تعیین نیروی دینامیکی وارد از طرف خاک اشباع به دیوار نگهبان در حین وقوع زلزله

اسدا... نورزاد
استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکدهٔ فنی - دانشگاه تهران
مهدی دهقانیان
کارشناس ارشد رشته خاک وپی دانشکدهٔ فنی - دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت ۷۶/۹/۱۵، تاریخ تصویب ۷۷/۱/۲۹)

چکیده

هدف از ارائه این مقاله بدست آوردن تنش ونیروی دینامیکی وارده از طرف یک لایه خاک اشباع، نیمه بینهایت همگن با ضخامت ثابت، که توسط بستر خود تحریک می‌شود، به دیوار نگهبان صلب قائم می‌باشد. روش حل مبتنی بر دو فازه بودن محیط پشت دیوار می‌باشد. بعبارت دیگر خاک را محیطی متخلخل در حالت الاستیک در نظر گرفته که شامل دو فاز جامد و مایع می‌باشد. فرمول‌بندی مسئله بر اساس روش Biot می‌باشد[۲]. محاسبات براساس پارامترها و مشخصات دینامیکی خاک انجام گرفته است و نتایج بدست آمده عبارتند از تنش کل و فشارمنفذی آب در هر نقطه از محیط و نیروی برایند حاصله از تنشهای افقی وارد بر دیوار و لنگر وارد بر پای دیوار.

کلید واژه‌ها : خاک اشباع ، فشار دینامیکی ، محیط متخلخل ، زلزله

مقدمه

تعیین فشار دینامیکی خاک اشباع تحریک شده توسط لرزش زمین، روی دیوار نگهبان قائم صلب، اساس کار است. برای این منظور محیط خاک را محیطی دو فازه در نظر گرفته که یک فاز آن جامد و فاز دیگر مایع میباشد. هر کدام از این فازها بطور جداگانه در روابط تعادلی تأثیر می‌گذارند، بدین جهت رفتار واقعی محیط در این روش بررسی خواهد شد. این روش را برای اولین بار Biot [۲] ارائه داد و آن را گسترش داد، مثالهائی در تحکیم خاک توسط این روش ارائه داد که جالب توجه بودند. حال هدف بکار بردن این روش در بررسی فشار دینامیکی خاک بر دیوارهای نگهبان می‌باشد.
روشهائی که برای آنالیز این مسئله تاکنون ابداع شده است را کلاً می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. این روشها در ذیل ذکر شده‌اند:
۱ - آنهائی که حرکت نسبی دیوار و محیط پشت آنرا بقدر کافی بزرگ در نظر می‌گیرند تا اینکه خاک پشت دیوار دچار انهدام شود، تحلیل در این حالت بروش تعادل حدی و تحلیل حدی انجام می‌پذیرد.
۲ - آنهائی که حرکت زمین پشت دیوار را بقدری کم در نظر می‌گیرند که محیط پشت دیوار را می‌توان بیان کننده رفتار ارتجاعی خطی دانست.
۳ - حالت بینابینی که خواص خاک بصورت غیرخطی در نظر گرفته شود.
اولین روش توسط Mononobe-Okabe [۴] برای اولین بار پیشنهاد شد. با اعمال شتاب زلزله بر یک گوه خاک محدود شده به دیوار و صفحه شکست فرضی پیشنهاد شده، و بر اساس روش تعادل حدی میزان فشار دینامیکی خاک محاسبه می‌گردد.
ارائه سومین روش، اخیراً توسط Siller [۷] انجام شده است که با دیوارهای وزنی و مقید شده سر و کار دارد.
تحقیق حاضر نگاهی بر روش دوم دارد. در اینجا فشارها و برایند نیروهای وارده بر دیوار از طرف خاک اشباع تحریک

شده توسط تکانهای زمین با فرض رفتار ارتجاعی بررسی می‌شوند. تغییر مکانها کوچک فرض شده و روابط حالت ارتجاعی را صادق می‌دانیم. طبیعتاً دامنه کاربرد این روش تا جائی است که تغییر مکان درون خاک بقدری بزرگ نشوند که از حالت خطی خارج شده و بدنبال آن نیز خواص خاک تغییر کند.

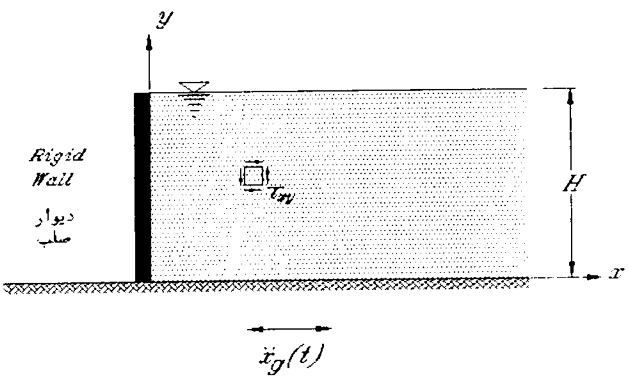
علاوه بر فرض قبلی برای تغییر مکانها فرض را بر این قرار می‌دهیم که محیط خاک همگن بوده و دارای خصوصیات ثابت در طول مدت زمان لرزهٔ زمین می‌باشد. همچنین دیوار نگهبان را صلب در نظرگرفته که نسبت به بستر هیچگونه تغییر مکانی نخواهد داشت.

در یک سری مقالات مختلف، Wood [۶،۵] حلی تحلیلی بر اساس خواص مکانیکی خاک، برای واکنش یک لایه به طول محدود تحریک شده توسط بستر، ارائه داد، که خاک در مسئله او دارای دو مرز قائم بود. Veletsos [۱] همان مسئله Wood را دنبال کرد با این تفاوت که خاک پشت دیوار را بصورت نیمه بینهایت فرض کرد و خاک را دارای یک مرز قائم که دیوار صلب بود در نظرگرفت. او به جبران کمبود معادلات فرض را بر ناچیز بودن تنشهای قائم در خاک قرار داد، در نهایت جوابهائی که بدست آورد در مقایسه با جوابهای Wood کمی بیشتر بود او نشان داد که اگر فرض را بر این قرار دهد که تغییرمکانهای قائم خاک ناچیز است جوابهای نهائی او اختلاف فاحشی با جوابهای Wood پیدا خواهد کرد.

اما همانطور که ذکر شد Veletsos محیط را یک فازه در نظرگرفت که نتایج برای خاک خشک قابل استفاده است. دراین مقاله دو فاز جامد و مایع را جدا از یکدیگر در نظرگرفته و پارامترهای مربوط به وجود آب نیز به پارامترهائی که Veletsos بکارگرفت اضافه شده و تأثیر هر کدام در مقدار فشار منفذی مشخص شده و نشان داده می‌شود که در خاکهای اشباع نیروها به چه میزان در مقایسه با خاکهای خشک تغییر می‌نماید.

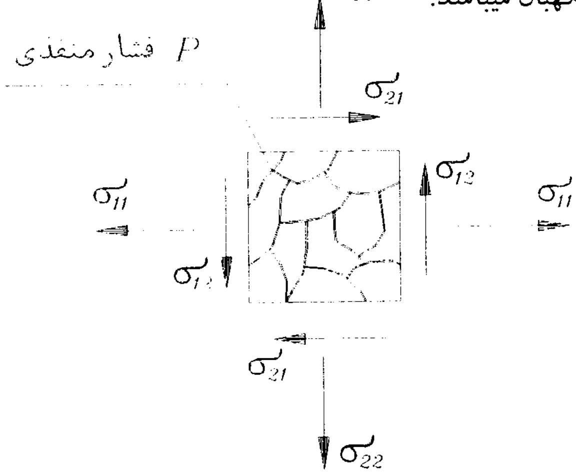
طرح صورت مسئله و بدست آوردن معادلات حاکم بر آن

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود دیوار صلب قائمی به ارتفاع H برروی بستر صلب قرار دارد و یک طرف آنرا خاک اشباع با سطحی افقی به ارتفاع H فراگرفته است. بدلیل فرض همگن بودن خاک و طول زیاد دیوار مسئله از شرائط سه بعدی خارج شده و به یک مسئله دوبعدی تقلیل می‌یابد محورهای مختصات عمود برهم x و y را به صورتی در نظر گرفته که محور x مماس بر بستر و محور y مماس بر سطح مشترک خاک و دیوار می‌باشند.



