مجله علمی - پژوهشی
«عمران مـــــدرس»
دوره چهاردهم، ویژه نامه، تابستان ۱۳۹۳

ارزیابی روش AE و DRA در اندازه‌گیری تنش برجا و بررسی اثر زمان تأخیر در این دو روش

علی آرین‌فر[۱]، مرتضی احمدی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن-مکانیک سنگ، دانشگاه تربیت مدرس،

۲- عضوهیأت علمی بخش مهندسی معدن- مکانیک سنگ، دانشگاه تربیت مدرس

moahmadi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۱/۳/۲۷] تاریخ پذیرش: [۱۳۹۲/۸/۱۸]

چکیـده- تخمیـن تنـش برجـا بـه روش آزمایشـگاهی بـه خاطـر هزینـه کـم و سـریع بـودن، امـروزه مـورد توجـه پژوهشـگران مکانیـک سـنگ قـرار گرفته‌اسـت. از روش‌هـای آزمایشـگاهی تخمیـن تنـش برجـا کـه پژوهـش روی آن افزایـش یافتـه اسـت، روش انتشـار آکوسـتیک(Acoustic Emission) و آنالیـز نـرخ تغییـر شـکل(Deformation Rate Analysis) اسـت. دقـت نتایـج در ایـن روش‌هـا برگرفتـه از بافـت سـنگ، نـوع ترک‌هـا و اثـر زمـان تاخیـر اسـت. در ایـن پژوهـش توانایـی روش AE و DRA در تخمیـن تنـش برجـا و اثـر زمـان تاخیـر در مقـدار تنـش اندازه‌گیـری شـده بررسـی شـده اسـت. زمـان تاخیـر فاصلـه زمانـی بیـن کرگیـری از محـل و زمـان آزمایـش اسـت. بـرای اندازه‌گیـری تنـش برجـا از تکیـه‌گاه سـد سـیمره، ٦ سـری نمونـه بـا زمـان تاخیرهـای متفـاوت (دو سـری نمونـه بـا زمـان تأخیـر ۵ سـال و چهـار سـری نمونـه بـا زمـان تاخیـر ۲۰ روز) تهیـه و آزمایـش روی آنهـا انجـام شـد. مقـدار تنـش تخمیـن زده شـده از روش‌هـای AE و DRA محاسـبه و بـا نتایـج روش شکسـت هیدرولیکـی (Hydroulic Fracturing) مقایسـه شـد. نتایـج حاکـی از هم‌خوانـی خـوب بیـن روش AE و DRA بـا روش شکسـت هیدرولیکـی اسـت. تنهـا اختـلاف در مقـدار تنـش قائـم بـوده کـه علـت ایـن امـر ایـن اسـت کـه در روش HF فـرض برابـری تنـش قائـم اصلـی معـادل بـا وزن روبـاره اسـت. نتایـج نشـان می‌دهنـد کـه زمـان تاخیـر باعـث پراکندگـی نتایـج در دو روش AE و DRA شـده و بـرای حصـول نتیجـه بهتـر در مقـدار اندازه‌گیـری شـده زمـان تاخیـر بایـد کمینـه ممکـن باشـد.

واژگان کلیدی: انتشار آوایی، آنالیز نرخ تغییر شکل، تنش سنجی، زمان تأخیر

۱. معرفی AE[۱] و DRA [۲]

مـواد، فلـزات و سـنگ‌ها، زمانـی کـه تحـت بـار واقـع شـوند، از خـود صـدا و سـیگنال‌های لـرزه‌ای بـا فرکانـس بـالا بـروز می‌دهنـد. ایـن پدیـده انتشـار آکوسـتیک (AE) اسـت. اولیـن بـار کایـزر[۳] (۱۹۵۰) دریافـت کـه تـا زمانـی کـه مقـدار تنـش اعمالـی بـه نمونـه از مقـدار تنـش قبلـی بیشـتر نشـود، نمونـه از خـود سـیگنال بـروز نمی‌دهـد[۱]. بـر ایـن اسـاس ایـن پدیـده، اثـر کایـزر[٤] (KE) نامیـده شـد. بـه نقطـه‌ای کـه پدیـده اثـر کایـزر خـود را در آن نشـان می‌دهـد نقطـه کایـزر و مقـدار تنـش معـادل آن نقطـه تنـش قبلـی اسـت.

