بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد عمران – مکانیک خاک و پی

ارزیابی پارامترهای معیار هوک- براون در توده سنگها با روشهای تحلیلی و هوشمند

استاد راهنما:

دکتر محمد حسین باقری‌پور

مؤلف:

روح الله حکیمی پور

شهریورماه ۱۳۸۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود

دانشجو: روح الله حکیمی پور

استاد راهنما: جناب آقای دکتر محمد حسین باقری پور

داور ۱: جناب آقای دکتر سید مرتضی مرندی

داور ۲: جناب آقای دکتر غلامرضا پور ابراهیم

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: جناب آقای مهندس یاسر نوروززاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است

تقدیم به:

پدر مرحومم

برادر شهیدم

مادر فداکارم

همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ و مهربان را به خاطر الطاف بی پایانش سپاسگذارم . از مادر فداکار و همسر مهربانم ،که در همه سختیها و دشواریهای دوران تحصیل، از حمایت و تشویق ایشان بهره مند بوده و هستم، سپاسگذاری و قدردانی می نمایم. بر خود واجب می دانم از زحمات و راهنماییهای با ارزش استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد حسین باقری پور که در انجام این تحقیق به عنوان استاد راهنما روشنگر راهم بوده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از آقای مهندس نوروز زاده که در طی انجام این تحقیق راهنماییهای فراوانی انجام دادند صمیمانه سپاسگذاری و تشکر می نمایم. در پایان از تمامی اساتید و کارکنان بخش مهندسی عمران قدردانی می نمایم.

چکیده :

برآورد مقاومت فشاری سنگها توسط معیارهای مختلفی انجام می‌شود. از متداولترین معیارهای مورد استفاده محققین برای برآورد مقاومت فشاری سنگها معیار Hoek-Brown است. این معیار بیشتر برای مقاومت فشاری سنگهای همسانگرد مورد استفاده قرار گرفته است، اما در سنگهای ناهمسانگرد کمتر استفاده شده است. در این تحقیق یکی از پارامترهای این معیار برای سنگهای ناهمسانگرد مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از نتایج آزمایشهای سه محوری که دیگر محققین روی ۱۵ نوع سنگ مختلف ناهمسانگرد در فشارهای محدود کننده متفاوت و با زوایای مختلف ناهمسانگردی انجام داده‌اند، استفاده شده است تا پارامتر مورد نظر در زوایای مختلف ناهمسانگردی برای هر نوع سنگ بطور جداگانه با انجام رگرسیون غیر خطی به‌دست آید. سپس یک معادله برای این منظور ارائه شده است.

از طرف دیگر با استفاده از برنامه نویسی وراثتی (Genetic Programming) براساس مشخصات سنگ نظیر شاخص ناهمسانگردی،زاویه ناهمسانگردی و مقاومت فشاری تک محوری، یک فرمول تقریب زده می‌شود به طوریکه ورودیهای این فرمول مشخصات سنگ هستند و خروجی آن مقدار تقریب زده شده برای پارامتر مورد نظر در معیار Hoek-Brown.

در این پژوهش از شبکه عصبی نیز برای برآورد پارامتر فوق الذکر استفاده شده است. در اینجا مشخصات سنگ به عنوان ورودی شبکه عصبی و پارامتر موردنظر به عنوان خروجی شبکه عصبی درنظر گرفته شده‌اند. پس از آموزش شبکه عصبی، با دادن مشخصات یک سنگ دلخواه می‌توان این پارامتر را به‌دست آورد.

کلمات کلیدی: معیار Hoek-Brown، سنگهای ناهمسانگرد، سنگهای همسانگرد، شاخص ناهمسانگردی

