‌های فیزیکی مشکل است - بسیاری از پدیده‌های رفتاری به سادگی نشان داده می‌شود
	مدل‌های اصصکاکی کف	مدل شیره‌ای سنگی امپرزال کانج [۲۲]	به درک دانشجویان از رفتار توده‌های سنگی دارای زاپوستگی بسیار کمک می‌کند

#### ۴. مدل‌های تهیه شده در این تحقیق

در این تحقیق، چهار مدل فیزیکی ساخته شد. این مدل‌ها به ترتیب با عناوین: الف. مدل پی سطحی تحت بار قائم و افقی، ب. مدل شمع کوبی، ج. مدل ابنیه نگهبان خاک و د. مدل زاویه شیب طبیعی خاک نامیده شدند. در این بخش مدل‌های تهیه شده تشریح و نحوه کار دانشجویان با آنها بیان می‌شود.

#### ۱.۴. مدل پی سطحی تحت بار قائم و افقی

این مدل از یک جعبه فلزی تشکیل شده است که چهار پایه دارد. این جعبه با خاک ماسه‌ای پر می‌شود و اعمال بار قائم از طریق قاب بارگذاری آویزان به طریقه وزنی انجام می‌گیرد و بار افقی با کمک فرقه‌ای که روی یکی از اضلاع جعبه نصب است و وزنه وارد می‌شود [۱۹]. ماسه نباید حاوی خاک ریزدانه باشد، زیرا موجب آلودگی هوا هنگام کار دانشجویان می‌شود. در ضمن، شن و ماسه بسیار قوی نیز مناسب نیست، چون گسیختگی آن نیاز به نیروی زیاد دارد. در نهایت ماسه ریخته‌گری مورد استفاده قرار گرفت و در تمام مدلها به کار رفت. عکسهایی از این مدل و سایر مدلها در پیوست (الف) آمده است.

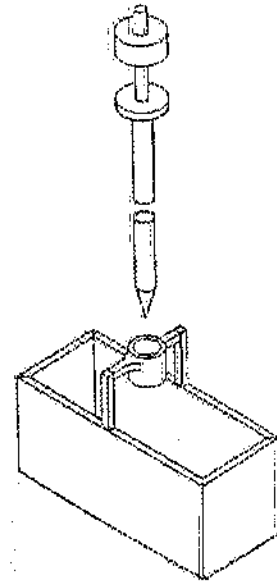
صفحات بارگذاری با قطرهای مختلف به عنوان پی سطحی در اختیار دانشجویان قرار می‌گیرد تا تأثیر قطر را در افزایش ظرفیت باربری ملاحظه کنند. همچنین، یک قوطی (مستداول برای رطوبت سنجی خاک) نیز در خاک فروبرده می‌شود تا تأثیر عمق پی در ظرفیت باربری مطالعه شود. وقتی که بار افقی یر پی وارد می‌شود، نیروی قائم مورد نیاز برای اعمال گسیختگی بسیار کم می‌شود. این موضوع، حتی اگر بار قائم با فشار دست اعمال شود نیز قابل درک است، زیرا تفاوت بار قائم گسیختگی در این حالت با حالتی که بار افقی وجود ندارد، بسیار فاحش است.

#### ۲.۴. مدل شمع‌کوبی

این مدل از یک جعبه فلزی تشکیل شده است که درون آن با خاک ماسه‌ای پر می‌شود، این جعبه دارای قاب متصل به آن مطابق شکل (۵) است که به عنوان شمع عمل می‌کند. شمع از یک لوله توخالی آلومینیومی تشکیل شده است که نوک آن قابل تعویض می‌باشد. همچنین، در بالای آن سندان برای اعمال ضربه وجود دارد. ضربه از طریق ستوپ وزنه متحرک و برخورد آن به سندان اعمال می‌شود [۱۹].

دانشجویان کار با مدل شمع‌کوبی را با شمع نوک مخروطی آغاز می‌کنند. اولین ضربه موجب فرورفت زیادی می‌شود، ولی ضربات بعدی فرورفت کمتری را به همراه دارد. دانشجویان درمی‌یابند که میزان فرورفت به ازای هر ضربه با پیشرفت عملیات کوبش کاهش می‌یابد، زیرا ظرفیت باربری شمع افزایش می‌یابد. در مرحله بعد، دانشجویان سرشمع را عوض می‌کنند. سر شمع تخت و همچنین شمع نوک باز نیز آزمایش می‌شود. فرورفت با شمع مخروطی بیشتر از شمع

با نوک تخت یا نوک باز است. نوکهای تخت و باز مشابه هم عمل می‌کنند، زیرا ماسه درون لوله نوک باز گیر می‌کند و در عمل شمع نوک باز به وقوع نمی‌پیوندد.



شکل ۵. تصویر سه‌بعدی مدل شمع کوبی

#### ۳.۴. مدل ابنیه نگهبان خاک

این مدل از یک قاب فلزی چهارپایه تشکیل شده است که دارای دو طبقه است. در هر طبقه یک جعبه شیشه‌ای مشابه آکواریوم وجود دارد. ماسه با شیب طبیعی در یک سمت طبقه فوقانی قرار داده شده است و در سمت دیگر، ماسه مسلح شده با دستمال کاغذی قرار دارد [۱۹]. دستمال کاغذی نشان‌دهنده ژئوسیتتیک‌های مسلح‌کننده خاک در عمل است. دانشجویان به وضوح ملاحظه می‌کنند که خاک طبیعی به صورت شیب‌دار می‌ایستد و نمی‌توان ارتفاع زیادی با آن ساخت، اما خاک مسلح شده با دستمال کاغذی ارتفاع زیادی دارد.

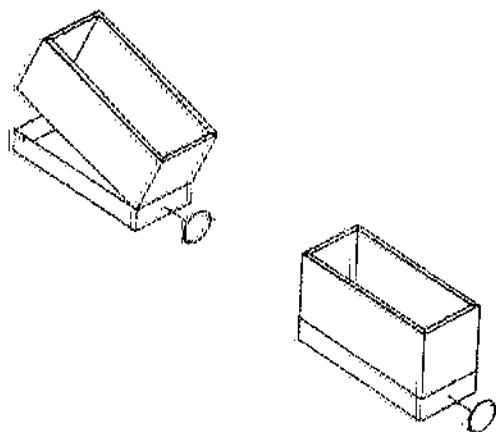
در طبقه پایین، یک دیوار گهواره‌ای کوچک با قطعات چوبی ساخته شده است [۱۹]. در عمل دیوارهای گهواره‌ای از قطعات ساده بتنی یا چوبی ساخته می‌شود. روحیه ابتکار در آرایه دیواری که اجرای آن ساده باشد، اهمیت فراوانی دارد. پس از آن که دیوار گهواره‌ای برای دانشجویان

تشریح شد، تعدادی قطعات چوبی به آنان داده می‌شود تا ساخت یک دیوار را تجربه کنند. این کار به منظور درگیرکردن دانشجویان با یک مسئله بدیع و نوآوری صورت گرفته است.