شکل ۱: بستر تحت اثر تحریک زلزله.

فرض بر آن است که بستر با شتاب $\ddot{x}_g(t)$ حرکتی ارتعاشی دارد. هدف یافتن فشار وارده از طرف خاک اشباع بر دیوار نگهبان میباشد.



شکل ۲: المانی ازمحیط متخلخل.

اگر المانی از خاک در نظرگرفته شود که در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است. این المان شامل دوفاز جامد و مایع می‌باشد که رفتار کلی این المان را می‌توان باپارامترهای زیر بررسی کرد:

n - ضریب تخلخل {(حجم المان)/(حجم بخش مایع) =n}

σ_{ij} - تنش کلی وارد بر المان

σ'_{ij} - تنش مؤثر وارد بر المان

P- فشار منفذی

u_i- تغییر مکان متوسط بخش جامد المان (این تغییرمکان نسبت به بستر سنجیده می‌شود)

w_i- تغییرمکان متوسط بخش مایع المان (این تغییر مکان نسبت به بخش جامد المان سنجیده می‌شود)

ρ- جرم حجمی المان (بخش مایع و جامد)

ρ_f- جرم حجمی مایع درون المان

K_i- نفوذپذیری خاک در جهت i

K_f- مدول حجمی سیال درون المان

G- مدول برشی خاک

δ- ضریب میرائی خاک

ν- ضریب پواسون خاک

ε_{ij}-کرنش در جهت ij

البته در مورد w_i باید نسبت حجم بخش مایع تغییرمکان یافته به حجم کلی در نظر گرفته شود، پس میتوان مقدار حقیقی این پارامتررا $\frac{w_i}{n}$ فرض نمود.

روابط تنش، کرنش

روابط بین تنش و تغییر مکانها بر اساس فرض ارتجاعی بودن محیط بصورت زیر حاصل می‌شوند:

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} - \delta_{ij} P \qquad (۱)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{۱}{۲}(u_{i,j} + u_{j,i}) \qquad (۲)$$

$$\sigma'_x = (\lambda^* + ۲G^*)\frac{\partial u_x}{\partial x} + \lambda^* \frac{\partial u_y}{\partial y} \qquad (۳)$$

$$\sigma'_y = (\lambda^* + ۲G^*)\frac{\partial u_y}{\partial y} + \lambda^* \frac{\partial u_x}{\partial x} \qquad (۴)$$

$$\tau_{xy} = G^*\left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}\right) \qquad (۵)$$

که درمعادلات فوق λ^* ، G^* بصورت اعداد مختلط تعریف می‌شوند، یعنی ذرات جامد محیط با رفتار ارتجاعی دارای میرائی پسماند Hysteresis می‌باشد.

$$G^* = G(۱ + i\delta) \quad , (i = \sqrt{-۱}) \qquad (۶)$$

$$\lambda^* = \frac{۲\nu}{۱ - ۲\nu} G^* \qquad (۷)$$

در معادلات فوق برای σ_{ij} و σ'_{ij} جهت مثبت کششی و برای P جهت مثبت فشار فرض شده‌اند. (در مواقعی که i=j باشد، $\delta_{ij} = ۱$ در غیراینصورت $\delta_{ij} = ۰$ می‌باشد.)

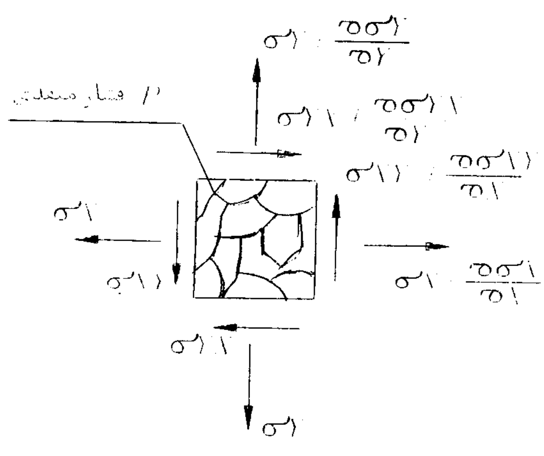
معادله تعادل نیروها

اگر المان دوبعدی شکل ۳ در نظر گرفته شود:

$\sigma_{ij,j}\, dA$ برایند نیروهای وارد در جهت i

$\rho g_i dA$ برایند نیروهای حجمی وارد در جهت i

$(g_i = (۰, -g))$ رابطه اخیر بر این فرض استوار است که نیروهای حجمی وارد برالمان فقط ناشی از ثقل می‌باشد. اگر دو نیروی فوق با هم در تعادل باشند المان در حالت سکون باقی‌می‌ماند در غیر اینصورت ذرات آن با شتاب، حرکت خواهندکرد.



شکل ۳: المان دوبعدی .

$\rho \ddot{u}_i dA$ = نیروی لازم جهت حرکت کل المان با شتاب $\ddot{u}_i$

$\rho_f . n . dA . (\frac{\ddot{w}_i}{n}) = \rho_f . \ddot{w}_i . dA$ = شتاب آن × جرم‌بخش مایع = نیروی لازم جهت حرکت نسبی بخش مایع باشتاب $\ddot{w}_i$ نسبت به بخش جامد

$\rho \ddot{x}_g(t)_i$ = نیروی لازم جهت حرکت کل المان با شتاب $\ddot{x}_g(t)_i$ با برابر قراردادن نیروهای فوق به معادله زیر

می‌رسیم:

$$\sigma_{ij,j}+\rho g_i=\rho\ddot{u}_i+\rho\ddot{w}_i+\rho\ddot{x}_g(t)_i \qquad (۸)$$

تعادل جریان سیال

در جریانهای شبه استاتیکی گذرا از محیط‌های متخلخل نیروهای مقاوم ناشی از ویسکوزیته سیال باید با گرادیان فشارحفره‌ای برابر باشد پس داریم:

$$-P_{,i}=\frac{\rho_f g}{K}\dot{w}_i$$

درحالت کلی و در موارد دینامیکی نیروهای اینرسی و ثقلی نیز به رابطه فوق اضافه می‌شوند.

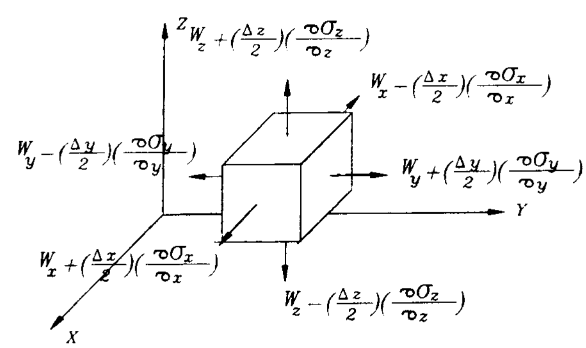
$$-p_{,i}+\rho_f g_i=\rho_f\ddot{u}_i+\rho_f\frac{\ddot{w}_i}{n}+\frac{\rho_f g}{K}\dot{w}_i \qquad (۹)$$

$\rho_f g_i$ نیروی ثقل که بعنوان نیروهای محرک عمل می‌کند ($(g_i=(\circ,-g)$)

$\rho_f\ddot{u}_i+\rho_f\frac{\ddot{w}_i}{n}$ نیروی اینرسی ناشی از حرکت سیال با شتاب ($\ddot{u}_i+\frac{\ddot{w}_i}{n}$)که نیروئی مقاوم است .

تعادل جرمی سیال

دراینجا از قانون بقاء جرم کمک می‌گیریم شکل ۴ را در نظرگرفته ابعاد المان Δx، Δy و Δz بوده و مرکز آن نقطه‌ای به مختصات P(x,y,z) فرض شده‌است.



شکل ۴: المان سه بعدی سرعت سیال .

