

## یادداشت تحقیقاتی

# بررسی اثر تخلخل و رطوبت در مکانیزم شکست ملات سیمان با استفاده از پارامترهای انتشار آوایی (AE)

محمدحسن حسین زاده<sup>۱</sup>، مرتضی احمدی<sup>۲\*</sup>، حمیدرضا نجاتی<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش معدن، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- استاد گروه مکانیک سنگ، بخش معدن، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- استادیار گروه مکانیک سنگ، بخش معدن، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

ایمیل: moahmadi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۲/۲۳]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۶/۰۸]

## چکیده

در مکانیک شکست سنگ از روش‌های متعددی برای رفتارنگاری رشد ترک و شکست استفاده می‌شود. یکی از روش‌هایی که برای بررسی ریزترک‌ها در نمونه تحت تنش استفاده می‌شود، روش انتشار آوایی است. وجود تخلخل و رطوبت در ساختار بتن، خاک و سنگ آثار مختلفی بر روند ایجاد و رشد ریزترک‌ها و در نهایت شکست آنها خواهد داشت. در این تحقیق اثر تخلخل و رطوبت در رشد ترک و شکست در سنگ بررسی شده است. از چهار پارامتر بسیار موثر در روند رفتارنگاری شکست در روش انتشار آوایی یعنی هیت، کانت، دوام موج و انرژی شکست استفاده شده است. برای داشتن درصد تخلخل یکسان و همسان در نمونه‌ها از ملات سیمان (سنگ مصنوعی) استفاده شد. با استفاده از ماده روان کننده (Panplast R) نمونه با تخلخل بین ۱۷ تا ۳۵ درصد در پنج تخلخل مختلف نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۵۴ میلی‌متر با نسبت طول به قطر دو ساخته شد. نمونه در دو حالت خشک و اشباع از آب تحت آزمایش تک محوره فشاری قرار گرفتند. در حین آزمایش اطلاعات انتشار آوایی ثبت شد. از تحلیل داده‌های بدست آمده از روش انتشار آوایی مشخص شد که با افزایش تخلخل، تعداد ترک‌های کششی ایجاد شده در نمونه‌ها در آزمایش فشاری تک محوره افزایش یافته و با افزایش تخلخل و افزایش رطوبت ریز ترک‌های کمتری در نمونه ایجاد می‌شود.

**واژگان کلیدی:** مکانیک سنگ، روش انتشار آوایی، سازوکار شکست، آزمون فشاری تک‌محوره سنگ و تخلخل و رطوبت

## ۱- مقدمه

می‌شود که در آن تنش، منحصربه‌فرد نبوده این منطقه را ناحیه شکست یا ناحیه خردشده می‌نامند. اگر نسبت این ناحیه در مقایسه با هندسه ترک و یا سایر مشخصات ابعاد نمونه (ضخامت، طول نمونه) کوچک باشد می‌توان از تحلیل مکانیک شکست الاستیک خطی استفاده کرد [2]. ناحیه شکست با

فرآیند شکست با جوانه‌زنی ترک شروع شده که با چقرمگی شکست رابطه دارد. مقاومت سنگ در برابر رشد ترک‌های موجود در آن را چقرمگی شکست گویند [1]. در زمان ایجاد ترک در ماده یک ناحیه غیر الاستیک در نوک ترک ایجاد

امواج صوتی تولید می‌شود که در تمام جهات بدون توقف منتشر می‌شوند. این اتفاق مانند یک زلزله در ابعاد میکروسکوپی است که محل نقص ایجاد شده معادل مرکز زلزله است [9].

بر اساس نوع آزمایش و پدیده تحت بررسی، روش‌های مختلفی برای آنالیز داده‌های آوایی بکار گرفته می‌شود. رادلی<sup>1</sup> آنها را به دو دسته زمان پایه و فرکانس پایه تقسیم کرد [10]. آنالیزهای زمان پایه برای رخدادهایی که سیگنال دارای روند ناگهانی هستند، کاربرد بیشتری دارند. ساده‌ترین این آنالیزها تخمین مجموع رخدادها، نرخ رخدادها و نرخ کانت<sup>2</sup>ها است. این داده‌ها نشان‌دهنده شرایط مصالح تحت آزمایش است که به‌عنوان نرخ خسارت یا رشد نقصان برای ایجاد هشدار قریب‌الوقوع بودن میزان بار نهایی و شروع مراحل اصلی شکست در سازه است [11, 12].

سیگنال‌های انتشار آوایی اطلاعاتی درباره طبیعت، محل و نوع سازوکار تغییر شکل و شکست را در بردارد. با آنالیز این داده‌ها می‌توان ایجاد، رشد، ترکیب ریزترک‌ها و شکل‌گیری ترک‌های بزرگ را رصد کرد.

شکل موج و داده‌های پارامتری دو دسته اساسی از داده‌های آوایی است. در تحلیل‌ها پارامتر پایه مشخصات و تغییرات پارامترهای سیگنال‌های آوایی برای ارزیابی میزان خسارت مطابق با شرایط تنش اعمال شده ارزیابی می‌شود؛ بنابراین داده‌های پارامتری بیشتر در دسترس و کاربردی‌تر هستند [13]. آنالیز پارامتر پایه، به پارامترهای شاخص سیگنال آوایی توجه کرده، اما خود سیگنال را ثبت نمی‌کند. این روند می‌تواند منجر به استخراج سریع داده‌ها در زمانی که تعداد کمی از داده‌ها ثبت شده‌اند، بشود. مهم‌ترین مزیت آنالیزهای شکل موج در برابر روند تحلیل‌های پارامتری عملکرد بهتر در متمایز کردن داده‌های نویز از داده‌های اصلی و در نتیجه تفسیر بهتر است [13].

