

مطالعات درزه‌نگاری و بررسی‌های ژئومکانیکی در طراحی و استخراج معادن سنگ ساختمانی، مطالعه موردی: معدن مرمریت برد شیراز

رضا الوان دارستانی*^۱، وفا کوهی اصفهانی^۲

۱- کارشناسی ارشد رشته مهندسی استخراج معدن، مدیر بهره‌برداری و اکتشاف شرکت فنی مهندسی نوین معدن

۲- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، کارشناس ارشد شرکت درخشنده سنگ

(*عهده دار مکاتبات - reza_alvan@yahoo.co.uk)

چکیده

درزه‌نگاری و بررسی‌های ژئومکانیکی از مهمترین روش‌های شناخت و تحلیل مسایل تکتونیکی به خصوص در معادن سنگ ساختمانی می‌باشد. مطالعه درزه‌ها و مشخصات آن‌ها می‌تواند راهگشای شناخت نوع، روش و جهت استخراج معادن سنگ ساختمانی می‌باشد. معدن مرمریت برد شیراز در بخش سوریان واقع در شهرستان آباده استان فارس واقع است که از حدود ۱۸ سال پیش فعال بوده و به‌روشن پلکانی روباز در ۷ پله با روش سیم‌برش الماسی استخراج می‌شود. در این مقاله ضمن معرفی معدن و بررسی روش‌های درزه‌نگاری نسبت به تعیین ایستگاه و برداشت درزه‌ها به روش پنجره‌ای شعاعی اقدام شد. سپس با استفاده از نرم‌فزارهای مختلف نسبت به تهیه جداول و نمودارهای مختلف اقدام گردید و در نهایت جهت‌های مناسب استخراجی و برش سنگ به همراه نتایج فنی معرفی گردیده و پیشنهادهای لازم برای بهینه‌سازی استخراج ارائه شده‌است.

واژگان کلیدی: سنگ ساختمانی، درزه‌نگاری، معدن بردشیراز.

۱- مقدمه

استفاده روزافزون از سنگ‌های ساختمانی باعث رشد سریع روش‌های استخراج و بهره‌برداری از معادن این نوع سنگ‌ها گردیده‌است. ایران نیز از جمله کشورهایی است که در زمینه معادن سنگ‌های ساختمانی دارای قابلیت‌های فراوانی می‌باشد. ذخیره برآوردشده سنگ‌های ساختمانی و تزئینی کشور حدود ۱/۱ میلیارد تن و ذخیره قطعی آن نیز ۵۶۲ میلیون تن می‌باشد. در کشور طبق آخرین آمار ۵۳۲ معدن در زمینه استخراج سنگ‌های تزئینی فعالند که استخراج سالانه‌شان در سال ۱۳۸۰ حدود ۷ میلیون تن بوده‌است. این معادن ۱۲/۵ درصد سهم تولید جهانی را شامل می‌شود که از این نظر کشورمان در رتبه چهارم جهان قرار دارد. میزان درصد سنگ‌های استخراج شده معادن کشور به ترتیب: مرمریت ۴۲/۹٪، چینی ۱۸/۸٪، گرانیت ۱۷/۵٪، تراورتن ۱۱/۷٪ و مرمر ۹/۲٪ می‌باشد (ملک محمدی، ۱۳۸۰). بهینه نمودن استخراج معادن سنگ‌های ساختمانی نیازمند یک اکتشاف دقیق و مناسب، استفاده از نیروهای متخصص و بکارگیری تجهیزات و ماشین‌آلات پیشرفته می‌باشد. تاکنون در کشور با توجه به هزینه‌های بخش اکتشاف و وجود ریسک در آن عملیات اکتشاف به‌صورت سیستماتیک نهادینه نشده‌است. از این رو انجام بررسی‌های تکتونیکی و ژئومکانیکی می‌تواند راهگشای بسیاری از عملیات اکتشافی بوده و مسیر بهینه استخراج را مشخص نماید.