#### ۴.۴. مدل زاویه طبیعی شیب خاک

این مدل در واقع یک جعبه فلزی حاوی ماسه است که با گرداندن دسته‌ای، شیب آن افزایش می‌یابد. شکل (۶) جعبه را در حالت افقی و شیب‌دار نشان می‌دهد [۱۹]. نحوه کار با این مدل بسیار ساده است. دانشجویان دسته مدل را می‌چرخانند تا خاک شروع به لغزش کند. زاویه لغزش نشان‌دهنده شیب طبیعی خاک است. در اینجا از خاک صرفاً دانه‌ای استفاده شده است، بنابراین زاویه شیب طبیعی خاک با زاویه اصطکاک داخلی خاک برابر می‌شود. در این آزمایش، دانشجویان برای خاک معمولاً زاویه‌ای در حدود ۳۳ الی ۳۴ درجه به دست می‌آورند. از دانشجویان خواسته می‌شود تا خاک ماسه‌ای را با دست لمس کنند تا احساسی از زاویه اصطکاک داخلی حدود ۳۳ الی ۳۴ درجه برای خاک داشته باشند.

چرخاندن دسته و بالا آوردن آن وقت‌گیر است. پس از انجام دادن آزمایش‌های ابتدایی تصمیم گرفته شد که خاک در آغاز کار دارای شیب اولیه باشد. دانشجویان شیب اولیه را اندازه می‌گیرند و مجموع شیب اولیه و شیب جعبه در لحظه گسیختگی با شیب طبیعی خاک برابر می‌شود.



شکل ۶. مدل زاویه شیب طبیعی خاک

## ۵. ارزیابی مدلها

پس از آن که مدلها ساخته شد، ابتدا محقق و همکاران آن را مورد بررسی اولیه قرار دادند تا مشکلات ظاهری آنها برطرف و همچنین برنامه کار دانشجویان با آنها تنظیم شود. مرحله بعدی ارزیابی شامل به کارگیری مدلها توسط دانشجویان و سپس بررسی نتایج نظرخواهی از آنان بود. پیوست (ب) نشان‌دهنده پرسشنامه مورد استفاده برای نظرخواهی است.

در اوایل خرداد ۱۳۷۸ تعداد ۱۵ دانشجو با مدل‌های مذکور کار کردند و مورد نظرسنجی قرار گرفتند. این نظرسنجی به منظور رفع نقایص احتمالی صورت گرفت. سپس در نیمسال اول ۷۸-۷۹ از ۲۹ دانشجوی دیگر نظرخواهی شد. برای کار با مدل، دانشجویان به گروه‌های چندنفره تقسیم می‌شدند. تنوعی از تعداد افراد در هر گروه انتخاب شد و تعداد بینه افراد در هر گروه نیز مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج آن بعداً داده می‌شود. معمولاً توضیحات اولیه در هر جلسه به دانشجویان ارایه می‌شد.

همان‌طور که در پیوست (ب) ملاحظه می‌شود، پرسشنامه تهیه شده علاوه بر مشخصات فردی دارای چهار قسمت جداگانه برای چهار مدل ساخته شده و یک قسمت مستقل شامل سؤالات عمومی است. در اینجا خلاصه نتایج نظرسنجی‌ها و بحث در مورد آنها به تفکیک قسمتهای مختلف پرسشنامه ارایه می‌شود. شرح مبسوط‌تر در گزارش تحقیق [۱۹] وجود دارد.

دانشجویانی که مورد ارزیابی قرار گرفتند، همگی دانشجویان گروه مهندسی عمران دانشگاه تهران بودند. چند نفر نیز به صورت میهمان یا داوطلب آزاد از سایر دانشگاهها حضور یافتند. در مجموع ۴۴ دانشجو در دو مقطع زمانی مورد نظرسنجی قرار گرفتند. نوشتن اسم بر روی پرسشنامه اختیاری بود. به نظر می‌رسد که اختیاری بودن نوشتن اسم در نظرسنجی‌های مشابه ضروریست، زیرا مشخص شد که تقریباً ۴۰ درصد دانشجویان تمایل به مشخص کردن اسم خود ندارند.

### ۱.۵. نظرسنجی در مورد مدل پی سطحی

این بخش از پرسشنامه شامل ۵ سؤال است. سؤال میانی؛ یعنی سؤال ۳ در واقع اصلی‌ترین سؤال به منظور ارزیابی مدل است. چهار سؤال دیگر در واقع سؤالات بسیار ساده‌ای است که تقریباً تمام دانشجویان هنگام کار با این مدل، قبلاً پاسخ آنها را به صورت نظری در کلاس یافته‌اند.

پاسخ دانشجویان به سؤال ۳ مبتنی بر این که "آیا پاسخ سؤالات بالا را قبل از کار با این مدلها

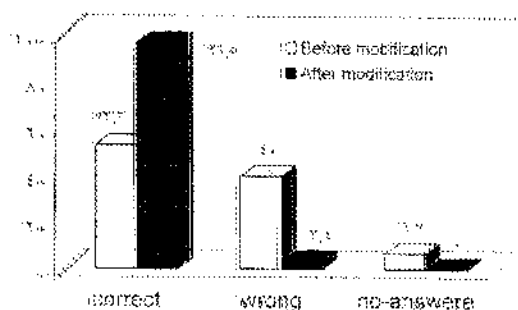


می‌دانستید؟" جالب است. فقط ۳۲ درصد دانشجویان با قاطعیت اظهار داشته‌اند که پاسخ این سؤالات را از قبل می‌دانستند. تذکر این نکته لازم است که سؤالات مذکور بسیار ساده است و تمام دانشجویان پس از کار با مدلها به آنها پاسخ صحیح داده‌اند، اما ظاهراً حضور در کلاس برای ملکه شدن مطلب در ذهن کافی نیست، زیرا فقط ۱۱ درصد دانشجویان با قاطعیت می‌گویند که پاسخ این سؤالات را از قبل نمی‌دانستند و حدود ۵۷ درصد از آنان در این مورد شک دارند.

#### ۲.۵. نظرسنجی در مورد مدل شمع کوبی

این بخش شامل سه سؤال است. موضوع سؤالات در مباحث کلاسی به صورت روشن مورد بحث قرار نمی‌گیرد، اما با انجام دادن عملیات توسط دانشجویان، پاسخ سؤالات ملموس می‌شود. کار با این مدل در ابتدا نقایصی داشت که پس از نظرسنجی و کار در خرداد ۷۸ برطرف شد. مشکلاتی در اصطکاک بین شمع و جداره لوله هادی وجود داشت [۱۹]. به علاوه، ضربات چکش موجب صدای گوشخراش می‌شد و همچنین فرورفتن شمع اندازه‌گیری نمی‌شد.

دانشجویانی که در خرداد ۷۸ نظرسنجی شدند، کمتر از دانشجویان بعدی توانستند به سؤالات پاسخ صحیح بدهند. همان‌طور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود، فقط ۳/۵۳ درصد دانشجویانی که قبل از اصلاح شدن دستگاه، نظرسنجی شدند، توانسته‌اند به سؤال ۲ پاسخ صحیح بدهند. این درصد پس از انجام گرفتن اصلاحات به صورت چشمگیری تا حدود ۵/۹۶ درصد افزایش می‌یابد. اندازه‌نگرفتن کمی فرورفتن در کارهای اولیه، احتمالاً دلیل این اختلاف بوده است.



