

نظریه خمیری خاک

و الگوسازی

تألیف و تصنیف:

سیدامیرالدین صدرنژاد

استاددانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۱۳۹۰ شمسی



دانشگاه گیلان

شماره ۲۸۱

سرشناسه: صدر نژاد، امیرالدین، ۱۳۳۳ -

عنوان و نام پدیدآور: نظریه خمیری در خاک و الگوسازی/ تألیف و تصنیف امیرالدین صدرنژاد

مشخصات نشر: تهران: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۰.

مشخصات ظاهری: ۶۳۲ ص.: مصور، جدول، نمودار

شابک: 978-964-8703-95-5

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: کتابخانه: ص. ۶۲۰

یادداشت: نیمه.

موضوع: خاک - مکانیک

موضوع: تحلیل خمیری

موضوع: منحنی‌های تنش-کشی

موضوع: مقاومت مصالح

رده بندی کنگره: ۱۳۹۰ عن ۴ ص ۱۰ TA

رده بندی دیویی: ۶۲۴/۱۵۱۳۶

شماره کتابشناسی ملی: ۲۴۵۵۸۵۹

press.kntu.ac.ir



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: نظریه خمیری در خاک و الگوسازی

مؤلف: سید امیرالدین صدرنژاد

نوبت چاپ: سوم

ویراست: دوم

تاریخ انتشار: شهریور ۱۳۹۷

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

چاپ: پدیدرنگ

صخافی: گرنامی

بها: ۴۷۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - شماره ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (ع) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

در جهان امروز شاید بتوان شاخه های پیش تاز در علم و تکنولوژی را: علوم پایه و علم تکنولوژی مواد نام برد. شاخه اول به خاطر لزوم شناخت فیزیکی مواد و از طرف دیگر توسعه روابط ریاضی برای بیان خصوصیات فیزیکی و مادیاتی، حائز اهمیت فراوان می باشد. چه بسا با عدم شناخت از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی و یا عدم ارائه روابط ریاضی حاکم بر چگونگی این تغییرات، نتوان بر حقایق مستتر بر این نعمات الهی مواد پی برد، تا چه رسد به یافتن کاربردهای مناسب و آنچه که به حق و در قالب قسط بتواند در خدمت به زندگی بشر قرار گیرد. در باب مورد بیان شده ای می، یعنی علم و تکنولوژی مواد، مسأله متوجه آنچه در عالم هستی موجودیت دارد، می گردد. و در اساس شناخت حالت ها و ویژگیهای یافت شده مواد از یک طرف، و تلاش در جهت یافتن شاخص های مورد نیاز در کشفیات و کییات و محصولات جدید ممکن الوجود از سوی دیگر و در قالب ریاضی ریختن این شاخصها از بابت کتب و رابطه بیشتر بر آنها در جهت استفاده مناسب از آنها؛ از اهداف اساسی بشر امروز می باشد. دستیابی بر ساخت و ساخت توده های سخت و الیاف سرامیکی و پی بردن بر خصوصیات فیزیکی و رفتار مکانیکی آنها و نمونه هایی دیگر؛ از جمله مثال های شگفت انگیز این شاخه دانش و تکنولوژی است که هر روز بشر شاهد مورد تازه تر از استفاده مناسب مشتقات آن می گردد.

در اینجا لازم است در باب نقش روشهای عددی و اهمیت بارز آن در کمک و ایجاد امکان پیش بینی های شگفت انگیز این آثار یاد شود. چه بسا بدون کمک از این نعمت الهی، دستیابی به آثار تجمعی که ناشی از کیفیت ها و اثرات ظریف و کوچک ذره ها است، در حالی که روابط ریاضی پیچیده و متعددی بر هر یک از این شاخص ها حاکم است، با چنین سهولتی ممکن نباشد. البته جایگاه توضیح و تفسیر علم کاربردی روشهای عددی محل دیگری داشته و بحث اصلی در اینجا بیشتر متمرکز بر مقدمات قانون حاکم بر رفتار مواد می باشد. اگرچه رفتار مکانیکی مواد هنوز حاوی شگفتی ها و تاریکی های بسیاری در مقیاس ذره بینی تا درشت ترین اندازه ها است، اما تلاش های فراوانی تاکنون در جهت پیدا نمودن قانون مناسب چه در قالب رفتار ذره ها و چه در قالب مهندسی و درشت نگری صورت پذیرفته است. اگرچه قوانین حاصله هیچگاه و هیچکدام جامع و فراگیر نیستند، اما در برخی موارد مبتن اصول و توسعه پذیری بوده تا با تلفیق یا تفکیک و یا تعمیم و اصلاح آنها بتوان به قوانین مورد نیاز دست پیدا نمود.