روش‌های اصلی برای شناسایی روند سطح آسیب در نمونه سنگی و بتنی با بررسی پارامترهایی از قبیل دامنه، انرژی، کانت، فرکانس، مدت‌زمان و زمان اوج ارزیابی می‌شود. بر اساس

شروع و گسترش ریزترک‌ها در همسایگی نوک ترک تشکیل می‌شود [3]. بیشتر ریزترک‌ها در محدوده‌ی خارج از امتداد ترک اصلی قرار دارند. پس این امر سبب انحراف مسیر ترک از مسیر اصلی، افزایش تغییر شکل ناحیه شکست و در نهایت اتلاف انرژی شکست می‌شود [4]. میزان شکل‌پذیری مواد یکی از مهم‌ترین پارامترهای مکانیکی در مطالعه مکانیک شکست و سازوکار گسترش ترک در مواد مختلف است.

برای بدست آوردن چقرمگی، روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آن‌ها، روش انتشار آوایی است. برای رفتارنگاری شکست و بدست آوردن چقرمگی در روش انتشار آوایی پارامترهای متعددی تاثیرگذار هستند. با توجه به این‌که در فضاهای زیرزمینی و در محیط‌های بارانی رطوبت وجود دارد و از مصالح با تخلخل‌های مختلف استفاده می‌شود در این پژوهش اثر این دو پارامتر بر سازوکار شکست با استفاده از رفتارنگاری آوایی بررسی شده است.

## ۲- انتشار آوایی

انتشار آوایی پدیده انتقال امواج الاستیک ایجاد شده از آزادسازی ناگهانی انرژی الاستیک به وجود آمده از تغییر- شکل‌های مکانیکی، ایجاد و رشد ریزترک‌ها و جابه‌جایی‌ها در درون مواد است [5].

انتشار آوایی در نتیجه انواع رخدادها از قبیل سایش بین دانه‌ها، ایجاد و گسترش ترک و شکست در فضاهای خالی رخ می‌دهد. هر ماده بر اساس ویژگی‌های ذاتی خود تغییر شکل داده و تعدادی اتفاق بزرگ و کوچک منطبق با تغییر شکل و شکست مواد تحت کرنش، رخدادهای آوایی را تولید می‌کند؛ بنابراین رخدادهای آوایی منتشرشده در نمونه شامل اطلاعاتی است که بیان‌کننده روندهای مختلف تغییر شکل مثل روند شکست است [6, 7]. درک ویژگی‌های امواج آوایی به ویژه برای جداسازی اطلاعات ناخواسته بسیار مهم و ضروری است [8].

نیروهای اعمال‌شده به نمونه، باعث تحریک و ایجاد تنش‌های مختلفی در نمونه می‌شود. این تنش‌ها باعث ایجاد منابع تولید امواج صوتی می‌شوند. به عنوان نمونه با شکل‌گیری ترک،

سازوکار غالب در شکست مصالح مختلف را با این دو پارامتر و تغییرات آنها می‌توان تجزیه و تحلیل کرد.

بر اساس آزمایش‌های انجام‌گرفته روی نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره، داده‌های مختلف آوایی استخراج شد و این داده‌ها بر اساس زمان ترسیم شدند. در کنار این نمودارها، نمودار تغییرات تنش اعمالی برحسب زمان نیز از داده‌های به دست آمده از دستگاه بارگذاری استخراج‌شده و ترسیم شدند.

روش انتشار آوایی پتانسیل بالایی در رفتارنگاری ترک‌ها از مراحل اولیه شکل‌گیری ریزترک‌ها تا مراحل نهایی ترک‌های بزرگ را دارد. افزایش تعداد هیت نشان دهنده بالا رفتن سطح خسارت است. شکل‌گیری ریزترک‌ها و ترک‌های بزرگ به وسیله روا و همکاران<sup>۱</sup> با استفاده از نرخ هیت‌ها و تنش اعمالی در مواد شبه شکننده مطالعه شد که در حین شکل‌گیری ترک‌ها رخدادهای آوایی به آرامی و پیوستگی افزایش می‌یابد و می‌توان با استفاده از این روند یک شاخص مناسب برای ارزیابی خسارت ایجاد کرد [11, 13, 17].

#### ۴-۱- کانت موج

نرخ کانت‌های آوایی نشان دهنده شدت رخدادهای آوایی هستند. هیت یا نرخ رخدادهای به خودی خود برای ارزیابی خسارت مناسب نیست. مطالعات نشان می‌دهند که ناهمگنی بسیار نمونه بر نرخ کانت اثر می‌گذارد [13].

نمودار تغییرات کانت برحسب زمان، با ایجاد ریزترک‌ها و رخدادهای آوایی مرتبط است که اگر در کنار نمودار تنش - زمان قرار گیرد، می‌توان روند شکست و رخدادهای بزرگ و کوچک را بررسی نمود. شکل (۱) نمودار تعداد کانت دریافتی و تنش اعمالی برحسب زمان در نمونه‌های خشک با درصد تخلخل مختلف را نشان می‌دهد. در نمونه‌های سری A که دارای کمترین تخلخل بوده، مقدار صعودی کانت بسیار نزدیک به لحظه شکست است؛ و در سری C سیکل صعودی مقدار کانت به ۸۰ درصد تنش شکست می‌رسد.