شکل ۷. تغییر درصد پاسخهای صحیح و غلط به سؤال ۲ مدل شمع کوبی (در اثر اعمال اصلاحات بر دستگاه شمع کوبی)

به طور کلی، در خصوص تجربه انجام شده در مورد مدل شمع کوبی می‌توان گفت که شرایط کار و دقت‌های لازم در خصوص کار با یک مدل چنان است که می‌تواند بازدهی مدل را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

### ۳.۵. نظرسنجی در مورد مدل ابنیه نگهبان خاک

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، طبقه فوقانی این مدل حاوی خاک مسلح شده با دستمال کاغذی در مقابل خاک طبیعی است و طبقه زیرین نشان‌دهنده یک دیوار گهواره‌ای است. این دو طبقه دارای دیواره‌های شیشه‌ای هستند و دانشجویان آنها را فقط مشاهده می‌کنند و مری توضیحات لازم را ارائه می‌کند. سپس قطعات یک دیوار گهواره‌ای به دانشجویان داده می‌شود تا برای ساخت یک دیوار روی میز مجاور اقدام کنند.

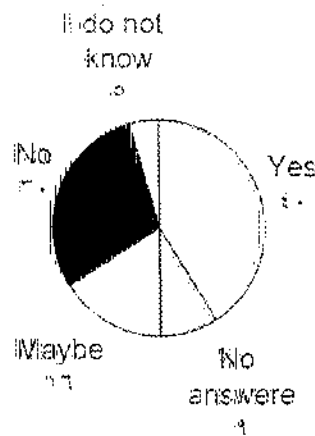
ارزیابی خاص این مدل در پرسشنامه، حاوی ۶ سؤال است. سؤال اول و دوم به خاک مسلح اختصاص دارد. ۳۱ دانشجو اذعان داشته‌اند که از قبل می‌دانستند که خاک مسلح چیست. علی‌رغم این، ۲۹ نفر از این عده کماکان اذعان داشته‌اند که درک واقعی از خاک مسلح را در مشاهده مدل به دست آورده‌اند. بنابراین، مدل خاک مسلح قادر بوده است که ۹۴ درصد دانشجویانی را که حتی از قبل می‌دانستند خاک مسلح چیست، تحت تأثیر قرار دهد و در آنان این باور را به وجود آورد که درک واقعی از خاک مسلح را به دست آورده‌اند.

سؤالات بعدی این قسمت از پرسشنامه به دیوار گهواره‌ای ارتباط دارد و هدف این بوده است که عکس‌العمل دانشجویان در برخورد با طرح‌های ابتکاری مطالعه شود. دیوارهای گهواره‌ای نوعی طرح‌های ساده و ابتکاری برای احداث ابنیه نگهبان هستند و زمینه‌های زیادی برای خلاقیت در آنها وجود دارد. موضوع خلاقیت و اهمیت آن در دیواره‌های نگهبان پیش‌ساخته را مری برای دانشجویان تشریح می‌کند.

در سؤال ۳ این قسمت، از دانشجویان سؤال می‌شود که آیا می‌توانند قطعات بهینه‌تری برای دیواره‌های گهواره‌ای ابداع کنند. این سؤال در شرایطی مطرح می‌شود که قطعات یک دیوار گهواره‌ای کوچک در اختیار دانشجویان قرار گرفته است و آنان یک دیوار ساده با آن ساخته‌اند. حال پاسخ دانشجویان بیانگر این است که آیا شهامت برخورد با یک مسئله ابتکاری را دارند. نمودار شکل (۸) بیانگر درصد پاسخ‌های دانشجویان است. فقط ۴۱ درصد دانشجویان اذعان

داشته‌اند که می‌توانند ابتکارات جدیدی ارائه دهند. مسلماً این درصد بسیار کوچکی است و باید با برنامه‌های آموزشی و غیره اصلاح شود.

دانشجویان چنان‌جهت سهولت اجرای دیواره‌های گهواره‌ای را لمس کرده‌اند که در پاسخ به سؤال ۴ اغلب اذعان می‌دارند که می‌توانند یک روزه دیوار در ابعاد واقعی را در حیاط منزل خویش بسازند. به نظر می‌رسد که تجربه ساخت دیوار با مقیاس مدل در آزمایشگاه، در ایجاد باور در دانشجویان نسبت به ساخت پذیری ساده این دیوارها کمک مؤثری بوده است.



شکل ۸. درصد پاسخ دانشجویان به سؤال ذیل:

آیا می‌توانید قطعات بهینه‌تری برای دیوارها ابداع کنید؟

#### ۴.۵. نظرسنجی در مورد مدل زاویه شیب طبیعی خاک

این قسمت از پرسشنامه نظرسنجی، شامل ۳ سؤال است. سؤال ۲ در مورد یکسان‌بودن زاویه اصطکاک بین دانه‌های خاک و شیب طبیعی خاک است. ۲۲ نفر از دانشجویان به این سؤال پاسخ بلی داده‌اند و این دو را یکسان دانسته‌اند. واقعیت این است که زاویه اصطکاک بین دانه‌ها و شیب طبیعی در ماسه‌های تمیز یکسان و در رس‌ها متفاوت است. خاک مورد آزمایش نیز از نوع ماسه تمیز بود. یکسان بودن دو زاویه یادشده برای خاک مورد آزمایش، باعث شده است که ۵۰ درصد دانشجویان به سؤال ۲ پاسخ نادرستی بدهند. لذا آزمایش با خاک رس (علاوه بر ماسه) قابل توصیه

است. البته می‌توان احتمال داد که بی‌دقتی در قرائت و پاسخگویی به این سؤال هم عاملی برای این اشتباه بوده است.

#### ۵.۵. نظرسنجی عمومی در مورد مدل‌ها و روش آموزش

قسمت "سؤالات عمومی" پرسشنامه دارای ۱۶ سؤال است و سؤال ۲ در واقع دو قسمتی می‌باشد. اهداف مختلفی در طراحی سؤالات و نظرسنجی این قسمت وجود داشته است که در اینجا تشریح می‌شود.

در سؤال اول در باره راحتی کار با مدل‌ها پرسیده می‌شود. ۴۳ نفر از دانشجویان کارکردن با مدل‌ها را راحت دانسته‌اند و یک نفر از آنان اذعان داشته است که بستگی به مدل دارد. آشکارا نتیجه‌گیری می‌شود که دانشجویان در کار با مدل‌ها مشکلی نداشته‌اند.

سؤال (۱-۲) و (۲-۲) تقریباً به یک معنا هستند. در سؤال (۱-۲) پرسیده می‌شود که آیا می‌توانید بدون کمک مربی و به صورت خودآموز نکات علمی مدل‌ها را دریابید. همین مفهوم در سؤال (۲-۲) به این صورت پرسیده می‌شود که آیا توضیحات مربی برای استفاده از مدل ضروریست. ۲۲ نفر از دانشجویان به سؤال (۱-۲) پاسخ بلی و ۱۹ نفر از آنان پاسخ خیر داده‌اند. در پاسخ به سؤال (۲-۲)، ۳۳ نفر پاسخ بلی و ۷ نفر پاسخ خیر داده‌اند.

اگر دانشجویی معتقد است که توضیحات مربی ضروریست، باید به سؤال (۲-۲) پاسخ مثبت و به سؤال (۱-۲) پاسخ منفی بدهد. زیرا نمی‌شود که مدل‌ها خودآموز باشند و در عین حال توضیحات مربی ضروری باشد. تعداد این دسته از دانشجویان که به ترتیب پاسخ خیر و بلی به سؤالات (۱-۲) و (۲-۲) داده‌اند، برابر ۱۸ یعنی ۴۱ درصد است.

