

۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

گرایش خاک و پی

عنوان پایان نامه

بازتاب و عبور موج در مرز لایه‌های محیط‌های متخلخل غیراشباع

استاد راهنما

دکتر حسن قاسم‌زاده

نگارش

مجید میرزائزاد

پاییز ۱۳۹۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده

پدیده بازتاب و عبور موج از مرز مشترک بین دو محیط متخلخل یکی از موارد مهم و کاربردی بوده که در زمینه‌های مختلفی از علوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق با استفاده از آخرین دست‌آوردهای پژوهشی و علمی محققین در زمینه انتشار موج در محیط‌های متخلخل و با استفاده از مفاهیم پایه‌ای ریاضیات کاربردی مدلی به منظور پیش‌بینی رفتار موج در یک محیط متخلخل سه‌فازی لایه‌بندی‌شده ارائه گردیده است. در این رابطه فرض شده که هر یک از دو محیط ایزوتروپ و همگن بوده و بخش جامد از آنها دارای رفتار الاستیک می‌باشد. همچنین سیالات حفره‌ای موجود در محیط نیز تراکم‌ناپذیر فرض شده و دارای لزجت می‌باشند.

در یک محیط متخلخل غیراشباع سه‌فازی چهار موج منتشر می‌گردند که برخورد هر یک از این امواج با فصل مشترک بین دو لایه منجر به بازتاب چهار موج به محیط بالا و انکسار چهار موج به محیط پایین می‌گردد. در همین راستا مفهوم انتشار موج غیرهمگن مورد بررسی قرار گرفته و یک روش حل تحلیلی مناسب به منظور به دست آوردن نسبت انرژی امواج بازتاب‌شده و انکسار یافته به انرژی موج برخوردی معرفی شده است. از جمله نقاط قوت مدل ارائه شده قابلیت آن در بررسی رفتار موج در فرکانس‌های بالا و استفاده از اصول پایه‌ای مکانیک خاک‌های غیراشباع نظیر مفهوم تنش مؤثر دوجزئی و منحنی مشخصه آب-خاک در توصیف رفتار محیط در برابر حرکت موج می‌باشد.

همچنین تأثیر پارامترهای مختلف نظیر فرکانس، درجه اشباع سیال خیس‌کننده و نوع سیال غیرخیس‌کننده حفره‌ای نیز بر روی رفتار کلی محیط در برابر انتشار موج دیده شده و پیشنهاداتی به منظور استفاده از نتایج این مدل به منظور تخمین پارامترهای مقاومتی و مکانیکی خاک‌های غیراشباع ارائه می‌گردد.

فهرست علائم			
تعریف	پارامترها	تعریف	پارامترها
ضریب تغییر حجم فاز سیال غیرخیس کننده حفره‌ای نسبت به تنش قائم خالص	m_1^a	مدول برشی	G
ضریب تغییر حجم فاز سیال غیرخیس کننده حفره‌ای نسبت به مکش بافتی	m_2^a	پارامتر تنش مؤثر	χ
توابع پتانسیل اسکالر فازهای جامد و سیال	$\Phi_i \ (i = s, w, a)$	تخلخل محیط	ϕ
توابع پتانسیل برداری فازهای جامد و سیال	$\Psi_j \ (j = s, w, a)$	میدان جابجایی فاز جامد	$\vec{u}_s$
عدد موج برای موج‌های فشاری	$k_{pi} \ (i = 1, 2, 3)$	میدان جابجایی فاز سیال خیس کننده	$\vec{u}_w$
عدد موج برای موج برشی	k_{s1}	میدان جابجایی فاز سیال غیرخیس کننده	$\vec{u}_a$
تانسور تنش کل	σ	کسر حجمی فاز سیال خیس کننده	ϕ_w
فشار آب حفره‌ای	P_w	کسر حجمی فاز سیال غیرخیس کننده	ϕ_a
فشار هوای حفره‌ای	P_a	انحنای مؤثر فاز سیال خیس کننده	τ_w
تانسور واحد	I	انحنای مؤثر فاز سیال غیرخیس کننده	τ_a
پارامتر پیوند	Ψ	مدول بالک فاز سیال خیس کننده	K_w
پارامتر امپدانس جریان سطحی	T	مدول بالک فاز سیال غیرخیس کننده	K_a
تنش قائم در فصل مشترک	σ_{zz}	لزجت سیال خیس کننده حفره‌ای	η_w
تنش مماسی در فصل مشترک	σ_{zx}	لزجت سیال غیرخیس کننده حفره‌ای	η_a
سرعت ذرات جامد در راستای قائم	$\dot{u}_{sz}$	نفوذپذیری مؤثر فاز سیال خیس کننده	k_w
سرعت ذرات جامد در راستای افقی	$\dot{u}_{sx}$	نفوذپذیری مؤثر فاز سیال غیرخیس کننده	k_a
نسبت انرژی برهمکنش کل در محیط بالا	E_I^u	ضریب تغییر حجم فاز جامد نسبت به تنش قائم خالص	m_1^s
نسبت انرژی برهمکنش کل در محیط پایین	E_I	ضریب تغییر حجم فاز جامد نسبت به مکش بافتی	m_2^s
نسبت انرژی کل در فصل مشترک دو محیط	E_T	ضریب تغییر حجم فاز سیال خیس کننده حفره‌ای نسبت به تنش قائم خالص	m_1^w
نفوذپذیری ذاتی	k_0	ضریب تغییر حجم فاز سیال خیس کننده حفره‌ای نسبت به مکش بافتی	m_2^w