تغییرات پارامترهای مختلف در حین بارگذاری می‌توان روش مناسبی برای بررسی میزان سطح آسیب در نمونه مطالعه شده بدست آورد [14, 15].

### ۳- چگونگی آزمایش

در ساخت نمونه از تغییرات مختلف آب به سیمان برای ایجاد تخلخل در نمونه استفاده شد. درصد مقدار آب به سیمان بین ۳۰ درصد تا ۵۰ درصد تغییر داده شد. برای جبران کمبود مقدار آب مخلوط، از مواد روان‌کننده نوع Panplast R شرکت پنتا استفاده شد. طرح اختلاط‌های استفاده شده و میزان تخلخل آن‌ها در جدول ارائه شده است.

جدول ۱. طرح اختلاط استفاده شده در نمونه‌ها

| Sample | Water percentage to cement | Lubricant percentage to cement | Compressive strength (MPa) | porosity percentage |
|--------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------|
| A      | 30                         | 0.6                            | 42.92                      | 17.47               |
| B      | 35                         | 0.2                            | 29.08                      | 20.41               |
| C      | 40                         | 0                              | 28.36                      | 23.33               |
| D      | 45                         | 0                              | 27.85                      | 30.98               |
| E      | 50                         | 0                              | 26.96                      | 34.6                |

Table 1. Mortar specimen mix design

نمونه‌های استوانه‌ای با مقاومت ۲۸ روزه برای آزمایش تک‌محوره در اندازه استاندارد دو به یک با قطر ۵۴ میلی‌متر تهیه شد. ۳۰ نمونه برای بررسی حالت خشک و ۱۵ نمونه برای حالت اشباع ساخته شد.

نمونه‌ها با نرخ کرنش ۰/۰۰۲ میلی‌متر بر میلی‌متر در دقیقه مورد آزمایش مقاومت تک‌محوره قرار گرفتند [16].

### ۴- تحلیل پارامتری

از این تحلیل پارامتری برای استفاده در بررسی تأثیر پارامترهای مختلف در مکانیک شکست مصالح (چقرمگی و ناحیه شکست) استفاده می‌شود. پارامتر دوام موج و زاویه اوج که به صورت ویژه نشان دهنده روند ترکیب ریزترک‌ها یا به عبارت دیگر شکل‌گیری ترک‌های بزرگ را به خوبی نشان می‌دهد و

شکل ۱. نمودار تعداد کانت‌های دریافتی و تنش‌های اعمالی به نمونه‌های خشک با تخلخل متفاوت

