دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

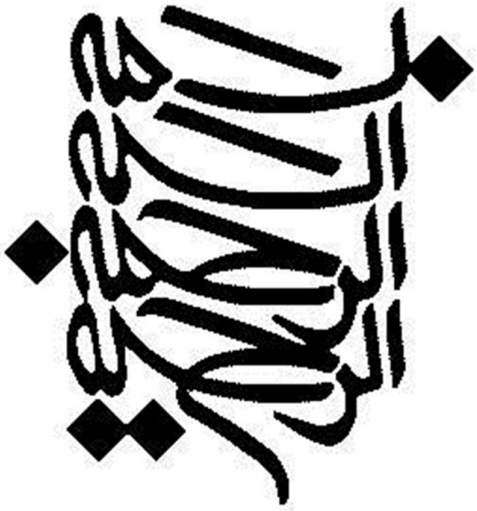
پیش‌بینی نفوذپذیری در محیط‌های دارای تخلخل دوگانه با استفاده از رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن-مکانیک سنگ

مهسا ج‌حبیبی

اساتید راهنما
دکتر علیرضا باغبانان
دکتر احمدرضا مختاری

۱۳۹۰



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

پیش‌بینی نفوذپذیری در محیط‌های دارای تخلخل دوگانه با استفاده از رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن-مکانیک سنگ

مهسا جحبیبی

اساتید راهنما

دکتر علیرضا باغبانان

دکتر احمدرضا مختاری

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی معدن-مکانیک سنگ خانم مهسا ج‌حبیبی

تحت عنوان

پیش‌بینی نفوذپذیری در محیط‌های دارای تخلخل دوگانه با استفاده از رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی

در تاریخ ۹۰/۹/۵ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر علیرضا باغبانان
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر احمدرضا مختاری
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر حمید هاشم‌الحسینی
۳- استاد داور	دکتر جواد غلام‌نژاد
۴- استاد داور	مهندس سعید مهدوری
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر راحب باقرپور

بر خود لازم می‌دانم که تا با اهداء صمیمانه‌ترین سپاس‌ها مراتب قدردانی خود را از تمامی کسانی که مرا تا رسیدن به این مرحله یاری کرده‌اند ابراز دارم.
از اساتید محترم راهنما آقایان دکتر علیرضا باغبانان و دکتر احمدرضا مختاری که چراغ راه من بودند، نهایت سپاس و تشکر را دارم.
از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر حمید هاشم‌الحسینی که بسیار از ایشان آموختم، سپاسگزارم.
از مادر و پدر عزیزم که صبورانه پشتیبانم بوده‌اند تشکر می‌کنم، همچنین نهایت سپاس را از برادارن و خواهر خوبم دارم.
از آقای مهندس نامداری به خاطر همراهی و کمک‌هایشان ، تشکر می‌کنم.
در پایان از تمامی دوستان خوبم که روزهای خاطره‌انگیزی را با آنها تجربه کرده‌ام، نهایت تشکر و سپاس را دارم.

مهسا ج‌حبیبی
پاییز ۱۳۹۰

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر، مادر و برادر عزیزم،

که همواره پاسگزار محبت‌های بی‌دریغشان هستم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ روش‌های محاسبه نفوذپذیری ۴

