

## گزارش سنجش کیفیت سنگ (نام کاربری: Zahra)

### مقدمه

هدف این پروژه محاسبه شاخص کیفی سنگ<sup>۱</sup> بر اساس تصاویر نمونه‌های استخراج شده از معادن است. برای این منظور سیستمی بر اساس یادگیری عمیق و پردازش تصویر طراحی شده است. این سیستم شامل سه بخش پیش‌پردازش تصاویر، جداسازی قطعات بزرگ سنگ و چوب‌های نشانه با استفاده از شبکه عصبی و پس‌پردازش نتایج و محاسبه معیار RQD است که در ادامه به تشریح هر کدام خواهیم پرداخت.

### پیش‌پردازش

در این بخش ابتدا نیمه بالایی تصاویر که مربوط به جعبه بوده و اطلاعاتی در مورد نمونه‌های سنگ ندارد حذف شده است. سپس برای هر تصویر، با توجه به برجسب‌های ارائه شده، یک نقشه دودویی برای هر دو کلاس سنگ‌ها و چوب‌های نشانه تهیه شده است. در نهایت هر تصویر به پنج قسمت مساوی تقسیم و هر ردیف از جعبه به عنوان یک داده جداگانه به همراه برجسب مربوط به آن به صورت نقشه دودویی ذخیره شده است. لازم است ذکر شود که تعدادی از تصاویر موجود در مجموعه دادگان دارای تعداد ردیف‌های متفاوتی بوده و برش تصاویر به صورت ثابت می‌تواند منجر به مشکلاتی شود. البته در این مرحله به علت کم بودن تعداد این تصاویر این مساله در نظر گرفته نشده است، ولی در نسخه بعدی می‌توان با تشخیص خودکار تعداد ردیف‌های هر جعبه این کار را به صورت هوشمندانه انجام داد.

### تقطیع و جداسازی قطعات سنگ در تصاویر

در این بخش، از شبکه U-Net با ۵ بلوک کانولوشنی مانند شکل ۱ استفاده شده است. این شبکه پس از آموزش، نقشه دودویی برای هر دو کلاس سنگ و چوب ارائه می‌دهد. علاوه بر این، با توجه به محدودیت حافظه، برای فراهم کردن داده‌های ورودی شبکه در هنگام آموزش، کلاس DataGenerator نیز تعریف شده است. این کلاس پس از بارگذاری تصاویر و برش تصادفی بخشی از آنها به ابعاد ورودی شبکه، با اعمال تغییرات تصادفی روی آنها شامل برگردان از بالا به پایین و چپ به راست، باعث افزایش داده‌های آموزش می‌شود. در نهایت با نرمال‌سازی داده‌ها و انتقال مقادیر آن به بازه صفر تا یک، زوج تصاویر و برجسب آنها را بازمی‌گرداند. سایر پارامترهای آموزش شبکه در جدول ۱ بیان شده است.