در ایـن سـال‌ها بـا پیشـرفت تکنولـوژی مطالعه‌هـای زیـادی در ایـن راسـتا صـورت گرفتـه اسـت. از افـرادی کـه در راسـتای اعتبـار سـنجی ایـن روش فعالیـت داشـته‌اند می‌تـوان بـه هولوکـوم[۵] (۱۹۹۳)، هاگسـان و کروهـورد[٦] (۱۹۸۷)، سـتو و همـکاران[۷] (۱۹۹۹)،

۱. Acoustic Emission
۲. Deformation Rate Analysis
۳. Kaiser
٤. Kaiser Effect
۵. Holcomb
٦. Hughson & Crawhord
۷. Seto et al

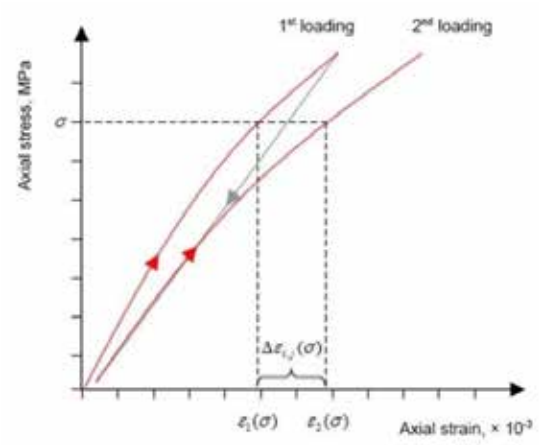
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

تانکای و همکارن[۱] (۲۰۰۲)، ویلاسکوزا و همکاران[۲] (۲۰۰۲)، وانگ و همکاران[۳] (۲۰۰۲)، وانتانابه و تانو[٤] (۱۹۹۹) و وانتانابه و همکاران (۱۹۹٤–۱۹۹۹) اشاره داشت[۲]. دایدو و همکاران[٥] (۲۰۰۳) با انجام یک سری آزمایش ثابت نمودند که با کاربرد روش AE مقدار تنش قبلی را می تواند بازیابی کرد[۲]. ستو و ناگ در یک کار آزمایشگاهی بر روی گرانیت اینادا مقدار تنش قبلی را با استفاده از روش AE مشاهده کردند[٥].

روش دیگری از انواع روش‌های اندازه‌گیری غیر مستقیم آزمایشگاهی بر روی مغزه‌های سنگی مبتنی بر اثر حافظه سنگ روش تحلیل نرخ تغییر شکل(DRA) است. DRA از رفتار کرنش غیر الاستیک نمونه سنگی تحت فشار تک‌محوری به منظور تعیین تنش اعمال شده قبلی استفاده می‌کند. این روش مشابه روش AE است. زیرا هر دوی آنها از خواص غیر الاستیک سنگ‌های تحت فشارش استفاده می‌کنند. یاماموتو[٦] و همکاران(۱۹۹۰) ثابت کردند که تنش اولیه را می‌توان از تغییر در گرادیان منحنی تنش-کرنش نمونه، تحت بارگذاری تک محوره سیکلی تعیین نمود. این روش به روش تحلیل نرخ تغییر شکل(DRA) شناخته می شود[٦]. یاماموتو و همکاران (۱۹۹۰) با انجام آزمایش‌ها بارگذاری تک محوره سیکلی، مقادیر تفاضل کرنش[۷] را در طول بارگذاری، بین دو سیکل، به عنوان تابعی از تنش محوری اعمالی اندازه‌گیری نمودند[٦]:

$$\Delta\epsilon_{ij} = \varepsilon_j(\sigma) - \varepsilon_i(\sigma)\ , \qquad j > i \qquad (۱)$$

در معادله بالا، کرنش در Kامین بارگذاری و تنش اعمال شده است. این تابع، تابع تفاضل کرنش نامیده می‌شود و تفاضل کرنش غیر الاستیک بین دو سیکل متفاوت را نشان می‌دهد[٦]. شکل۱ اصول روش تحلیل نرخ تفاضلی را نشان می‌دهد. مطالعه‌های متعددی در زمینه استفاده از روش DRA در اندازه‌گیری تنش برجا صورت گرفته است که دو مورد از آنها مراجع [۷] و [۸] است.