۱-۲ مفهوم تخلخل دوگانه و تاریخچه ۵

۱-۳ توجیه ضرورت و هدف از این مطالعه ۷

فصل دوم: مروری بر مفاهیم رگرسیون چندگانه و شبکه‌های عصبی

۲-۱ مدل رگرسیون چند گانه ۹

۲-۱-۱ برآورد پارامترهای مدل ۱۱

۲-۱-۲ برآورد σ^2 ..... ۱۳

۲-۱-۳ روش‌های انتخاب متغیر ۱۳

۲-۱-٤ هم‌راستایی ۱۴

۲-۱-۵ تعیین صحت و کفایت مدل ۱۶

۲-۲ آمار پارامتری و آمار ناپارامتری ۱۷

۲-۲-۱ تاریخچه آمار ناپارامتری ۱۸

۲-۲-۲ مزایا و معایب روش‌های ناپارامتری ۱۸

۲-۳ رگرسیون ناپارامتری ۱۹

2-3-1 رگرسیون کرنل ۲۱

2-3-2 رگرسیون Lowess ۲۳

۲-۴ تاریخچه شبکه های عصبی ۲۴

۲-٤-۱ کاربرد شبکه‌های عصبی ۲۵

۲-٤-۲ نرون با یک ورودیScalar ۲۵

۲-٤-۳ توابع انتقال ۲۶

۲-٤-٤ بایاس ۲۷

۲-٤-۵ شبکه‌های چند لایه ۲۷

۲-٤-٦ توپولوژی شبکه ۲۸

۲-٤-۷ قوانین یادگیری ۲۹

۲-٤-۸ شبکه پرسپترون ۲۹

۲-٤-۹ شاخص ارزیابی ۳۰

۲-٤-۱۰ کاهش شیب ۳۰

۲-٤-۱۱ شبکه‌های پس انتشار ۳۱

۲-٤-۱۲ افزایش سرعت آموزش شبکه ۳۴

۲-٤-۱۳ استفاده از الگوریتم پس انتشار ۳۵

فصل سوم: ساخت مدل و محاسبه پارامترهای لازم

۳-۱ نحوه ساخت مدل ماتریس سنگ ۴۲

۳-۲ شبکه شکستگی مجزا(DFN) ۴۴

۳-۳ پارامترهای هندسی مورد نیاز برای ایجاد شبکه شکستگی ۴۵

۳-۳-۱ طول شکستگی‌ها ۴۵

۳-۳-۲ جهت شکستگی‌ها ۴۶

۳-۳-۳ محل شکستگی‌ها ۴۶

۳-۳-٤ بازشدگی شکستگی ۴۶

۳-۳-۵ رابطه بین طول و بازشدگی ۴۷

۳-۴ تولید شبکه شکستگی مجزا (DFN) ۴۷

۳-۵ فرمول‌بندی عددی برای تحلیل جریان سیال در نرم افزار UDEC ۵۰

۳-۵-۱ فرمول بندی الگوریتم پایه ۵۰

۳-۵-۱ الگوریتم جریان پایا ۵۴

۳-۵-۲ رفتار هیدرولیکی درزه‌های موجود در سنگ ۵۵

۳-۶ بررسی تأثیر تغییرات اندازه‌ی دانه بندی و ریز بازشدگی‌ها بر نفوذپذیری ۵۵

۳-۷ محاسبه پارامترهای مورد نیاز برای مدلسازی ۶۰

فصل چهارم: نتایج آنالیز به روش رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی

۴-۱ پیش پردازش داده‌ها ۶۴

٤-۱-۱ کاکس و باکس ۶۴

۴-۲ مدل رگرسیون خطی چندگانه ۶۵

٤-۲-۱ مدل رگرسیون خطی ساده ۶۵

۴-۳ رگرسیون مؤلفه‌های اصلی ۶۹

٤-۳-۱ آنالیز مؤلفه‌های اصلی ۷۰

٤-۳-۲ مراحل انجام PCR ۷۰

۴-۴ نتایج به دست‌آمده از رگرسیون ناپارامتری ۷۶

۴-۵ نتایج حاصل از شبکه عصبی ۷۹

٤-۵-۱ پیش پردازش داده‌ها ۷۹

٤-۵-۲ تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۷۹

٤-۵-۳ ساخت مدل ۸۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ بحث و نتیجه‌گیری ۸۵

۵-۲ پیشنهادات ۸۷

مراجع ۸۸

چکیده

تخلخل دوگانه به محیط‌هایی اطلاق می‌شود که ماتریس سنگ نیز علاوه بر شبکه شکستگی، دارای نفوذپذیری است. اهمیت ویژه این موضوع در بررسی میزان نفوذپذیری و قابلیت مخزن شدگی ذخایر هیدروکربنی و مناطق دفن زباله‌های اتمی و پسماندهای شهری و صنعتی است که نفوذپذیری ماتریس سنگ در محاسبات نفوذپذیری مؤثر است. تاکنون برای محاسبه‌ی نفوذپذیری در این محیط‌ها از روش‌های عددی استفاده شده است. در روش‌های عددی معمولاً همه‌ی پارامترها ثابت نگه داشته می‌شوند و تنها با تغییر یک پارامتر به بررسی تأثیر آن می‌پردازند. در شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چندگانه می‌توان تأثیر پارامترهای بیشتری را به طور همزمان در نظر گرفت. تاکنون تأثیر توأمان خصوصیات هندسی مدل نظیر دانسیته، میزان بازشدگی شکستگی‌های اصلی، اندازه دانه‌بندی و بازشدگی بین دانه‌های ماتریس بر میزان نفوذپذیری مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه برای ساخت ماتریس سنگ از المان‌های Voronoiدر سه اندازه متفاوت با در نظر گرفتن بازشدگی‌های مختلف(که معرف فضای بین دانه‌ای است) استفاده شده است. هم چنین سه الگوی بازشدگی مختلف برای شکستگی‌های بزرگ در دانسیته‌های مختلف در نظر گرفته شده است. همچنین تأثیر تغییرات مساحت میانگین ورونویی‌ها و اندازه‌ی ریزبازشدگی‌ها بر نفوذپذیری بررسی شده است. به منظور ارائه‌ی یک مدل پیش‌بینی شش پارامتر با توجه به مطالعات انجام شده محاسبه و برای استفاده در آنالیز رگرسیون چند گانه و مدلسازی توسط شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با استفاده از رگرسیون مؤلفه‌های اصلی علاوه بر حل مشکلات هم‌راستایی بین داده‌ها از قدرت پیش‌بینی مدل کاسته نمی‌شود و همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برابر با ۸۰% است. همچنین ضریب همبستگی به دست‌آمده از رگرسیون ناپارامتری با استفاده از داده‌های خام برابر با ۷۹% است و با استفاده از داده‌های نرمال شده برابر با ۸۷% که در مقایسه با روش رگرسیون مؤلفه‌های اصلی مقدار بیشتری است. در مقایسه با هر دو روش رگرسیون پارامتری و ناپارامتری، ضریب همبستگی ۹۶% به دست‌آمده از شبکه‌ی عصبی نشان داد که شبکه‌ی عصبی ابزار قدرتمندتری در شناخت روابط بین متغیرها و پیش‌بینی پارامتر مورد نظر است.