در میان مواد، خاکها دارای رفتار پیچیده و متنوعی می‌باشند. تاکنون شاید بیشتر از ۴۰۰ الگوی ریاضی مختلف برای امکان پیش بینی رفتار این ماده ارائه شده است. اما با توجه به تنوع زیاد چه از بابت دانه بندی، جنس دانه ها، شرایط جوی، چگونگی اعمال تنش در آنها و بسیاری موارد دیگر، غالباً این الگوها به طور جامع و کامل قادر به ارائه کلیه خصوصیات ویژگیهای خاکها نبوده و یا این که استفاده از برخی از این الگوها به قدری دشوار و دور از امکان استفاده مهندسی است که کاربرد آنها را در صنعت منتفی می‌سازد.

در این مجموعه تلاش گردیده تا ضمن کند و کاش مختصر در باب ماهیت تنش و کرنش و روابط عمومی آنها؛ الگوهای معمول که اغلب الگوی دیگر بر پایه آنها استوار گردیده اند، جمع آوری شده تا شاید بتوان ذهنیت مناسبی از چه نوع خواص ساختار الگوها در اختیار خواننده قرار داد. این مجموعه به طور عام می‌تواند جوابگوی نیاز اولیه دانشجویان در دوره های کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا باشد.

میزان آشنایی مختصر بر ارکان اصلی حاکم بر رفتار مکانیکی مواد پیوسته و ایستایی آن، ابتدا کمیت‌های تعریف شده در قالب مهندسی مانند تنش و کرنش و رفتارهای هر دو آنها در قالب تعادل و همسازی به ترتیب در فصول اول و دوم بیان شده است. هدف از ارائه این اطلاعات یاد آوری خواننده بر اصول حاکم بر این دو کمیت اصلی است. در فصل سوم، با تنش و سنجش آن سعی ویژه ای صورت گرفته تا ارتباطی توجیه مآبانه بین فیزیک رفتار مکانیکی ماده و مفاهیم ریاضی و کرنش رفتار، همراه با بیان ویژگیهای فیزیکی و قالب های ریاضی جبر ماتریسی صورت پذیرفته و ذهن خواننده را برای درک بهتر این مفاهیم آماده سازد. با توجه به پیچیدگی نسبتاً بیشتر رفتار خاکها نسبت به سایر مواد، در فصل چهارم اثر برخی عوامل مؤثر مهم مانند مسیر تنش بر رفتار این ماده زمینی که شاید بیشترین توده را در بین اجسام موجود در عالم دارد، ارائه شده است. در این فصل مختصراً عوامل مؤثر در مقاومت خاک بیان شده تا آشنایی را با بابت در ذهن خواننده حاصل گردد. در فصل پنجم تلاش شده تا حد و مرزهایی که در رفتار مواد به طور خاص تاکنون شناسایی شده ارائه گردد. سطوح حالت حدی در اساس؛ حد و مرز شاخصی است که رفتار ماده به طور مؤثر را رسیدن به آن دچار تغییرات فاحش می‌شود. در فصل ششم تغییرات عوامل شناخته شده مؤثر بر رفتار ماده از ابتدای فعالیت رفتاری تا مرز گسیختگی معرفی و مورد بررسی قرار گرفته است. فصل هفتم حاوی شناخت بیشتر سطوح مرزی در رفتار ماده و معرفی آن در قالب های ریاضی است. با توجه به وجود کرنشهای کشسان و خمیری در اغلب مواد؛ در فصل هشتم ابتدا الگوهای پایه و فرضیات مربوط به آنها در تبیین رفتار کشسان-خمیری انجام گرفته و سپس نمونه هایی از الگوهای رفتاری با قدرت بیشتر معرفی شده است. هدف اصلی در این بخش؛ معرفی اطلاعات پایه و ارائه سر نخ هایی از امکان پذیری گسترش و توسعه فن الگو سازی در قالب یاد شده می‌باشد. کار آیی و قدرت پیش بینی برخی الگوهای قوی تر در این فصل بصورت رفتار خاکها در حالات زهکشی شده و نشده تحت بارهای یک گامه و متناوب به صحنه نمایش و مقایسه گذارده شده است. چهارچوب

