بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ

ارزیابی وضعیت تزریق‌پذیری ساختگاه سد رودبار لرستان با استفاده از شبکه عصبی

حسین امیری

استاد راهنما:

دکتر عبدالهادی قزوینیان

استاد مشاور:

مهندس اسماعیل ابتکار

بهار ۱۳۹۰

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای حسین امیری پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان ارزیابی وضعیت تزریق پذیری ساختگاه سد رودبار لرستان با استفاده از شبکه عصبی** در تاریخ ۱۳۹۰/٤/۱۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - مکانیک سنگ پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر عبدالهادی قزوینیان	دانشیار	
استاد مشاور	مهندس اسماعیل ابتکار		غایب
استاد ناظر	دکتر مرتضی احمدی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر عباس مجدی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مرتضی احمدی	دانشیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب حسین ... دانشجوی رشته ... ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ مقطع ... دانشکده ... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ: .....

۹۱/۸/۲۴

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته معدن- اکتشاف معدن است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر عبدالباری نوروزی، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر مهندس اسماعیل استکار و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب حسین امیری دانشجوی رشته معدن- اکتشاف معدن مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حسین امیری

تاریخ و امضا: ۹۱/۸/۲۲

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

چکیده

مطالعه حاضر به برآورد مقدار فشار تزریق، مدت زمان تزریق و میزان خورند سیمان در پروسه‌ی عملیات تزریق پرده‌آبند با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و بر پایه عملیات تزریق آزمایشی و آزمایش فشار آب در پروژه‌ی سد و نیروگاه رودبار لرستان پرداخته است. در این تحقیق از شبکه چند لایه پرسپترون به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع شبکه‌های عصبی و تابع انتقال تانژانت هایپربولیک استفاده شده است. مدلسازی با استفاده از شبکه‌های پس‌انتشار خطا و روش‌های مختلف آموزش شبکه انجام شد. در این مطالعه از داده‌های ٦ گمانه تزریق آزمایشی به عنوان داده‌های آموزش و از داده‌های یک گمانه به عنوان داده‌های تست شبکه استفاده شد. در این مطالعه پارامترهای فشار آب، عمق گمانه، زمان قیف مارش دوغاب و عدد لوژن به عنوان پارامترهای ورودی و پارامترهای فشار تزریق، مقدار خورند سیمان و مدت زمان تزریق به عنوان پارامترهای خروجی در نظر گرفته شده‌اند، داده‌ها با استفاده از سه روش، نرمال‌سازی شدند و مدل‌های مناسب با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار MATLAB تهیه شده و شبکه در مرحله آموزش قرار گرفت. پس از مرحله آموزش، میزان خطای شبکه برای تخمین پارامترهای تزریق با ورودی‌های جدید بر اساس معیارهای ارزیابی مختلف همانند جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) اندازه‌گیری شد. بر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده جهت برآورد فشار تزریق، میزان خورند سیمان و مدت زمان تزریق شبکه سه لایه مناسب‌ترین جواب را می‌دهد که تعداد نرون لایه میانی برای هر کدام از پارامترها به ترتیب برابر است با ۱۸، ۸ و ۱۵. با توجه به تخمین پارامترهای تزریق توسط مدل ارائه شده با شبکه‌های عصبی، می‌توان کنترل پروژه و مدیریت مطلوبی بر روی عملیات تزریق در کارگاه‌های سدسازی داشت.

کلمات کلیدی:

پرده آب‌بند، آزمایش فشار آب، تزریق آزمایشی، شبکه‌های عصبی، تخمین پارامترهای تزریق، سد و نیروگاه رودبار لرستان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه ۱