کلمات کلیدی: ۱- تخلخل دوگانه ۲-Voronoi element ۳-رگرسیون چندگانه ۴- رگرسیون ناپارامتری ۵- شبکه عصبی مصنوعی

فصل اول
مقدمه

پیشرفت علم و تکنولوژی و افزایش حجم پروژه‌های در حال اجرا این علاقمندی را در انسان امروزی به وجود آورده که همواره به دنبال راه‌حل‌های سریعتر، کم هزینه‌تر ودقیق‌تر برای حل مسائل باشد. افزایش استفاده از حل عددی پروژه‌ها یکی از نمودهای این مسأله است. نرم‌افزارهای پیشرفته امروزی با وجود محدودیت‌ها و مشکلات مخصوص به خود این امکان را به مهندسین می‌دهند که در مراحل مختلف انجام پروژه به خصوص در مراحل مقدماتی برداشتی مناسب ازشرایط داشته باشند و به مطالعه و بررسی تأثیر پارامترهای گوناگون روی مدل بپردازند و به این وسیله ضریب ایمنی کار را افزایش دهند.

یکی از مسائل پرکاربرد در زمینه مهندسی، تخمین و پیش‌بینی یک پارامتر با توجه به پارامترهای موجود و مؤثر بر آن است. در سال‌های گذشته در شاخه‌های مختلف مهندسی به دنبال روش‌هایی بوده‌اند که بدون نیاز به محاسبات پیچیده و وقت گیر این امکان فراهم شود. روش‌های گوناگونی به این منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند که آنالیز رگرسیون چند گانه (MRA)[1] و در سال‌های اخیر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)[2] از این دست هستند.

استفاده از روش‌های آماری که رگرسیون را نیز شامل می‌شود پیشینه‌ی قدیمی‌تری نسبت به شبکه‌های عصبی دارد. در این روش تلاش می‌شود تا بهترین مدل که با حداقل کردن خطا به دست می‌آید به داده‌های موجود برازش شود. به این منظور الگوهای مختلفی به داده‌ها برازش می‌شود که ممکن شامل جملات درجه دو یا بیشتر باشد و یا

[1] Multivariate Regression Analysis
[2] Artificial Neural Network

اینکه شامل پارامترهایی باشد که تعامل[1] بین پارامترهای موجود را نشان می‌دهد. رگرسیون به دو دسته‌ی کلی پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شود که رگرسیون پارامتری خود به دو دسته‌ی خطی و غیر خطی تقسیم می‌شود. رگرسیون ناپارامتری معمولاً زمانیکه فرض‌های اولیه رگرسیون پارامتری مانند نرمال بودن توزیع پارامتر وابسته، ارضاء نمی‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرند. در زمان خواندن، نوشتن، حرکات و تنفس از شبکه‌ی عصبی بیولوژیکی استفاده می‌شود. به طور کلی تمام خصوصیات نرون‌های بیولوژیکی که حافظه را نیز شامل می شوند در اتصالات بین آنها ذخیره می شود. آموزش از یک دیدگاه برقراری اتصالات جدید بین نرون ها یا اصلاح اتصالات و روابط موجود است. این امر موجب این سوأل می شود که با این که ما یک فهم ابتدایی از شبکه عصبی بیولوژیکی داریم، آیا ممکن است که بتوان مجموعه ای کوچک از نرون های مصنوعی ساخت و آن را آموزش داد؟ جواب مثبت است. نرون هایی که ما در ادامه از آنها یاد می کنیم مصنوعی هستند، آنها اقتباسی بسیار ساده از نرون های بیولوژیکی هستند. شبکه نرون های مصنوعی حتی کسری از قدرت ذهن انسان را ندارند اما می‌توانند برای انجام یک کار آموزش داده شوند. به طورکلی شبکه عصبی مصنوعی رفتار نرون های طبیعی مغز انسان را تقلید می کند[1]. این خصوصیت به شبکه‌های عصبی این قدرت را می‌دهد که روابط بسیار پیچیده و غیر خطی در بین پارامترهای ورودی را به خوبی تشخیص دهند که باعث افزایش دقت و صحت پیش‌بینی‌های حاصله می‌شود. مطالعات گذشته نشان داده که شبکه‌های عصبی به طور کلی ابزار قدرتمندتری نسبت به رگرسیون در شناخت الگو و دقت پیش‌بینی هستند، اما باید به این نکته توجه داشت که از یک رابطه‌ی خطی حاصل از رگرسیون به دلیل عدم نیاز به نرم‌افزار در مقایسه با شبکه‌ی عصبی ساده‌تر است و تنها با جایگزینی پارامترهای لازم در مدل، جواب به دست می‌آید. در واقع انتخاب مدل بستگی به سطح اطمینان مورد نیاز دارد.