چندصفحه ای بصورت پلی بین دو رویکرد ریز بینانه و درشت بینانه در رفتار مکانیکی مواد با ویژگیهای خاص و قدرتمند خود در فصل نهم مورد بحث و ارزیابی واقع شده است. برخی از الگوهای قدرتمند همراه با روابط ساختاریشان در قالب چندصفحه ای و نتایجی را که در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی پیش بینی نموده اند، در جهت معرفی توانمندی این الگوها و ویژگیهای چهار چوب چند صفحه ای ارائه گردیده است. در فصل دهم اثر زمان بر رفتار خاک مورد بررسی قرار گرفته و پدیده خزش و گرانروی های خاک معرفی و الگوهای پایه و برخی از الگوهای کشسان گرانو خمیری معرفی و پیش بینی هایشان ارائه گردیده است.

سید امیرالدین صدر نژاد

تهران - بهار ۱۳۹۰

www.ketab.ir

صفحه	عنوان
۶۴ تا ۱	فصل اول : تحلیل عمومی تنش
۱	۱-۱- مفهوم تنش
۳	۱-۲- انواع تنش
۶	۱-۳- مؤلفه های تنش و حالت تعادل
۹	۱-۴- تنش روی یک صفحه مایل
۱۰	۱-۵- کسینوس های هادی
۱۴	۱-۶- برآیند تنش روی یک صفحه مایل
۱۶	۱-۷- تنش برشی یک راستای معین
۱۷	۱-۸- راستای تنش برشی روی صفحه مایل با کسینوسهای هادی (l, m, n)
۱۹	۱-۹- فراسنج های تنش عمود و برشی روی یک صفحه مایل
۲۰	۱-۱۰- انتقال دستگاه مختصات
۲۱	۱-۱۱- حالت تنش صفحه ای
۲۳	۱-۱۲- صفحات و تنشهای اصلی در تنش سه بعدی
۲۶	۱-۱۳- راستای تنشهای اصلی
۲۸	۱-۱۴- مقادیر تنشهای اصلی بر حسب فراسنج های عمومی تنش
۲۹	۱-۱۵- مستقل ها یا نامتغیرهای تنش
۳۰	۱-۱۶- تنشهای تفاضلی
۳۵	۱-۱۷- تنش برشی حداکثر در حالت سه بعدی
۳۸	۱-۱۸- صفحات تنش برشی حداکثر (مقادیر ایستا)
۳۹	۱-۱۹- تنشهای عمود بر سطح روی صفحات حامل تنشهای برشی ایستا
۴۰	۱-۲۰- تنش برشی هشت وجهی
۴۴	۱-۲۱- جهت تنش برشی روی صفحه هشت وجهی
۴۵	۱-۲۲- تعادل حدی شکست

۴۷	۲۳-۱- علائم تانسوری و تانسورتنش
۴۷	۲۳-۱-۱- کمیت‌های فیزیکی
۴۸	۲۳-۱-۲- انتقال دستگاه مختصات
۴۹	۲۳-۱-۳- تعاریف علائم تانسوری
۵۵	۲۳-۱-۴- نماد چرخشی (Permutation Symbol)
۵۵	۲۳-۱-۵- تانسور همسان
۵۶	۲۳-۱-۶- بردارها
۵۷	۲۳-۱-۷- کمیت‌های عددی (Scalar)
۵۷	۲۳-۱-۸- تانسورهای درجه دوم
۵۸	۲۳-۱-۹- تانسور تنش
۵۹	۲۳-۱-۱۰- سست‌های تانسورتنش
۶۰	۲۳-۱-۱۱- معادلات مادری
۶۱	۲۳-۱-۱۲- تنش‌های تعادل
۶۱	۲۳-۱-۱۳- تنش‌های اصلی