۲- درزنگاری و کاربردهای آن

درزه‌ها عبارت از شکستگی‌هایی است که غالباً در سنگ‌ها مشاهده می‌شود. مهمترین مشخصه درزه‌ها آن است که در این نوع شکستگی‌ها، حرکت نسبی به موازات سطح شکستگی وجود ندارد (مدنی، ۱۳۷۳). درزنگاری یکی از روش‌های شناخت در علم تکتونیک می‌باشد. در معادن سنگ ساختمانی، دو عامل شکستگی و رنگ مهمترین پارامترهای کیفی محصول را مشخص می‌کند. بنابراین مواردی چون عیار یا درصد مواد مضر که برای معادن فلزی و غیرفلزی به عنوان شاخص کیفیت شناخته می‌شوند در این نوع معادن کاربردی ندارند. در یک معدن سنگ ساختمانی میزان قواره‌دهی سنگ وابستگی معکوس به تعداد و نوع شکستگی‌ها دارد. با توجه به اینکه مهمترین عامل در قواره‌دهی سنگ‌های ساختمانی درزه‌ها و سپس ریزدرزه‌ها و ترک‌ها هستند، معمولاً از بحث در خصوص تأثیر گسل‌ها در این بخش خودداری می‌شود. البته اغلب، گسل‌ها به عنوان مرزهای معادن، بلوک‌ها و سینه‌کارها شناخته می‌شوند.

۲-۱- اهمیت مطالعه درزه‌ها

مطالعه درزه‌ها در بسیاری از کارهای مهندسی ضرورت دارد. مثلاً هنگام استخراج سنگ‌های ساختمانی، به خصوص سنگ‌هایی که بایستی به قطعات بزرگ استخراج شود، شناسایی درزه‌های محل ضروری است. هنگام انتخاب محل تونل‌های راهسازی و معدنی بایستی قبلاً وضعیت درزه‌های محل را بررسی کرد، زیرا وجود آن‌ها، هم باعث اختلال در امر حفاری و پیشروی شده و هم نگهداری تونل حفر شده را با مشکل روبرو می‌سازد. همچنین مطالعه درزه‌ها قبل از ساخت سد اهمیت فراوانی دارد. وجود درزه‌ها در سنگ‌های اطراف جاده‌ها، باعث لغزش آن‌ها می‌شود و خطراتی را به بار می‌آورد. بنابراین بایستی آن‌ها را قبلاً مشخص نمود و اقدامات لازم را به عمل آورد. هنگام اکتشاف و پی‌جویی منابع معدنی نیز وقوف به وضعیت درزه‌های محل ضروری است، زیرا بسیاری رگه‌های معدنی، از روند شکستگی‌های سنگ‌ها از جمله درزه‌ها تبعیت می‌کنند. مهمترین تأثیر بررسی‌های ژئومکانیکی در معادن سنگ‌ ساختمانی تعیین جهت مناسب بازکردن کارگاه، روند مناسب استخراج و امتداد مطلوب برش و کوپ کردن می‌باشد. این کار فقط با اندازه‌گیری و محاسبات درزه‌ها و تفسیر اطلاعات مذکور که اصطلاحاً به آن درزنگاری می‌گویند امکان‌پذیر است.

۳- معدن مرمریت برد شیراز

معدن درخشنده سنگ برد شیراز در ۳۱ کیلومتری شمال شرق بخش سوریان در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۸ دقیقه واقع شده‌است. محدوده معدن در شش ضلعی به مساحت ۱۹/۵ کیلومتر مربع محصور شده‌است. سوریان مرکز بخش بوانات، از بخش‌های تابعه شهرستان آباده، استان فارس می‌باشد که در ۱۴۲ کیلومتری جنوب شرقی آباده و ۵۶ کیلومتری راه آسفالت‌ه اصفهان-شیراز واقع شده است. از نظر قواره‌دهی با توجه به ضخیم بودن سنگ و عدم وجود سیستم درزه‌ای عمده‌ای در منطقه، میزان قواره‌دهی معدن بین ۶۰ تا ۷۰ درصد می‌باشد. مقدار روباره معدن بسیار کم بوده و ضخامت آن از ۲ متر تجاوز نمی‌کند (شرکت درخشنده سنگ، ۱۳۷۹).