مقدمه ۲

فصل دوم : اصول طراحی پرده آب‌بند ٤

مقدمه ٥

۲-۱ مروری بر تحقیقات انجام شده ۷

۲-۲ مشخصات پرده‌ی آب‌بند ۱۰

۲-۲-۱ محل استقرار و شکل کلی پرده آب‌بند ۱۱

۲-۲-۲ عمق پرده تزریق ۱۲

۲-۲-۳ شعاع تأثیر، آرایش گمانه‌ها و ضخامت پرده تزریق ۱۳

۲-۲-۳-۱ شعاع تزریق ۱۳

۲-۲-۳-۲ آرایش گمانه‌ها ۱٤

۲-۳ تعیین ملاک آب‌بندی ۱٥

۲-٤ دسته‌بندی کلی پارامترهای تزریق ۲۰

۲-٥ وضعیت ژئوتکنیکی منطقه ۲۱

۲-٥-۱ وضعیت ناپیوستگی‌ها ۲۳

۲-٥-۲ وضعیت ژئومکانیکی منطقه ۲۸

۲-٦ تست فشار آب ۲۸

۲-۷ خورند دوغاب ٤۱

۲-۸ فشار تزریق ٤۳

۲-۹ انتخاب میزان فشار تزریق ٤٥

۲-۱۰ دوغاب‌های پایه سیمانی و اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی آن ٤٩