این دو روش در شاخه‌های مختلف علمی از جمله ژئوتکنیک و مکانیک سنگ تاکنون مورد استفاده‌های زیادی داشته‌اند. با پیشرفت تکنولوژی و علاقمندی انسان امروزی به استفاده از فضاهای زیرزمینی با اهداف مختلفی نظیر احداث تونل‌های عمرانی یا معدنی، حفر زباله‌های اتمی، احداث نیروگاه‌های زیرزمینی و همچنین. مسأله‌ی آب‌های زیرزمینی و نفوذ آن به این فضاها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. همچنین اطلاع دقیق از میزان نفوذپذیری یک ابزار قدرتمند برای مهندسین نفت محسوب می شود، اطلاع دقیق از میزان نفوذپذیری برای مهندسین نفت این امکان را فراهم می‌سازد که به طور مؤثری مراحل تولید را مدیریت کنند. از این رواندازه‌گیری نفوذپذیری یکی از مهمترین بخشهای اطلاعات لازم برای طراحی و مدیریت عملیاتهای اجرایی است[2].

حل مسائل هیدرولیکی مستلزم صرف زمان زیاد و محاسبات پیچیده است. در نتیجه همچنان که قبل‌تر هم ذکر شد استفاده از روش‌هایی نظیر رگرسیون و شبکه‌های عصبی می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های تحلیلی و عددی در مراحل اولیه مطالعاتی باشد. در این پروژه سعی شده است تا با تکیه بر خصوصیات هندسی مدل مورد نظر با استفاده از این روش‌ها یک رویکرد جدید در محاسبه نفوذپذیری ارائه گردد.

[1] Interaction

۱-۱ روش‌های محاسبه نفوذپذیری

روش های معمول و قراردادی اندازه گیری نفوذپذیری را می توان به طور کلی شامل: روش‌های اندازه‌گیری برجا و آزمایشگاهی، و روش‌های عددی (پیوسته و ناپیوسته) و روش‌های برآورد بر اساس تئوری محیط مؤثر (EMT) است. روش‌های سنتی به عنوان مثال شامل روش‌های مغزه‌گیری، آنالیز رگرسیون، تفسیر لاگ[1]، آنالیز فشار گذرا[2] و تطابق پیشینه تولید[3] است[3]. این روش‌ها هر کدام دارای مشکلاتی هستند به عنوان مثال مغزه های بدست آمده از درون گمانه‌ها بدون در نظر گرفتن روش مغزه‌گیری (با استفاده از وسایل مغزه گیری ازکف گمانه یا روش جداری) به دلیل اینکه بعد از برش در اثر کاهش فشار به وجود آمده سیال موجود از مغزه بیرون می زند، حالت طبیعی این مغزه ها همیشه قبل از رسیدن به سطح تغییر کرده است. همچنین مغزه ها اطلاعات محدودی از ناحیه مورد بررسی را فراهم می کنند علاوه بر این مغزه‌گیری از هر چاه در یک منطقه گسترده بسیار پر هزینه است. روش‌های رگرسیونی نیز معمولاً مبتنی بر استفاده از یک متغیر (معمولاً تخلخل) در مدل بوده‌اند ضعف اصلی این روش این است که با این که نفودپذیری به میزان تخلخل وابسته است اما پارامترهای دیگری هم هستند که در کنار تخلخل بر میزان نفوذپذیری تأثیر می گذارند. تکنولوژی رزونانس مغناطیسی هسته ای[4] در اواخر دهه گذشته بعنوان یک تکنیک جدید برای اندازه گیری نفودپذیری با استفاده از تکنولوژی رزونانس مغناطیس هسته گسترش پیدا کرد، این روش جایگزین روش‌های سنتی است و قابلیت اندازه گیری پیوسته نفودپذیری چاه را دارد. دستگاه شامل سه بخش است ۱- آهنربای دایمی ۲- فرکانس رادیویی (RF) ۳ –فرستنده و گیرنده فرکانس رادیویی (RF). این روش به نظر مفید است و باعث صرفه جویی در زمان می شود، اما این تکنیک باید در بیشتر از یک چاه اجرا شود تا بتوان توزیع نفودپذیری در کل منطقه را بدست آورد در صورتیکه هزینه اجرای این روش حتی برای یک چاه نیز بسیار زیاد است. [3].