اگر دانشجویی معتقد است که مدل‌ها خودآموز هستند، باید به سؤال (۱-۲) پاسخ مثبت و به سؤال (۲-۲) پاسخ منفی بدهد. تعداد این دانشجویان برابر با ۴ نفر؛ یعنی ۹ درصد دانشجویان است. با توجه به این که ۴۱ درصد دانشجویان کاملاً معتقد به نیاز به مربی برای کار با مدل‌ها هستند، می‌توان اذعان داشت که ۵۰ درصد دانشجویان در این زمینه جمع‌بندی قطعی ندارند. اضافه می‌شود که مقدار پاسخ مثبت به سؤال (۱-۲) برابر با ۵۰ درصد و پاسخ مثبت به سؤال (۲-۲) برابر با ۷۵ درصد است. پاسخ مثبت به سؤالات (۱-۲) و (۲-۲) عکس یکدیگر هستند، لذا در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که وجود مربی و آرایه توضیحات برای کار با مدل‌ها بسیار مفید است و

دانشجویان حضور مری را ترجیح می دهند.

از دانشجویان وقتی در سؤال ۳ پرسیده شده است که آیا مایلید تمام درس را با استفاده از مدل فراگیرید، بیش از ۸۰ درصد آنان پاسخ مثبت داده اند. سؤال ۴ در واقع دقیق شده سؤال ۳ برای کلیه دروس مهندسی است. در سؤال ۴ پرسیده می شود که چه درصدی از کلیه دروس مهندسی باید با مدل فیزیکی آموزش داده شود. اگر میانگین گیری از پاسخها انجام شود، می توان نتیجه گیری کرد که دانشجویان مایل هستند حداقل ۶۵ درصد دروس مهندسی با مدل فیزیکی آموزش داده شود. سؤال ۵ برای سنجش غیرمستقیم علاقه دانشجویان به آموزش با مدلهای فیزیکی طراحی شده است. در سؤال ۵ پرسیده شده است که آیا با انجام دادن این آزمایشها به موضوعات مهندسی پی علاقه مند شده اید؟ چهار گزینه "بلی بسیار زیاد"، "بلی"، "نه چندان" و "خیر" برای پاسخ وجود داشت که ۸۶ درصد دانشجویان گزینه های اول و دوم را علامت زده اند. سؤال ۶ به ارزیابی غیرمستقیم علاقه دانشجویان می پردازد. حدود ۶۱ درصد از دانشجویان اظهار داشته اند که مایل هستند در آینده مدل آموزشی برای آشناساختن سایر دانشجویان با مفاهیم مهندسی پی بسازند و ۲۹ درصد هم چنین علاقه ای ندارند. بقیه دانشجویان پاسخهای متفرقه داده اند. سؤالات ۵ و ۶ کماکان حاکی از علاقه دانشجویان به مدلهای فیزیکی است.

سؤالات ۷ و ۸ در باره مفاهیم روشن و مبهم مهندسی پی برای دانشجویان است. این دو سؤال برای کمک به استادان به منظور روشن کردن وضعیت دانشجویان طراحی شده است. پاسخهای دانشجویان در گزارش تحقیق [۱۹] آمده است.

آزمایش و کار با مدلها با محدودیتهایی از نظر فضای کار و فرصت کار با آنها انجام شد. محدودیت زمانی به این دلیل بود که دانشجویان همواره در دسترس نبودند و کار با مدلها اجباراً در ساعات خاصی از کلاسهای درس انجام می گرفت. این محدودیتها در آینده نیز در گنجاندن مدلها در قسمتی از روال عادی آموزش وجود خواهد داشت. بنابراین، تعداد بهینه دانشجو در هر گروه کاری، اهمیت زیادی دارد.

از آنجا که دانشجویان، داوران خوبی برای قضاوت در مورد تعداد افراد در هر گروه هستند، در سؤال ۹ نظر دانشجویان در باره اینکه که کار با هر مدل باید در گروههای چندنفره انجام شود، خواسته شد. چهار گزینه یک، دو، سه و چهار برای پاسخ وجود داشت و به ترتیب تعداد صفر، ۱۵، ۲۳ و ۵ نفر به این گزینه ها پاسخ دادند. یک نفر هم سؤال را بی جواب گذاشته بود. به نظر می رسد که

تعداد مورد علاقه دانشجویان در کار با مدل‌ها بین ۲ الی ۳ نفر است. گزینه ۳ نفره حدود ۵۲ درصد جوابها را به خود اختصاص داده است. برای این که بررسی شود که این پاسخ دانشجویان چقدر واقع‌بینانه است، به پاسخهای سؤال ۱۴ توجه شد.

پاسخ سؤال ۱۴ مشخص می‌کرد که گروه کاری دانشجوی مربوط چند نفره بوده است. از هفت دانشجویی که گروه کاری آنها دو نفره بود، ۴ نفر گروه‌های سه نفره و یک نفر گروه‌های چهار نفره را ترجیح داده‌اند. از طرف دیگر، از ۵ دانشجویی که گروه کاری آنها سه نفره بود، ۲ نفر گروه‌های سه نفره و ۴ نفر گروه‌های دونفره را ترجیح داده‌اند. ملاحظه می‌شود که هیچ‌کدام از دانشجویانی که گروه کاری آنها دونفره بوده است، تعداد دو نفر را مطلوب ندانسته‌اند. در مجموع، نتیجه‌گیری می‌شود که از نظر دانشجویان تعداد سه نفر در هر گروه مطلوب است. دسترسی به این تعداد با توجه به فضاها و امکانات موجود در دانشگاهها به طور معمول متدور می‌باشد.

در سؤال ۱۰ از دانشجویان پرسیده می‌شود که آیا مایل به انجام دادن مجدد آزمایش با مدل‌ها هستند. حدود ۶۶ درصد پاسخ بلی داده‌اند. تمایل به انجام دادن مجدد آزمایشها می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. علاقه‌مندی به مدل‌ها با بررسی نکاتی که در آزمایش اول نادیده گرفته شده است، می‌تواند از جمله این دلایل باشد. یک فرضیه این بود که شاید تمایل به تکرار آزمایش، به دلیل بیشتر بودن تعداد دانشجویان از تعداد مطلوب در هر گروه یا به اصطلاح به دلیل شلوغی گروه باشد. برای بررسی این فرضیه، از پاسخ ترکیبی سؤال ۱۰ و سؤال ۱۴ مطابق جدول (۳) بهره گرفته شد. همان‌طور که قبلاً نتیجه‌گیری شد، تعداد مورد علاقه دانشجویان برای تعداد نفرات در هر گروه حدود ۳ است. اما تعداد دانشجویان در عمل در گروه‌های کاری حدود ۴ الی ۵ بود؛ یعنی تعداد میانگین افراد در هر گروه بیشتر از تعداد مطلوب بود. جدول (۳) نشان می‌دهد که برخی از دانشجویانی که در گروه‌های کاری پرجمعیت (۴ الی ۶ نفر) بوده‌اند، مایل به تکرار آزمایش نیستند. در مقابل، برخی از دانشجویانی که در گروه‌های کاری کم‌جمعیت (۲ الی ۳ نفر) بوده‌اند، تمایل به تکرار آزمایش داشته‌اند، بنابراین تعداد نفرات در گروه و علی‌الخصوص شلوغی گروهها، عاملی برای تمایل به تکرار آزمایشها نبوده است.