۶۵ تا ۹۸

فصل دوم: کرنش و تغییر مکان

۶۵	۲-۱- مفهوم کرنش
۶۷	۲-۲- کرنش‌های بزرگ
۶۸	۲-۳- کرنش‌های همگن محدود
۶۹	۲-۳-۱- کرنش‌های محوری (کرنش‌های در امتداد قائم بر یک سطح)
۷۱	۲-۳-۲- کرنش برشی
۷۳	۲-۳-۳- تعیین کرنش در هر جهت
۷۴	۲-۳-۴- کرنش زاویه‌ای بین هر دو خط در جزء
۷۵	۲-۴- معرفی کرنش‌های مهندسی
۷۸	۲-۴-۱- کرنش‌های بیضوی و کرنش سهمی درجه ۲

۷۹	۲-۴-۲- انتقال مؤلفه های کرنش به دستگاه مختصات ξ, η, ζ
۸۲	۲-۵- چرخش جزء
۸۴	۲-۵- اتساع حجم
۸۵	۲-۶- روابط سازگاری (همسازی)
۸۷	۲-۷- کرنش های اصلی
۹۲	۲-۸- مستقل های کرنش
۶۱	۲-۹- تنشهای اختلاف یا تفاضلی و صفحه هشت وجهی
۹۳	۲-۱۰- رابط بین تنش و کرنش کشسان
۱۵۲ تا ۹۹	فصل سوم: رفتار مکانیکی مصالح از دیدگاه مهندسی
۹۹	۳-۱- رابطه تنش و کرنش
۱۰۲	۳-۲- ارتباط بین تنش و کرنش کشسان
۱۰۲	۳-۳- روابط ساختاری
۱۰۷	۳-۴- بررسی تغییر شکل و برخی ویژگی های فیزیکی در رفتار مواد
۱۱۷	۳-۵- مکانیزم تغییر شکل از رویکرد ساختار داخلی ماده
۱۱۹	۳-۶- ساختمان داخلی ماده
۱۱۹	۳-۶-۱- ساختمان ذره بینی
۱۲۴	۳-۶-۲- ساختمان درشت بینی
۱۲۷	۳-۷- تنشها و کرنشهای کوچک
۱۲۸	۳-۸- ناهمسانی در رفتار مکانیکی در برخی حالات خاص
۱۲۸	۳-۸-۱- مواد بایک صفحه تقارن
۱۲۸	۳-۸-۲- مواد با سه صفحه تقارن متعامد در مواد ارتوتروپیک
۱۳۱	۳-۹- رفتار ارتجاعی ماده ناهمسان و ارتباط فراسنجه
۱۳۲	۳-۹-۱- مواد با همسانی جانبی یا رفتار با تقارن محوری
۱۳۲	۳-۹-۲- ناهمسانی استوانه ای

- ۱۳۴ ۳-۱۰- انرژي بر حسب تنش و کرنش
 ۱۴۰ ۳-۱۱- روابط تنش کرنش در ترموالاستیسیته
 ۱۴۱ ۳-۱۲- اصل جمع آثار
 ۱۴۳ ۳-۱۴- برخی از الگوهای کشسان غیر خطی
 ۱۴۵ ۳-۱۵- الگوهای رفتاری کشسان غیر خطی