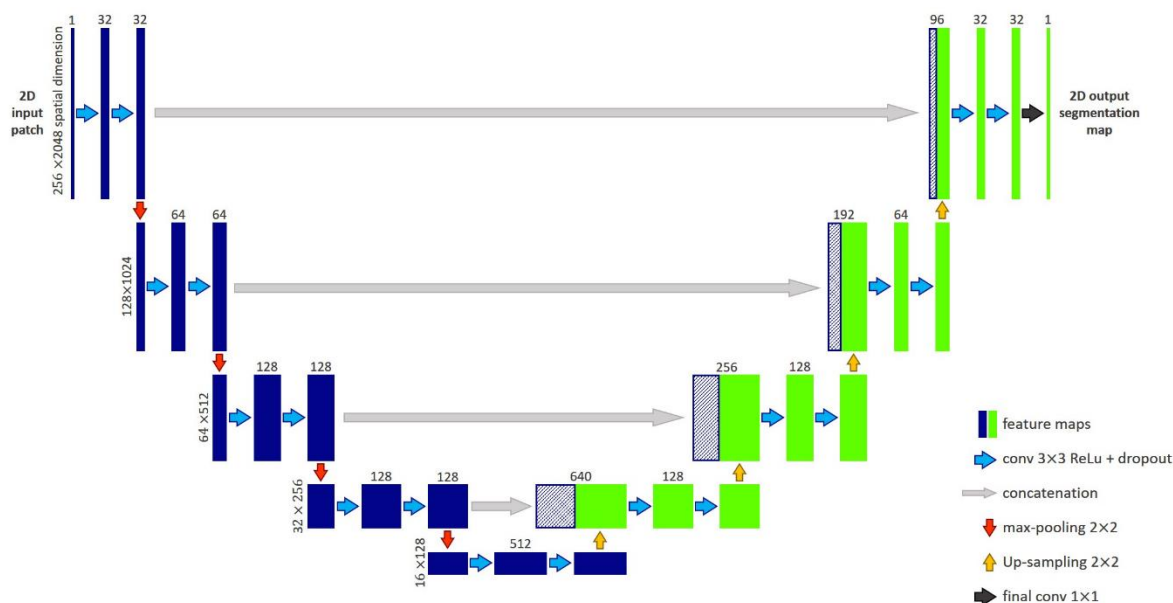
Name	Value
Loss Function	Dice Loss
Input Size	(256, 2048, 3)
Learning Rate	0.0001
Batch Size	4
Epochs	20
Train/Validation Split Rate	0.9

جدول ۱- پارامترهای آموزش شبکه

---

<sup>۱</sup> Rock quality designation (RQD)

در ادامه تصاویر آزمون بارگذاری شده و مراحل پیش‌پردازش را که شامل نرمال‌سازی مقادیر، حذف نیمه بالایی تصویر و تقسیم باقیمانده آن به ۵ قسمت است، طی می‌کنند. سپس هر بخش (ردیف در جعبه) به قطعات کوچکتری به اندازه ورودی شبکه تقسیم شده و نقشه دودویی آن با استفاده مدل آموزش دیده به دست می‌آید. در نهایت قطعات مختلف دوباره کنار هم قرار گرفته تا نقشه کلی بازسازی شود.