شکل۱- اصول روش تحلیل نرخ تفاضلی[۹].

۲.تانسور تنش

تانسور تنش مانند تانسور ارائه شده در معادله (۲) می‌باشد. σ_n برابر تنش نرمال در صفحه‌ای که بردار نرمال آن عبارتند از ly ، lx و lz است. مقدار تنش نرمال در این صفحه با مقادیر تنش‌های برشی و محوری طبق معادله (۳) ارتباط دارد[٦]. با داشتن شش مقدار تنش در جهت صفحه مستقل می‌توان شش معادله تشکیل داد و با حل آنها شش مجهول تانسور تنش را به دست آورد[٦].

$$\sigma_{xyz} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

$$\sigma_n = l_x^۲\sigma_x + l_y^۲\sigma_y + l_z^۲\sigma_z + ۲(l_x l_y \tau_{xy} + l_x l_z \tau_{xz} + l_y l_z \tau_{yz}) \qquad (۳)$$

۱. Tuncay et al
۲. Villaescusa et al
۳. Wang et al
٤. Watanabe & Tano
٥. Daido et al
٦. Yamamoto
۷. Strain difference value

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۲-۱- محاسبه برای تنش‌های اصلی

با حل دستگاه معادلات (٤) و (٥) کسینوس‌های هادی مربوط به هر یک از تنش‌های اصلی محاسبه می‌شود[۱۰].

$$\begin{pmatrix} \sigma_x - \Sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \Sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \Sigma \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix} = 0 \qquad (٤)$$

با جای‌گذاری σ_1، σ_2 و σ_3 به جای Σ و حل هر معادله کسینوس‌های هادی هر یک از تنش‌های اصلی حاصل خواهد شد. همان‌گونه که مشخص است کسینوس‌های هادی تنش‌های اصلی طبق رابطه (٥) با هم ارتباط دارند. با لحاظ نکردن این موضوع جواب $l_x = 0, l_y = 0, l_z = 0$ اولین جواب برای معادله فوق است که اشتباه می باشد.

$$l_x^{۲} + l_y^{۲} + l_z^{۲} = ۱ \qquad (٥)$$

سپس با بدست آوردن کسینوس‌های هادی می‌توان از معادلات (٦) استفاده و مقادیر شیب و امتداد شیب تنش‌های اصلی را روی صفحه استریوگراف نسبت به شمال جغرافیایی رسم کرد[۱۱].

$$\begin{aligned} l_x &= \cos\alpha \cos\beta \\ l_y &= \sin\alpha \cos\beta \\ l_z &= \sin\beta \end{aligned} \qquad (٦)$$

که α و β به ترتیب امتداد شیب و شیب برای هر کدام از بردارهای تنش اصلی باشند.