فهرست

فصل اول

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ اهداف پایان نامه ۳

۱-۳ ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم

۲-۱-مقدمـه ۷

۲-۲-روشهای طراحی تجربی ۱۲

۲-۳-انواع سیستمهای طبقه بندی سنگها ۱۳

۲-۳-۱- اهداف طبقه بندی سنگ ۱٤

۲-۳-۲- طبقه بندی سنگ سالم ۱٤

۲-۳-۳- طبقه بندی بار سنگ ترزاقی ۱۵

۲-۳-۳-۱- تئوری اصلاح شده ترزاقی ۱۶

۲-۳-۴- طبقه بندی *Luffer-Pacher* ۱۶

۲-۳-۵- طبقه بندی *Deere* ۱۶

۲-۳-۶- طبقه بندی *RSR* ۱۹

۲-۳-۷- طبقه بندی *RMR* ۲۱

۲-۳-۸- طبقه بندی *Q* ۲۵

۲-۳-۹- نکاتی در مورد طبقه بندی ۳۰

۲-۴- خلاصه و جمع بندی ۳۱

فصل سوم

۳-۱- مقدمه ۳۳

۳-۲- معیار های شکست تئوریک ۳۵

۳-۲-۱- معیار *Jaeger & Cook* ۳۵

۳-۲-۱-۱- اثبات معیار *Jaeger & Cook* ۳۸

۳-۲-۲-معیار شکست موهر – کولمب ۳۹

۳-۲-۳- معیار شکست موهر ۴۱

۳-۳- معیار های تجربی برای سنگ سالم ۴۲

۳-۳-۱- معیارشکست *Hoek - Brown* برای سنگ سالم ۴۷

۳-۳-۱-۱- معیار شکست اصلاح شده *Hoek-Brown* برای سنگ سالم ۴۸

۳-۳-۱-۲- معیار تعمیم یافته *Hoek – Brown* ۵۱

۳-۳-۱-۳- ویرایش۲۰۰۲ معیار *Hoek-Brown* ۵۳

۳-۳-۳-معیار *Bieniwaski* برای سنگ سالم ۵۵

۳-۳-۴- معیار *Ramamurthy* برای سنگ سالم ۵۷

۳-۳-۵-معیار *Johnston* برای سنگ سالم ۵۷

۳-۳-۶- معیار *Sheorey* ۵۹

۳-۴-معیارهای گسیختگی برای توده سنگ ۵۹

۳-۴-۱-معیارهوک – براون برای توده سنگ ۵۹

۳-۴-۱-۱- اصلاح معیار *Hoek – Brown* ۶۰

۳-۴-۳-معیار *Johnston* برای توده سنگ ۶۱

۳-۴-۴- معیار *Sheorey* برای توده سنگ ۶۱

۳-۵- گسیختگی سنگهای نا همسانگرد ۶۴

۳-۵-۱- معیار *Ramamurthy & Aroa* برای سنگ درزه‌دار ۶۵

۳-۵-۱-۱-پارامتر J_n ۶۹

۳-۵-۱-۲-پارامتر n ۷۰

۳-۵-۱-۳-پارامتر r ۷۱

۳-۵-۲- معیار *Bagheripour - Mostyn* برای سنگ درزه دار ۷۱

۳-۵-۲-۱-تابع کاهشی A و استفاده از معیار *Hoek-Brown* برای سنگهای ناهمسانگرد ۷۵

۳-۵-۲-۲- تابع کاهشی A و معیار *Johnston* ۷۶

۳-۶- خلاصه وجمع بندی ۷۷

فصل چهارم

٤-۱- مقدمه ۷۹

۴-۲-کاربردها ۸۰

۴-۲-۱- تشخیص توابع سمبلیک (*symbolic function identification*) ۸۰

۴-۲-۲- *Symbolic regression* ۸۱

۴-۳- روش حل مسئله توسط *GP* ۸۱

۴-۳-۱ روش نمایش ۸۱

۴-۳-۲ مجموعه توابع و مجموعه ترمینالها ۸۲

۴-۳-۳ تابع برازندگی ۸۴

۴-۳-۴ عملگر ترکیب (*Crossover*) ۸۵

۴-۳-۵ عملگر جهش *(Mutation)* ۸۷

۴-۳-۶- نحوه خاتمه الگوریتم ۸۹

۴-۴- نتیجه‌گیری ۹۰

فصل پنجم

۵-۱- مقدمه ۹۲

۵-۲- تاریخچه شبکه‌های عصبی ۹۶

۵-۳- کاربردهای شبکهٔ عصبی ۹۹

۵-۴- انواع ساختار شبکه‌های عصبی ۹۹

۵-۴-۱- مدل مهندسی نورون ۱۰۰