۳-۱- کیفیت سنگ استخراجی

ماده معدنی سنگ مرمریت با رنگ قرمز تا صورتی است. از نظر ترکیب شیمیایی ۵۴/۷۶ درصد حجم سنگ از اکسید کلسیم (CaO) و کربنات کلسیم (CaCO₃) تشکیل شده‌است. خواص فیزیکی سنگ معدن در جدول ۱ ذکر شده‌است.

جدول ۱: خواص و مشخصات فیزیکی سنگ معدن (شرکت درخشنده سنگ، ۱۳۷۹)

وزن مخصوص ظاهری	۲/۶۹ گرم بر سانتی متر مکعب
ضریب جذب رطوبت	۰/۴۲ درصد
مقاومت فشاری در حالت خشک	۶۹۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع
افت وزنی در مقابل سرما و گرما	۰/۷ درصد
افت وزنی در مقابل سایش	۲۷ درصد
مقاومت فشاری در حالت اشباع	۶۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

۲-۳- زمین‌شناسی محدوده معدن

این ناحیه از سنگ‌های رسوبی معمول پالئوزوئیک و تریاس حوزه رسوبی ایران مرکزی در اثر پیشروی دریا روی آهک‌های آپتین (Aptian) تشکیل شده است (شرکت درخشنده سنگ، ۱۳۷۹). معدن بر روی بخشی از یک تاقدیس قرار دارد که شیب آن به سمت جنوب‌شرق و امتداد آن شمال‌شرق-جنوب‌غرب است. احتمالاً سن لایه‌های آهکی متعلق به پالئوژن (الیگوسن) می‌باشد. ولی قسمت‌هایی که سنگ استخراجی در آن قرار دارد به صورت دگر شیب و با شیب افقی بر روی پال تاقدیس قرار دارند (شرکت درخشنده سنگ، ۱۳۷۹). سنگ عمده معدن لایه‌های زرد و خاکستری آهک‌های ریز تا متوسط دانه فسیل‌دار و سنگ‌های باطله اغلب به‌صورت کنگلومرا می‌باشد (شهیدی، ۱۳۷۸).

عملیات اکتشافی از سال ۱۳۷۱ آغاز گردید. پس از اتمام عملیات مذکور که فقط در حد تهیه یک گزارش مقدمات بوده‌است طی یک دوره شش ساله عملیات استخراج در سه پله (طبقه) صورت گرفت. سپس با تغییر مدیریت در دوره بعدی به دلیل پایین آمدن کیفیت سنگ و مرتفع شدن بیش از حد پله‌ها، ضمن تغییر شکل معدن، تعداد چهار پله به آن اضافه گردید و در حال حاضر معدن دارای هفت طبقه فعال می‌باشد. روش استخراج به‌صورت پلکانی با استفاده از سیستم سیم‌برش و راسول می‌باشد. در شکل ۱ تصویر سینه‌کار اصلی معدن مشخص می‌باشد.

بهره‌بردار معدن جدیداً بدلیل دستیابی به سنگ مطلوبتر با شکستگی کمتر و رنگ بهتر نسبت به باز نمودن یک سینه‌کار جدید در فاصله کمتر از یک کیلومتری غرب سینه‌کار اصلی اقدام نموده‌است. در این سینه‌کار که به‌نام معدن سنگ صورتی شناخته می‌شود هنوز عملیاتی زیادی صورت نگرفته‌است. روند کلی سینه‌کار (جهت پله‌های استخراجی) روندی شرقی- غربی می‌باشد. طبق اندازه‌گیری‌های دقیقی که توسط کمپاس و نیز توسط محاسبات کامپیوتری در نرم‌افزار Map Source 6.12.4 صورت گرفته است، امتداد کلی پله ۱ (طبقه پایین) ۹۳/۷ درجه، پله ۲ (وسط) ۸۷/۳ درجه و پله بالایی نیز ۸۷/۳ درجه بدست آمده‌است. روند کلی سینه‌کار با توجه به شکل تقریباً نیم دایره‌ای آن ۸۹/۴ درجه می‌باشد. در شکل ۲ نمای کلی سینه‌کار شماره دو مشاهده می‌شود.