فهرست علائم (ادامه)			
تعریف	پارامترها	تعریف	پارامترها
پارامتر خاک	a	متوسط قطر حفرات	d
مکش ماندگار	ψ_r	تنش مؤثر قائم	σ_{nn}
درجه اشباع ماندگار	S_r	سرعت ذرات جامد در راستای قائم	$\dot{u}_n$
شاخص اندازه حفره	λ	تنش مؤثر برشی	σ_{ns}
جرم حجمی هوا	ρ_a	سرعت ذرات جامد در راستای افقی	$\dot{u}_s$
مدول بالک هوا	K_a	سرعت حرکت سیال حفره‌ای	$\dot{U}_n$
ویسکوزیته هوا	η_a	تنش برشی	P_{xz}
جرمی حجمی نفت	ρ_0	تنش قائم	P_{zz}
مدول بالک نفت	K_0	جابجایی ذرات عمود بر فصل مشترک	w
ویسکوزیته نفت	η_0	جابجایی ذرات موازی بر فصل مشترک	u
جرم حجمی آب	ρ_w	مدول صلبیت محیط	μ
مدول بالک آب	K_w	پارامتر پیوند	Ψ
ویسکوزیته آب	η_w	زمان آزادسازی	T_R
پارامتر خاک	m	جرم حجمی بخش جامد	ρ_s
پارامتر خاک	n	ضریب پواسون خاک	ν

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- توصیف مسئله	۲
۲-۱- سؤالات تحقیق	۲
۳-۱- روش تحقیق	۳
۴-۱- کاربردها و اهمیت تحقیق	۴
۵-۱- ساختار تحقیق	۵
۶-۱- مروری بر مفاهیم مکانیک خاک‌های غیراشباع	۶
۱-۶-۱- مقدمه	۶
۲-۶-۱- بررسی متغیرهای حالت تنش	۶
۳-۶-۱- منحنی مشخصه آب-خاک	۷
۷-۱- مروری بر مفاهیم پایه موج	۱۵
۱-۷-۱- مقدمه	۱۵
۲-۷-۱- فرکانس و دوره تناوب موج	۱۶
۳-۷-۱- انرژی موج و دامنه نوسانات آن	۱۹
۴-۷-۱- موج‌های صفحه‌ای	۲۱
۵-۷-۱- فرمول‌بندی ریاضیاتی موج صفحه‌ای	۲۲
۶-۷-۱- شکل نمایی مختلط	۲۴
۷-۷-۱- موج ناهمگن	۲۵
۸-۷-۱- قانون اسنل	۳۱
۹-۷-۱- امپدانس موج	۳۲

۸-۱- جمع بندی	۳۴
---------------------	----

فصل ۲- مروری بر پیشینه تحقیق

۱-۲- مقدمه	۳۶
۲-۲- پژوهش‌های صورت گرفته بر روی انتشار موج در محیط‌های غیرلایه‌بندی شده	۳۷
۳-۲- پژوهش‌های صورت گرفته بر روی انتشار موج در محیط‌های لایه‌بندی شده	۵۵
۴-۲- جمع‌بندی	۷۱

فصل ۳- ارایه مدلی تحلیلی برای انتشار موج در محیط‌های لایه‌بندی شده متخلخل غیراشباع سه فازی

۱-۳- مقدمه	۷۴
۲-۳- پارامترهای مدل و روابط مشخصه	۷۴
۱-۲-۳- روابط پاشش موج	۷۴
۲-۲-۳- ضرایب نسبت دامنه نوسان و انرژی موج	۹۰
۳-۳- جمع‌بندی	۱۱۶

فصل ۴- آنالیز حساسیت و بررسی نتایج

۱-۴- مقدمه	۱۱۸
۲-۴- معرفی مقادیر عددی پارامترهای استفاده شده در مدل	۱۱۹
۳-۴- آنالیز حساسیت	۱۲۱
۱-۳-۴- سرعت امواج	۱۲۱
۲-۳-۴- استهلاک امواج	۱۲۶