۲-۱۱ نسبت اختلاط اجزاء اصلی دوغاب ٥٢

فصل سوم : زمین‌شناسی سد و نیروگاه رودبار لرستان ٥٤

مقدمه ٥٥

۳-۱ زمین‌شناسی ناحیه‌ای ٥٦

۳-۲ زمین‌ریخت شناسی ٥٨

۳-۳ چینه شناسی ٥٨

۳-۳-۱ سازند میلا ٦٠

۳-۳-۲ سازند دالان ٦٠

۳-۳-۲-۱ سنگ‌های متعلق به دوره کرتاسه ٦٠

۳-۳-۳ سازند گرو ٦١

۳-۳-٤ سازند گورپی ٦١

۳-۳-٥ سازندهای دوران سوم ٦١

۳-٤ زمین‌ساخت عمومی ٦٣

۳-٤-۱ چین‌ها ٦٤

۳-٤-۲ گسل‌ها ٦٤

۳-٤-۲-۱ گسل اصلی معکوس زاگرس (Zagros Main Reverse Fault) ٦٤

۳-٤-۲-۲ گسل سراوند- بزنوید ٦٤

۳-٤-۲-۳ گسل چال حاتم ٦٥

۳-٤-۲-٤ گسل اسلام‌آباد ٦٥

۳-٤-۲-٥ گسل اصلی رودبار ٦٥

۳-٤-۳ شکستگی‌ها ٦٥

۳-۵ زمین‌ساخت ٦٦

فصل چهارم : مبانی شبکه‌های عصبی مصنوعی ٦٨

مقدمه ٦٩

٤-١ تاریخچه کوتاهی از شبکه‌های عصبی مصنوعی ٧٠

٤-٢ مدل ریاضی ٧١

٤-٣ ساختار شبکه‌های عصبی ٧٣

٤-٣-١ شبکه‌های تک‌لایه پرسپترون ٧٣

٤-٣-٢ شبکه‌های چندلایه پرسپترون ٧٤

٤-٤ آموزش شبکه‌های عصبی ٧٥

٤-٥ روش پس‌انتشار خطا ٧٥

٤-٦ انتخاب مقادیر اولیه در شبکه ٧٩

٤-٧ تعداد لایه‌ها و نرون‌های میانی ٧٩

٤-٨ تعداد الگوهای یادگیری ٨١

٤-٩ توزیع الگوهای یادگیری ٨١

٤-١٠ تعمیم ٨٢

٤-١١ روش اعتبارسنجی عرضی ٨٣

فصل پنجم : تخمین پارامترهای تزریق با استفاده از شبکه عصبی ٨٤

مقدمه ٨٥

٥-١ موقعیت سایت عملیات تزریق آزمایشی ٨٥

٥-١-١ بررسی نتایج تزریق در سایت شماره یک ٨٦

۵-۱-۲ بررسی نتایج تزریق در سایت شماره دو ۸۷

۵-۲ انتخاب پارامترهای تزریق به عنوان پارامترهای ورودی و خروجی شبکه عصبی ۸۸

۵-۲-۱ پارامترهای ورودی شبکه عصبی طراحی شده ۹۰

۵-۲-۲ پارامترهای خروجی شبکه عصبی طراحی شده ۹۰

۵-۳ انتخاب تعداد داده‌های آموزشی ۹۱

۵-۳-۱ روش ابرمکعب ۹۱

۵-٤ معیارهای ارزیابی شبکه ۹۲

۵-٤-۱ ضریب همبستگی ۹۲

۵-٤-۲ جذر میانگین مربعات خطا ۹۳

۵-٤-۳ میانگین قدر مطلق خطا ۹۳

۵-۵ معماری شبکه عصبی طراحی شده برای مسئله مورد نظر ۹۳

۵-٦ مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی ۹٤

۵-۷ پیش‌پردازش و پس‌پردازش ۹۵

۵-۷-۱ روش میانگین- انحراف‌معیار ۹٦

۵-۷-۲ مقیاس‌بندی مقادیر در محدوده [۰،۱] ۹٦

۵-۷-۳ مقیاس‌بندی مقادیر در محدوده [۱،۱-] ۹٦

۵-۸ آموزش شبکه عصبی طراحی شده ۹۷

۵-۸-۱ برآورد فشار تزریق با شبکه عصبی ۹۷

۵-۸-۱-۱ تخمین فشار تزریق با استفاده از روش میانگین- انحراف‌معیار ۹۷

۵-۸-۱-۲ تخمین فشار تزریق با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در بازه [۰،۱] ۹۹

۵-۸-۱-۳ تخمین فشار تزریق با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در بازه [۱،۱-] ۱۰۱

۵-۸-۱-٤ مقایسه بین نتایج حاصل از روش‌های مختلف نرمال‌سازی در تخمین فشار تزریق ۱۰۳

۵-۸-۲ تخمین میزان خورند سیمان با شبکه عصبی ۱۰٦

۵-۸-۲-۱ برآورد میزان خورند سیمان با استفاده از روش میانگین- انحراف‌معیار ۱۰٦

۵-۸-۲-۲ برآورد میزان خورند سیمان با استفاده از روش مقیاس‌بندی داده‌ها در بازه [۰،۱] ۱۰۸

۵-۸-۲-۳ برآورد میزان خورند سیمان با استفاده از روش مقیاس‌بندی داده‌ها در بازه [۱،۱-] ۱۱۰
۵-۸-۲-٤ مقایسه بین نتایج حاصل از روش‌های مختلف نرمال‌سازی در برآورد میزان خورند سیمان ۱۱۲
۵-۸-۳ تخمین مدت زمان تزریق با استفاده از شبکه عصبی ۱۱۵
۵-۸-۳-۱ برآورد مدت زمان تزریق با استفاده از روش میانگین- انحراف‌معیار ۱۱۵
۵-۸-۳-۲ برآورد مدت زمان تزریق دوغاب با استفاده از روش مقیاس‌بندی داده‌ها در بازه [۰،۱] ۱۱۷
۵-۸-۳-۳ تخمین مدت زمان تزریق با استفاده از روش مقیاس‌بندی داده‌ها در بازه [۱،۱-] ۱۱۹
۵-۸-۳-٤ مقایسه بین نتایج حاصل از روش‌های مختلف نرمال‌سازی در برآورد مدت زمان تزریق ۱۲۱

فصل ششم : نتیجه گیری ۱۲۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۲۵

فهرست منابع و مراجع ۱۲۸

پیوست الف: داده‌های تزریق آزمایشی سد رودبار لرستان ۱۳۲

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. ملاک ارائه شده توسط هولسبی (۱۹۷٦)..... ۸

شکل ۲-۲. گسترش طولی پرده آببند در جناحین بر اساس وضعیت آب زیرزمینی ۱۲

شکل ۲-۳. شعاع تزریق در تک درزه‌ی مسطح ۱٤

شکل ۲-٤. ملاک آب‌بندی با توجه به سه عامل فرسایش‌پذیری پی، میزان نشت آب از ذخیره (اورت) ۱۹

شکل۲-۵. پرسش اصلی عملیات تزریق ۲۰

شکل ۲-٦. دو وضعیت مطلوب و نامطلوب درزه‌خیزی در ساختگاه ۲٤

شکل ۲-۷. دسته‌بندی اصلی و معمول نمودارهای P-Q (۱) جریان یکنواخت (۲) جریان آشفته (۳) تغییر شکل الاستیک (٤) آب‌شستگی یا فرسایش (۵) آب‌شکست، مقدار P_C بیانگر فشار بحرانی است که با افزایش فشار از آن مقدار شکست صورت می‌پذیرد (٦) انسداد. ۳٤