اگر سرعت جریان عبوری از P به سه مؤلفه w_x,w_y,w_z تجزیه کنیم آنگاه می‌توان میزان جریان عبوری از هر لبه المان را با بسط تیلور بدست آورد بعنوان مثال سرعت جریان سیال از لبه سمت راست عمود بر محور x ها بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\dot{w}_x(x+\frac{\Delta x}{۲},y,z)=\dot{w}_x(x,y,z)$$

$$+(\frac{\Delta x}{۲})(\frac{\partial w_x}{\partial x})+(\frac{\Delta x}{۲})^۲(\frac{\partial^۲ w_x}{\partial x^۲})+\ldots$$

بافرض کوچک بودن Δx می‌توان ازتوان‌های بزرگتر از یک آن صرفنظر کرد.طبق قانون بقاء جرم داریم:

افزایش جرم المان + جرم سیال خروجی =جرم سیال ورودی

جرم سیال خروجی - جرم سیال ورودی

$$=-\rho_f(\frac{\partial\dot{w}_x}{\partial x}+\frac{\partial\dot{w}_y}{\partial y}+\frac{\partial\dot{w}_z}{\partial z})\Delta v$$

رابطه فوق با فرض ثابت بودن ρ_f می‌باشد. جرم سیال داخل المان از رابطه $\Delta M=n\rho_f\Delta v$ بدست می‌آید. که تغییرات آن بر حسب زمان بصورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial\Delta M}{\partial t}=(\frac{\partial n}{\partial t})\rho_f\Delta v+n\rho_f(\frac{\partial\Delta v}{\partial t})+n(\frac{\partial\rho_f}{\partial t})\Delta v$$

سمت راست رابطه فوق شامل سه ترم می‌باشد که هر کدام از روش خاصی محاسبه شده‌اند.

$$\rho_f(\frac{\partial n}{\partial t})\Delta v=-\rho_f\Delta v[\frac{\dot{\sigma}_{ii}}{۳K_s}-\rho\frac{(۱-n)}{K_s}]+\rho_f(۱-n)(\frac{\partial\Delta v}{\partial t})$$

$$n\rho_f(\frac{\partial\Delta v}{\partial t})=n\rho_f\Delta v\dot{\varepsilon}_{ii}$$

$$n\frac{\partial\rho_f}{\partial t}\Delta v=n\rho_f\dot{P}\Delta v/K_f$$

که در روابط فوق مقادیر n و ρ_fهمان مقادیر اولیه $n_\circ$ و $\rho_{f\circ}$ می‌باشند و K_f مدول حجمی سیال درون المان و $۳K_s$ مدول حجمی قسمت جامد المان می‌باشند. بدلیل بزرگ بودن K_s از جملاتی که شامل K_s در مخرج می‌باشند صرفنظر کرده و معادله بقاء جرم بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\dot{w}_{i,i}+\dot{\varepsilon}_{ii}+n\dot{P}/K_s=\circ \qquad (۱۰)$$

بدین ترتیب معادلات ۱ الی ۱۰ معادلات حاکم بر مسئله می‌باشند که حاوی ۱۰ مجهول زیر می‌باشند: (باتوجه به دوبعدی بودن مسئله)

$u_x, u_y, w_x, w_y, P, \tau_{xy}, \sigma_x, \sigma_y, \sigma'_x, \sigma'_y$

که مجموعاً ۱۰ مجهول و ۸ معادله مستقل داریم برای جبران کمبود معادلات دوفرض ساده کننده لازم است که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

روش حل مسئله

واکنش هارمونیکی

اگر شتاب حرکت بستر بصورت هارمونیکی در نظر گرفته شود، تغییرمکانهای u و w نیز می‌توانند بصورت هارمونیکی ظاهر شوند.

$$\ddot{x}_g(t) = \ddot{X}_g(y)e^{j\omega t} \qquad (۱۱)$$

$$u_x(x,y,t) = U_x(x,y)e^{iwt} \qquad (۱۲)$$

$$w_x(x,y,t) = W_x(x,y)e^{iwt} \qquad (۱۳)$$

که $\ddot{x}_g(y)$ دامنه شتاب وارد شده برحسب y می‌باشد و ω فرکانس زاویه ای محرک و $U_x(x,y)$ و $W_x(x,y)$ توابع مختلط بر حسب x,y هستند که دامنه تغییرمکانهای نسبی منظور شده‌اند.

توابع $\ddot{x}_g(y)$ و $U_x(x,y)$ و $W_x(x,y)$ به ترتیب برابر دامنه شتاب واردشده بر حسب y و دامنه تغییر مکانها برحسب x و y می‌باشند که آنها را می‌توان بصورت ترکیب خطی مدهای حرکتی محیط حساب کرد یعنی:

$$\ddot{X}_g(y) = \frac{۴}{\pi}\ddot{X}_g \sum_{k=۱,۳}^{\infty} \frac{۱}{k} \sin\frac{k\pi}{۲} y \qquad (۱۴)$$

$$U_x(x,y) = \sum_{k=۱,۳}^{\infty} U_{xk}(x) \sin\left(\frac{k\pi}{۲H} y\right) \qquad (۱۵)$$

$$W_x(x,y) = \sum_{k=۱,۳}^{\infty} W_{xk}(x) \sin\left(\frac{k\pi}{۲H} y\right) \qquad (۱۶)$$

شرایط مرزی وفرضیات

براساس شکل ۵ شرایط مرزی که حاکم بر مسئله هستند بدین صورت می‌باشند.

(۱۷) تغییر مکان u_x درکنار دیوار $u_x(x=۰)=۰$

(۱۸) تغییر مکان w_x درکنار دیوار $w_x(x=۰)=۰$

(۱۹) تغییر مکان u_x روی بستر $u_x(y=۰)=۰$

(۲۰) تغییر مکان w_x روی بستر $w_x(y=۰)=۰$

علاوه بر شرایط فوق دو شرط دیگر نیز داریم تغییرمکانهای u_x و w_x بایستی در فاصله دور از دیوار فقط بصورت موج برخوردی بوده و انعکاس و تفرق موج برای آنها اثر نداشته باشد.

با بررسی‌های انجام یافته توسط Veletsos، می‌توان جهت ساده نمودن حل، فرضیات زیر را نیز در نظر گرفت:

۱ - تنش های قائم درون محیط رادرمقابل تنش‌های افقی را می‌توان ناچیز فرض کرد:

$$\sigma_y = ۰ \quad \text{(برای تمام نقاط محیط)} \qquad (۲۱)$$

۲ - باتوجه به عمق محدود خاک درمقابل عرض نیمه بینهایت آن فرض براین قرارداده شده که تغییرات w_y برحسب y در مقابل تغییرات w_x بر حسب x ناچیز بوده و مقدار آن برابر صفر منظور شده است . باید توجه داشت که در این فرض w_y دارای مقدار بوده و تابعی بر حسب x و t خواهد بود.

$$\frac{\partial w_y}{\partial y} = ۰ \qquad (۲۲)$$

حل

بااستفاده از فرض دوم، معادله ۱۰ ساده‌تر شده و با استفاده از فرض اول می‌توان مقدار $\frac{\partial u_y}{\partial y}$ را برحسب $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ و $\frac{\partial w_x}{\partial x}$ بدست آورد.

$$\frac{\partial u_y}{\partial y} = -M_۱ \frac{\partial u_x}{\partial x} - M_۲ \frac{\partial w_x}{\partial x} \qquad (۲۳)$$

$$M_۱ = \frac{Q + \lambda^*}{Q + \lambda^* + ۲G^*} \qquad (۲۴)$$

$$M_۲ = \frac{Q}{Q + \lambda^* + ۲G^*} \qquad (۲۵)$$

از معادله ۱۰ مقادیر σ'_x، P و σ_x بدست می‌آید.

$$\sigma'_x=[\lambda^*(1-M_1)+2G^*]\frac{\partial u_x}{\partial x}-\lambda^* M_2\frac{\partial w_x}{\partial x} \tag{26}$$

$$P=Q(M_1-1)\frac{\partial u_x}{\partial x}+Q(M_2-1)\frac{\partial w_x}{\partial x} \tag{27}$$

$$\sigma_x=S\frac{\partial u_x}{\partial x}+R\frac{\partial w_x}{\partial x} \tag{28}$$

$$S=(\lambda^*+Q)(1-M_1)+2G^* \tag{29-1}$$

$$R=Q-M_2(\lambda^*+Q) \tag{29-2}$$

اگر از معادله ۵ نسبت به y مشتق بگیریم و معادله ۲۳ را در آن جایگزاری کنیم، بدست می آید که:

$$\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y}=G^*\left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial u_y}{\partial y}\right)\right) \tag{30}$$