۳. اندازه‌گیری تنش برجا

به منظور انجام اهداف پژوهش یعنی توانایی روش AE و DRA در تخمین تنش برجا و اثر زمان تاخیر در مقدار اندازه‌گیری شده، تنش برجای ساختگاه سد سیمره به وسیله‌ی روش AE و DRA بر روی نمونه‌های اخذ شده از ساختگاه مذکور تعیین شده است. ٦ سری نمونه که هر سری شامل ٦ عدد نمونه در ٦ جهت مختلف کم مغزه‌گیری[۱] شده، تحت آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های A و B دارای زمان تاخیر حدود ٥ سال و نمونه‌های C تا F زمان تاخیر کمتر از ۲۰ روز داشته‌اند. پارامترهای ژئومکانیکی و پارامترهای معیار شکست هوک و براون نمونه‌های آزمایش شده به شرح جدول۱ است. از هر سری، ٦ نمونه کم مغزه‌گیری شده و مقدار تنش در هر جهت تخمین زده شده، با اعمال معادلات مکانیک محیط‌های پیوسته تانسور تنش محاسبه و سپس تنش‌های اصلی تعیین شده‌اند. تفاضل مقدار تنش به دست آمده از هر دو روش برحسب تنش به دست آمده از روش DRA نرمالیزه شده است. مقایر عادی شده اختلاف تنش بر حسب درصد در شکل۲ ارائه شده است. همان‌گونه که از شکل۲ مشخص است درصد اختلاف تنش به دست آمده از هر دو روش زیر ۱۰ ٪ بوده که نشان دهنده تطابق دو روش در اندازه‌گیری است. در ۱۲ آزمایش اول که مربوط به نمونه‌های A و B بوده، اختلاف نتایج AE و DRA زیاد بوده، اما در آزمایش‌های بعدی این اختلاف زیر ۱۰٪ است. در بیشتر آزمایش‌ها اختلاف تنش بدست آمده بین دو روش، در محدوده‌ی صفر تا ۱۰ ٪ است. در ٤٧/٢٢٪ آزمایش‌ها اختلاف بین تنش اندازه‌گیری شده در روش AE و DRA کمتر از ٥٪ است. در ٣٣/٣٣٪ آزمایش‌ها این اختلاف بین ٥ تا ۱۰ ٪بوده و مابقی آزمایش‌ها بیشتر از ۱۰٪ اختلاف را نشان می‌دهند(شکل۳). در شکل٤ مقادیر تنش اصلی بیشینه به دست آمده از روش AE و DRA برای نمونه‌های A تا G ارائه شده است که نشان دهنده تطابق خوبی بین نتایج هر دو روش است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر هر سه تنش اصلی در آزمایش ۱ و ۲ (نمونه‌های A و B) نسبت به مقادیر تنش‌های اصلی حاصل از بقیه آزمایش‌ها تفاوت دارد.

در تنش اصلی بیشینه مقادیر به دست آمده از دو در

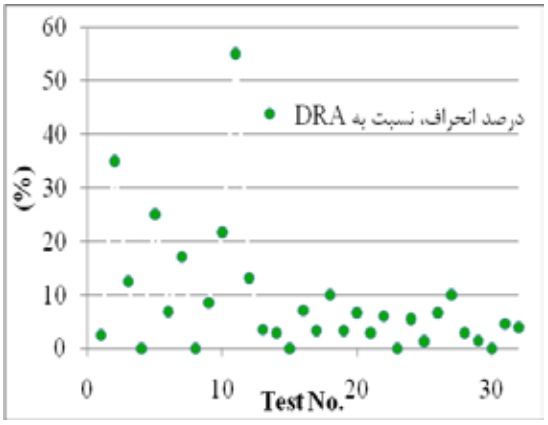
۱. Overcoring

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

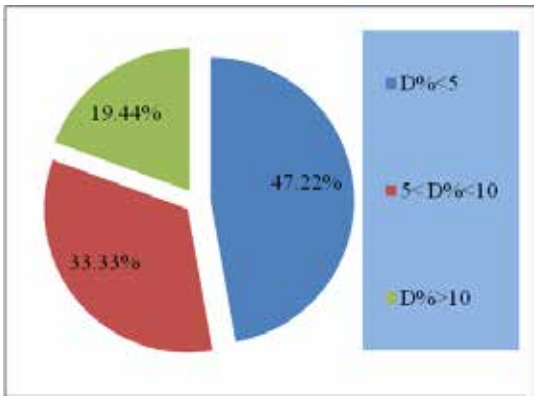
آزمایش‌ها است. این روند در تنش اصلی متوسط (شکل۵) دیده می‌شود. اما در تنش اصلی کمینه (شکل٦) مقادیر به دست آمده از نمونه‌های A و B کمتر از سایر آزمایش‌ها است. به این ترتیب می‌توان بیان نمود زمان تاخیر بیش از ۵ سال، باعث اختلال در حافظه سنگ شده است. از طرفی اختلاف مقدار تنش به دست آمده از روش AE و DRA در نمونه‌های با زمان تاخیر کم ناچیز است، اما نمونه‌هایی که دارای زمان تاخیر ۵ سال هستند دارای اختلاف زیادی هستند.