روش‌های عددی نسبت به روش‌های سنتی باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شوند اما معمولاً نرم‌افزارهای موجود با محدودیت‌هایی در زمینه مدلسازی مواجه هستند به عنوان مثال ساخت مدل‌های بزرگ و بررسی جریان در مدل مستلزم صرف زمان زیادی است و به سیستم‌های پیشرفته کامپیوتری احتیاج است. به همین دلیل همانطور که گفته شد در سال‌های اخیر استفاده از روش‌هایی مثل رگرسیون چند گانه و شبکه‌های عصبی در زمینه محاسبه نفوذپذیری به دلیل عدم نیاز به محاسبات پیچیده و وقت‌گیر روش‌های عددی و جلوگیری از صرف هزینه‌های زیاد روش‌های برجا و آزمایشگاهی، گسترش زیادی داشته است. از جمله کارهایی که در این زمینه انجام شده می‌توان به موارد پیرو اشاره کرد:

محقق در سال ۱۹۹٤ از ۱۵۱ جفت داده موجود که شامل عمق، اشعه گاما، دانسیته و تعیین تقسیم مجدد قشایی (جداری)[5] بود برای پیش بینی نفودپذیری به وسیله شبکه عصبی استفاده کرد. شبکه مورد استفاده متشکل از سه لایه

[1] Log interpretation
[2] Pressure transient analysis
[3] Production history matching
[4] Nuclear magnetic resonance technique
[5] Zonal subdivision specification

و ۱۵ نرون در لایه پنهان بود و با الگوریتم سرعت آموزش تنظیم شونده که زمان آموزش را مینیمم می کرد، آموزش داده شد[2].

در سال ۲۰۰۵ چانگ[1] و همکارانش به مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم پس انتشار[2] و شبکه‌های عصبی هیبریدی متشکل از رزونانس تطبیقی نظارت نشده و سیستم‌های استنتاجی فازی چندگانه برای پیش‌بینی نفوذپذیری با استفاده از داده‌های لاگ چاه‌ها پرداختند[4].

تا سال ۲۰۰۸ تمامی مطالعات انجام شده برای پیش‌بینی نفوذپذیری با استفاده از اطلاعات حاصل از مغزه‌ها و چاه‌های آزمایشی بود در این سال جعفری و بابادگلی[3] یک رویکرد کاربردی جدید برای تخمین نفودپذیری معادل شبکه شکستگی (EFNP)[4] با دو روش آنالیزرگرسیون چند گانه (MRA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ارائه کردند. این روش بر پایه استفاده از مشخصات آماری و فرکتالی شبکه شکستگی است. مطالعات گذشته نشان داده-اند که الگوی شبکه شکستگی خصوصیات فرکتالی دارد. برای مدلسازی از پنج خصوصیت آماری و فرکتالی شبکه که بیشترین همبستگی با EFNP را داشتند استفاده شد که عبارتند از: بعد فرکتالی نقاط تقاطع و خطوط شکستگی در محدوده مورد نظر با استفاده از روش جعبه‌ی برداشت[5]، عدد حاصل از تقسیم تعداد نقاط برخورد خطوط شکستگی بر تعداد آنها (یا دانسیته) و تعداد برخورد خطوط برداشت[6] فرضی با خطوط شکستگی ها در راستای x وy[5]. محاسبه نفوذپذیری در محیط‌های با تخلخل دوگانه تا به امروز تنها محدود به روش‌های عددی بوده است که در ادامه ابتدا مروری بر مفهوم تخلخل دوگانه و تعدادی از مهمترین مطالعات و مقالات با ارزش خواهیم داشت.

۲-۱ مفهوم تخلخل دوگانه و تاریخچه

به زبان ساده به نسبت حجمی کل فضای خالی در سنگ به کل حجم سنگ تخلخل گویند. مفهوم تخلخل دوگانه دیرزمانی نیست که ذهن بشر را به خود مشغول ساخته است. این نوع تخلخل به محیط‌هایی اطلاق می‌شود که درآن‌ها علاوه بر شکستگی‌های توده سنگ، نفوذپذیری ماتریس سنگ نیز بررسی می‌شود. طبیعی است که میزان آبگذری ماتریس سنگ در مقایسه با شکستگی‌های توده سنگ مقدار کمتری است، اما برای درک کلی جریان سیال در این محیط‌ها، لازم است که در توجیه شبکه جریان علاوه بر سیستم درزه‌ها و شکستگی‌ها، توجه خود را به ماتریس سنگ و نقش آن بر آبگذری کلی توده سنگ نیز معطوف سازیم.