شکل ۲-۸. نمودارهای P-Q-T در مقایسه با نمودارهای P-Q ۳۸

شکل ۲-۹. بکارگیری الگوهای لوژن به منظور تعیین عدد لوژن متناسب ٤۰

شکل ۲-۱۰. وضعیت‌های مختلف دو پارامتر نفوذپذیری و خورند دوغاب نسبت به هم ٤۳

شکل ۲-۱۱. محاسبه فشار تزریق بر اساس فشار مانومتری، موقعیت مقطع نسبت به سطح آب زیرزمینی و وزن مخصوص دوغاب ٤٦

شکل ۲-۱۲. وضعیت شماتیک فشار دوغاب در نقاط مختلف ٤۷

شکل ۲-۱۳. انتخاب فشار مجاز تزریق ٤٨

شکل ۳-۱. عکس ماهواره‌ای محدوده‌ی طرح..... ٥٧

شکل ۳-۲. نقشه شماتیک تقسیمات ساختمانی ایران از نظر اشتوکلین و روتنر ٥٩

شکل ۳-۳. هشت زون قابل تفکیک در ساختگاه سد رودبار لرستان ٦٧

شکل ٤-۲. مدل ساده‌ای از یک شبکه عصبی مصنوعی ٧١

شکل ٤-۳. نمونه‌ای از توابع مورد استفاده در شبکه‌های عصبی ٧٣

شکل ٤-٤. شبکه چند لایه پرسپترون ٧٤

شکل ٤-٥. مسیرهای رفت و برگشت در شبکه‌های عصبی چند لایه..... ٧٦

شکل ٤-٦. پدیده یادگیری کم، کافی و بیش از حد ٨٠

شکل ٤-۷. نمودار خطا برای مجموعه آموزشی و ارزیابی در یک شبکه ٨٣

شکل ٥-۱. آرایش مثلثی گمانه‌های تزریق آزمایشی ٨٦

شکل ٥-۲. موقعیت سایت‌های تزریق آزمایشی در حوالی جایگاه سد ٨٩

شکل ٥-۳. روش ابر مکعب و انتخاب داده‌های آموزشی ٩٢

شکل ٥-٤. مقادیر **R** نسبت به تعداد نرون‌ها در لایه میانی برای داده‌های آموزشی و آزمایشی جهت تخمین فشار ١٠٤

شکل ٥-٥. مقدار **MSE** نسبت به تعداد نرون لایه‌های میانی در روش‌های مختلف آموزشی ١٠٤

شکل ٥-٦. خطای **MSE** در حین آموزش شبکه برای مدل ارائه شده ١٠٥

شکل ۵-۷. مقدار R در حین آموزش شبکه برای مدل ارائه شده ۱۰۵

شکل ۵-۸. مقایسه مقادیر واقعی فشار تزریق و مقادیر تخمین زده شده توسط شبکه عصبی در گمانه‌های آموزش و تست ۱۰۶

شکل ۵-۹. مقادیر R نسبت به تعداد نرون‌ها در لایه میانی برای داده‌های آموزشی و آزمایشی جهت تخمین مقدار خورند سیمان ۱۱۳

شکل ۵-۱۰. مقدار MSE نسبت به تعداد نرون لایه‌های میانی در روش‌های مختلف آموزشی ۱۱۳

شکل ۵-۱۱. خطای MSE در حین آموزش شبکه برای مدل ارائه شده ۱۱۴

شکل ۵-۱۲. مقدار R در حین آموزش شبکه برای مدل ارائه شده ۱۱۴

شکل ۵-۱۳. مقایسه مقادیر واقعی خورند سیمان و مقادیر تخمین زده شده توسط شبکه عصبی در گمانه‌های آموزش و تست ۱۱۵

شکل ۵-۱۴. مقادیر R نسبت به تعداد نرون‌ها در لایه میانی برای داده‌های آموزشی و آزمایشی جهت تخمین مدت زمان تزریق ۱۲۲