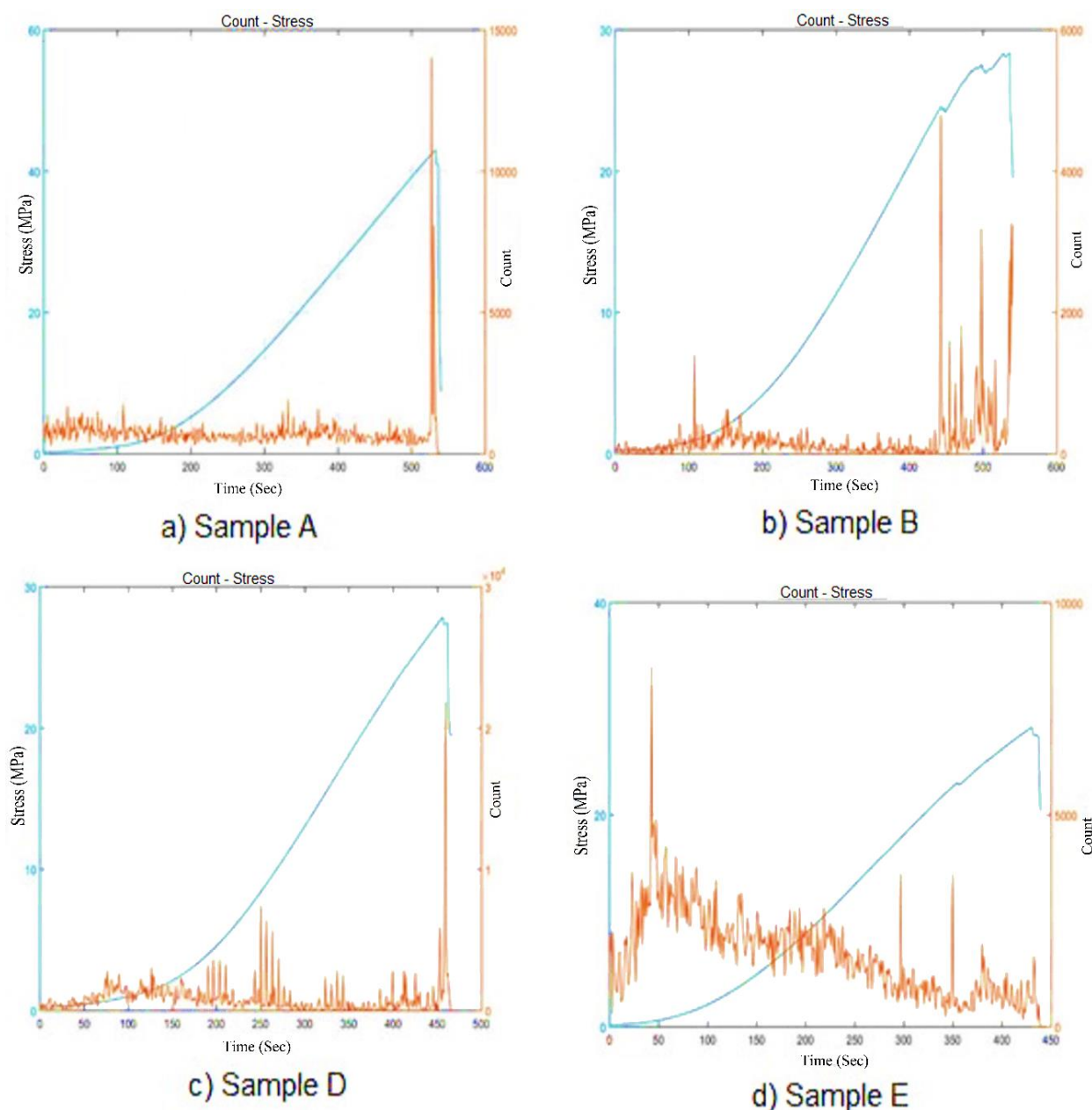


Fig. 1. Variation of applied stress and recorded counts for the dry specimens with different porosity

نمونه به کلی با دیگر آزمایش‌ها تفاوت داشته که در نمودار به روشنی قابل مشاهده است.

در شکل (۲) اثر تخلخل در نمونه‌های اشباع بررسی شده است. در سری A در ۸۰ درصد تنش اعمالی رخدادها به صورت صعودی افزایش یافته است. با افزایش تخلخل مقدار کانت‌های تجمعی در مقدار تنش کمتری سیر صعودی یافته، به گونه‌ای که در سری C مقدار کانت در ۵۰ درصد تنش اعمالی روند صعودی را می‌پیماید و در نمونه سری E می‌توان گفت که از ابتدای بارگذاری سیر صعودی کانت اتفاق افتاده است. نمودار

در لحظه شکست که رخدادهای با انرژی بالا ایجاد می‌شود، تعداد کانت بالایی حاصل می‌شود. این میزان تعداد کانت بالا ناشی از همان رخداد بزرگ شکست نمونه است. بعد از این لحظه تا گسیختگی کامل نمونه که رخدادها مربوط به ترکیب ریزترک‌ها، توسعه ناحیه شکست و رشد ترک اصلی است، تولید کانت‌ها روند تقریباً مشخص و تا حدودی ثابتی داشته که نشان‌دهنده رشد پایدار ترک اصلی و شکست نمونه است.

نمودار نمونه B مانند نمونه‌های A و C بوده پس ارائه نشده است. اما در نمونه E با بیشترین حجم تخلخل روند شکست

کاهش چشمگیری داشته است. با افزایش تخلخل تعداد کانت دریافتی کاهش پیدا می‌کند که این کاهش در نمونه‌های اشباع در تخلخل‌های بالا، سیر نزولی کمتری داشته که نشان دهنده رشد پایدار ترک در نمونه‌های اشباع است.

نمونه D مانند نمونه‌های C و E بوده پس ارائه نشده است. شکل (۳) نشان دهنده اثر رطوبت بر روی کانت‌های دریافتی است. در نمونه‌های با تخلخل یکسان مقدار کانت دریافتی کاهش یافته است. در نمونه با مقدار تخلخل کم مقدار کانت‌ها

شکل ۲. نمودار تعداد کانت‌های دریافتی و تنش‌های اعمالی به نمونه‌های اشباع با تخلخل متفاوت