۲۲۲ تا ۱۵۳

فصل چهارم: آثار مسیر تنش بر مقاومت خاکها

- ۱۵۳ ۴-۱- فریک تنش مؤثر
 ۱۵۴ ۴-۱-۱- فراسنج های ثابت کشسان در خاک اشباع
 ۱۵۷ ۴-۳- معیار شکست موهبر کولمب
 ۱۵۹ ۴-۴- آزمایش برش مستقیم
 ۱۶۳ ۴-۵- آزمایش برش سه محوری
 ۱۶۳ ۴-۵-۱- آزمایش برش ساده بر روی نمونه استوانه شکل
 ۱۶۵ ۴-۵-۲- آزمایش برش ساده بر روی نمونه مکعبی شکل
 ۱۶۶ ۴-۶- آزمایش سه محوری
 ۱۶۹ ۳-۶-۱- انواع آزمایش سه محوری
 ۱۷۱ ۴-۷- مسیر تنش
 ۱۷۶ ۴-۸- آزمایش سه محوری و مسیر تنش
 ۱۷۶ ۴-۸-۱- شرایط زهکشی شده
 ۱۷۶ ۴-۸-۲- شرایط زهکشی نشده و خاک تحکیم عادی یافته
 ۱۷۷ ۴-۸-۳- شرایط زهکشی نشده و خاک بیش تحکیم یافته
 ۱۷۸ ۴-۸-۴- حالت عمومی آزمایش سه محوری
 ۱۸۰ ۴-۹- آزمایش فشار همسان
 ۱۸۲ ۴-۱۰- آزمایش تحکیم یک بعدی در فضای $v: Lnp'$
 ۱۸۷ ۴-۱۱- رفتار خاک رس تحکیم عادی یافته

۱۸۷	۴-۱۱-۱- شرایط زهکشی شده
۱۸۹	۴-۱۱-۲- شرایط زهکشی نشده
۱۹۱	۴-۱۲- رفتار خاک رس بیش تحکیم یافته
۱۹۱	۴-۱۲-۱- شرایط زهکشی شده
۱۹۳	۴-۱۲-۲- شرایط زهکشی نشده
۱۹۶	۴-۱۳- مقاومت برشی خاک چسبنده در شرایط زهکشی نشده
۱۹۶	۴-۱۳-۱- آزمایش برش پره
۱۹۹	۴-۱۳-۲- مقاومت برشی خاک رس ناهمسان
۲۰۲	۴-۱۴- آزمایش سیلندر توخالی و چرخش محوره‌های اصلی تنش
۲۰۸	۴-۱۵- رفتار خاک نیمه اشباع
۲۱۴	۴-۱۶- روانگرایی

۲۶۲ تا ۲۲۳

فصل پنجم: سطح حالت حدی

۲۲۳	۵-۱- رفتار نمونه های تحکیم یافته
	۵-۱-۱- آزمایش های زهکشی نشده بر روی نمونه های
۲۲۳	تحکیم عادی یافته
	۵-۱-۲- آزمایش های زهکشی شده بر روی نمونه ها-
۲۲۶	تحکیم عادی یافته
۲۳۰	۵-۲- خط حالت بحرانی
۲۳۴	۵-۳- صفحات زهکشی نشده و زهکشی شده
۲۳۷	۵-۴- سطح راسکو
۲۴۱	۵-۵- سطح هورسلو
۲۵۰	۵-۶- سطح حالت حدی کامل
۲۵۷	۵-۷- تغییر حجم و تغییر فشار آب منفذی
۲۵۷	۵-۷-۱- شرایط زهکشی نشده

۲۶۰	۵-۷-۲- شرایط زهکشی شده
۲۷۶ تا ۲۶۳	فصل ششم: رفتار خاک پیش از گسیختگی
۲۶۳	۶-۱- تغییر شکل های کشسان و خمیری
۲۶۴	۶-۲- دیواره کشسان
۲۶۸	۶-۳- تعیین کرنش های کشسان در خاک
	۶-۴- تعیین کرنش های کشسان در خاک زهکشی نشده بر
۲۷۳	حساب تنش های کل
۲۹۴ تا ۲۷۷	فصل هفتم: سطح آرمیم با حالت حدی
۲۷۷	۷-۱- معیار گسیختگی موهر کولمب
۲۸۳	۷-۲- حالات عمومی
۴۴۶ تا ۲۹۵	فصل هشتم: الگوهای خمیری
۲۹۵	۸-۱- مصالح کشسان- خمیری
۲۹۶	۸-۲- نظریه خمیری
۲۹۶	۸-۲-۱- شرایط تسلیم ماده
۲۹۸	۸-۲-۲- قانون جریان (سیلان) خمیری
۳۰۲	۸-۳- معادلات عمومی کشسان- خمیری
۳۰۳	۸-۳-۱- معادلات عمومی کشسان- خمیری در حالت کنترل تنش
۳۰۶	۸-۳-۲- معادلات عمومی کشسان- خمیری در حالت کنترل کرنش
۳۱۱	۸-۴- معیارهای تسلیم ساده
۳۱۲	۸-۴-۱- معیار تسلیم ترسکا
۳۱۲	۸-۴-۲- معیار تسلیم ون میسز
۳۱۴	۸-۴-۳- معیار تسلیم موهر کولمب