دلیل اینکه در این نوع مطالعات نفوذپذیری ماتریس سنگ مورد بررسی قرار می‌گیرد این است که با توجه به افزایش دقت و سرعت نرم‌افزارها و پیشرفت چشمگیر سخت‌افزاری کامپیوترها نسبت به گذشته علاقه به حل عددی پروژه‌ها نیز افزایش یافته است و این امکان به وجود آمده که به منظور بهبود دقت تخمین مطالعات و افزایش دقت و فاکتور ایمنی پروژه‌ها از این قابلیت‌ها استفاده کرده وتأثیر نکات ریزتری را مورد بررسی قرار داد.

---

[1] Chang
[2] Back Propagation (BP)
[3] Babadagli
[4] Equivalent Fracture Network Permeability
[5] Box counting
[6] Scan lines

از جمله تلاش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

در سال ۱۹۹۳، زیمرمن[1] یک مدل عددی برای این گونه محیط‌ها به وجود آورد. وی در این مطالعه، توسط روش‌های نیمه تحلیلی[2] به بررسی همزمان جریان در سیستم شکستگی و ماتریس سنگ پرداخت[6].

بای[3] در سال ۱۹۹٤ توجه خود را منحصراً به بررسی رفتاری مخازن نفتی دارای تخلخل دوگانه معطوف ساخت. او موفق به حل تحلیلی معادلات جریان برای این گونه مخازن شد. در این تحقیق، او به این نتیجه رسید که نادیده گرفتن یک سری از ترم های معادلات حاکم بر جریان، در یک شرایط فیزیکی خاص، توجیه علمی نخواهد داشت[7].

ادلینگ[4] در سال ۱۹۹۷به بررسی پدیده انتقال در سنگ هایی با ماتریس دارای نفوذپذیری قابل توجه پرداخت. در این مطالعه وی سه نوع الگوی خاص شکستگی را مورد توجه قرار داد[8]:

- الگوی شکستگی پلکانی[5]
- الگوی سیستم شکستگی طبیعی، دارای شکستگی های غیرمرتبط
- الگوی سیستم شکستگی طبیعی، دارای شکستگی های مرتبط

وی سپس به بررسی میزان تمرکز سیال در درون توده سنگ پرداخت و میزان جریان خروجی را در مرزهای خروجی نمونه در این سه نوع الگوی خاص، به شکل الگوی شکستگی تعریف شده در این نمونه ها مرتبط دانست[8].

زینگ ژانگ[6] در سال ۲۰۰۲ به بررسی جریان در محیط دارای نفوذپذیری دوگانه در زیر سیکل های بارگذاری-باربرداری[7] پرداخت. در این مطالعه، محیط با المان‌های موزاییکی مجزا[8] توسط نرم افزار ساخته شد. این المان ها برای شبیه سازی محیط سنگ دارای بافت دانه ای به کار گرفته شد. این دانه ها دارای قیدوبند محکمی به همدیگر بودند که از نظر مکانیکی مانند محیط یکپارچه عمل می کردند اما مرز بین دانه ها نفوذپذیر[9] تعریف شده بود.وی الگوی شکستگی پلکانی را برای این نمونه تعریف کرد و به تغییرات فشار سیال و همچنین تنش های محدود کننده[10] اقدام کرد و نتایج را برروی میزان نفوذپذیری کلی و شکل شبکه جریان گزارش نمود[9].

یورد در همان سال(۲۰۰۲)، به بررسی رفتاری جریان در یک محیط با روش شکستگی‌های دوگانه پرداخت. وی با بررسی جریان زودگذر[11] در آزمایش‌های چاه ازشبکه‌ای عمود بر هم از سیستم شکستگی‌ها برای شبیه‌سازی استفاده نمود[10].

---

[1] Zimmermann
[2] Semi analytical
[3] Bai
[4] Odling
[5] En-echelon
[6] Xing zhang
[7] Loading-unloading cycles
[8] Tessellation elements
[9] Permeable
[10] Confining stresses
[11] Transinet flow mode

ساماردزیوسکا[1] در سال ۲۰۰۵ سه نمونه محیط را برای مطالعه جریان انتخاب کرد.

- محیط پیوسته معادل[2]
- محیط غیر همگن[3]
- محیط دارای تخلخل دوگانه[4]

او سپس به مقایسه عددی این سه محیط در جریان و پدیده انتقال اقدام کرد و نتایج خود را برای این مقایسه عددی اعلام نمود[11].

برویر در سال ۲۰۰۶ به مدل‌سازی مهاجرت ذرات درون سیستم گچی دارای تخلخل دوگانه اقدام نمود. وی بین ریزشکستگی‌های فعال که در هدایت جریان نقش دارند و ریزشکستگی‌های غیرفعال که قابلیت هدایت جریان را نداشته و باعث می‌شوند که جریان به درون ماتریس سنگ راه یابد، فرق قائل شد و مدل‌سازی عددی خود را بر این پایه انجام داد. معادلات عددی به دست آمده از کار وی در شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان در محیط‌های غیراشباع، کاربرد دارد[12].