شکل ۲: نمای گسترده سینه‌کار صورتی (معدن شرقی)



شکل ۱: سینه‌کار اصلی معدن مرمیت برد شیراز

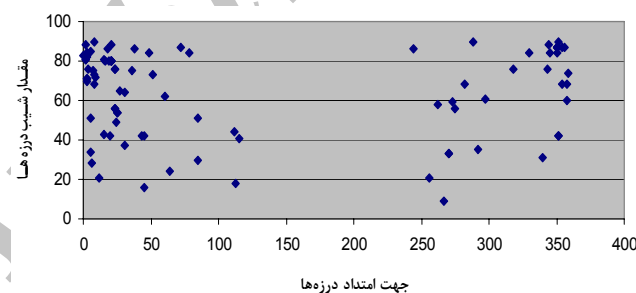
۴- روش تحقیق

در تمامی سنگ‌ها، اعم از رسوبی، آذرآواری، آذرین نفوذی، آتشفشانی و دگرگونی درزه‌ها وجود دارند. یکی از مهمترین روش‌های شناخت خواص ژئومکانیکی و تکتونیکی، شناسایی پارامترها و مشخصات درزه‌ها می‌باشد. لذا جهت شناسایی این مشخصات، پارامترهایی نظیر شیب، امتداد، جهت شیب، میزان باز شدگی، نوع مواد پرشونده و فاصله‌داری درزه‌ها اندازه‌گیری و یادداشت می‌شوند. سپس بررسی‌های آماری مورد نظر و نمودارهای مربوطه نظیر استریونوت و نمودار گل‌سرخ ترسیم و نتایج مورد نظر اخذ می‌گردد (بارنز، ۱۳۷۵).

برای انجام عملیات درزه‌نگاری ابتدا ۵ ایستگاه برداشت در محدوده معدن در نظر گرفته‌شد. تعداد این ایستگاه‌ها با توجه به محدوده کوچک و تعداد کم درزه‌ها تقریباً کافی به‌نظر می‌رسد. ایستگاه‌های S1 تا S4 در محدوده معدن اصلی مشخص شد و ایستگاه شماره S5 به دلیل کوچکی سینه کار شرقی در وسط طبقه دوم این سینه‌کار انتخاب شد. در هر ایستگاه به روش پنجره‌ای شعاعی پارامترهای امتداد، مقدار شیب، جهت شیب و میزان بازشدگی به روش اروپایی با کمپاس برانتون اندازه‌گیری و محاسبه گردید. به دلیل کم بودن تعداد درزه‌ها و یکنواخت نبودن روند مقادیر شیب و امتداد از اندازه‌گیری فاکتور فاصله‌داری درزه‌ها خودداری گردید. جداول و نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel 2003 تهیه شد. از نرم‌افزار Rock Works 14 نیز برای رسم نمودار گل‌سرخ استفاده شد. با توجه به اینکه ایستگاه شماره S5 در بخش سینه کار شرقی که به تازگی باز شده قرار دارد، و برنامه آتی بهره‌بردار در این بخش تعریف شده، لذا بیشترین نقاط برداشت‌شده در این بخش قرار گرفته‌است. مطالعات آماری در هر منطقه بر روی شکستگی‌های موجود به‌خصوص درزه‌ها، تنها راه مطمئن شناخت روند تکتونیکی منطقه می‌باشد. فراوانی ناپیوستگی‌ها خود، یکی از معیارهای اساسی درجه خردشدگی توده‌سنگ می‌باشد (الوان دارستانی، ۱۳۸۴).

۵- مطالعات آماری و فنی

پس از انجام برداشت صحرائی، داده‌ها طبق روش‌هایی که در بخش قبل توضیح داده‌شد مورد مطالعه قرار گرفت. پس از تهیه جدول کلی داده‌ها، نمودار همبستگی بین پارامترهای مقدار شیب و جهت امتداد درزه‌ها ترسیم گردید.