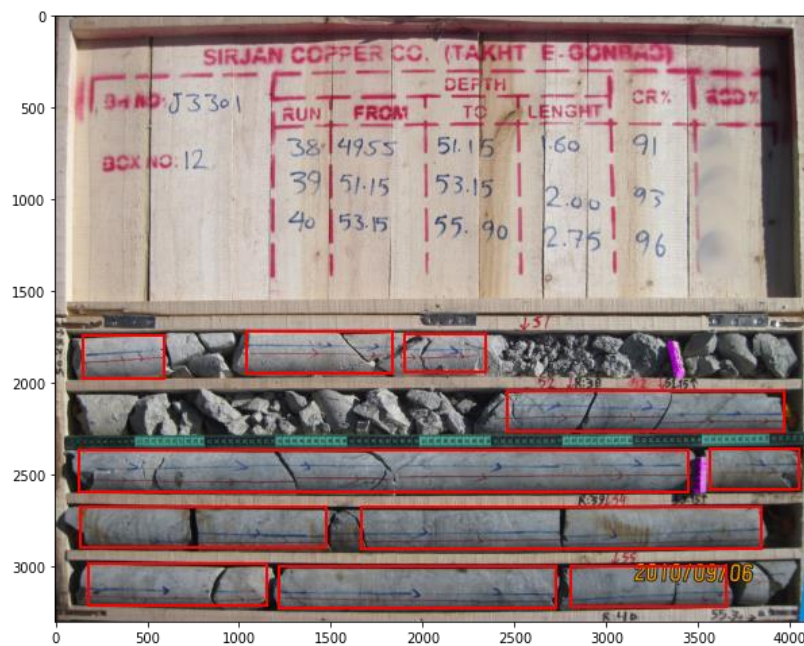
تصویر ۱- معماری شبکه U-Net

## پس‌پردازش و محاسبه RQD

در این مرحله هدف حذف نواحی نادرست و بهبود نتایج شبکه است. در بخش چوب‌های جداکننده، با توجه به دقت بالای شبکه در تشخیص این نواحی، تنها کافی است نواحی با مساحت کم حذف شوند. ولی در بخش سنگ‌ها خطای شبکه بیشتر بوده و نیاز به پردازش بیشتری است. در این مرحله ابتدا با استفاده از عملیات بستن مورفولوژیک<sup>۲</sup> در راستای افقی، شکاف‌های عمودی سنگ‌ها پر می‌شود. این کار باعث اتصال مجدد قطعاتی با شکستگی ثانویه با هم خواهد شد. البته بعضی شکاف‌های اریب که فاصله کمی از یکدیگر دارند نیز به اشتباه پر می‌شوند که در این زمینه نیاز به بررسی بیشتر ضروری است. سپس نواحی با عرض کم که معمولاً حاصل از تشخیص اشتباه لبه جعبه چوبی است و همچنین نواحی طول کمتر از ۱۰ سانتی‌متر نیز حذف می‌شوند تا تصویر برای محاسبه معیار RQD برای قطعات باقیمانده آماده شود. در آخر نواحی باقیمانده بر اساس مختصات نقطه شروع بررسی شده و طول هر کدام به مجموع طول قطعات ستون مربوطه اضافه می‌شود. در نهایت معیار RQD برای هر ستون و گروه مربوط به آن محاسبه شده و خروجی نهایی ذخیره می‌شود. نمونه‌ای از قطعات سنگ استخراج شده توسط شبکه و مقادیر RQD محاسبه شده برای هر بخش تصویر در شکل ۲ نمایش داده شده است.

<sup>2</sup> Morphological Close Operation

در این شکل درصد RQD محاسبه شده برای سه بخش موجود در جعبه به ترتیب ۴۹، ۶۴ و ۹۱ درصد است. بنابراین این سه بخش متعلق به گروه‌های ۲، ۳ و ۵ خواهند بود.