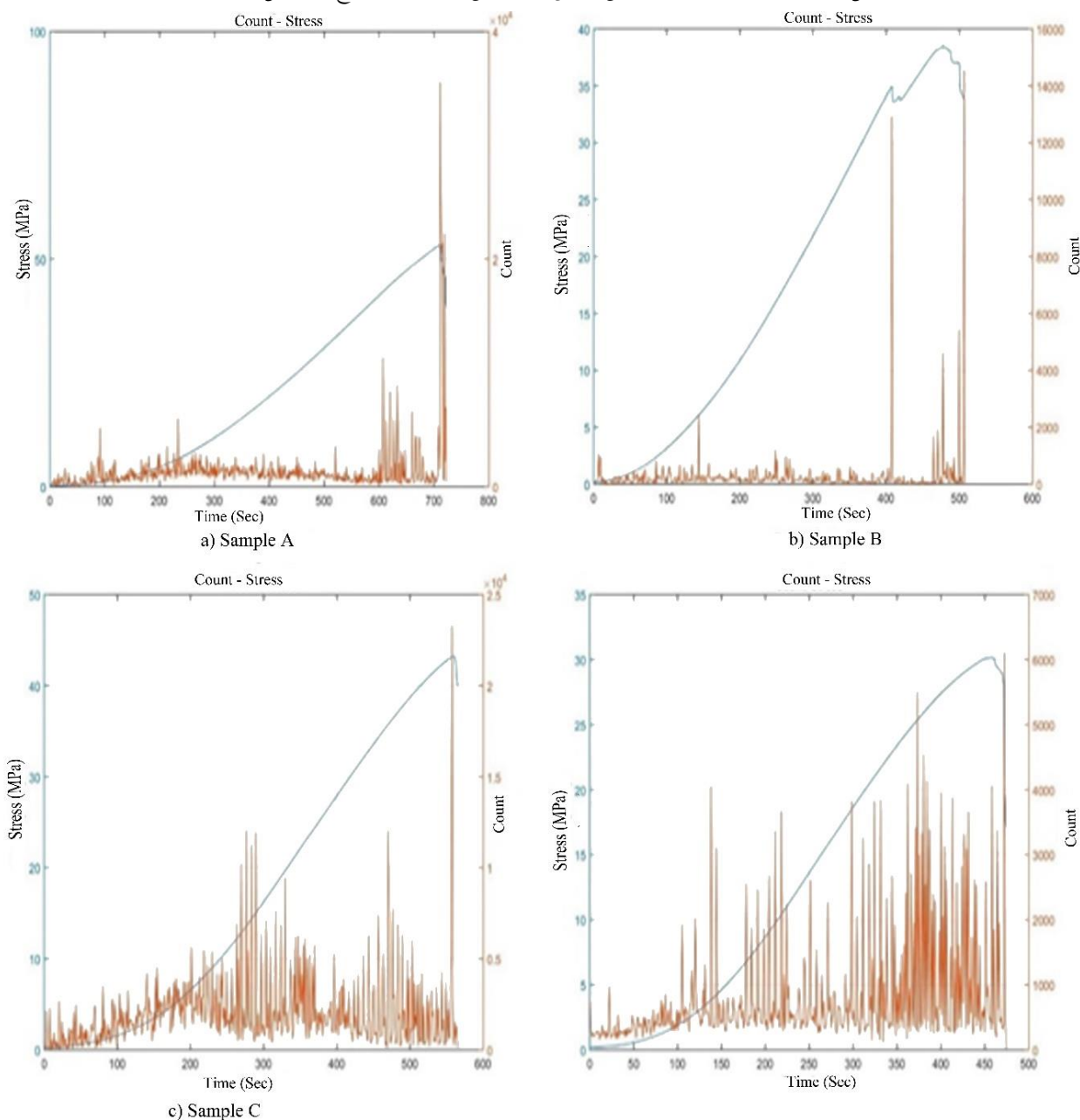


Fig. 2. Variation of applied stress and recorded counts for the saturated specimens with different porosity

شکل ۵. نمودار انرژی شکست و تنش در نمونه سری E خشک.

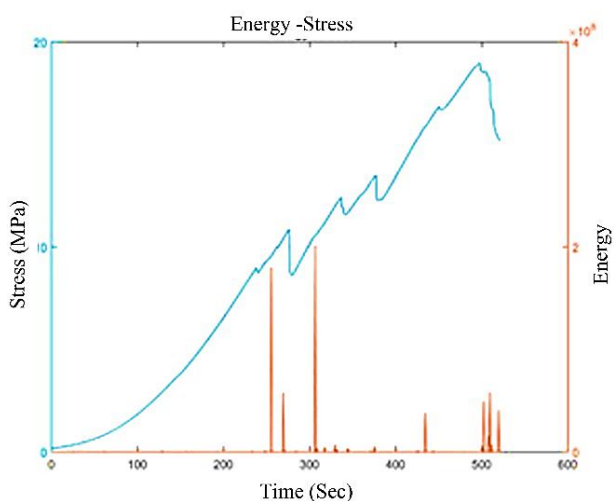


Fig. 5. Variation of the fracture energy during the loading sequences for dry and type E series specimens.

شکل ۶. مقایسه مقدار انرژی شکست دریافتی در نمونه‌های با تخلخل‌های متفاوت در حالت خشک و اشباع.

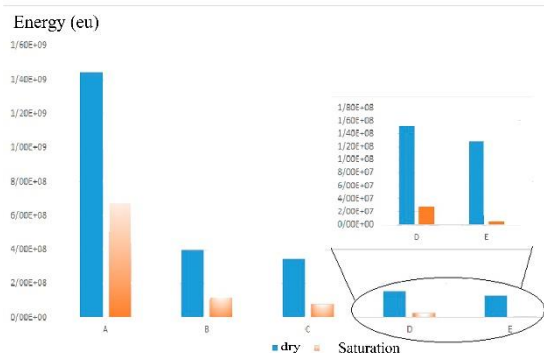


Fig. 6. Fracture energy of dry and saturated specimens with different porosity

در شکل (۶) مقایسه مقدار انرژی شکست در نمونه‌های خشک و اشباع با درصد تخلخل‌های مختلف ارائه شده است. با افزایش درصد تخلخل نمونه‌ها، مقدار انرژی شکست نیز کاهش می‌یابد. با افزایش رطوبت در نمونه‌ها مقدار انرژی شکست نیز کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار تخلخل مقدار فشار آب افزایش می‌یابد و در نتیجه مقاومت نمونه کاهش می‌یابد که این مسئله به خوبی خود را در مقدار انرژی شکست نشان می‌دهد که داده‌های بدست آمده از روش انتشار آوایی کاملاً تئوری‌های مکانیک شکست را تایید می‌نماید. مقدار درصد انرژی شکست در نمونه‌های اشباع در مقایسه با انرژی ثبت شده با دستگاه AE در جدول (۲) ارائه شده است.