شکل ۵-۱۵. مقدار MSE نسبت به تعداد نرون لایه‌های میانی در روش‌های مختلف آموزشی ۱۲۲

شکل ۵-۱۵. خطای MSE در حین آموزش شبکه برای مدل ارائه شده ۱۲۳

شکل ۵-۱۶. مقدار R در حین آموزش شبکه برای مدل ارائه شده ۱۲۴

شکل ۵-۱۷. مقایسه مقادیر واقعی مدت زمان تزریق و مقادیر تخمین زده شده توسط شبکه عصبی در گمانه‌های آموزش و تست ۱۲۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱. مهم‌ترین داده‌های مورد نیاز به منظور طراحی پرده آب‌بند ۲۲

جدول ۲-۲. اطلاعات مورد ثبت در پیمایش صحرایی گسستگی‌های سنگ و نحوه رده‌بندی توصیفی و کمی آنها ۲۵

جدول ۲-۳. برخی از مهم‌ترین نظریات ارائه شده در ارتباط با فشار آزمایش لوژن. ۳۱

جدول ۲-٤. دقت و وضعیت کیفی معادل محدوده‌های کمی پارامتر عدد لوژن ۳۹

جدول ۲-۵. مقادیر پیشنهادی فشار بر حسب MPA با در نظر گرفتن شرایط مختلف سنگ ٤۷

جدول ۲-٦. فاکتورهای اصلی دوغابهای پایه سیمانی ۵۱

جدول ۲-۷. انتخاب نسبت W : C بر اساس میزان بازشدگی درزه‌ها و مقادیر لوژن منسوب به آنها ۵۳

جدول ۳-۱. خلاصه اطلاعات چینه‌شناسی در محدوده طرح ٦۲

جدول ۳-۲. زون‌های قابل تفکیک در ساختگاه سد..... ٦٦

جدول ۵-۱. بازه‌ی تغییرات پارامترهای ورودی شبکه عصبی برای مسئله مورد نظر ۹۰

جدول ۵-۲. بازه‌ی تغییرات پارامترهای ورودی شبکه عصبی برای مسئله مورد نظر ۹۰

جدول ۵-۳. آموزش شبکه با استفاده از روش نرمال‌سازی میانگین- انحراف‌معیار برای برآورد فشار تزریق ۹۸

جدول ۵-٤. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش میانگین- انحراف‌معیار برای تخمین فشار تزریق..... ۹۹

جدول ۵-۵. آموزش شبکه با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در محدوده [۰،۱] جهت برآورد فشار تزریق..... ۱۰۰

جدول ۵-٦. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش مقیاس‌بندی در بازه [۰،۱] جهت تخمین فشار تزریق ۱۰۱

جدول ۵-۷. آموزش شبکه با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در محدوده [۱،۱-] جهت برآورد فشار تزریق ۱۰۲

جدول ۵-۸. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش مقیاس‌بندی در بازه [۱،۱-] جهت برآورد فشار تزریق ۱۰۳

جدول ۵-۹. تعداد نرون‌ها، نوع الگوریتم و مقادیر معیارهای ارزیابی در روشهای مختلف نرمال‌سازی جهت تخمین فشار تزریق ۱۰۳

جدول ۵-۱۰. آموزش شبکه با استفاده از روش نرمال‌سازی میانگین- انحراف‌معیار برای برآورد خورند سیمان. ۱۰۷

جدول ۵-۱۱. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش میانگین- انحراف‌معیار برای تخمین میزان خورند سیمان ۱۰۸

جدول ۵-۱۲. آموزش شبکه با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در بازه [۰،۱] جهت تخمین خورند سیمان..... ۱۰۹

جدول ۵-۱۳. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش مقیاس‌بندی در بازه [۰،۱] جهت تخمین میزان خورند سیمان ۱۱۰

جدول ۵-۱٤. آموزش شبکه با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در بازه [۱،۱-] جهت تخمین خورند سیمان..... ۱۱۱

جدول ۵-۱۵. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش مقیاس‌بندی داده‌ها در بازه [۱،۱-] جهت تخمین میزان خورند سیمان ۱۱۲