به کمک معادله فوق و مشتق معادله ۲۸ بر حسب x معادله (۲۸-۲) در جهت x بصورت زیر در می آید:

$$S_1\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}+S_2\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}+G^*\frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2}=\rho\ddot{u}_x+\rho_f\ddot{w}_x+\rho\ddot{x}_g(t) \tag{31}$$

$$S_1=S-G^*M_1 \tag{32-1}$$

$$S_2=R-G^*M_2 \tag{32-2}$$

اگر از معادله ۲۷ نسبت به x مشتق گرفته شود و در معادله ۹ در جهت x قرار داده شود رابطهٔ زیر حاصل می‌گردد:

$$S_3\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}+S_4\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}=\rho_f\ddot{u}_x+\frac{\rho_f}{n}\ddot{w}_x+\frac{\rho_f g}{K}\dot{w}_x \tag{33}$$

$$S_3=Q(1-M_1) \tag{34-1}$$

$$S_4=Q(1-M_2) \tag{34-2}$$

باقراردادن معادلات ۳۰ و ۳۳ درون یک دستگاه میتوان مقادیر u_x و w_x رابدست آورد.

$$\begin{cases} S_1\dfrac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}+S_2\dfrac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}=-G^*\dfrac{\partial^2 u_x}{\partial y^2}+\rho\ddot{u}_x+\rho_f\ddot{w}_x+\rho\ddot{x}_g(t) \\ S_3\dfrac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}+S_4\dfrac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}=\rho_f\ddot{u}_x+\dfrac{\rho_f}{n}\ddot{w}_x+\dfrac{\rho_f g}{K}\dot{w}_x \end{cases} \tag{35}$$

باتوجه به اینکه حرکات هارمونیکی فرض شده دستگاه فوق بصورت زیر ساده می‌شود:

$$\begin{cases} \left(S_1\dfrac{\partial^2}{\partial x^2}\right)U_{xk}+\left(S_2\dfrac{\partial^2}{\partial x^2}\right)W_{xk}=AU_{xk}+BW_{xk}+D \\ \left(S_3\dfrac{\partial^2}{\partial x^2}\right)U_{xk}+\left(S_4\dfrac{\partial^2}{\partial x^2}\right)W_{xk}=BU_{xk}+CW_{xk} \end{cases} \tag{36}$$

$$A=\left(\frac{k\pi}{2H}\right)^2G^*-\rho\omega^2 \tag{37-1}$$

$$B=-\rho_f\omega^2 \tag{37-2}$$

$$C=-\frac{\rho_f\omega^2}{n}+\frac{\rho_f g\omega}{K}i \tag{37-3}$$

$$D=\frac{4\rho}{\pi}\ddot{x}_g\frac{1}{k} \tag{37-4}$$

با حل دستگاه ۳۶ مقادیر U_{xk} و W_{xk} بدست می آید:

$$U_{xk}=A_1e^{-\alpha_1x}+B_1e^{\alpha_1x}+A_2e^{-\alpha_2x}+B_2e^{\alpha_2x}-H_1\left[\frac{S_4T_{22}+S_3}{\lambda_1}-\frac{S_4T_{21}+S_3}{\lambda_2}\right] \tag{38}$$

$$W_{xk}=T_{21}(A_1e^{-\alpha_1x}+B_1e^{\alpha_1x})+T_{22}(A_2e^{-\alpha_2x}+B_2e^{\alpha_2x})-H_1\left[\frac{T_{21}(S_4T_{22}+S_3)}{\lambda_1}-\frac{T_{22}(S_4T_{21}+S_3)}{\lambda_2}\right] \tag{39}$$

$$L_{11}=\frac{AS_4-BS_2}{S_1S_4-S_2S_3} \qquad (۴۰-۱)$$

$$L_{12}=\frac{BS_4-CS_2}{S_1S_4-S_2S_3} \qquad (۴۰-۲)$$

$$L_{21}=\frac{-AS_3+BS_1}{S_1S_4-S_2S_3} \qquad (۴۰-۳)$$

$$L_{22}=\frac{-BS_3+CS_1}{S_1S_4-S_2S_3} \qquad (۴۰-۴)$$

$$\lambda_{1,2}=\frac{(L_{11}+L_{22})\pm\sqrt{(L_{11}+L_{22})^2-4(L_{11}L_{22}-L_{12}L_{21})}}{2} \qquad (۴۱)$$

$$T_{21}=\frac{\lambda_1-L_{11}}{L_{12}}=\frac{L_{21}}{\lambda_1-L_{22}} \qquad (۴۲-۱)$$

$$T_{22}=\frac{\lambda_2-L_{11}}{L_{12}}=\frac{L_{21}}{\lambda_2-L_{22}} \qquad (۴۲-۲)$$

$$H_1=\frac{D}{(T_{22}-T_{21})(S_1S_4-S_2S_3)} \qquad (۴۲-۳)$$

$$\alpha_1=\sqrt{\lambda_1} \qquad (۴۳-۱)$$

$$\alpha_2=\sqrt{\lambda_2} \qquad (۴۳-۲)$$

باتوجه به اینکه u_x و w_x در فاصله بینهایت از دیوار بایستی به‌سمت‌صفرمیل‌کندمقادیر B_1 , B_2 بایستی‌برابرصفرشوند وباتوجه‌به‌شرائط مرزی ۱۷ و ۱۸ مقادیر A_1 , A_2 به‌شرح زیر معلوم می‌شوند:

$$A_1=\frac{H_1(S_4T_{22}+S_3)}{\lambda_1} \qquad (۴۴-۱)$$

$$A_2=-\frac{H_1(S_4T_{21}+S_3)}{\lambda_2} \qquad (۴۴-۲)$$

باجایگزینی نتایج در معادلات ۳۸ و ۳۹ و به‌کمک معادلات ۱۴ و ۱۵ مقادیر u_x و w_x بدست خواهد آمد.

$$u_{xk}=e^{i\omega t}\sum_{k=1,3}^{\infty}[\Psi_1(e^{-\alpha_1 x}-1)-\Psi_2(e^{-\alpha_2 x}-1)]\sin(\frac{k\pi}{2H}y) \qquad (۴۵)$$

$$w_{xk}=e^{i\omega t}\sum_{k=1,3}^{\infty}[T_{21}\Psi_1(e^{-\alpha_1 x}-1)-T_{22}\Psi_2(e^{-\alpha_2 x}-1)]\sin(\frac{k\pi}{2H}y) \qquad (۴۶)$$

$$\Psi_1=\frac{H_1(S_4T_{22}+S_3)}{\lambda_1} \qquad (۴۷-۱)$$

$$\Psi_2=\frac{H_1(S_4T_{21}+S_3)}{\lambda_2} \qquad (۴۷-۲)$$

باجایگزینی معادلات ۴۵ و ۴۶ درمعادله ۲۸ مقدار σ_x در هر نقطه از محیط بدست می‌آید.

$$\sigma_x=e^{i\omega t}\sum_{k=1,3}^{\infty}[\alpha_2\Psi_2e^{-\alpha_2 x}(S+RT_{22})-\alpha_1\Psi_1e^{-\alpha_1 x}(S+RT_{21})]\sin(\frac{k\pi}{2H}y) \qquad (۴۸)$$

برای بدست‌آوردن تنش های وارده بر دیـوار کـافی است درمعادله فوق مقدار x برابر صفر قرارداده شود.

$$\sigma_W=e^{i\omega t}\sum_{k=1,3}^{\infty}[\alpha_2\Psi_2(S+RT_{22})-\alpha_1\Psi_1(S+RT_{21})]\sin(\frac{k\pi}{2H}y) \qquad (۴۹)$$

با انتگرال‌گیری از تنش‌ها در ارتفاع دیوار مقدار برایند نیرو حاصل می‌شود.

$$F_W=\int_0^H\sigma_W dy \qquad (۵۰-۱)$$

$$F_W=e^{i\omega t}\sum_{k=1,3}^{\infty}\frac{2H}{k\pi}\left[\alpha_2\Psi_2(S+RT_{22})-\alpha_1\Psi_1(S+RT_{21})\right] \qquad (۵۰-۲)$$

همچنین لنگر وارد بر پای دیوار از رابطهٔ زیربدست می‌آید.

$$M=\int_0^H\sigma_W y\,dy \qquad (۵۱-۱)$$

$$M=e^{i\omega t}\sum_{k=1,3}^{\infty}(-1)^{\frac{k-1}{2}}(\frac{2H}{k\pi})^2[\alpha_2\Psi_2(S+RT_{22})-$$

$$\alpha_{۱}\Psi_{۱}(S+RT_{۲۱})] \qquad (۲-۵۱)$$

با استفاده از معادله ۲۳ مقدار u_y در هر نقطه از محیط بدست می آید.