۴-۳-۳- تغییرات نسبت انرژی بر حسب فرکانس، زاویه برخورد و نوع سیال غیرخیس‌کننده	۱۳۰
۴-۳-۴- تغییرات نسبت انرژی بر حسب درجه اشباع آب، زاویه برخورد و نوع سیال غیرخیس‌کننده	۱۴۰
۴-۳-۴- تغییرات نسبت انرژی بر حسب پارامتر پیوند و زاویه برخورد	۱۴۸
۴-۴- جمع‌بندی	۱۵۳

فصل ۵- جمع‌بندی

۵-۱- مقدمه	۱۵۷
۵-۲- نتایج	۱۵۸
۵-۳- پیشنهاداتی به منظور ادامه تحقیق	۱۶۱
منابع و مراجع	۱۶۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- نمونه منحنی‌های مشخصه آب-خاک برای خاک‌های ماسه‌ای، سیلتی و رسی ۹
- شکل ۱-۳- منحنی مشخصه آب-خاک به ازای مقادیر متفاوت از a با توجه به معادله (۱-۲) ۱۰
- شکل ۱-۴- منحنی مشخصه آب-خاک به ازای مقادیر متفاوت از n با توجه به معادله (۱-۲) ۱۱
- شکل ۱-۵- منحنی مشخصه آب-خاک به ازای مقادیر متفاوت از m با توجه به معادله (۱-۲) ۱۲
- شکل ۱-۶- نحوه بدست آوردن پارامترهای a ، m و n با استفاده از منحنی مشخصه آب-خاک ... ۱۲
- شکل ۱-۷- نحوه بدست آوردن پارامترهای a ، m و n با استفاده از منحنی مشخصه آب-خاک برای رابطه اصلاح شده ۱۴
- شکل ۱-۶- طیف کامل امواج الکترومغناطیس ۱۸
- شکل ۱-۷- جبهه‌های موج یک موج صفحه‌ای در فضای سه بعدی ۲۱
- شکل ۲-۱- حالات ممکن برای ارتباط بین حفرات در فصل مشترک دو محیط ۵۸
- شکل ۲-۲- هندسه مسئله بازتاب و انکسار موج در فصل مشترک بین دو محیط ۶۴
- شکل ۳-۱- طرح شماتیک از موج‌های منتشر شونده در یک محیط متخلخل لایه بندی شده ۹۰
- شکل ۴-۱- تغییرات سرعت موج $P1$ بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۳
- شکل ۴-۲- تغییرات سرعت موج $P2$ بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۳
- شکل ۴-۳- تغییرات سرعت موج $P3$ بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۴
- شکل ۴-۴- تغییرات سرعت موج برشی بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۴
- شکل ۴-۵- تغییرات سرعت موج $P1$ بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۴

شکل ۴-۶- تغییرات سرعت موج P2 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۵

شکل ۴-۷- تغییرات سرعت موج P3 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۵

شکل ۴-۸- تغییرات سرعت موج برشی بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۵

شکل ۴-۹- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج P1 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۸

شکل ۴-۱۰- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج P2 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۸

شکل ۴-۱۱- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج P3 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۸

شکل ۴-۱۲- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج برشی بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۹

شکل ۴-۱۳- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج P1 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۹

شکل ۴-۱۴- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج P2 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۲۹

شکل ۴-۱۵- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج P3 بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۰

شکل ۴-۱۶- تغییرات در ضریب استهلاک ذاتی موج برشی بر حسب فرکانس، سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۰

شکل ۴-۱۷- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P1 بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۳

شکل ۴-۱۸- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P2 بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۴

- شکل ۴-۱۹- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P3 بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۴
- شکل ۴-۲۰- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده برشی بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۴
- شکل ۴-۲۱- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P1 بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۵
- شکل ۴-۲۲- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P2 بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۵
- شکل ۴-۲۳- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P3 بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۵
- شکل ۴-۲۴- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته برشی بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۶
- شکل ۴-۲۵- تغییرات در نسبت انرژی برهمکنش موج بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۶
- شکل ۴-۲۶- تغییرات در نسبت انرژی برهمکنش موج بر حسب زاویه برخورد موج، فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۶
- شکل ۴-۲۷- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P1 بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۸
- شکل ۴-۲۸- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P2 بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۸
- شکل ۴-۲۹- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P3 بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۸
- شکل ۴-۳۰- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده برشی بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۹
- شکل ۴-۳۱- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته P1 بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس‌کننده هوا یا نفت ۱۳۹

شکل ۴-۳۲- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته P2 بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۳۹

شکل ۴-۳۳- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته P3 بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۰

شکل ۴-۳۴- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته برشی بر حسب فرکانس و نوع سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۰

شکل ۴-۳۵- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب شده P1 بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۱

شکل ۴-۳۶- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب شده P2 بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۲

شکل ۴-۳۷- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب شده P3 بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۲

شکل ۴-۳۸- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب شده برشی بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۲

شکل ۴-۳۹- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P1 بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۳