شکل ۳. مقایسه تعداد کانت دریافتی در نمونه‌های با درصد‌های مختلف

تخلخل در حالت خشک و اشباع

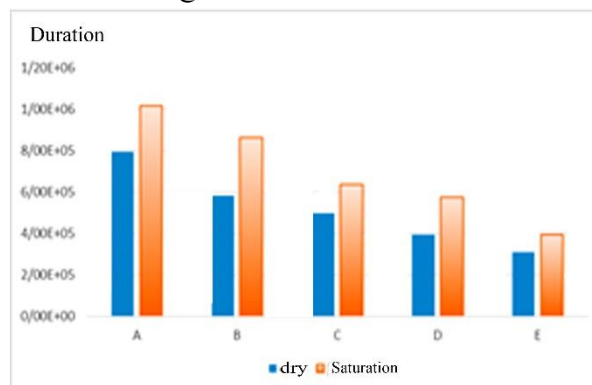


Fig. 3. The number of recorded counts for dry and saturated specimen with different porosity

#### ۴-۲- انرژی شکست

همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود روند انرژی آزاد شده در لحظه شکست بالاترین مقدار را دارد. این انرژی در رابطه با آغاز شکست ایجاد شده و کاملاً مرتبط با توسعه زون شکست و ترکیب ریزترک‌ها است. بعد از لحظه شکست و با رشد ترک اصلی تا گسیختگی کامل، انرژی آزاد شده روند نزولی دارد و این نشان‌دهنده رشد پایدار ترک اصلی و همگن بودن نمونه‌ها است. در نمونه‌های سری E به علت ناهمگن بودن نمونه، شکل شکست تغییر کرده است که این موضوع در نمودار انرژی شکست دیده شده است.

بعد از لحظه شکست روند انرژی شکست کامل نزولی نبوده که نشان‌دهنده عدم رشد پایدار ترک اصلی است.

شکل ۴. نمودار انرژی شکست و تنش در نمونه سری A خشک.

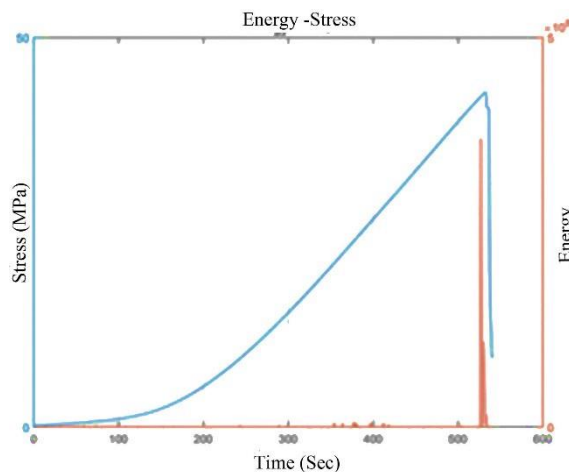


Fig. 4. Variation of the fracture energy during the loading sequences for dry and type A series specimens

شکل ۷. نمودار دوام موج و تنش در نمونه سری A اشباع.

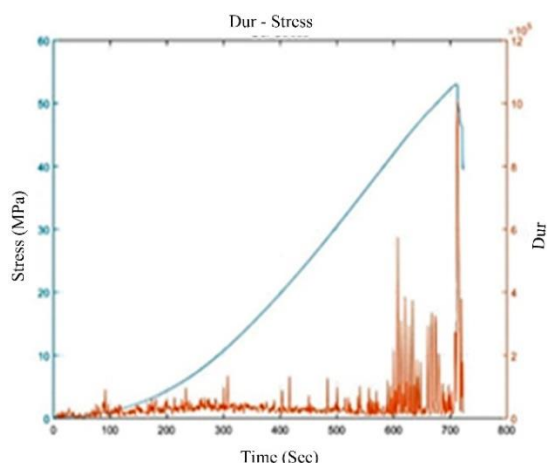


Fig. 7. Variation of the duration of recorded puls during the loading sequences

### ۵- صفحه شکست

با افزایش تخلخل در نمونه خشک تحت بارگذاری تک محوره شکل صفحه شکست از زاویه ۶۰ درجه به سمت شکست محوری (۹۰ درجه) تغییر پیدا کرده است. شکل (۹) این نتیجه با نتایج انتشار آوایی که با افزایش تخلخل در نمونه‌های خشک ریزترک‌های کششی بیشتر ایجاد می‌شود همخوانی دارد.

شکل ۸. مقایسه مقدار دوام موج آوایی دریافتی در نمونه‌های با تخلخل متفاوت در حالت خشک و اشباع.

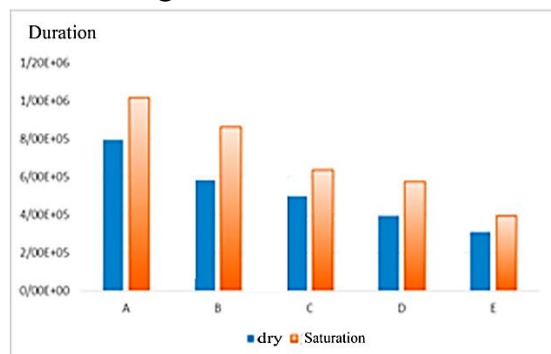


Fig. 8. Duration of recorded puls for dry and saturated specimens with different porosity

شکل ۹. شکل شکست در نمونه‌های با تخلخل مختلف و در حالت خشک

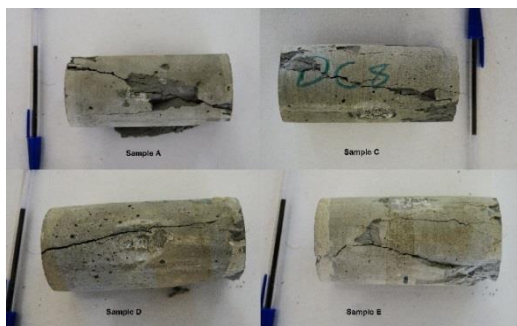


Fig. 9. Failure pattern of dry specimens with different porosity

جدول ۲. درصد انرژی شکست نمونه اشباع به خشک در تخلخل‌های

مختلف

| نمونه            | A    | B    | C    | D    | E    |
|------------------|------|------|------|------|------|
| انرژی شکست اشباع | ۴۷٪  | ۳۰٪  | ۲۳٪  | ۱۸٪  | ۴٪   |
| انرژی شکست خشک   | ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ |