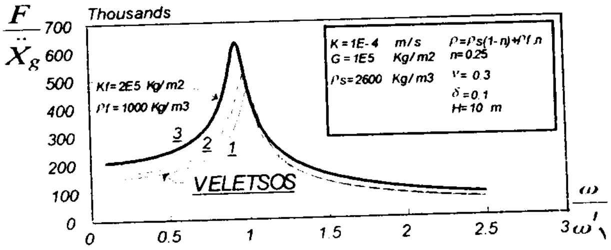
$$u_y=e^{i\omega t}\sum_{k=۱,۳}^{\infty}[\alpha_{۱}\Psi_{۱}e^{-\alpha_{۱}x}(M_{۱}+M_{۲}T_{۲۱})-\alpha_{۲}\Psi_{۲}e^{-\alpha_{۲}x}(M_{۱}+M_{۲}T_{۲۲})]\frac{۲H}{k\pi}(cos(\frac{k\pi}{۲H}y)-۱) \qquad (۵۲)$$

برای بدست آوردن مقدار τ_{xy} از رابطه ۵ می‌توان کمک گرفت و برای بدست آوردن مقدار فشارمنفذی در هر نقطه از محیط می‌توان از رابطه ۲۷ کمک گرفت. (روابط ۵۳ و ۵۴)

ارائه وتحلیل نتایج

نتایجی که از فصل قبل بدست‌آمد عبارت بودند از تنش وارد بر دیوار، نیروی برآیند وارد بر دیوار، لنگر وارد برپای دیوار و تنش برشی و فشار منفذی هر نقطه از محیط خاک اشباع. در ادامه به بررسی نتایج بدست آمده در زمان t=0 پرداخته می‌شود.

دریک مقایسه که بین خاک خشک و خاک اشباع صورت گرفته شکل ۵ حاصل‌شده‌است. در این شکل محور افقی نسبت فرکانس زاویه‌ای بستر تحریک‌کننده به فرکانس زاویه‌ای طبیعی محیط در حالت خاک خشک می‌باشد و محور قائم نسبت مقدار نیروی براینده به دامنه شتاب بستر می‌باشد. نمودار شمارهٔ (۱) نشان دهنده حالت محیط یک فازه می باشد.



شکل ۵: تأثیر تغییرات مقادیر Q، ρ_f.

در صورتی که درصد اشباع خاک بین ۹۵ تا ۱۰۰ درصد باشد مقدار Q از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$Q=\frac{۱}{\frac{n}{K_f}+\frac{۱-\bar{S}}{\bar{P}}} \qquad ۱\leq\bar{S}\leq ۰/۹۵ \qquad (۵۵)$$

$\bar{S}$ میزان اشباع خاک = (حجم حفرات / حجم آب) و $\bar{P}$ فشار مطلق جو می‌باشند درصورتی که $\bar{S}=۱$ باشد مقدار Q بصورت رابطه زیر ساده می‌شود:

$$Q=\frac{K_f}{n}$$

نمودار شماره (۳) نشان‌دهنده خاک اشباع حالت محیط دوفازه می‌باشد که مقادیر آن از رابطه (۲-۵۰) بدست‌آمده‌است در این نمودار مشخصات درنظرگرفته‌شده مشابه مشخصات نمودار (۱) می‌باشد

$$\tau_{xy}=G^{*}e^{i\omega t}\sum_{k=۱,۳}^{\infty}\left[\Psi_{۱}(e^{-\alpha_{۱}x}-۱)-\Psi_{۲}(e^{-\alpha_{۲}x}-۱)\right]\frac{k\pi}{۲H}cos(\frac{k\pi}{۲H}y)+$$
$$e^{i\omega t}\sum_{k=۱,۳}^{\infty}\left[-\alpha_{۱}^{۲}\Psi_{۱}e^{-\alpha_{۱}x}(M_{۱}+M_{۲}T_{۲۱})+\alpha_{۲}^{۲}\Psi_{۲}e^{-\alpha_{۲}x}(M_{۱}+M_{۲}T_{۲۲})\right]\frac{۲H}{k\pi}(cos(\frac{k\pi}{۲H}y)-۱)$$

(۵۳)

$$P=-Qe^{i\omega t}\sum_{k=۱,۳}^{\infty}\left[\alpha_{۲}\Psi_{۲}e^{-\alpha_{۲}x}(۱-M_{۱}+(۱-M_{۲})T_{۲۲})-\alpha_{۱}\Psi_{۱}e^{-\alpha_{۱}x}(۱-M_{۱}+(۱-M_{۲})T_{۲۱})\right]sin(\frac{k\pi}{۲H}y)$$

(۵۴)

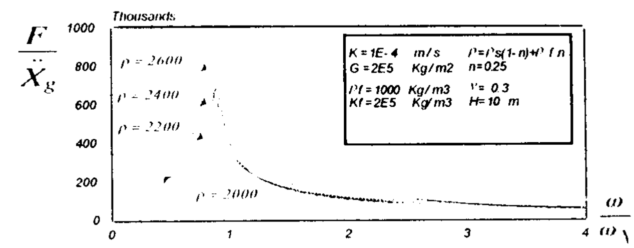
بعلاوه مشخصات مربوط به وجود آب که عبارتند از:

$$K = 1E\text{-}4\, m/s\,, \rho_f = 1000\, Kg/m^3\,, K_f = 2E5\, Kg/m^2 \qquad (56)$$

وجود آب باعث افزایش مقدار ρ می شود که از رابطه $\rho=(1-n)\rho_s+n\rho_f$ بدست می‌آید و برابر $1750\ Kg/m^3$ خواهدشد. مقدار ω_1 یعنی فرکانس طبیعی محیط از رابطه زیر بدست‌می‌آید:

$$\omega_1=\frac{\pi\, V_s}{2H} \qquad , \qquad V_s=\sqrt{G/\rho} \qquad (57)$$

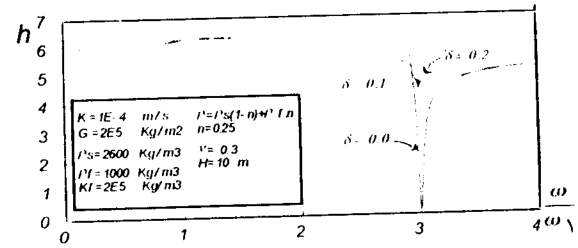
که V_s سرعت انتقال موج برشی می‌باشد مشاهده می‌شود که حداکثر نمودار (۱) در $1=\frac{\omega}{\omega_1}$ اتفاق افتاده است یعنی که مقدار حداکثر در حالت تشدید اتفاق می‌افتد.



شکل ۶: مقایسه‌مقادیرمختلف جرم حجمی خاک.

نمودار شماره(۲) در حالت $\rho_f=500\,Kg/m^3$ و $K_f=1000\,Kg/m^2$ رسم شده‌است مشاهده می‌شودکه با کم شدن تأثیر فاز دوم یعنی مایع نمودار شمارهٔ (۳) به سمت نمودار شماره (۱) حرکت می‌کند ودر نهایت در حالتی که $\rho_f \to 0$ و $K_f \to 0$ می‌روند نمودار حالت خشک را خواهیم داشت که این نمودار انطباق کامل با نتایج بدست آمده از فرمولهای Veletsos دارد. این مطلب بیانگر صحت معادلات بدست آمده برای حالت خاک اشباع می‌باشد. ودرضمن این شکل، تأثیر تقابل فازها در مقادیر نیروها با تغییر درصد اشباع (تغییر مقادیر K_f) را نشان می‌دهد.