شکل ۴-۴۰- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P2 بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۳

شکل ۴-۴۱- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P3 بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۳

شکل ۴-۴۲- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته برشی بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۴

شکل ۴-۴۳- تغییرات در نسبت انرژی برهمکنش موج بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۴

شکل ۴-۴۴- تغییرات در نسبت انرژی برهمکنش موج بر حسب زاویه برخورد موج، سیال خیس کننده آب با درجه اشباع های متفاوت و سیال غیرخیس کننده هوا یا نفت ۱۴۴

- شکل ۴-۴۵- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P1 بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۵
- شکل ۴-۴۶- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P2 بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۶
- شکل ۴-۴۷- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P3 بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۶
- شکل ۴-۴۸- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج بازتاب‌شده برشی بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۶
- شکل ۴-۴۹- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته P1 بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۷
- شکل ۴-۵۰- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته P2 بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۷
- شکل ۴-۵۱- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته P3 بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۷
- شکل ۴-۵۲- تغییرات در حداکثر نسبت انرژی موج انکساریافته برشی بر حسب سیال خیس‌کننده آب با درجه اشباع‌های متفاوت و حالت‌های AWC و OWC ۱۴۸
- شکل ۴-۵۳- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P1 بر حسب زوایه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۰
- شکل ۴-۵۴- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P2 بر حسب زوایه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۰
- شکل ۴-۵۵- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده P3 بر حسب زوایه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۰
- شکل ۴-۵۶- تغییرات در نسبت انرژی موج بازتاب‌شده برشی بر حسب زوایه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۱
- شکل ۴-۵۷- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P1 بر حسب زوایه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۱

- شکل ۴-۵۸- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P2 بر حسب زاویه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۱
- شکل ۴-۵۹- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته P3 بر حسب زاویه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۲
- شکل ۴-۶۰- تغییرات در نسبت انرژی موج انکساریافته برشی بر حسب زاویه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۲
- شکل ۴-۶۱- تغییرات در نسبت انرژی کل بر حسب زاویه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ ۱۵۲
- شکل ۴-۶۲- تغییرات در نسبت انرژی برهمکنش موج بر حسب زاویه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ در محیط پایین ۱۵۳
- شکل ۴-۶۳- تغییرات در نسبت انرژی برهمکنش موج بر حسب زاویه برخورد موج و پارامتر پیوند Ψ در محیط بالا ۱۵۳

فهرست جداول

جدول ۴-۱- پارامترهای محیط متخلخل غیراشباع ۱۲۰

جدول ۴-۲- پارامترهای مربوط به سیال حفره‌ای ۱۲۱

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- توصیف مسئله

مسئله مورد بررسی مربوط به انتشار موج در یک محیط متخلخل لایه‌بندی شده غیراشباع سه فازی می‌باشد که در آن اسکلت جامد رفتاری الاستیک داشته و دو سیال حفره‌ای موجود در محیط دارای لزجت می‌باشند. یک چنین ترکیبی از اسکلت جامد الاستیک و سیال حفره‌ای لزج منجر به ایجاد یک رفتار ویسکوالاستیک در محیط می‌شود که این امر نیز به نوبه خود منجر به انتشار غیرهمگن موج در یک چنین محیطی می‌گردد.

مسئله انتشار موج در یک محیط متخلخل لایه‌بندی شده غیراشباع دارای دو قسمت است که یکی مربوط به انتشار موج در یک محیط متخلخل و دیگری مربوط به رفتار موج در مرز مشترک بین دو محیط است. در این راستا ابتدا معادلات موج برای به دست آوردن سرعت انتشار و ضریب استهلاک ذاتی برای هر یک از دو محیط مجاور به دست آمده، سپس روابطی برای بررسی نسبت انرژی موج‌های بازتاب شده و انکسار یافته نسبت به انرژی موج برخوردی بدست می‌آید.

۱-۲- سؤالات تحقیق

برخی از سؤالاتی که این تحقیق در پی پاسخ دادن به آنها بوده به صورت زیر تعریف می‌گردند:

(۱) آیا تفاوتی بین انتشار، انکسار و بازتاب موج در یک محیط تک فازی با رفتار الاستیک و یک محیط متخلخل سه فازی شامل یک سیال خیس کننده و یک سیال غیرخیس کننده با رفتار ویسکوالاستیک وجود دارد؟

(۲) نوع امواج منتشر شونده در یک محیط متخلخل غیراشباع سه فازی با رفتار ویسکوالاستیک به چه صورت بوده و انکسار و بازتاب آنها در مرز دو محیط چگونه است؟

۳) تأثیر فرکانس موج و درجه اشباع سیال خیس‌کننده حفره‌ای بر روی انتشار موج در هر یک از محیط‌ها و در مرز مشترک بین دو محیط به چه صورتی می‌باشد؟