تصویر ۲- نمونه قطعات سنگ تشخیص داده شده توسط مدل

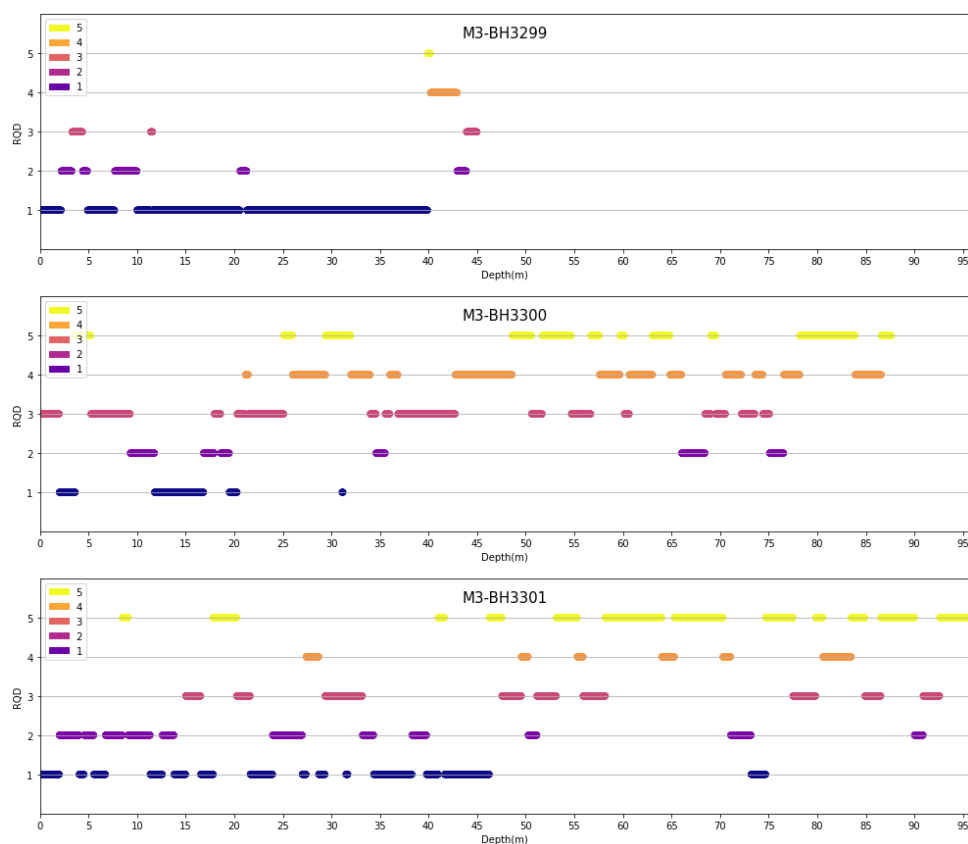
### پاسخگویی به سوالات

در تصویر ۳ گروه RQD برای هر گمانه بر اساس عمق نمونه‌های آن رسم شده است. با توجه به این تصویر و با در نظر گرفتن خطای مدل در پیش‌بینی گروه درست، می‌توان گفت تقریباً از عمق ۴۵ متری سنگ‌های سخت و بدون هوازدگی (گروه ۴ و ۵) خواهیم داشت. البته در گمانه M3-BH3300 تقریباً از عمق ۲۰ متری این اتفاق رخ داده است.

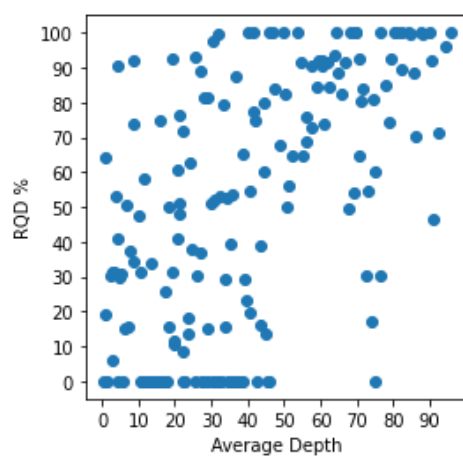
برای بررسی ارتباط بین میانگین عمق و گروه RQD ابتدا داده‌های مربوط به این مقادیر نرمال شده و در یک نمودار (شکل ۴) رسم شده‌اند. در این نمودار محور افقی و عمودی به ترتیب نشان‌دهنده عمق و مقدار RQD هستند. در این بخش به جای گروه RQD از درصد آن استفاده شده است. چرا که این مقدار خطای کمتری نسبت به گروه RQD خواهد داشت. در بعضی موارد یک یا دو درصد خطا می‌تواند منجر به تغییر گروه شود. بنابراین استفاده از مقدار درصد RQD به عنوان متغیری پیوسته تصویر بهتر و دقیق‌تری نمایش خواهد داد. در صورت اثبات وجود ارتباط معنادار بین عمق و درصد RQD به طور مشابه ارتباط آن با گروه RQD نیز تایید می‌شود.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش عمق، تمرکز نقاط به سمت نیمه بالایی نمودار می‌رود. به طوری که در عمق بیشتر از ۴۵ متر تقریباً بیشتر نقاط دارای RQD بیشتر از ۵۰٪ هستند. البته در اعماق کمتر تنوع سنگ‌ها نسبتاً زیاد است. بنابراین می‌توان گفت با افزایش عمق احتمال یافتن نمونه‌هایی با RQD بالا افزایش می‌یابد.

برای بررسی بهتر این موضوع ضریب همبستگی پیرسون<sup>۳</sup> بین میانگین عمق و درصد RQD داده‌ها محاسبه شده است. این مقدار برای این مجموعه داده برابر با ۰/۵۷ بوده که نشان از ارتباط متوسط بین این دو متغیر است.



تصویر ۴- گروه هر بخش از گمانه براساس عمق آن



تصویر ۳- مقدار درصد RQD قطعات براساس میانگین عمق آنها

<sup>3</sup> Pearson correlation coefficient