درشکل شماره ۶ تغییرات $\frac{F_w}{\ddot{X}_g}$ بر حسب ω باتوجه به تغییر مقدار ρ_s رانشان می دهد. این شکل بیان کننده آن است که با افزایش جرم حجمی خاک نیروی براینـد نیز افزایش می‌یابد. دراین شکل مشاهده‌می‌شود که حداکثر نیرو در هر کدام از نمودارها در حالت تشدید اتفاق می‌افتد. طبق رابطه ۵۷ با افزایش جرم حجمی فرکانس زاویه‌ای محیط کاهش‌می‌یابد به همین دلیل دیده‌می‌شود که در این شکل با افزایش جرم‌حجمی، حداکثر نمودار در فرکانس زاویه‌ای کمتری اتفاق می‌افتد.

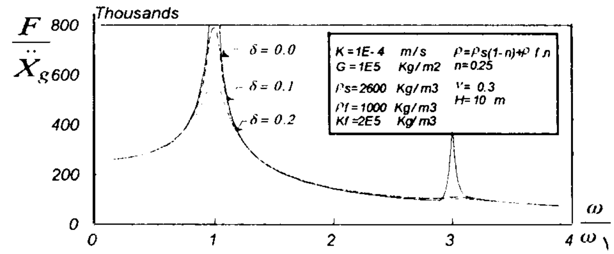


شکل ۷: تأثیر ضریب میرائی مصالح فاز جامد بر نقطه اثر برایند نیرو.

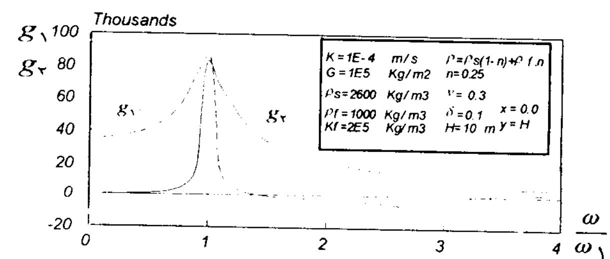
اگر فاصله نقطه اثر برایند نیروی وارد بر دیوار تا پای دیوار با h نشان داده شود، شکل شماره ۷ تأثیر تغییرات مقدار ضریب میرائی محیط در سه حالت را بر h نشان‌می‌دهد. این تأثیر در فرکانسهای کمتر از حالت تشدید بسیار ناچیز بوده و بیشتر خود را در فرکانسهای بزرگتر از حالت تشدید نشان‌می‌دهد . این مطلب بیان کنندهٔ این است که تأثیر ضریب میرائی در موجهای پیش‌رونده می‌باشد و بر موجهای ایستا تأثیر ندارد. زیرا در فرکانس‌های کمتر از حالت تشدید موج ایستا تشکیل و در فرکانس‌های بالاتر، حالت تشعشع اتفاق‌می‌افتد.

تأثیرات ضریب میرائی بر برایند نیروی وارد بر دیوار در شکل شماره ۸ نشان داده‌شده است. در این شکل سه نمودار برای ضرایب میرائی مختلف ترسیم شده است، کلیهٔ نمودارها نشان‌می‌دهند که حداکثر در حالت تشدید اتفاق‌می‌افتد.

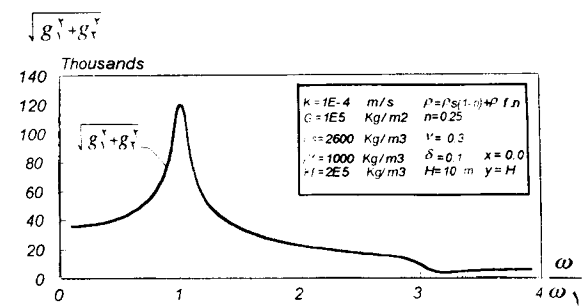
با کاهش ضریب میرائی مقدار نیروی برآیند در اطراف $1=\frac{\omega}{\omega_1}$ بسرعت افزایش می‌یابد، این مسئله در نقطهٔ $3=\frac{\omega}{\omega_1}$ نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۸: تأثیر ضریب میرائی مصالح فاز جامد بر نیروی برایند.



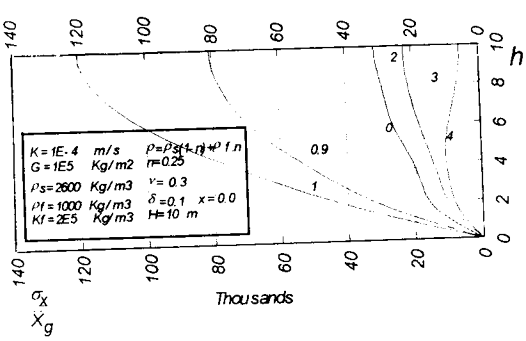
شکل ۹: مقایسه مقادیرحقیقی وموهومی مقدارتنش وارد بر دیوار.



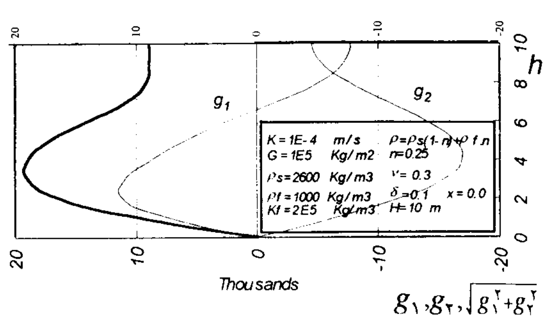
شکل ۱۰: نمودارتغییرات تنش وارد بر نوک دیواربرحسب ω

اگر تنش وارد بر دیوار را بصورت $\sigma_W = -(g_1 + i g_2)$ نمایش دهیم که g_1 جزء حقیقی و g_2 جزء موهومی مقدار تنش می‌باشند، علامت منفی برای تنش نشاندهنده فشاری بودن تنش وارد بر دیوار می‌باشد در شکل شماره ۹ مقادیر g_1 و g_2 بصورت دو نمودار جداگانه رسم شده‌است و در شکل شماره ۱۰ مقدار کل تنش یعنی $\sqrt{g_1^2+g_2^2}$ رسم شده است شکل شماره ۱۰ نشان می‌دهد که تاقبل یاخود نقطه $\frac{\omega}{\omega_1}=1$ تنش وارد بر دیوار را g_1 متحمل می شود و مقدار g_2 دراین ناحیه صفر می‌باشد و بعد از حالت تشدید تنش وارد بردیوارا g_2 متحمل می‌شود ومقدار g_1 بسیار ناچیز می‌باشد.

بعبارت دیگر ω_1 تواتر حد تشعشع می‌باشد و به مفهوم آن است که در تواترهای کمتر، انتشار موج بسمت بینهایت چندان انجام نمی‌شود، یعنی امواج منتشره در محیط بصورت امواج ایستا بوده و امواج پیش‌رونده نداریم و چون میرائی هندسی ناشی از امواج پیش‌رونده است، لذا بدیهی است جزء موهومی تنش که نمایانگر اثر میرائی است وجود نداشته و برعکس وقتی تواتر بیشتر از تواتر حد تشعشع باشد امواج پیش‌رونده در محیط منتشر و میرائی هندسی غالب می‌شود.



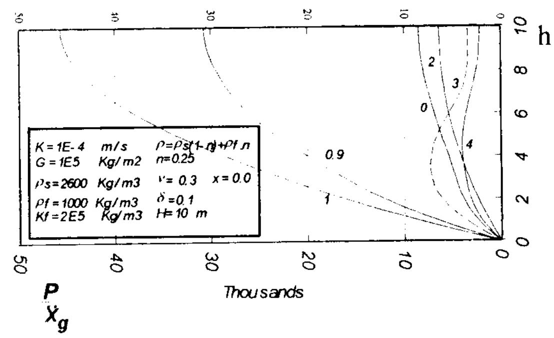
شکل ۱۱: تغییرات تنش در ارتفاع.