Table 2. Ratio of saturated to dry fracture energy for the specimens with different porosity

### ۴-۳- دوام موج

همان‌گونه که در شکل (۷) مشخص است در یک میزان از تنش اعمال شده (۸۰ درصد) رخدادهای بزرگ‌تری ایجاد می‌شود. این افزایش در دوام موج مرتبط با رشد ریزترک‌ها و توسعه ناحیه شکست مقابل ریزترک است. در لحظه شکست با غالب شدن ترک اصلی بیشترین میزان دوام موج حاصل می‌شود. بیشینه دوام موج حاصل از رخدادی است که در آن شبکه‌ای از ریزترک‌ها با به هم پیوستن باعث رشد ناحیه شکست و در نتیجه آغاز شکست نمونه می‌شود. بعد از لحظه شکست نیز دوام موج میزان بالایی را نشان می‌دهد که مستقیماً مرتبط با رشد ترک اصلی و توسعه ناحیه شکست تا گسیختگی کامل نمونه است. شکل (۸) مقدار بیشینه دوام موج در تخلخل‌های مختلف در دو حالت خشک و اشباع را نشان می‌دهد. با افزایش تخلخل، مقدار دوام بیشینه موج دریافتی نیز با تقریب مناسب کاهش می‌یابد. مقدار دوام بیشینه موج در نمونه‌های اشباع اگرچه با افزایش تخلخل روند کاهشی را نشان می‌دهد اما در مقایسه با حالت خشک نمونه‌ها مقدار بیشتری را ثبت کرده است.

مقدار دوام موج دریافتی از نمونه‌های خشک حدود ۷۵ درصد دوام موج حداکثری ثبت شده از نمونه‌های اشباع است که با توجه به اینکه موج در محیط مایع بهتر از هوا حرکت می‌کند پس افزایش مقدار دوام ثبت شده قابل‌درک است.

تغییرات دو پارامتر انرژی و دوام موج در نمونه‌های خشک تقریباً مشابه به هم است. این تشابه به دلیل ارتباط این دو پارامتر با روند ترکیب ریزترک‌ها و توسعه ناحیه شکست و رشد ترک اصلی است.

## References

## ۷- مراجع

- 1- E. E. Gdoutos, "Fracture Mechanics," Civil Engineering, p. 376, 2005.
- 2- M. D. Thouless, "Fracture mechanics for thin-film adhesion," IBM Journal of Research and Development, vol. 38, pp. 367-377, 1994.
- 3- J. G. DONOVAN, "Fracture toughness based models for the prediction of power consumption, product size, and capacity of jaw crushers". Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- 4- M. Hassanzadeh, "Behaviour of fracture process zones in concrete influenced by simultaneously applied normal and shear displacements," Lund University, 1992.
- 5- Standard, A. S. T. M. "E1316, [Standard Terminology for Nondestructive Examinations]." ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI 10 (2007): E1316
- 6- D. Lockner, "The role of acoustic emission in the study of rock fracture," in International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1993, pp. 883-899.
- 7- S. Hu, J. Lu, and F. Xiao, "Evaluation of concrete fracture procedure based on acoustic emission parameters," Construction and Building Materials, vol. 47, pp. 1249-1256, 2013.
- 8- A. Nair and C. Cai, "Acoustic emission monitoring of bridges: Review and case studies," Engineering structures, vol. 32, pp. 1704-1714, 2010.
- 9- D. G. Aggelis, "Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters," Mechanics Research Communications, vol. 38, pp. 153-157, 2011.
- 10- Y. Cheng, R. Mitra, and P. Hagn, "Development and future aspect of acoustic emission data processing methods," in The 30th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission University of Granada, 2012, pp. 12-15.
- 11- S. J. Vahaviolos, "Acoustic Emission : Standards and Technology Update," 1999.
- 12- M. Aldahdooh and N. M. Bunnori, "Crack classification in reinforced concrete beams with varying thicknesses by mean of acoustic emission signal features," Construction and Building Materials, vol. 45, pp. 282-288, 2013.
- 13- A. Behnia, H. K. Chai, and T. Shiotani, "Advanced structural health monitoring of concrete structures with the aid of acoustic emission," Construction and Building Materials, vol. 65, pp. 282-302, 2014.
- 14- K. Ohno and M. Ohtsu, "Crack classification in concrete based on acoustic emission," Construction and Building Materials, vol. 24, pp. 2339-2346, 2010.
- 15- M. Ohtsu, Y. Tomoda, and T. Suzuki, "Damage evaluation and corrosion detection in concrete by acoustic emission," Carpinteri A. et al, pp. 981-989, 2007.
- 16- R. Documents, "Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," pp. 1-14, 2007.
- 17- M. V. M. S. Rao, K. J. P. Lakshmi, G. M. N. Rao, K. V. Kumar, and S. Udaykumar, "On Non-Destructive Evaluation Pre-Failure Damage Caused by Micro-Cracks in Rock : A Laboratory Study Using Acoustic Emission," pp. 323-327, 2009.

داده‌های انتشار آوایی مشخص می کند که در نمونه‌های اشباع با افزایش تخلخل ترک‌های برشی افزایش می‌یابد. در صفحه شکست نیز تغییری به وجود نیامده و زاویه صفحه شکست ۶۰ درجه است.