۳۱۶	۸-۴-۴- معیار تسلیم دراکر پراگر
۳۲۲	۸-۵- الگوی موهر کولمب
۳۳۰	۸-۶- الگوی کم کلی
۳۳۸	۸-۷- الگوی اصلاح شده کم کلی
۳۵۱	۸-۸- الگوی حالت بحرانی
۳۵۶	۸-۹- الگوی حالت بحرانی با فراسنج های $p-q-\theta$
۳۶۰	۸-۱۰- الگوهای کشسان- خمیری باکلاهدک
۳۶۵	۸-۱۱- الگوی یاسوفوکو
۳۶۵	۸-۱۱-۱- معیار تسلیم یاسوفوکو
۳۶۵	۸-۱۱-۲- تابع پتانسیل، خمیری
۳۶۶	۸-۱۱-۳- محاسبه تدریس کشسان خمیری
۳۶۹	۸-۱۲-۴- محاسبه متعین رمی کل
۳۷۰	۸-۱۱-۵- قانون سخت شردنگ
۳۷۲	۸-۱۲- الگوی کشسان- خمیری با سطح بارگذاری (آشیا نه ای)
۳۷۳	۸-۱۲-۱- معادلات ساختاری الگو
۳۸۱	۸-۱۲-۲- معرفی توابع مربوط به مصالح خسی
۳۸۵	۸-۱۲-۳- معرفی ثابت ها یا فراسنج های رفتاری مصالح
۳۸۶	۸-۱۲-۴- ارزیابی و صحت سنجی
۳۸۶	۸-۱۲-۴-۱- حالت زهکشی شده
۳۹۰	۸-۱۲-۴-۲- حالت زهکشی نشده
۳۹۳	۸-۱۳- الگوی کشسان- خمیری پاستور و زینکویچ
۴۰۲	۸-۱۳-۱- صحت سنجی الگو
۴۰۷	۸-۱۴- الگو کشسان خمیری سطح مرزی حالت بحرانی
۴۰۸	۸-۱۴-۱- نظریه حاکم در الگو برای خاک

- ۴۱۱ ۲-۱۴-۸ بردارهای کرنش و تنش و ثابت‌های رفتاری
- ۴۱۳ ۳-۱۴-۸ نمو خمیری در سطح محدود شده
- ۴-۱۴-۸ خط حالت بحرانی، خط عادی تحکیم یافته (ظاهری) و خط
- ۴۲۲ بازگشتی (واکنش)
- ۴۲۵ ۵-۱۴-۸ سطح بارگذاری
- ۴۳۰ ۶-۱۴-۸ راستای نرخ کرنش خمیری
- ۴۳۳ ۷-۱۴-۸ سربخیز خمیری اضافی و محدود شده
- ۴۳۵ ۸-۱۴-۸ نحوه استخراج فراسنجهای الگو
- ۴۳۶ ۹-۱۴-۸ نتایج آزمایشگاهی