شکل ۱۲: مقایسه مقادیرموهومی وحقیقی تنش درارتفاع $\left[\frac{\omega}{\omega_1}=3\right]$.

وضعیت تنش وارد بر دیوار در شکل شمارهٔ ۱۱ نشان داده شده است. مشاهده‌می‌شود که مقدار تنش پای دیوار (y=0) برابر صفر بوده و حداکثر تنش را نوک آن (y=H) دارد. این امر به این دلیل است که مقدار تغییرمکان خاک در y=0 برابر با تغییرمکان بستر می‌باشد، و هیچ جابجائی نسبی بین ایندو نیست لذا هیچ تنشی از طرف خاک بر دیوار وارد نمی‌شود، و برعکس در حداکثر ارتفاع بیشترین جابجائی نسبی خاک نسبت به بستر را داریم که باعث ایجاد حداکثر تنش اعمالی بر دیوار می‌شود.

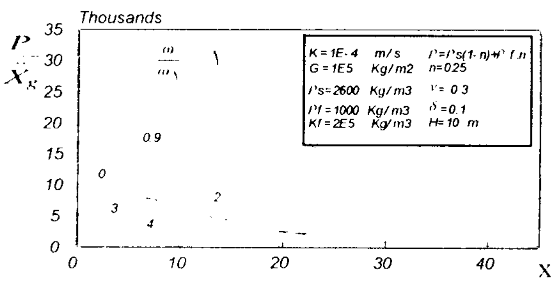
شکل شماره ۱۲ نشاندهندهٔ وضعیت تنش وارده بر دیوار در حالت $\frac{\omega}{\omega_1}=۳$ می‌باشد، که سهم هر یک از مقادیر حقیقی و موهومی تنش را نشان‌می‌دهد.



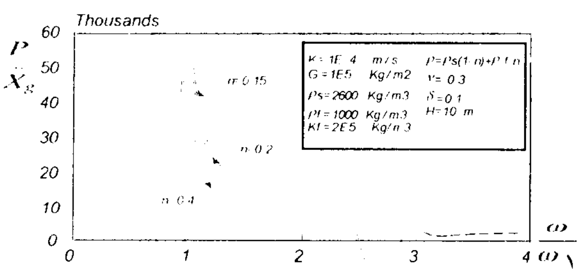
شکل ۱۳: تغییرات فشار منفذی در ارتفاع .

وضعیت فشار منفذی درون خاک نیز به پارامترهائی بستگی دارد، که در ادامه به بررسی تغییرات فشار منفذی درون خاک در اثر نوسان مشخصات خاک پرداخته شده است. شکل شماره ۱۳ تغییرات نسبت فشارمنفذی کنار دیوار به دامنه شتاب بستر ($\frac{P}{\ddot{X}_g}$) بر حسب ارتفاع y دیوار نشان‌داده‌شده‌است، در y=۰ فشار منفذی کنار دیوار صفر خواهد بود و ماکزیمم آن در y=H خواهد بود علت آنرا می‌توان همان تغییرات u_x دانست که در y=۰ مقدار صفر را دارد ودر y=H مقدار ماکزیمم خود را می‌گیرد البته لازم به ذکر است که این حالت در زمان کمی اتفاق می‌افتد، چرا که در فرصت کم محیط به حالت زهکشی نمی‌رسد. اگر زمان طولانی‌تر بود در y=H که سطح آزاد می‌باشد بایستی مقدار فشار منفذی برابر صفر شود.

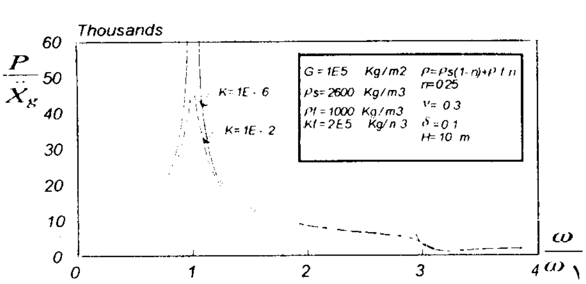
فشار منفذی نیز مانند تنش با دور شدن از دیوار و رفتن بسمت بینهایت بایستی بسمت صفر میل‌کند، که این مطلب در شکل شماره ۱۴ نمایش‌داده شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که هرچه مقدار x افزایش یابد مقدار فشار منفذی کاهش می‌یابد ودر نهایت این مقدار بسمت صفر میل می‌کند. این شکل فشار منفذی روی خط y=H را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: تغییرات فشارمنفذی نوک دیواربرروی محور xها.



شکل ۱۵: تأثیر تغییرات تخلخل بر مقدار فشارمنفذی .

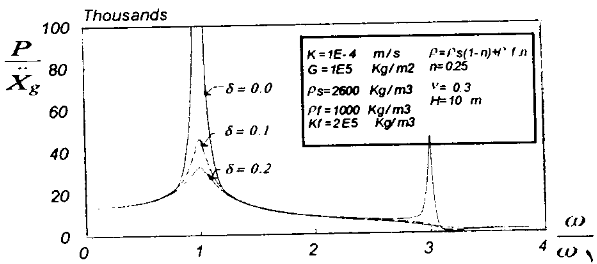


شکل ۱۶: تأثیر تغییرات ضریب نفوذپذیری خاک بر فشار منفذی .

تخلخل تأثیر معکوس بر مقدار فشار منفذی دارد، با افزایش آن فشار منفذی کاهش می‌یابد و برعکس این مطلب در شکل شمارهٔ ۱۵ برای سه حالت مختلف تخلخل نشان داده شده است.

شکل شمارهٔ ۱۶ وضعیت فشار منفذی را در حالتی که ضریب نفوذپذیری دو مقدار مختلف دارد ترسیم شده است. مشاهده می‌شود که در حالت $K=1E\text{-}6\,m/s$ مقدار فشار منفذی در اطراف مُدهای اول و دوم نسبت به حالت دیگر افزایش دارد پس کاهش ضریب نفوذپذیری تأثیر افزاینده بر فشار منفذی خواهد داشت چراکه افزایش ضریب نفوذپذیری نیز کمک به سرعت زهکشی محیط می‌کند.

دیگر عامل تأثیر گذار روی مقدار فشار منفذی ضریب میرائی محیط می‌باشد. در شکل ۱۷



شکل ۱۷: تأثیر ضریب میرائی برفشارمنفذی نوک دیوار.

برای حالات ۰=δ و ۰/۱=δ و ۰/۲=δ سه نمودار رسم شده است. تأثیر ضریب میرائی بر فشار منفذی همانند تأثیرش بر نیروی برایند است که با افزایش ضریب میرائی کاهش فشار منفذی در اطراف مُدهای اول و دوم مشاهده می‌شود این کاهش در بقیه نقاط بسیار ناچیز است.

شکل شمارهٔ ۱۷ منحنی شتاب نگاشت زلزلهٔ ناقان را نشان می‌دهد که محور افقی زمان و محور قائم را نشان می‌دهند. بکمک تبدیل فوریه می‌توان مقادیر شتاب زلزله را از حوزهٔ زمانی خارج کرده و به حوزهٔ فرکانسی انتقال دهیم. فواصل بین برداشت‌ها ۰/۰۲ ثانیه منظور شده است. پس از اینکه مقادیر دامنهٔ شتاب و فرکانس زاویه‌ای در حوزهٔ فرکانسی بدست آمد، بکمک معادلات بدست آمده می‌توان نیروی وارد بر دیوار را بدست آورد و در نهایت این نیرو که بصورت عدد مختلط می‌باشد را بکمک تبدیل معکوس فوریه می‌توان به حوزهٔ زمانی بازگرداند، و مقدار آنرا در حوزهٔ زمانی بدست آورد، که سر انجام، نمودارهای شکل شمارهٔ ۱۸ برای دو مقدار ضریب نفوذپذیری حاصل شده است. در این شکل محور افقی زمان و محور قائم نیروی وارد بر دیوار بر حسب کیلوگرم نیرو را نشان می‌دهد. نمودار برای فاصله زمانی یک تا سه ثانیه ترسیم شده است که نمودار خط چین برای حالت $K = 10^{-2}$ m/s و نمودار دیگر برای حالت $K = 10^{-8}$ m/s ترسیم شده است. در این شکل مشاهده می شود که اختلاف بین دو نمودار در بعضی نقاط به ۱۵ الی ۲۰ درصد می‌رسد، و بخوبی اثر ضریب نفوذ پذیری در خاک های مختلف نشان داده شده است.