۵-۴-۲ توابع انتقال ۱۰۲

۵-۴-۲-۱-تابع *Identity* ۱۰۲

۵-۴-۲-۲-تابع *Sign* ۱۰۳

۵-۴-۲-۳-تابع *Hyperbolic Tangent* ۱۰۳

۵-۴-۲-۴-تابع *Sigmoid*(*Logistic*) ۱۰۴

۵-۴-۲-۵-تابع *Sigmoid* متقارن ۱۰۶

۵-۴-۳- ساختار شبکه‌های عصبی ۱۰۷

۵-۵- آموزش در شبکه‌های عصبی ۱۰۹

۵-۵-۱ - روش یادگیری پس انتشار خطا ۱۱۱

۵-۵-۲- مشکلات شبکه‌های عصبی ۱۱۶

۵-۶- خلاصه و جمع بندی ۱۱۸

فصل ششم

۶-۱- مقدمه ۱۲۰

۶-۲- معیار گسیختگی *Hoek-Brown* ۱۲۲

۶-۳-پیدا کردن مقادیر عددی پارامتر S وارائه رابطه بین پارامتر S و شاخص ناهمسانگردی ۱۲۵

۶-۴- اعتبار سنجی رابطه پیشنهادی ۱۳۶

۶-۵- نتیجه گیری ۱۳۷

فصل هفتم

۷-۱-مقدمه ۱۳۹

۷-۲- استفاده از برنامه نویسی وراثتی برای تخمین پارامتر S در معیار *Hoek-Brown* ۱۳۹

۷-۳- استفاده از شبکه عصبی برای تخمین پارامتر S در معیار *Hoek-Brown* ۱۴۸

۷-۴- نتیجه گیری ۱۶۶

فصل هشتم

۸-۱- نتایج ۱۶۹

۸-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۱۶۹

منابع و مراجع ۱۷۱

فصل اول

مقدمه و اهداف تحقیق

۱-۱ مقدمه

یکی از مباحثی که در قرون اخیر وارد علوم مهندسی شده است مکانیک سنگ می‌باشد که به بررسی رفتار سنگ در شرایط مختلف می‌پردازد. این علم شاخه ای از مکانیک است که سر و کارش با واکنش سنگها در مقابل میادین نیروی (طبیعی یا اعمال شده توسط انسان) محیط فیزیکیشان می‌باشد. برای مهندسین معدن و عمران، مکانیک سنگ روش دیگری برای حل کردن مسائل مربوط به سنگ است. مکانیک سنگ در امر احداث تونل، سد، راه آهن زیرزمینی، نیروگاههای زیر زمینی، معادن زیر زمینی، حفره های ذخیره نفت، تامین آب، زهکشی، دفن زباله های هسته‌ای، معادن زیر زمینی، سینه کارها، معادن روباز، برشهای عمیق برای آبریز وغیره در سنگ به کمک مهندسین می‌آید. در طبیعت سنگها به صورت همسانگرد یا ناهمسانگرد وجود دارند.

سنگهای ناهمسانگرد یا غیر ایزوتروپیک سنگهایی هستند که مقاومت آنها در راستاهای مختلف نسبت به محور تنش‌ها متفاوت بوده لذا برآورد مقاومت فشاری این‌گونه سنگها به سادگی سنگهای سالم و یا توده های همسانگرد نمی‌باشد. ناهمسانگردی بعلت وجود یک دسته درزه یا ترک در سنگ که بنا به فرض موازی باشند یا بعلت ساختار و تاریخچه فرآیند لایه‌بندی در سنگ بوجود می‌آید. از نوع دوم می‌توان شیلها، شیستها، فیلیتها که در گروه سنگهای دگرگونی قرار می‌گیرند یا سنگهای رسوبی مثل مادستونها،کلی‌ستونها وسیلتستونها را نام برد. برآورد مقاومت فشاری سنگها توسط معیارهای مختلفی انجام می‌شود. از متداولترین معیارهای مورد استفاده محققین برای برآورد مقاومت فشاری سنگها معیار هوک-براون است. این معیار بیشتر برای مقاومت فشاری سنگهای همسانگرد مورد