۵۲۴ تا ۴۴۷

فصل نهم: نظریه چندصفحه‌ای

- ۴۴۷ ۱-۹ معرفی
- ۴۴۸ ۲-۹ مبانی نظریه چند صفحه‌ای
- ۴۴۹ ۱-۲-۹ تاریخچه نظریه چند صفحه‌ای
- ۴۵۰ ۲-۲-۹ مفهوم عددی نظریه حاکم بر نظریه چند صفحه‌ای
- ۴۵۶ ۳-۹ الگوی کشسان-خمیری با قانون سخت‌شدگی همسان
- ۴۵۸ ۱-۳-۹ قانون سخت‌شدگی
- ۴۵۹ ۲-۳-۹ قانون جریان و شرط سازگاری
- ۴۶۱ ۳-۳-۹ بارگذاری-باربرداری و بارگذاری مجدد و حلقه انرژی پدیده
- ۴۶۱ ۱-۳-۳-۹ اولین بارگذاری
- ۴۶۳ ۲-۳-۳-۹ باربرداری
- ۴۶۴ ۳-۳-۳-۹ بارگذاری مجدد
- ۴۶۶ ۴-۳-۹ مقایسه پیش‌بینی الگوی چند صفحه‌ای با نتایج آزمایشگاهی
- ۴۷۲ ۵-۳-۹ مزایای و معایب الگوی ارائه شده
- ۶-۳-۹ روابط حاکم برای توسعه الگو و تغییرالگو جهت پیش‌بینی رفتار

- در حالت زهکشی نشده ۴۷۴
- ۷-۳-۹- جمع ماتریس رفتار صفحات در قالب نظریه چند صفحه ای ۴۷۷
- ۱-۷-۳-۹- بررسی تأثیر فراسنج های الگو ۴۸۷
- ۱۵-۹- کاربرد الگوی چند خطی در چهارچوب چند صفحه ای ۴۹۵
- ۱-۱۵-۹- تطبیق و تعیین فراسنجه (کالیبراسیون) ۵۰۶
- ۱-۹- الگوی رفتاری کشسان- خمیری پاستور- زینکویچ در چهارچوب ۵۰۹
- ۵۰۹- صفحه ای

فصل دهم: پدیده تنش و گراهای گرانرو ۵۲۵ تا ۵۸۸

- ۱-۱-۱- آشنایی رفتار در زمان مصالح ۵۲۵
- ۱-۱-۱- پدیده خزش ۵۲۵
- ۱-۱-۲- آزمایش خزش در حالت ۵۲۶
- ۲-۱-۱- الگوهای رفتاری تابع زمان مصالح ۵۲۹
- ۱-۲-۱- الگوهای رفتاری ساده مصالح ۵۳۰
- ۲-۲-۱- الگو رفتاری کشسان- خمیری کامل ۵۳۲
- ۳-۲-۱- الگو رفتاری کشسان- خمیری ۵۳۴
- ۴-۲-۱- الگوهای گرانرو کشسان ۵۳۵
- ۵-۲-۱- الگو کشسان- گرانرو خمیری ۵۴۹
- ۳-۱-۱- نظریه رفتار کشسان- گرانرو خمیری مصالح در حالت یک بعدی ۵۵۰
- ۴-۱-۱- تعمیم نظریه رفتار کشسان- گرانرو خمیری مصالح در حالت دو بعدی ۵۵۱
- ۵-۱-۱- فرآیند حل عددی معادلات حاکم بر رفتار کشسان- گرانرو خمیری ۵۵۱
- ۵۶۰- در حالت دو یا سه بعدی
- ۱-۵-۱- نمو کرنش گرانرو خمیری ۵۶۰
- ۲-۵-۱- تعیین ماتریس H ۵۶۲
- ۳-۵-۱- نمو تنش ۵۶۵

۵۶۶	۱۰-۵-۴- معادلات تعادل
۵۶۸	۱۰-۵-۵- اصلاح معادلات تعادل
۵۶۹	۱۰-۵-۶- انتخاب طول گام زمانی
۵۷۱	۱۰-۵-۷- مراحل محاسبه
۵۷۴	۱۰-۶- الگوی کشسان- گراندرو خمیری پاستور و زینکویچ

۵۸۹	فهرست علائم و اختصارات
۶۰۲	واژه نامه
۶۱۳	واژه یاب
۶۲۰	فهرست مراجع