## ۶- نتیجه گیری

در این پژوهش اثر تخلخل و رطوبت در گسترش ترک در نمونه ملات تحت تنش یک‌محوره همزمان با ثبت داده‌های آوایی بررسی شده است.

شکل ۱۰. صفحه شکست در نمونه‌های با تخلخل مختلف و در حالت اشباع

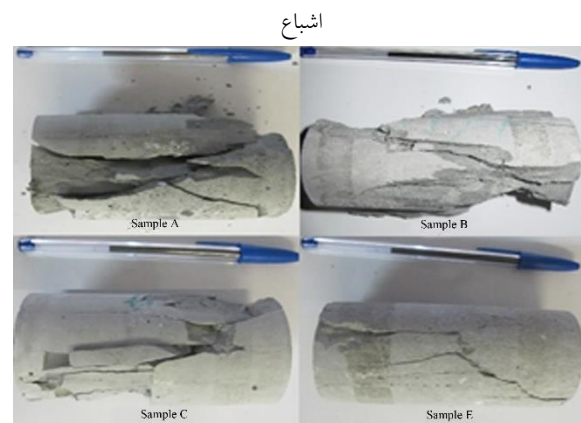


Fig. 10. Failure pattern of saturated specimens with different porosity

با استفاده از انتشار آوایی در شناخت سازوکار ترک مشخص شد که:

۱. در نمونه‌های خشک تحت آزمایش مقاومت تک‌محوره، با افزایش تخلخل ریزترک‌های ایجاد شده در حالت کشش افزایش می‌یابد.
۲. در نمونه‌های اشباع تحت آزمایش مقاومت تک‌محوره، با افزایش تخلخل ریزترک‌های ایجاد شده در حالت برش افزایش می‌یابد.
۳. با افزایش تخلخل در نمونه‌ها شکل صفحه شکست به سمت شکست محوری حرکت می‌کند.
۴. با کمک روش انتشار آوایی مشخص شد که با افزایش تخلخل ریز ترک‌های کمتری در نمونه تحت بارگذاری ایجاد می‌شود که نشان دهنده سوق یافتن رفتار نمونه به سمت شکل پذیری است.

# Moisture and porosity effects on failure mechanism of cement mortar using Acoustic Emission technique

M.H. Hosseinzadeh<sup>1</sup>, M. Ahmadi<sup>2\*</sup>, H.R. Nejati<sup>3</sup>

1-MSc. Student of Rock mechanics, Mining Dept. Eng. Faculty, Tarbiat Modares University

2- Prof. of Rock Mechanics, Mining Dept. Eng. Faculty, Tarbiat Modares University

3- Assistant Prof. of Rock Mechanics, Mining Dept. Eng. Faculty, Tarbiat Modares University

\*moahmadi@modares.ac.ir

## Abstract:

Failure mechanism of cement mortar and concrete has been considered in many research works. In the previous studies, different tools have been used to detect and monitor fracture or damage of concrete structures and cement mortars. Acoustic Emission (AE) is a non-destructive testing (NDT) with potential applications for locating and monitoring crack initiation, propagation and consequently failure mechanism of specimens under loading sequences and structures during health management. AE refers to the generation of transient elastic waves produced by a sudden redistribution of stress in a material.

Monitoring and analyzing of the AE response during a loading sequence makes it possible to detect the occurrence and evolution of stress-induced cracks. In fact, cracking is accompanied by the emission of elastic waves which propagate within the bulk of the material. Detection and analysis of AE signals can supply valuable information regarding the origin and importance of a discontinuity in a material. Because of the versatility of Acoustic Emission Testing (AET), it has many industrial applications (e.g. assessing structural integrity, detecting flaws, testing for leaks, or monitoring weld quality) and is used extensively as a research tool.

In the present study, an experimental investigation was carried out to study the effect of moisture and porosity on the failure mechanism of cement mortar using AE technique. Porosity is one of the most important properties that significantly influences on the failure mechanism of porous media like rocks and concretes.

At the first, some cylindrical specimens with different porosity that varies in the range of 17% to 35 % were prepared. These porosities were obtained using proper ration of "Panplast R" additive. Uniaxial compression test for determination of stress-strain curve of dry and saturated specimens were performed based on International Society for Rock Mechanics (ISRM) suggested methods on a cylindrical specimen with 110 mm and 54 mm in length and diameter, respectively. The tests were conducted using a strain controlled servo-electric testing machine and the loading rate was kept at 0.2 mm/min. During the tests AE sensors were used and attached to the specimens to monitor the fracturing process of them. The threshold amplitude of the AE signals was adjusted at 38 dB.

In the next, the AE signal properties such as count, hit, duration and energy for identifying the presence of a small initial crack is assessed to provide the presence of the onset of a potential growing crack. The approach is based on establishing any association between particular features of AE and failure of specimens.

The results of experimental tests indicated that porosity and moisture content have a significant influence on the failure mechanism of cement specimens. AE monitoring revealed that microcrack density induced by the applied loads during different stages of the failure processes decreases as porosity increases. Also, it is demonstrated that the types of induced fracture in the specimens under the loading sequences changed as porosity changed. Indeed, with increasing the porosity, the numbers of tensile cracks significantly increase and consequently the failure pattern of specimen changes from shearing mode to tensile axial splitting mode.

**Keywords:** Uniaxial compressive test, Acoustic Emission method, Failure mechanism, porosity and moisture content.