استفاده قرار گرفته است، اما در سنگهای ناهمسانگرد کمتر استفاده شده است. از خصوصیات مهم این معیار دارا بودن پارامترهای S و m می‌باشد. که این پارامترها به عوامل مختلفی بستگی دارند. محققین مختلف برای برآورد این پارامترها در سنگهای همسانگرد روشهای مختلفی را پیشنهاد کرده اند اما بدلیل پیچیدگی رفتار سنگها هیچکدام از این روشها قابل کاربرد برای همه سنگها نیستند.

در سالهای اخیر روشهای جدیدی گسترش وتکامل یافته اند که از بین آنها می توان به الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی، برنامه نویسی وراثتی، منطق فازی اشاره کرد که از آنها برای شبیه سازی نتایج آزمایشگاهی، بهینه سازی نتایج مورد نظر، برآورد پارامترهای مهم استفاده می‌شود. در این پایان نامه از شبکه عصبی مصنوعی و برنامه نویسی وراثتی *GP* (*Genetic programming*) جهت برآورد پارامتر S استفاده شده است.

۱-۲ اهداف پایان نامه

یکی از معیارهای مهم در مکانیک سنگ معیار شکست هوک-براون می‌باشد که به علت سادگی و دقت قابل قبول آن بیشتر مورد توجه مهندسین مکانیک سنگ قرار گرفته است. همانطور که اشاره شد از خصوصیات این معیار دارا بودن پارامترهای S و m می‌باشد این معیار بیشتر برای مقاومت فشاری سنگهای همسانگرد مورد استفاده قرار گرفته است، اما در سنگهای ناهمسانگرد کمتر استفاده شده است. درزه های غالب یا ساختار لایه بندی سنگ باعث تولید خاصیت ناهمسانگردی در سنگ می-گردند. منظور ار درزه های غالب عبارتست از دسته درزه های موازی که با زاویه مشخصی در سنگ

وجود دارند. زاویه بین راستای درزه با راستای اعمال تنش اصلی حداکثر، زاویه ناهمسانگردی نامیده می‌شود.

با توجه به اینکه معیار هوک-براون از معیارهای مهم در مکانیک سنگ است. که در سنگهای ناهمسانگرد کمتر مورد استفاده قرار گرفته است در این تحقیق سعی شده است تا پارامتر S این معیار برای سنگهای ناهمسانگرد مورد بررسی و تجزیه وتحلیل قرار گیرد و در نهایت این پارامتر برای تمام سنگها در تمام زوایای ناهمسانگردی تخمین زده شود.

در این پایان نامه با استفاده از نتایج آزمایشهای سه محوری سایر محققین بر روی بعضی سنگها و با استفاده از نرم‌افزار قوی *(Matlab)* و همچنین انجام عمل رگرسیون غیرخطی، مقادیر S برای زوایای مختلف صفحات ناهمسانگردی نسبت به راستای تنش اصلی حداکثر (β) بدست آمده است. سپس و با بررسی خصوصیات سنگهای مورد مطالعه معادله ای برای نحوه ارتباط این پارامتر با شاخص ناهمسانگردی به کمک نرم افزار مطلب ارائه شده است.

سپس با استفاده از GP (*Genetic Programming*) معادله ای برای پارامتر S به دست آمده است که با استفاده از خصوصیات سنگ نظیر شاخص ناهمسانگردی،زاویه درزه (ناهمسانگردی) و مقاومت فشاری تک محوری معادله ای جهت برآورد این پارامتر ارائه می کند.