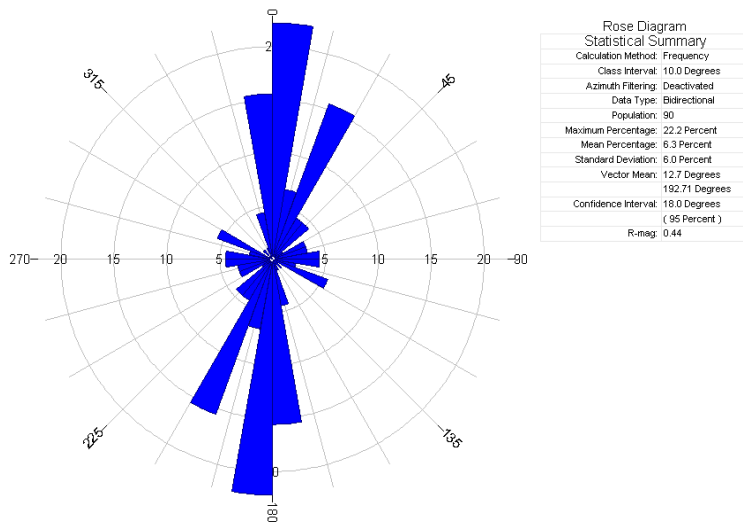


نمودار ۱: همبستگی بین جهت امتداد درزه‌ها و شیب درزه‌ها

این نمودار نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی بین این دو پارامتر در امتدادهای نزدیک شمال وجود دارد. ضمناً مقدار شیب در دسته‌درزه‌های اصلی (نزدیک شمال) به عمود نزدیک‌تر است. در مرحله بعد به کمک نرم‌افزار Rock Works 14 نمودار گل‌سرخ بر اساس اطلاعات این داده‌ها بر اساس روش فراوانی ترسیم گردید (نمودار ۲). این نمودار بر پایه اطلاعات مربوط به امتداد ۹۰ درزه در منطقه تهیه شده‌است. اطلاعات آماری این نمودار هم در جدول ۲ ارائه شده‌است. بررسی و مطالعه رزیدیاگرام رسم‌شده نشان می‌دهد که سه نوع دسته درزه در منطقه یافت می‌شود که همانطور که مشخص است دسته‌درزه اصلی منطقه جهتی شمالی جنوبی دارد که متوسط مقدار امتداد جهت اصلی ۱۲/۷ درجه می‌باشد. مشخصات آماری نمودار گل‌سرخ در جدول شماره دو آورده شده‌است.

جدول ۲: مشخصات آماری نمودار گل سرخی

Calculation Method	Frequency
Class Interval	10.0 Degrees
Azimuth Filtering	Deactivated
Data Type	Bidirectional
Population	90
Maximum Percentage	22.2 Percent
Mean Percentage	6.3 Percent
Standard Deviation	6.0 Percent
Vector Mean	12.7 Degrees 192.71 Degrees
Confidence Interval	18.0 Degrees (95 Percent)
R-meg	0.44



نمودار ۲: رز دیاگرام درزه‌های معدن مرمیت برد شیراز

برای تعیین مناسب‌ترین جهت پله‌های استخراجی و کوپ‌دهی باید عمود بر امتداد و شیب درزه‌ها و شکستگی‌ها، جهت ایجاد پله‌های استخراجی را ایجاد نمود. با توجه به امتداد متوسط $12/7$ درجه‌ای درزه‌ها مناسب‌ترین جهت طراحی پله‌ها در امتداد $102/7$ درجه می‌باشد. همچنین مناسب‌ترین جهت استخراج کوپ درست به موازات امتداد درزه‌ها یعنی $12/7$ درجه می‌باشد. اما با توجه به اینکه روند کلی سینه‌کار برابر $89/4$ درجه می‌باشد، می‌توان با اصلاح این روند با $13/3$ درجه به سمت جنوب به عدد مورد نظر رسید. در این جهت شیب توپوگرافی هم مناسب بوده و امکان کار را فراهم می‌نماید. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که متوسط میزان بازشدگی درزه‌ها حدود دو سانتی‌متر می‌باشد که ماده اصلی پرکننده درزه‌های باز شامل آبرفت‌های شسته‌شده و مقداری ژیبس و بلورهای آهک می‌باشد. همچنین میزان تاثیر، بازشدگی و طول درزه‌ها در عمق کاهش پیدا می‌کند.