۴) آیا تغییر در سیال غیرخیس‌کننده حفره‌ای تأثیر قابل توجهی را بر روی رفتار موج در یک محیط متخلخل لایه‌بندی شده دارد؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، تأثیر آن بر روی هر یک از موج‌ها به چه صورت می‌باشد؟

۵) بیشترین سرعت، ضریب استهلاک ذاتی و نسبت انرژی به ترتیب مربوط به کدام یک از موج‌های منتشر شونده در محیط لایه‌ای است؟

۶) آیا رابطه‌ای بین بزرگی نسبت انرژی برای هر یک از موج‌های منتشر شونده در محیط و سرعت یا ضریب استهلاک آنها وجود دارد؟

۷) لغزش ایجاد شده در فصل مشترک دو محیط هنگام عبور موج چه تأثیری را بر روی نسبت انرژی بازتابی و انکساریافته و نسبت انرژی کل در محیط دارد؟

۱-۳- روش تحقیق

تحقیق انجام گرفته شامل دو بخش کلی می‌باشد، به این صورت که در بخش اول با استفاده از روش‌های تحلیلی و بهره‌مندی از مبانی ریاضیات کاربردی و مفاهیم مربوط به محیط‌های متخلخل غیراشباع، روابطی به منظور به دست آوردن سرعت انتشار موج در محیط و میزان انرژی بازتابی و انکساری آن نسبت به انرژی موج برخوردی به مرز دو محیط ارائه گردیده است.

در بخش دوم نیز با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمایش‌های صورت گرفته توسط سایر محققین و روش‌های عددی به منظور حل دستگاه معادلات حاصل شده، نمودار تغییرات سرعت، ضریب

استهلاک و میزان نسبت انرژی موج‌های بازتابی و انعکاسی نسبت به تغییرات در سایر پارامترهای مورد استفاده در مدل رسم گردیده و نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفته است.

در این رابطه لازم به ذکر است که بیان گردد در این تحقیق از روش‌های عددی نظیر اجزای محدود و مطالعات آزمایشگاهی استفاده‌ای صورت نگرفته است و ملاک پارامترهای استفاده شده در آنالیز حساسیت، تنها موارد اعلام شده توسط سایر محققین در مطالعات کتابخانه‌ای می‌باشد.

۱-۴- کاربردها و اهمیت تحقیق

از جمله کاربردهای نتایج این تحقیق استفاده در کشف میادین نفتی و گازی، سفره آب شیرین موجود در زیر چاه‌های نفتی و سایر منابع گران‌بهای موجود در اعماق زمین است. همچنین با استفاده از یافته‌های چنین پژوهش‌هایی و تشکیل یک پایگاه داده مبتنی بر اصول مکانیک خاک‌های غیراشباع از انواع خاک‌های مختلف و ترکیب آنها می‌توان پارامترهای مقاومتی و مکانیکی خاک را به وسیله مهندسی معکوس از نتایج این مدل به دست آورد.

به عبارت دیگر با استفاده از نتایج مدل‌های انتشار موج می‌توان بدون نمونه گرفتن از خاک در محل تمامی پارامترهای مهم خاک نظیر مقاومت برشی، پارامترهای تغییر حجم و نفوذپذیری را به دست آورد.

یک مورد دیگر از کاربرد مدل‌های بازتاب و عبور موج که می‌توان به آن اشاره نمود، استفاده از نتایج به دست آمده در طراحی موادی با خاصیت جذب بالای انرژی امواج برخوردی و ایجاد خاصیت رادارگریزی در آنها باشد. که این امر را می‌توان با استفاده از مفاهیم مربوط به امیدانس و خصوصیت مواد مختلف و نحوه ترکیب آنها برای به دست آوردن بیشترین میزان اتلاف انرژی در مرز مشترک آنها و میزان عبور یا بازتاب انرژی محقق نمود. در همین رابطه می‌توان به استفاده از لایه‌های مختلف خاک به صورتی که منجر به کاهش انرژی امواج لرزه‌ای وارد بر سازه‌ها نیز شوند اشاره نمود.

چارچوب مطالب ارایه شده در این تحقیق به این صورت می‌باشد که ابتدا در این فصل موارد کلی نظیر توصیفی از مسأله مورد بررسی، سؤالات و روش تحقیق مطرح گردیده و با توجه به اهمیت مفاهیم مربوط به موج و خاک‌های غیراشباع موارد مهمی نظیر مفهوم تنش مؤثر در خاک غیراشباع و منحنی مشخصه آب-خاک معرفی شده و سپس مفاهیم پایه‌ای و کاربردی از موج نظیر ماهیت موج، فرکانس، دامنه نوسان، انرژی، موج صفحه‌ای، انتشار ناهمگن موج در محیط، پارامتر عدد موج مختلط، قانون اسنل و مفهوم امپدانس مورد بررسی قرار می‌گیرند.