پاسخهای سؤال ۱۱ از نظر ارزیابی نسبی روشهای مختلف آموزشی از دیدگاه دانشجویان بسیار جالب است. در سؤال ۱۱ پرسیده شده است که اگر بخواهیم فقط از یک روش برای آموزش مهندسی پی استفاده کنیم، استفاده از روشهای مختلف را به ترتیب علاقه شماره گذاری کنید. شن

گزینه در ادامه سؤال وجود دارد که دانشجویان آنها را به ترتیب علاقه مشخص کرده‌اند. توجه شود روشی که حداکثر اولویت را دارا می‌باشد، حداقل نمره را در مجموع رتبه‌بندی می‌گیرد. لذا برای نشان دادن نتایج به صورت نمودار، متغیری به نام "درصد علاقه" به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{درصد علاقه} = \frac{162 - A}{135}$$

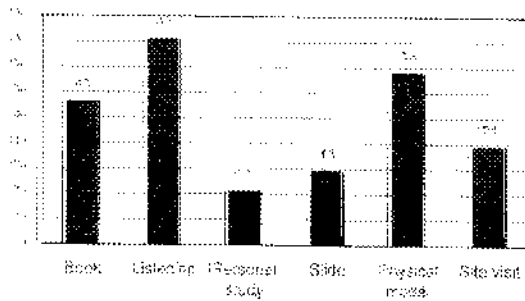
جدول ۳. تعداد پاسخها به سؤالات ۱۰ و ۱۴ از بخش سؤالات عمومی پرسشنامه نظرخواهی

سؤال ۱۰: تعادل به تکرار آزمایش	سؤال ۱۴: تعداد نظرات در گروه کاری	تعداد
بلی	۱	۱
	۲	۴
	۳	۳
	۴	۶
	۵	۱۰
	۶	۲
خیر	۲	۱
	۳	۳
	۴	۲
	۵	۵
	۶	۳
	بدون پاسخ	بدون پاسخ

درصد علاقه، یک کمیت فرضی و نشان‌دهنده علاقه دانشجویان به روشهای مختلف و A مجموع رتبه‌بندی هر روش است. نظر به این که ۲۷ نظرخواهی بدون اشکال در پاسخ به سؤال ۱۱ وجود دارد، اگر تمام دانشجویان به روش خاصی رتبه یک بدهند، مقدار A برابر با ۲۷ می‌شود. بنابراین، درصد علاقه برابر با ۱۰۰ درصد برای آن روش به دست می‌آید. از طرف دیگر، اگر تمام دانشجویان به روش خاصی رتبه ۶ یعنی پایین‌ترین رتبه را بدهند، مقدار A از حاصل ضرب ۲۷ و ۶

و برابر با ۱۶۲ به دست می‌آید. بنابراین، درصد علاقه برای آن روش، برابر با صفر می‌شود. شکل (۹) درصد علاقه را برای روش‌های مختلف نشان می‌دهد. پاسخ این سؤال به نحو دیگری هم مورد جمع‌بندی قرار گرفت. تعداد دانشجویانی که یک روش را رتبه اول مشخص کرده‌اند، بررسی شد [۱۹]. کماکان ملاحظه گردید که روش‌های "شنیدن مطلب از استاد"، "استفاده از مدل‌های آموزش فیزیکی" و "مطالعه کتاب و جزوه" به ترتیب در اولویت قرار دارند.

سؤال‌های ۱۲ و ۱۳ به منظور نظرسنجی از دانشجویان در خصوص تهیه گزارش کار با مدل طراحی شده بودند. حدود ۵۵ درصد دانشجویان مایل هستند که اصلاً گزارشی تهیه نشود. از این عده اکثریت ابراز داشته‌اند که گزارش نویسی نباشد، "زیرا وقت و حوصله یک سری گزارش نویسی جدید را ندارم" و برخی نیز اذعان کرده‌اند، "خیر زیرا من وقت ندارم اما در حقیقت تهیه گزارش برای تکمیل یادگیری لازم است". در سؤال ۱۳ از دانشجویان پرسیده شده است که تعداد صفحات گزارش چقدر باشد. حدود ۷۷ درصد گزارش‌های یک الی دو صفحه‌ای را ترجیح می‌دهند. از مجموع پاسخ‌های سؤال ۱۲ و ۱۳ جمع‌بندی می‌شود که دانشجویان به گزارش‌های متداول آزمایشگاهی علاقه ندارند و ترجیح می‌دهند که در یک الی دو صفحه به صورت مختصر حاصل فهم خود را بنویسند. یادداشتهای دانشجویان در کنار گزینه‌های پاسخ به این سؤالات نیز مؤید این موضوع است.



شکل ۹. درصد علاقه دانشجویان به روشها و ابزار مختلف آموزشی

سؤال ۱۵ به نظرسنجی از دانشجویان برای مقایسه چهار مدل ساخته شده می‌پردازد. به نظر



می‌رسد که مدل ابنیه نگهبان و پی سطحی به ترتیب بیش از سایر مدلها محبوبیت داشته و مدل شمع کمترین محبوبیت را داشته است. شاید محبوبیت مدل ابنیه نگهبان به دلیل تجربه دانشجویان از ساخت دیوار باشد. در کار با این مدل، عملیات ساخت را خودشان انجام می‌دهند و این موجب تفاوت از سایر مدلها می‌شود. در خصوص کمتر محبوب بودن شمعها هم شاید بتوان گفت که علت آن تعبیه نشدن سیستم اندازه‌گیری فرورفت در شمع است که نتیجه‌گیری حاصل از کار با آن را مشکل می‌سازد.

در سؤال ۱۶ از دانشجویان خواسته شده است که اگر پیشنهادی در خصوص مدلها دارند، ارایه کنند ۲۴ نفر از دانشجویان پیشنهادی نکرده بودند. پیشنهادهای سایرین در گزارش تحقیق وجود دارد [۱۹].

## ۶. مدت زمان کار با هر مدل

یکی از بررسیها در خصوص مدت زمان کار با دستگاهها بود. کار با هر مدل در جلسات مختلف بین ۱۵ الی ۳۰ دقیقه متغیر بود. با توجه به تجربه‌های انجام شده به نظر می‌رسد که وقت ۳۰ دقیقه‌ای برای کار با مدلها مناسب‌تر باشد؛ زیرا فرصت کافی برای تشریح توسط مربی، به کارگیری توسط دانشجویان و بحثهای نهایی بین دانشجویان یا یکدیگر یا دانشجویان و مربی وجود خواهد داشت. با توجه به این که قبلاً نتیجه‌گیری شد که تعداد مطلوب برای گروههای کاری برابر با ۳ نفر است، با احتساب ۲۵ الی ۳۰ دقیقه زمان برای کار با هر مدل می‌توان نتیجه گرفت که جلسات ۲ ساعته برای آموزش ۱۲ دانشجو و کار با ۴ مدل لازم است. در کلاسهای درسی دانشکده فنی دانشگاه تهران که معمولاً ۳۰ الی ۴۰ دانشجو حضور دارند، به ۳ الی ۴ جلسه دو ساعته در طول نیمسال برای کار با چهار مدل نیاز خواهد بود.