۶- نتیجه‌گیری

در سنگ‌های ساختمانی دو عنصر رنگ و مشخصات تکتونیک پارامترهای اصلی جهت اکتشاف می‌باشند. معدن مرمیت برد شیراز فاقد درزه‌های تاثیرگذار در کاهش میزان قواره‌دهی سنگ می‌باشد. فاصله‌داری یکنواخت نبوده و میزان بازشدگی قابل توجه نیست. رنگ سنگ نیز در بخش‌های انتهایی غربی و شرقی که به صورت کنگلومرا درآمده‌اند تغییر نموده‌است. دسته درزه‌های اصلی دارای امتداد $12/7$ درجه می‌باشد. مقدار شیب در دسته‌درزه‌های اصلی (نزدیک شمال) به عمود نزدیک‌تر است. این موضوع خود می‌تواند عامل مناسبی در برش بهتر سنگ قلمداد شود. همچنین روند کلی سینه‌کار برابر $89/4$ درجه می‌باشد. جهت استخراج کنونی باید عمود بر امتداد دسته درزه اصلی انتخاب شود و طبعاً جهت استخراج کوپ‌ها در امتداد درزه‌ها خواهد بود. مناسب‌ترین جهت طراحی پله‌ها در امتداد $102/7$ درجه می‌باشد.

۷- پیشنهادها

پیشنهادهایی که در این بخش ارائه می‌شود فقط خاص این معدن نبوده و می‌توان با تطبیق با شرایط هر معدن نسبت به اجرای آن اقدام نمود.

الف- انجام کامل و دقیق نقشه‌برداری و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی با مقیاس $1:1000$ و دقیقتر.

ب- اجرای تحقیقات کامل ژئومکانیکی با انجام آزمایش‌های برجای مکانیک‌سنگی با توجه به ارزان بودن عملیات درزه‌نگاری و اقتصادی بودن آن.

ج- تهیه نمونه‌های جهت‌دار (اورینته) برای تعیین جهت‌داری کانی‌سازی و شناسایی و تعیین جهت ریزدرزه‌ها و ترک‌ها. در بسیاری از موارد ریزترک‌های موجود در سنگ هنگام برش زیر قله‌بر باز شده و باعث خرابی برش می‌شود. شناخت این ریز درزه‌ها و ترک‌ها می‌تواند کمک موثری در جلوگیری از صدمه‌رساندن این‌گونه موارد به سنگ برش‌خورده می‌شود.

د- انجام عملیات گمانه‌زنی تا عمق ۵۰ متر جهت شناخت رنگ و مشخصات ژئومکانیکی سنگ.

ه- تغییر جهت سینه‌کار به امتداد ۱۰۲/۷ که در این صورت جهت برش بلوک‌ها عمود بر آن به موازات دسته‌درزه‌های اصلی (۱۲/۷ درجه) خواهد بود.

۸- سپاسگزاری

نگارش این مقاله بدوم کمک‌های ارزنده و تلاش‌های بی‌دریغ مسئولین شرکت درخشنده سنگ و مجتمع صنایع سنگ کوهی امکان پذیر نبود. نویسندگان مقاله همچنین از راهنمایی‌های ارزنده جناب آقای دکتر پیمان افضل، استاد گروه مهندسی معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب سپاسگزاری می‌نمایند.

۹- منابع

۱. ملک محمدی، م.، ۱۳۸۰، گزارش آماری و تحلیلی تبعات پیوستن به سازمان تجارت جهانی (گزارش سنگ‌های ساختمانی و تزیینی)، سازمان صنایع و معادن استان لرستان.
۲. مدنی، ح.، ۱۳۷۳، زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک، موسسه انتشارات جهاد دانشگاهی (ماجد)، چاپ پنجم.
۳. شرکت درخشنده سنگ، ۱۳۷۹، گزارش اکتشاف معدن صورتی برد شیراز، اصفهان.
۴. شهیدی، ع.ر.، ۱۳۷۸، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش جیان، سازمان زمین‌شناسی کشور، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
۵. بارنز، ج.، ترجمه رضایی، پ.، جلیلیان، ع.ج.، ۱۳۷۵، اصول نقشه‌برداری زمین‌شناسی، نشر نخستین، تهران.
۶. الوان دارستانی، ر.، ۱۳۸۴، طراحی و تنظیم پله‌های استخراجی به کمک انفجار کنترل شده در معدن گرانیات دیوچال کلاردشت، پایان‌نامه پایان کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تابستان.