همچنین در فصل دوم مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته توسط محققین در رابطه با مفاهیم مربوط به پدیده انتشار موج در محیط‌های متخلخل صورت پذیرفته است. این فصل خود به دو قسمت اصلی تقسیم گردیده که در قسمت اول به کارهای انجام شده در زمینه محیط‌های متخلخل دو فازه و سه فازه غیرلایه‌بندی شده پرداخته‌ایم و در قسمت دوم به بررسی پژوهش‌های صورت گرفته بر روی محیط‌های لایه‌بندی شده پرداخته شده است. در این فصل موارد مربوط به تحقیق به طور مفصل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

فصول سوم و چهارم نیز به توسعه مدل مربوطه و ارایه نتایج به دست آمده اختصاص داده شده و نحوه به دست آوردن روابط، معادلات و مفاهیم مورد استفاده تشریح گردیده و نتایج مورد نظر نیز بیان شده‌اند. در به دست آوردن روابط تشکیل دهنده مدل مورد نظر از آخرین دست‌آوردهای تحقیقاتی در مورد نحوه انتشار موج در یک محیط متخلخل با رفتار ویسکوالاستیک بهره برده شده است. در این فصول همچنین مفاهیم مربوط به شرط مرزی آزاد برای فصل مشترک دو محیط و تأثیر سیال غیرخیس‌کننده حفره‌ای در نتایج نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در نهایت در فصل آخر به جمع‌بندی نتایج پرداخته شده و راهکارهایی نیز به منظور توسعه کار ارایه گردیده است.

۱-۶- مروری بر مفاهیم مکانیک خاک‌های غیراشباع

۱-۶-۱- مقدمه

علم مکانیک خاک را می‌توان به طور کلی به دو بخش خاک‌های اشباع و خاک‌های غیر اشباع تقسیم نمود. تمایز بین خاک‌های اشباع و غیراشباع به خاطر تفاوت در طبیعت و رفتار مهندسی آنها است. خاک غیراشباع بیش از دو فاز داشته و فشار آب حفره‌ای در آن منفی می‌باشد. خاکی که نزدیک به سطح زمین بوده و در معرض یک محیط خشک است، تحت تأثیر فشار آب حفره‌ای منفی و به احتمال زیاد خروج رطوبت قرار می‌گیرد.

فرایند حفاری، قرار دادن مجدد در قالب و متراکم کردن خاک نیز می‌تواند منجر به تولید یک خاک غیراشباع گردد. خاک‌های غیراشباع دسته گسترده‌ای از خاک‌ها را تشکیل می‌دهند. از اینرو توسعه مفاهیمی به منظور بیان کردن رفتار آنها ضروری می‌باشد. این قسمت با توجه به اهمیت درک مفاهیم خاک‌های غیراشباع نظیر متغیر حالت تنش و منحنی مشخصه آب-خاک به معرفی آنها می‌پردازد.

۱-۶-۲- بررسی متغیرهای حالت تنش

به طور کلی به منظور توصیف حالت تنش در خاک‌های اشباع تنها استفاده از یک تنش مؤثر کافی بوده و با استفاده از آن می‌توان به راحتی رفتار سایر پارامترهای دیگر را توصیف نمود، با این حال مشخص گردیده که استفاده از تنها یک متغیر حالت تنش در خاک غیراشباع نتایج مناسبی را به دست نمی‌دهد [۱-۶]. به این منظور در این تحقیق از رابطه بیشاپ [۷] برای تنش مؤثر خاک غیراشباع استفاده شده است:

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad (1-1)$$

در این رابطه u_a و u_w به ترتیب بیانگر فشار هوا و آب حفره‌ای بوده و χ پارامتری است که به پارامتر تنش مؤثر معروف است و مربوط به درجه اشباع خاک می‌باشد. بزرگی پارامتر χ برای خاک‌های اشباع برابر واحد بوده و برای خاک‌های خشک برابر صفر می‌باشد. رابطه بین χ و درجه اشباع با آزمایش بدست آمده و معمولاً می‌توان آنرا با درجه اشباع سیال خیس‌کننده در محیط برابر گرفت. همچنین عبارت‌های $(u_a - u_w)$ و $(\sigma - u_a)$ نیز به ترتیب مکش بافتی^۱ و تنش قائم خالص^۲ در خاک نام‌گذاری گردیده‌اند.

۱-۶-۳- منحنی مشخصه آب-خاک

یکی از مفاهیم بسیار مهم در مکانیک خاک‌های غیراشباع منحنی مشخصه آب-خاک^۳ یا به اختصار SWCC می‌باشد. اهمیت این منحنی از آنجا می‌باشد که تمامی پارامترهای اساسی و پایه‌ای در مکانیک خاک‌های غیراشباع از جمله پارامترهای مقاومتی و پارامترهای مربوط به تغییرحجم و نفوذپذیری را می‌توان بر اساس آن بدست آورد.