اثر فاز دوم یعنی مایع در نمودارهای شکل شماره ۱۸ برای فاصله زمانی یک تا سه ثانیه نشان داده شده است. در این نمودار محور افقی زمان برحسب ثانیه و محور قائم نیروی برایند وارد بر یک متر طول دیوار برحسب کیلوگرم نیرو می باشند، مشخصات خاک مانند نمودار شماره ۱۳ فرض شده با این تفاوت که $G = 10^{7} m/s^{2}$ در نظر گرفته شده ، که مشخصه ماسه است. نمودار خط چین نشان دهنده حالت یک فازه و نمودار خط پر بیان کننده محیط دو فازه بر اساس فرمولهای بدست آمده می‌باشد. وجود فاز دوم باعث افزایش نیروی وارده بر دیوار شده و در مواقعی حتی باعث تغییر علامت نیروی وارده برر دیوار می‌شود.

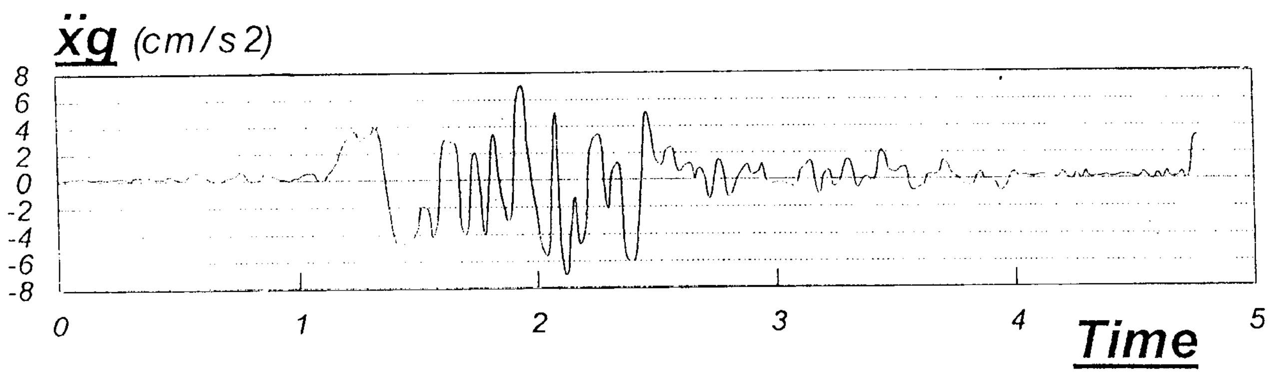
نتیجه گیری

رفتار دینامیکی خاک اشباع همگن بر روی دیوار نگهبان قائم صلب بصورت یک محیط دوفازه خاک و سیال بررسی شد و نیروی برآیند وارده بر دیوار بدست آمد. ر

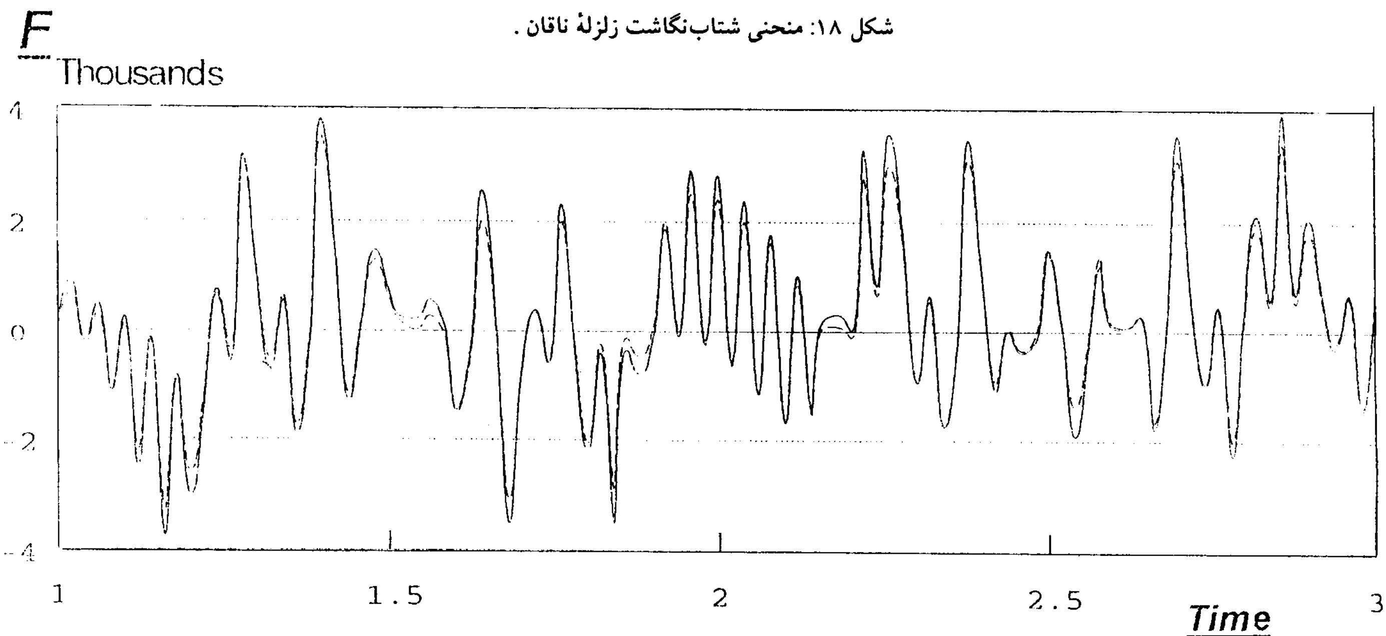
این مطالعه علاوه بر بررسی پارامترها و ویژگی های محیط خشک به بررسی تاثیر پارامترهای مربوط به وجود سیال درون محیط نیز پراخته شده و تاثیر هرکدام بر نیروی برآیند وارد بر دیوار صلب قائم نشان داده شده است.

در صورتیکه محیط اشباع خاک بصورت تک فازی در نظر گرفته شود، تاثیر ویژگیهای فاز دوم، تاثیرگذار بر جواب نهائی نادیده گرفته شده و جوابی دور از واقعیت بدست خواهد آمد.

بعنوان مثال میتوان از ضریب نفوذپذیری خاک نام برد که تاثیرش در شکلهای ۱۵ و ۱۸ نشان داده شده است. در صورت تک فازی بودن محیط این پارامتر و تاثیر آن در نظر گرفته نمی شود که این خود باعث دور شدن از رفتار واقعی محیط تحت اثر لرزه‌های دینامیکی خواهد شد.



شکل ۱۸: منحنی شتاب‌نگاشت زلزلهٔ ناقان .



شکل ۱۹: منحنی برایند نیروی وارده بر دیوار در مدت زمان زلزله .

مراجع

1 -Veletsos, A. S., and Younan, A. H. (1994). "Dynamic soil pressures on rigid vertical walls." *Earthquake Eng. and Structural Dynamic.*, 23, 275-301.

2 - Biot, M. A. (1940). "General theory of three-dimensional consolidation." *Journal of Applied Physics.*, 12, 155-164.

3 - Das, Braja M. "Soil dynamic." Mc.Graw Hill Publication.

4 - Okabe, S. (1924). "General theory of earth pressur and seismic stability of retaining wall and dam." *J. Japan Soc. Civil Engrs.*, 12.

5 - Wood, J. H. (1973). "Earthquake-induced soil pressures on structures." *Report EERL.73-05, Earthquake Engineering Research Laboratory California Institute of Technology.*

6 - Wood, J. H. (1975). "Earthquake induced pressures on rigid wall structure." Bull, New Zealand Soc. *Earthquake Eng.*, 8, 175-186.

7 - Siller, T. J., Christiano, P. P., and Bielak, J. (1991). "Seismic response of tied-back retaining walls." *Earthquake Eng.Struct.Dyn.*, 20, 605-620