اگر جزئیات و کارهای بیشتری به هر مدل اضافه شود، برای مثال، استفاده از دو نوع خاک در مدل شیب طبیعی مورد توجه قرار گیرد یا مدل باربری قائم شمع هم به مدل موجود شمع‌کوبی اضافه گردد و همچنین از دانشجویان خواسته شود که گزارش یک صفحه‌ای از درک خود را بلافاصله پس از کار با مدل بنویسند، آنگاه کار با هر مدل یک ساعت طول می‌کشد، چنانچه جلسات را یکساعته در نظر بگیریم (مثلاً کلاسهای درسی ۲ ساعته مهندسی پی به دو بخش مساوی تئوری و کار مدل تقسیم شود)، در هر جلسه یکساعته ۱۲ دانشجو با یک مدل کار می‌کنند، لذا برای

کلاس مثلاً ۳۶ نفره نیاز به ۱۲ جلسه یکساعته خواهد بود.

درس اختیاری پروژه مهندسی پی در دوره کارشناسی مهندسی عمران به ارزش یک واحد وجود دارد. در گروه عمران دانشگاه تهران درس مهندسی پی همراه با پروژه مهندسی پی و به صورت اجباری توصیه می‌شود و دانشجویان این دو درس را با هم مجموعاً به ارزش ۳ واحد اخذ می‌کنند. قانوناً یک جلسه کلاس دوساعته و یک جلسه یک ساعته در هر هفته برگزار می‌شود. لذا به راحتی می‌توان یک جلسه یکساعته در هر هفته را به کار با مدل فیزیکی اختصاص داد.

## ۷. نتیجه گیری

با توجه به ضرورت‌های ذکر شده، مدل‌های فیزیکی توسط استادان مختلف برای آموزش دروس مهندسی به کار می‌رود. مثالهایی از این مدل‌ها در مهندسی ژئوتکنیک ارائه گردید. در ضمن، چهار مدل ساخته شده در دانشگاه تهران و ارزیابی آنها تشریح شد. نتیجه گیریهای زیر در مورد هر یک از مدل‌ها به صورت جداگانه حاصل شد:

۱. مدل پی سطحی در ایجاد درک درست در دانشجویان موفق بوده است، زیرا تقریباً تمام دانشجویان پاسخ سؤالات را صحیح داده بودند. این در شرایطی است که فقط ۱۱ درصد آنها اظهار داشته‌اند که پاسخ سؤالات را از قبل می‌دانستند.
۲. انجام‌شدن اصلاحاتی مثل کاهش صدای گوشخراش چکش و اندازه‌گیری فرورفت شمع با خط کش موجب بهبود کارایی مدل شمع‌کوبی شده است. فقط ۳/۵۳ درصد دانشجویان قبل از انجام اصلاحات توانسته‌اند به سؤال مطرح شده در مورد تأثیر نوک شمع پاسخ صحیح بدهند. اما اعمال اصلاحات موجب شد که این مقدار به ۵/۹۶ درصد افزایش یابد.
۳. نمایش خاک مسلح در مدل ابنیه نگهبان خاک با استفاده از خاک ماسه‌ای و دستمال کاغذی بسیار مؤثر بوده است. زیرا ۹۴ درصد دانشجویانی که حتی از قبل می‌دانستند خاک مسلح چیست، تحت تأثیر قرار گرفته و اذعان داشته‌اند که پس از مشاهده مدل، درکی واقعی و ملموس از خاک مسلح به دست آورده‌اند.
۴. دانشجویان چنان سادگی ساخت دیوارهای گهواره‌ای را لمس کرده‌اند که ۷۷ درصد آنان اظهار داشته‌اند که یک الی دو روزه می‌توانند دیوار گهواره‌ای در مقیاس واقعی در حیاط منزل خود بسازند.

۵. در مدل شیب طبیعی خاک فقط از خاک صرفاً اصطکاکی استفاده شد که در آن زاویه اصطکاک داخلی و شیب طبیعی یکسان است، اما در حالت کلی این دو زاویه یکسان نیستند. عدم استفاده از خاک چسبنده و احتمالاً بی دقتی دانشجویان در قرائت دقیق سؤال مطرح شده، موجب شده است که ۵۲ درصد آنان پاسخ نادرستی به سؤال در مورد یکسان بودن دو زاویه بدهند. بنابراین، مناسب است که یک خاک چسبنده هم در آینده در کار با مدل گنجانده شود.

حال بر مبنای نظرسنجی از دانشجویان، نتیجه گیری عمومی در خصوص استفاده از مدل‌های فیزیکی بیان می‌گردد. نقش مدل در این آموزشها به شرح ذیل نتیجه گیری و ارایه می‌شود:  
الف. وجود مربی در هنگام کار با مدلها و ارایه توضیحات مفید است و دانشجویان حضور مربی را به آموزش خودآموزش ترجیح می‌دهند.

ب. اکثر دانشجویان ترجیح می‌دهند که قسمت عمده درس مهندسی پی را با مدل‌های فیزیکی فراگیرند.

ج. علاقه‌مندی آشکار دانشجویان به کار با مدل‌های فیزیکی مشاهده شد. حدود ۸۶ درصد آنان اظهار داشته‌اند که مدلها موجب ایجاد علاقه در آنان به مفاهیم مهندسی پی شده است. در ضمن، ۶۱ درصد دانشجویان بیان کرده‌اند که حتی مایل هستند برای آموزش به دیگران مدل فیزیکی بسازند.

د. سه نفر در هر گروه به عنوان مطلوبترین تعداد نثرات از نظر دانشجویان در هر گروه کاری است. هر شرایط کار و دقتها و جزئیات یک مدل می‌تواند بازدهی مدل را تحت تأثیر قرار دهد. این موضوع در اعمال اصلاحات روی مدل شمع و افزایش چشمگیر درصد پاسخهای صحیح دانشجویان پس از آن به وضوح دیده شد.

و. وقتی دانشجویان در معرض یک مسئله ابتکاری (ابداع قطعات مناسب‌تر برای دیوارهای گهواره‌ای) قرار گرفتند، فقط ۴۱ درصد اظهار داشته‌اند که قادر هستند این ابداع را انجام دهند. این درصد بسیار قلیل است و باید به شیوه‌های مختلف، در دانشجویان باور توانایی ابداع به وجود آید. ز. کمیتی به نام "درصد علاقه" در مقاله تعریف شد که حاکی از علاقه دانشجویان به روشهای مختلف آموزشی است. همان‌طور که در شکل (۹) ملاحظه شد، ترتیب علاقه دانشجویان به روشهای مختلف آموزشی مطابق ذیل بود:

رتبه اول: شنیدن مطلب از استاد؛

رتبه دوم: استفاده از مدل‌های آموزشی فیزیکی؛

رتبه سوم: مطالعه کتاب و جزوه.

ح. بی‌علاقگی دانشجویان به تحقیق شخصی ملاحظه شد. این موضوع یک مشکل در سیستم آموزشی است و نیازمند مطالعه بیشتر و تلاش برای رفع آن است.

ط. دانشجویان به تهیه گزارش برای آزمونی‌های آزمایشگاهی و نظایر آن تمایلی ندارند. آنان گزارش‌های مختصر یک الی دو صفحه‌ای را ترجیح می‌دهند که فقط درک خود از آزمایش را در آن بنویسند.