به طور کلی منحنی مشخصه آب-خاک در یک خاک به عنوان رابطه‌ای بین درصد رطوبت موجود در حفرات محیط و مکش حاضر در آن تعریف می‌گردد. درصد رطوبت بیان‌کننده میزان آب موجود در حفرات خاک می‌باشد. در رابطه با مشخص کردن میزان یا محتوی آب موجود در خاک از پارامترهای مختلفی استفاده می‌نمایند، که از آن جمله می‌توان به محتوی حجمی رطوبت θ ، درصد رطوبت جرمی w و درجه اشباع اشاره نمود. از این پارامترها همچنین به صورت نرمالایز شده^۴ نیز استفاده می‌گردد، که در آن پارامتر درصد رطوبت نسبت به درصد رطوبت ماندگار یا درصد رطوبت صفر بیان می‌شود.

¹ Matric suction

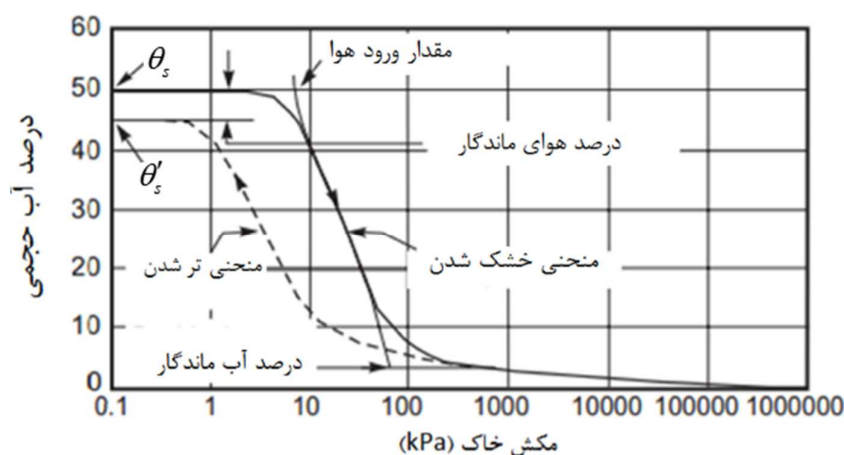
² Net normal stress

³ Soil-Water characteristic curve

⁴ Normalised

مکش استفاده شده در منحنی مشخص آب-خاک هم می‌تواند از نوع مکش بافتی باشد که به آن فشار موینگی نیز گفته می‌شود و هم می‌تواند فشار کل باشد که در این حالت فشار کل برابر با مجموع مکش بافتی و مکش اسمزی می‌باشد. در بسیاری از خاک‌ها در فشارهای بالاتر از ۱۵۰۰ کیلوپاسکال، می‌توان فرض نمود که مکش بافتی و مکش کل با یکدیگر برابر هستند.

شکل ۱-۱ بیانگر یک نمونه از یک منحنی مشخصه آب-خاک به همراه برخی از پارامترهای اصلی استفاده شده در آن می‌باشد. با توجه به این شکل مقدار ورود هوا^۵ در خاک یا فشار حباب‌زایی^۶ بیانگر آن مقدار مکشی است که در آن ذرات هوا شروع به پر کردن بزرگ‌ترین حفرات در خاک می‌نمایند. درصد رطوبت باقی‌مانده یا ماندگار بیانگر آن درصد رطوبتی است که در آن به منظور خارج کردن آب بیشتر از درون حفرات نیاز به ایجاد تغییرات زیادی در پارامتر مکش وجود دارد.



شکل ۱-۱- یک نمونه از منحنی مشخصه آب-خاک برای یک خاک سیلتی (اقتباس از فردلاند و زینگ، [۸])

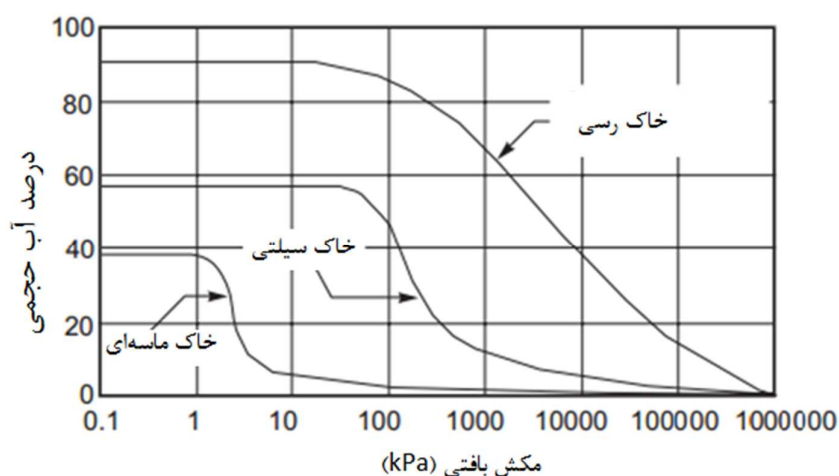
به طور کلی مکش کل برابر با درصد رطوبت صفر، برای تمامی خاک‌ها یکسان می‌باشد. در این رابطه ملاحظه گردیده است که مقدار مکشی معادل با 10^6 کیلوپاسکال برای تمامی خاک‌ها بیانگر درصد رطوبت صفر در خاک بوده و این مورد همچنین توسط ملاحظات ترمودینامیکی نیز اثبات گردیده است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که یک مقدار حداکثر برای مکش کل در خاک وجود دارد که در آن درصد رطوبت برابر صفر می‌گردد.