در ادامه با توجه به توانایی شبکه عصبی در حل مسائل غیر خطی، از شبکه عصبی برای تقریب زدن مقدار S استفاده شده است تا بتوان پارامتر S را برای سنگهای ناهمسانگرد با استفاده از مشخصات مختلف سنگ نظیر شاخص ناهمسانگردی،زاویه درزه (ناهمسانگردی) و مقاومت فشاری تک محوری، برآورد کرد. برای آموزش شبکه عصبی، داده‌های آموزشی شامل شاخص ناهمسانگردی،

زاویه درزه و مقاومت فشاری تک محوری (به‌عنوان ورودی) و پارامتر S (به‌عنوان خروجی) به شبکه عصبی داده شده است. سپس در مرحله آزمایش شبکه عصبی با دادن ورودیهای آزمایشی (شاخص ناهمسانگردی، زاویه درزه و مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر)، مقدار S توسط شبکه عصبی تقریب زده می‌شود. مقایسه مقادیر S تقریب زده شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با مقادیر S نشان می‌دهد روش مورد استفاده دارای دقت مناسبی است و می‌توان پارامتر S را برای هر زاویه دلخواه برآورد کرد. علاوه بر این، در مقایسه با دیگر روشهای موجود، این روش نیاز به محاسبات کمتری دارد.

۱-۳ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در هشت فصل تنظیم شده است: فصل اول، فصل حاضر می‌باشد که مقدمه، اهداف پایان نامه و ساختار پایان نامه را معرفی می‌کند. در فصل دوم در مورد طبقه بندی سنگها بحث شده است. معیارهای گسیختگی تئوریک وتجربی که محققین مختلف تا کنون ارائه نموده اند در فصل سوم آورده شده‌اند. در فصل چهارم به معرفی و نحوه عملکرد برنامه نویسی وراثتی GP پرداخته شده است. فصل پنجم به بررسی شبکه عصبی و عملکرد آن پرداخته است. در فصل ششم معادله جدید جهت نحوه ارتباط پارامتر S با شاخص ناهمسانگردی ارائه شده است. در فصل هفتم روش جدید برآورد پارامتر S با استفاده از GP همچنین شبکه عصبی مصنوعی آمده است و فصل هشتم به نتیجه گیری و پیشنهادات اختصاص دارد.

فصل دوم

طبقه بندی سنگها

۲-۱- مقدمه:

با توجه به اینکه در بعضی از معیارهای شکست سنگها از پارامترهای طبقه‌بندی استفاده شده است، لذا ضروری به‌نظر می‌رسد قبل از پرداختن به معیارهای شکست، روشهای متداول طبقه بندی سنگها مورد بررسی قرار گیرد. در معیارهای گسیختگی سنگها اگر تعداد درزه ها زیاد باشد و یا درزه ها نزدیک به هم و جهت آنها نیز اتفاقی باشد باعث بروز رفتار همسانگرد در سنگ می‌شود. گاهی اوقات، زمانی که یک صفحه منفرد و یا یک دسته از صفحات ضعیف موجود در سنگ نسبت به موقعیت طراحی یک فضای زیر زمینی طوری قرار گیرند که در خصوصیات آن تأثیر گذار باشند، این موضوع قابل توجه است. بنابراین پایداری فضای زیرزمینی ایجاد شده بستگی به جهت صفحات ضعیف موجود در سنگ نسبت به جهت تنش های اصلی ایجاد شده دارد که این موضوع در بحث طبقه بندی سنگ های مشخص می شود *[55]*.

به هر حال هدف و اساس تمام تقسیم بندی های انجام شده بر روی سنگ ها، شناخت بهتر و بیشتر ویژگی های مکانیکی سنگ ها و بخصوص به کارگیری آنها در پروژه های مهندسی و عمرانی می باشد. بنابراین، گاهی فقط شناخت ویژگی های مکانیکی و طبقه بندی سنگ در مقیاس آزمایشگاهی پاسخگوی نیاز مسائل مهندسی است و گاهی هم شناخت رفتار مهندسی سنگ در حالت شرایط طبیعی و به صورت توده سنگ نیز بایستی مورد شناسایی قرار گیرد لذا با توجه به اینکه سنگ ها به طور کلی ناهمگن هستند شناخت رفتار مکانیکی آنها از این دو جهت ضروری است .