## مراجع

1. B.S. Bloom and D.R. Krathowl, Taxonomy of Educational Objectives, McKay & Co., New York, 1956.
۲. علی، فاخر، ابزار عمومی تحقیق، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۱۲ صفحه، ۱۳۷۸.
3. A. Fakher, A computer program to learn reinforced earth wall, University of Newcastle Upon Tyne, UK. (also available on the network of Technical Faculty of Tehran University), 1996.
۳. حسین، معماریان، بازدید زمین‌شناسی از دهکده توجال، رشد آموزش زمین‌شناسی، شماره ۷، صفحات ۳ تا ۱۵، ۱۳۶۵.
5. L.A. Thompson and D.G. Toll. I like this but .... Student evaluations of computer assisted learning materials, Habitat (Newsletter of the CTT center for the Built Environment), Issue 3. pp. 17-19, 1997.
6. D.G. Toll and R.J. Barr, Computer aided learning for geotechnical engineering, Development in Artificial Intelligence for Civil and Structural Engineering, Topping (ed.), Edinburgh, Civil-Comp. Press, pp. 269-274, 1995.
7. D.G. Toll and R.J. Barr, Computer aided learning for geotechnical engineering, Deliberations on Teaching and Learning in Higher Education, JISC Electronic Libraries Programme, 1996.
8. W.H. Craig, The use of a centrifuge in geotechnical engineering education,

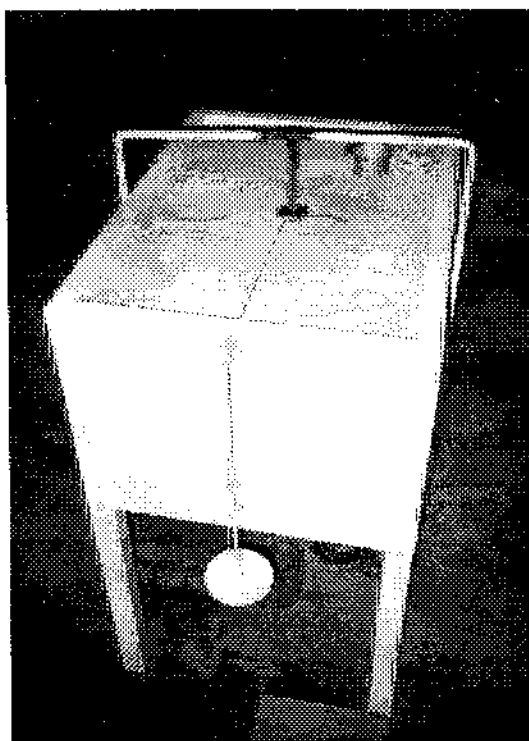
- Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vol. 12, No. 4, pp. 288-291, 1989.*
9. J. Burland, Nash Lecture, The 9th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Dublin, pp. 1427-1441, 1987.
  10. J. Atkinson, An introduction to the mechanics of soils and foundations, McGraw Hill International Series in Civil-Engineering, p. 337, 1993.
  11. U.F.A. Karim, Personal communication, E-mail message dated 3 March 1998, U.F.A. karim @ sms.utwente.nl, 1998.
  12. D. Nash, Personal communication, E-mail message dated 3 March 1998, David.Nash @ bristol.ac.uk, 1998.
  13. B.G. Clark, Personal communication, University of Newcastle Upon Tyne, UK., 1996.
  14. J. Vrai, Personal communication, E-mail message dated 4 March 1998, J. Vrai @ ged.rwth-aachen.de, 1998.
  15. W.H. Craig, Personal communication, Letter dated 10 April 1998, Manchester School of Engineering, 1998.
  16. D. Kidger, Personal communication, E-mail message dated March 1989 d.kidger @ man.ac.uk., 1989.
  17. A.H.C. Chan, Personal communication, E-mail message dated 5 March 1998, chan @ civ-fs1.bham.ac.uk., 1989.
  18. J.B. Case, Personal communication, E-mail message dated 9 March 1989, "John B. Case" <70323.2702 @ compuserve.com>, 1989.
  ۱۹. علی، فاخر، طراحی، ساخت و ارزیابی مدل‌های فیزیکی برای آموزش مهندسی پی، گزارش طرح پژوهشی. شماره ۶۱۴/۳۱۹، معاونت پژوهشی دانشگاه تهران، ۸۳ صفحه، ۱۳۷۸.
  20. R.E. Goodman, Methods of geological engineering in discontinuous rocks, West Publishing Co., New York, Chapter 7, pp. 277-279, 1976.
  21. J. Bray and R.E. Goodman, The theory of base friction models, *Int. Journal of Rock*

*Mechanics and Mining Science, Vol. 18, No. 6, pp. 453-468, 1981.*

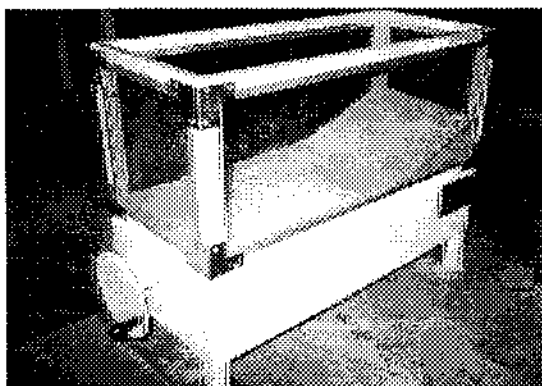
22. J.R. Marsden, Personal communication, E-mail message dated 3 March 1998, r.marsden@ic.ac.uk., 1998.

(تاریخ دریافت مقاله: ۷۸/۷/۱۰)

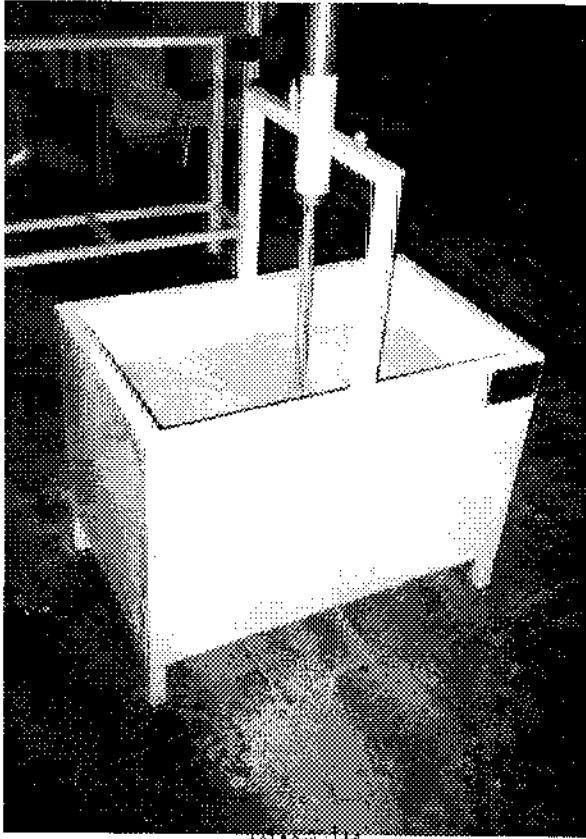
پیوست الف: تصاویری از مدل‌های ساخته شده



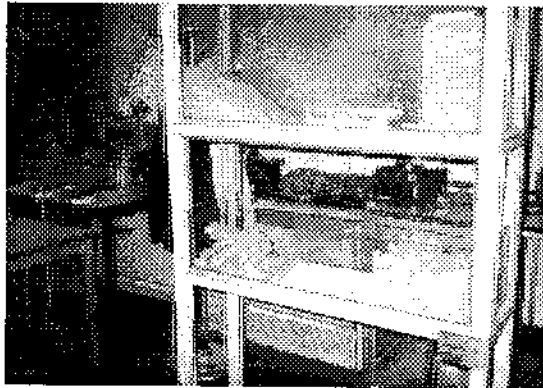
مدل پی سطحی تحت بار قائم و افقی



مدل زاویه شیب طبیعی خاک



مدل سنجش تویین



مدل ابنیه نگهبان خاک



**پیوست ب: پرسشنامه مورد استفاده برای اخذ نظرهای دانشجویان**

**مشخصات فردی**

نام و نام خانوادگی (در صورت تمایل): دانشجوی رشته: دانشگاه: دانشکده:  
 سال تولد: سال ورود به مقطع کارشناسی: جنس زن  مرد   
 آیا درس پی‌سازی، مقفیع کارشناسی را گذرانیده‌اید؟ بلی  خیر  در حال گذراندن