⁵ Aire entry value

⁶ Bubbling pressure

منحنی اصلی که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است بیانگر منحنی خشک‌شدن^۷ می‌باشد. با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که منحنی خشک‌شدن با منحنی تر شدن در اصل وجود فرایند هیستریزیس تفاوت داشته و نقطه انتهایی منحنی تر شدن با نقطه شروع منحنی خشک‌شدن در اثر به دام افتادگی هوا در خاک متفاوت است.

با توجه به شکل ۲-۱ می‌توان یک نمونه از منحنی مشخصه آب-خاک را برای خاک‌های متفاوت ملاحظه نمود. با توجه به این شکل مشخص است که درصد رطوبت اشباع یعنی θ_s و مقدار نظیر ورود هوا یعنی $(u_a - u_w)_b$ ، معمولاً با افزایش حالت خمیری در خاک افزایش می‌یابند. عوامل دیگری نیز نظیر تاریخچه تنش‌های اعمال شده بر خاک هم می‌تواند بر روی شکل منحنی مشخصه آب-خاک تأثیرگذار باشند.



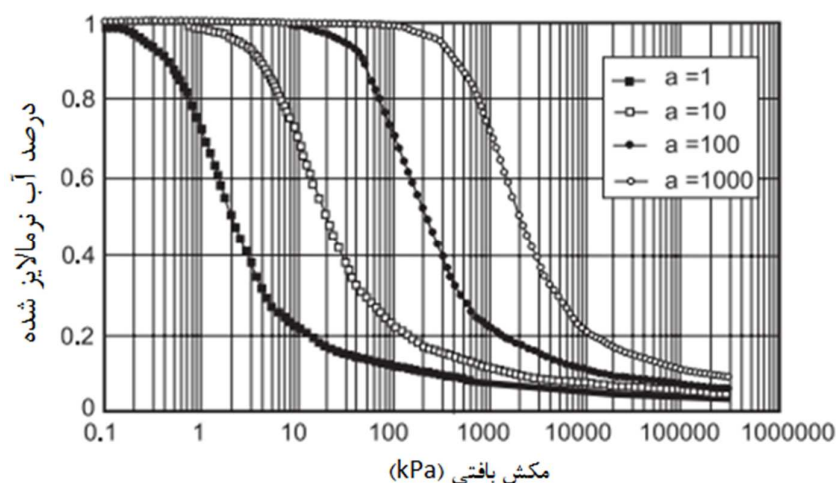
شکل ۲-۱- نمونه منحنی‌های مشخصه آب-خاک برای خاک‌های ماسه‌ای، سیلتی و رسی (اقتباس از فردلاند و زینگ [۸])

در رابطه با بررسی تحلیلی منحنی مشخصه آب-خاک محققین مختلف پارامترهای زیادی را ارایه نموده‌اند که مهمترین آن همانطور که در صفحه بعد نیز آورده شده است مربوط به فردلاند و زینگ در سال ۱۹۹۴ [۸] می‌باشد.

⁷ Desorption curve

$$\theta = \theta_s \left[\frac{1}{\ln[e + (\psi/a)^n]} \right]^m \quad (۲-۱)$$

که در آن θ و θ_s به ترتیب بیانگر درصد حجمی آب در یک مکش دلخواه و حالت اشباع کامل بوده و ψ بیانگر مکش موجود در خاک است که می‌تواند مکش کل یا بافتی باشد. پارامترهای a ، m و n مربوط به مدل بوده و e بیانگر عدد نپرین می‌باشد. در همین رابطه شکل‌های ۱-۳ تا ۱-۵ تأثیر تغییر دادن سه پارامتر a ، n و m را بر روی شکل منحنی مشخصه آب-خاک نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۱-۳ می‌توان ملاحظه نمود که با ثابت بودن n و m پارامتر a به پارامتر مقدار ورود هوا نزدیک است. به طور کلی مقدار پارامتر a از مقدار پارامتر ورود هوا بیشتر بوده با این حال به ازای مقدار کوچک برای m می‌توان a را معادل پارامتر ورود هوا یا همان فشار حباب‌زایی فرض نمود.



شکل ۱-۳- منحنی مشخصه آب-خاک به ازای مقادیر متفاوت از a با توجه به معادله (۲-۱) (اقتباس از فردلانند و زینگ [۸])