به طور کلی رفتار مهندسی توده سنگ به نوع سنگ و ویژگی های فیزیکی و مکانیکی کانی های تشکیل دهنده آن و همچنین به خصوصیات و ویژگی های ناپیوستگی های موجود در توده سنگ بستگی دارد. پیش بینی احتمال وقوع انواع شکستگی های رایج در توده سنگ به پیش بینی و شناخت صحیحی از رفتار کلی توده سنگ در دراز مدت کمک می نماید. نتایج حاصل از رده بندی های انجام شده برای توده های سنگی به منظور اجرای برنامه و طرح های مهندسی که در توده های سنگی به اجرا در می آیند، مورد استفاده قرا می گیرند. رده بندی توده سنگ با انتخاب مهمترین و مؤثرترین پارامتر ها در رفتار مهندسی توده های سنگی، یکی از مهمترین موضوعات و مسائل مکانیک سنگ و مهندسی سنگ است. به عنوان مثال مقاومت فشاری تک محوری *(UCS)* خود یکی از مهمترین پارامترهای سنگ است که هم در سیستم طبقه بندی سنگها و هم در معیار های مربوط به گسیختگی سنگها کاربرد دارد.

در سه دهه گذشته سیستم های مختلف رده بندی توده سنگ در مطالعه و تحقیق عده زیادی از دانشمندان رشته مکانیک سنگ قرار گرفته است که از آن جمله می توان *Bieniawaski*، *Barton* و *Frankline* را نام برد *[50]*. اهمیت رده بندی توده سنگ به منظور ارزشیابی ویژگی های اساسی و اصلی توده سنگ و همچنین ارزیابی کمی یا عددی از هر یک از پارامتر های مؤثر در رفتار مهندسی می باشد. از ترکیب و تلفیق ارقام مربوط به هر یک از پارامتر های مؤثر در رفتار مهندسی و مقاومتی توده سنگ، مقدار کلی رقم مربوط به نام رقم کیفی توده سنگ برای آن توده محاسبه می گردد که نهایتا جهت ارزیابی و برآورد کیفیت توده سنگ و رفتار کلی و نهایی آن در برابر میدان های تنش و اجرای کار مهندسی در آن توده مورد استفاده قرا می گیرد. بخصوص هدف اصلی و اساسی از رده

بندی مهندسی توده های سنگی در معادن روباز ارائه یک روش ساده و مؤثر جهت توصیف رفتار مهندسی سنگ است که در اجرای پروژه هایی از قبیل معادن روباز و مسائل مربوط به پایداری شیب های سنگی از اهمیت خاصی برخوردار است .

علم طبقه بندی، *Taxonomy* نامیده می شود که به جنبه های تئوریک طبقه بندی شامل پایه ها، اصول ها، روند ها و قانون ها تقسیم می شود.

طبقه بندیهای توده سنگ، روش تجربی استواری را برای طراحی ایجاد می کنند و به طور گسترده در خدمت مهندسی سنگ قرار گرفته اند. اخیرا طبقه بندیهای توده سنگ بسیار متداول شده اند و به منظور طراحی در مرحله امکان پذیری از آنها استفاده می شود. تجربه ها به دفعات نشان داده که استفاده درست از طبقه بندی های توده سنگ می تواند ابزار قدرتمندی در طراحی ها باشد *[50]*.

در هر سیستم طبقه بندی کمی، کمترین امتیاز به ضعیف ترین توده سنگ و بیشترین امتیاز به توده سنگ بسیار خوب داده می شود. بنابراین در یک طبقه بندی، هر پارامتر مربوط به سنگ نقش مهمی در تغییر امتیاز ها بازی می کند، باید پذیرفت که هیچ طبقه بندی به تنهایی برای تعیین تمام پارامتر های سنگ کارایی ندارد. بنابراین تجربه، مبنایی برای طبقه بندی برای طبقه بندی پارامتر های سنگ می باشد.

در این فصل به طبقه بندی های سنگ که محققان مختلفی ارائه داده اند واستفاده از آنها، عملیات مهندسی در سنگ را با دقت و کنترل بهتری انجام پذیر می نماید، پرداخته می شود.

به طور کلی در فرمول بندی رفتار مکانیکی جامدات معمول است که آنها را به صورت ایده آل، موادی همگن، پیوسته، همسانگرد، خطی و کشسان فرض می کنند. در مقابل از جهات بسیار سنگ ها