درادامه مطالعات انجام شده در سال ۲۰۱۰ نامدار ی با استفاده از نرم افزار المان مجزای UDEC به بررسی اثر هندسه شبکه شکستگی و دانسیته شکستگی‌ها بر میزان نفوذپذیری کلی، تأثیر نفوذپذیری ماتریس و رابطه بین بازشدگی و طول شکستگی بر اندازه نمونه معرف و تأثیر توأمان این پارامترها بر نفوذپذیری پرداخت. در این مطالعه ماتریس سنگ با استفاده از المان‌های Voronoi مدل شد و مرزهای این المان‌ها نفوذپذیر در نظرگرفته شد. اندازه و بازشدگی بین این المان‌ها با توجه به نمونه‌های برداشت شده در منطقه سلافیلد انگلستان کالیبره شد. در این مطالعه تأثیر سه الگوی بازشدگی متفاوت شبکه شکستگی (DFN) روی میزان نفوذپذیری مدل در دانسیته‌های مختلف بررسی شد:

- حالتیکه طول و میزان بازشدگی مستقل از هم بودند.
- حالتیکه طول و بازشدگی به هم وابسته بودند(شکستگی‌های بزرگ، بازشدگی بیشتری دارند).
- و حالتیکه بازشدگی‌ها یکسان است[13].

مدل ساخته شده در این پایان نامه بر مبنای مدل ساخته شده در مطالعه‌ی اخیر است که در فصل سوم بیشتر به آن پرداخته خواهد شد.

۱-۳ توجیه ضرورت و هدف از این مطالعه

اگر بتوان نفوذپذیری را تنها حاصل درزه ها و شکستگی های موجود در توده سنگ در نظر گرفت، می توان به حل معادلات حاکم برجریان در توده سنگ اقدام نمود. اما در حالتی که ماتریس سنگ دارای نفوذپذیری است، مقداری از جریان از داخل ماده سنگ اتفاق می افتد. با توجه به الگوی شکستگی و ارتباط بین شکستگی ها و میزان

[1] Samardzioska
[2] Equivalent continuum
[3] Non-homogeneous
[4] Dual porosity media

سیالی که از داخل ماده سنگ جریان می یابد تغییر خواهد کرد. اهمیت این موضوع و کاربرد آن در تمامی محل-هایی که جریان و انتقال سیال از درون توده سنگ اهمیت داشته باشد، نمود پیدا خواهد کرد. برای مثال می توان از مخازن نفتی(دارای سنگ مخزن کربناته) ومحل دفن زباله های اتمی نام برد. در این گونه محیط ها، به علت اهمیتی که جریان سیال برای محیط دارد، مطالعه تخلخل دوگانه کاملاً ضروری به نظر می رسد.

اما با توجه به اینکه تمام روش‌های به کار رفته در این زمینه مدل‌های عددی هستند و همه‌ی این روش‌ها مستلزم صرف زمان زیاد برای ساخت مدل و حل آن هستند استفاده از روش‌های حل بسته[1] مثل روش‌های آنالیز چند گانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های عددی در مراحل اولیه مطالعات باشد.

هر چند مطالعات پایه انجام شده در [13] که به بررسی تأثیر پارامتر های اصلی هندسه شبکه شکستگی و دانسیته شکستگی‌ها بر میزان نفوذپذیری کلی و مقایسه نتایج حاصل با حالتیکه محیط دارای تخلخل دوگانه است، می پردازد، ولی برای به دست آوردن اثر تمام پارامترها به صورت تؤامان و ارائه مدل پیش‌بینی نیاز به بررسی بیشتر تأثیر تغییرات پارامترهای هندسی ماتریس سنگ از جمله تغییرات اندازه‌ی دانه‌بندی و ریز بازشدگی وجود دارد. از اینرو ساخت مدل‌های تکمیلی با در نظر گرفتن پارامترهای متغیر در ماتریس سنگ به منظور تکمیل داده‌های مورد نیاز برای ارائه مدل ضروری به نظر می‌رسد که در مطالعات قبلی مورد توجه قرار نگرفته و با توجه به منابع موجود برای اولین بار است که مطالعه می شود.

در این پایان‌نامه بعد از مروری بر مفاهیم اولیه‌ی رگرسیون چندگانه و شبکه‌های عصبی در فصل سوم به بررسی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مورد استفاده در این مطالعه و نحوه‌ی محاسبه نفوذپذیری و پارامترهای مورد نیاز جهت مدلسازی خواهیم پرداخت. در فصل چهارم آنالیزهای انجام شده با استفاده از رگرسیون چند گانه(پارامتری و ناپارامتری) و شبکه‌ی عصبی و نتایج به دست‌آمده خواهد آمد و در فصل آخر, جمع‌بندی نتایج و پیشنهادات آورده شده است.