**مدل شماره (۱): پی سطحی تحت بار قائم و افقی**

۱. آیا افزایش عمق فرورفت پی سطحی موجب افزایش ظرفیت باربری می‌شود؟  
 بلی  خیر
۲. آیا اعماق بار افقی موجب افزایش باربری می‌شود؟  
 بلی  خیر
۳. آیا پاسخ سؤالات بالا را قبلاً از کار یا این مدالها می‌دانستید؟  
 بلی  خیر  تا حدودی
۴. آیا فکر می‌کنید که ابعاد پی در ظرفیت باربری تأثیری داشته باشد؟  
 بلی  خیر
۵. تصور می‌کنید که سرعت بارگذاری ناگهانی و تدریجی روی میزان بارگسیختگی تأثیری داشته است؟  
 بلی  خیر

**مدل شماره (۲): شمع کوبی**

۱. آیا سنگین‌تر کردن وزنه، موجب فرورفت سریعتر شمع می‌شود؟  
 بلی  خیر
۲. آیا شمع نوک‌تیز راحت‌تر از شمع نوک‌باز فرو می‌رود؟  
 بلی  خیر
۳. آیا نسبت تعداد ضربه به میزان فرورفت شمع در تمام مراحل شمع‌کوبی یکسان است؟  
 بلی  خیر

**مدل شماره (۳): ابنیه نگهدار خاک**

۱. آیا قبلاً می‌دانستید که خاک مسلح چیست؟  
 بلی  خیر
۲. آیا با مقایسه شیب طبیعی و شیب مسلح شده با دستمال کاغذی، درک عینی از خاک مسلح به دست آوردید؟  
 بلی  خیر
۳. آیا می‌توانید قطعات پهنه‌تری برای دیوارهای گهواره‌ای ابداع کنید؟  
 بلی  خیر
۴. اگر تمام قطعات یک دیوارگهواره‌ای چوبی در ابعاد واقعی به شما داده شود، فکر می‌کنید چند روزه می‌توانید با کمک یکی از دوستان خود دیواری به ارتفاع ۱/۵ متر و طول ۳ متر در حیاط منزل خود بسازید؟  
 یک روز  دو روز  چهار روز  اصلاً نمی‌توانم
۵. تأثیر ظاهر زیبایی یک طرح عمرانی را تا چه حد در انتخاب یک طرح مهم می‌دانید؟  
 بهتر است همواره در نظر گرفته شود  در برخی موارد مهم می‌باشد  اهمیت ندارد
۶. مزیت اصلی دیوارهای گهواره‌ای چیست؟  
 زیبایی ظاهری  سهولت اجرا

**مدل شماره (۴): زاویه شیب طبیعی خاک**

۱. آیا شیب طبیعی خاک را ملاحظه کردید؟  
 بلی  خیر
۲. آیا فکر می‌کنید زاویه اصطکاک بین دانه‌های خاک و شیب طبیعی خاک یکسان است؟  
 بلی  خیر
۳. آیا به علت این موضوع اندیشیده‌اید؟  
 بلی  خیر

سؤالات عمومی

۱. آیا کار کردن با مدها راحت است؟  
 آری  خیر
- ۱.۱. آیا می توانید بدون کمک مربی و به صورت خودآموز نکات علمی مدها را دریابید؟  
 آری  خیر
- ۱.۲. آیا توضیحات مربی برای استفاده از مدل ضروری است؟  
 آری  خیر
۳. آیا مایل هستید که تمام درس پی‌سازی را با استفاده از مدل فراگیرید؟  
 آری  خیر
۴. به نظر شما چه درصدی از کلیه دروس مهندسی باید با استفاده از مدل فیزیکی آموزش داده شود؟  
 (الف) ۱۰۰ درصد  (ب) ۵۰ درصد  (ج) ۲۵ درصد  (د) صفر درصد
۵. آیا با انجام دادن این آزمایش‌ها به موضوعات مهندسی پی‌علاقه‌مند شدید؟  
 (الف) خیلی بسیار زیاد  (ب) بی‌خیال  (ج) نه چندان  (د) خیر
۶. آیا مایل هستید در آینده مدل آموزشی برای آشناساختن دانشجویان با مفاهیم مهندسی پی بسازید؟  
 آری  خیر
۷. به چه موضوعی از مهندسی پی مسلط هستید و مایلید آن را با مدل به دیگران آموزش دهید؟
۸. کدام یک از مباحث یا مفاهیم مهندسی پی برای شما مهم است؟

۹. استفاده از هر مدل باید در گروه‌های چند نفره انجام شود؟  
 یک  دو  سه  چهار
۱۰. آیا مایلید این آزمایش‌ها را دوباره تکرار کنید تا مفاهیم را بهتر درک کنید؟  
 آری  خیر
۱۱. اگر بخواهیم که فقط از یک روش برای آموزش مهندسی پی استفاده کنیم، استفاده از روش‌های ذیل را به ترتیب ۵ علاقه خود شماره گذاری کنید

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> مطالعه کتاب و جزوه  | <input type="checkbox"/> مشاهده عکس و اسلاید            |
| <input type="checkbox"/> شنیدن مطلب از استاد | <input type="checkbox"/> استفاده از مدهای آموزشی فیزیکی |
| <input type="checkbox"/> تحقیق و مطالعه شخصی | <input type="checkbox"/> شرکت در بازدید علمی            |

۱۲. اگر بخواهیم استفاده از مدهای آموزشی را در هر نیمسال به عنوان بخشی از درس مهندسی پی بگنجانیم، آیا ترجیح می‌دهید که برای هر آزمایش، گزارش هم تهیه شود؟  
 خیر زیرا وقت و حوصله یک، سری گزارش نویسی جدید را ندارم.  
 خیر زیرا من وقت ندارم اما در حقیقت تهیه گزارش برای تکمیل یادگیری لازم است.  
 آری
۱۳. چند صفحه را برای تهیه گزارش از هر آزمایش کافی و مفید می‌دانید؟  
 یک صفحه  دو صفحه  چهار صفحه  هشت صفحه
۱۴. گروه شما در انجام دادن هر یک از آزمایش‌ها چند نفره بود؟

۱۵. کار کردن با کدام یک از چهار مدل جایگزین بود؟  
 مدل (۱) پیر سنجی  مدل (۲) شمع کوبی  مدل (۳) ایزنه نگهدار  مدل (۴) شیب طبیعی
۱۶. آیا برای استفاده بهتر از مدها یا انجام دادن تغییراتی در آنها پیشنهادی دارید؟