جدول ۵-۱٦. تعداد نرون‌ها، نوع الگوریتم و معیارهای ارزیابی در روشهای مختلف نرمال‌سازی برای برآورد میزان خورند سیمان ۱۱۲

جدول ۵-۱۷. آموزش شبکه با استفاده از روش نرمال‌سازی میانگین- انحراف‌معیار برای برآورد مدت زمان تزریق ۱۱٦

جدول ۵-۱۸. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش میانگین- انحراف‌معیار برای تخمین مدت زمان تزریق ۱۱۷

جدول ۵-۱۹. آموزش شبکه با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در بازه [۰،۱] جهت تخمین مدت زمان تزریق ۱۱۸

جدول ۵-۲۰. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش مقیاس‌بندی در بازه [۰،۱] جهت تخمین مدت زمان تزریق ۱۱۹

جدول ۵-۲۱. آموزش شبکه با استفاده از مقیاس‌بندی مقادیر در بازه [۱،۱-] جهت تخمین مدت زمان تزریق ... ۱۲۰

جدول ۵-۲۲. مقادیر خطا و انتخاب بهترین شبکه در روش مقیاس‌بندی داده‌ها در بازه [۱،۱-] جهت تخمین مدت زمان تزریق ۱۲۱

جدول ۵-۲۳. تعداد نرون‌ها، نوع الگوریتم و معیارهای ارزیابی در روش‌های مختلف نرمال‌سازی برای برآورد زمان تزریق ۱۲۱

فصل اول

مقدمه

مقدمه

از آنجا که کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است، همواره از کم‌آبی و خشک‌سالی‌های متمادی رنج می‌برد. میانگین نزولات جوی در ایران پایین‌تر از میانگین جهانی است. عمده بارندگی‌ها در فصول خاص (زمستان و بهار) متمرکز می‌باشد. بنابراین مسئله مهار و ذخیره آب و سیلاب‌های سطحی در فصول پر باران و استفاده‌ی آنها در فصول دیگر امری حیاتی و اجتناب ناپذیر می‌باشد.

در حال حاضر کلمات «جنگ آب» و «بحران آب» عبارات نامأنوس و دور از ذهنی تلقی نمی‌گردند. با این وجود بشر در تکاپوی رفع این مسئله دست بر مدیریت منابع آب زده و در اندیشه‌ی کنترل این ثروت‌های جاری است. بارورسازی ابرها، احداث سدها، اکتشاف و مدیریت منابع آب زیرزمینی، مهندسی رودخانه از جمله مهم‌ترین اقداماتی است که در مبارزه با بحران آب صورت می‌پذیرد. از سویی دیگر وفور بیش از حد آب نیز در قالب بلایایی چون سیل، تخریب سازه‌ها، زمین‌لغزش‌ها و غیره ظهور می‌کند، لذا مهار آب هم از کمبود و هم از وفور بیش از حد آن ممانعت می‌نماید که صنعت سدسازی زاده‌ی همین مدیریت منابع آب است.

آنچنانکه جریانات یک رودخانه به سطح محدود نمی‌گردد و در بخش تحت‌الارضی آن غوغایی از جریانات هیدرولیکی زیرزمینی برپاست، یک سد نیز که وظیفه مهار اساسی این جریانات بر عهده‌ی آنست، به یک دیواره‌ی خاکی یا بتنی که همچون مانعی بر سر راه یک یا چند رودخانه قرار گرفته محدود نمی‌گردد. بلکه همواره به ابزاری تحت‌الارضی به نام «پرده آب‌بند[1]» مجهز است که همانند سدی در برابر جریانات زیرزمینی می‌باشد. نکته‌ی جالب توجه این است که حتی در مواردی سیمان مصرفی در احداث این سازه از میزان سیمان مصرف شده در احداث سد فراتر خواهد رفت. احداث این بخش توسط «عملیات تزریق[2]» صورت می‌پذیرد، از اینرو به آن پرده‌ی تزریق نیز گفته می‌شود. در طی عملیات تزریق دوغاب[3] تحت فشاری مشخص از درون گمانه‌های حفر شده به محیط زمین وارد می‌شود و با

[1] Cutoff Curtain
[2] Grouting Operation
[3] Grout