[1] close form solution

فصل دوم
مروری بر مفاهیم رگرسیون چندگانه و شبکه های عصبی

در این فصل به مفاهیم اولیه رگرسیون چندگانه (پارامتری و ناپارامتری) و شبکه‌های عصبی پرداخته خواهد شد. مدل‌های رگرسیونی برای چند منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: توصیف داده‌ها، برآورد پارامترها، پیش‌بینی و برآورد و کنترل داده‌ها. در این پایان‌نامه از مدل رگرسیون برای پیش‌بینی متغیر وابسته یعنی نفوذپذیری استفاده می‌شود. البته باید توجه داشت که به طور کلی معادلات رگرسیون فقط در دامنه متغیرهای مستقل اعتبار دارند و در واقع زمانیکه از مدل رگرسیونی استفاده می‌شود با خطر برون‌یابی مواجه هستیم. ایجاد یک مدل رگرسیونی، فرآیندی تکراری است که معمولاً همراه با بهبود در ساختار مدل و روشن شدن عیب‌های موجود در داده‌ها به تجزیه‌های مکرر نیاز است. برنامه‌های کامپیوتری برای انجام رگرسیون، ابزاری لازم در این راستا به شمار می‌آیند.

شبکه‌های عصبی نیز در ابتدای پیدایش ضعف‌هایی داشتند که به مرور با استفاده از الگوریتم‌های جدید این ضعف‌ها برطرف شد و امروزه تبدیل به ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی شده‌اند. بعد از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و آموزش شبکه می‌توان از شبکه ساخته شده با صرف هزینه و زمان اقدام به پیش‌بینی پارامتر مورد نظر کرد.

۲-۱ مدل رگرسیون چند گانه

مدل رگرسیونی که مشتمل بر بیش از یک متغیر رگرسیونی باشد مدل رگرسیون چند گانه نامیده می‌شود.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad ۲-۱$$

که y نشان دهنده متغیر وابسته و x متغیر مستقل نامیده می‌شود. یک مدل رگرسیون چند گانه خطی با k متغیر رگرسیونی نامیده می‌شود. پارامترهای $j=0,1,\ldots,k$ ،β_j ضرایب رگرسیون نامیده می‌شوند. این مدل یک ابر صفحه در فضای k بعدی از متغیرهای رگرسیونی x_j است. کاربرد اصطلاح خطی به این لحاظ است که رابطه فوق تابعی خطی از پارامترهای نامعلوم β_0، β_1، β_2 و... می‌باشد. پارامتر β_0 ارتفاع از مبدأ صفحه رگرسیونی است. اگر دامنه تعریف داده‌ها شامل $x_1 = \cdots = x_k = 0$ باشد در اینصورت β_0 میانگین y به شرط $x_1 = \cdots = x_k = 0$ خواهد بود. در غیر این‌صورت دیگر β_0 دارای تعبیر فیزیکی نیست. پارامتر β_j نشان دهنده تغییرات مورد انتظار متغیر پاسخ بازاء یک واحد تغییر در x_j است، وقتی که همه متغیرهای رگرسیونی باقیمانده دیگر ($i\neq j$) x_j ثابت نگه داشته شوند. به همین جهت پارامترهای β_j ضرایب جزیی رگرسیون نامیده می‌شوند[۱۴،۱۵].

مدل‌های رگرسیون چند گانه خطی اغلب به عنوان تقریب توابع به کار می‌روند. بدین معنی که ارتباط تابعی واقعی بین $x_1, x_2, \ldots, x_k$ و y شناخته شده نیست اما مدل رگرسیون خطی، روی دامنه تغییرات متغیرهای رگرسیونی، تقریب مناسبی از ارتباط تابعی مذکور می‌باشد. مدل‌هایی که در ساختار پیچیده تر از رابطه ذکر شده می‌باشند نیز می‌توانند از طریق روش رگرسیون چندمتغیره خطی تحلیل شوند. برای مثال مدل چند جمله‌ای درجه ۳ زیر را مورد توجه قرار می‌دهیم.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \varepsilon \qquad ۲\text{-}۲$$

اگر فرض کنیم $x_1 = x$, $x_2 = x^2$ و $x_3 = x^3$ در اینصورت رابطه فوق به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \qquad ۳\text{-}۲$$

که مدل رگرسیون چندمتغیره خطی با سه متغیر رگرسیونی است. مدل‌هایی که شامل اثر متقابل می‌باشند نیز با شیوه مدل‌های رگرسیون چندمتغیره خطی تجزیه و تحلیل می‌شوند. برای مثال فرض کنیم مدل بصورت زیر است.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon \qquad ۴\text{-}۲$$

اگر $x_3 = x_1 x_2$ و $\beta_3 = \beta_{12}$ قرار دهیم در این صورت رابطه فوق می‌تواند به صورت زیر نوشته شود.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \qquad ۵\text{-}۲$$

که یک مدل رگرسیون خطی است. بطور کلی هر مدل رگرسیونی که بر حسب پارامترها خطی باشد بدون توجه به شکل سطحی که تولید می‌کند مدل رگرسیون خطی نامیده می‌شود.