جدول۱–خصوصیات مکانیکی سنگ مورد آزمایش[۱۲]

چگالی(gr/cm۳)	۲/٦۲	σ_c (MPa)	۸۳/٤	مدول تغییر شکل پذیری (GPa)	۹
چسبندگی (MPa)	۱/۵	m	۱۲/۹	ضریب پواسون	۰/۲۵
زاویه اصطکاک داخلی(درجه)	٤۵	s	۱		



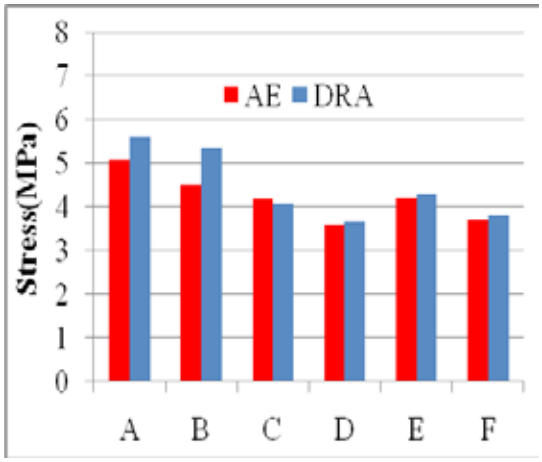
شکل۲– مقادیر نرمالیزه شده اختلاف تنش به دست آمده از روش DRA و AE نسبت به تنش بدست آمده از روش DRA.



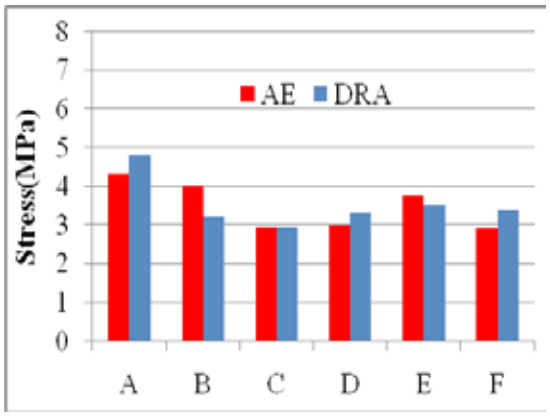
شکل۳– نمودار توزیع مقادیر نرمالیزه شده اختلاف تنش به دست آمده از روش‌های DRA و AE نسبت به تنش DRA.

شکل٤ مقادیر تنش اصلی بیشینه به دست آمده از روش AE و DRA برای نمونه‌های A تا G ارائه شده است که نشان دهنده تطابق خوبی بین نتایج هر دو روش است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر هر سه تنش اصلی در آزمایش ۱ و ۲ (نمونه‌های A و B) نسبت به مقادیر تنش‌های اصلی حاصل از مابقی آزمایش‌ها تفاوت دارد. در تنش اصلی بیشینه مقادیر به دست آمده از دو نمونه A و B بیشتر از نتایج به دست آمده از سایر آزمایش‌ها است. این روند در تنش اصلی متوسط (شکل۵) نیز دیده می‌شود. اما در تنش اصلی حداقل (شکل٦) مقادیر به دست آمده از نمونه‌های A و B کمتر از سایر آزمایش‌ها است. به این ترتیب می‌توان بیان نمود زمان تاخیر بیش از ۵ سال، باعث اختلال در حافظه سنگ شده است. از طرفی اختلاف مقدار تنش به دست آمده از روش AE و DRA در نمونه‌های با زمان تاخیر کم ناچیز است، اما نمونه‌هایی که دارای زمان تاخیر ۵ سال هستند دارای اختلاف زیادی هستند.

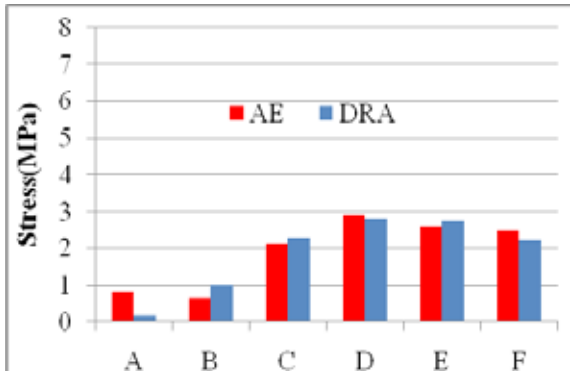
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]



شکل٤- تغییرات مقادیر تنش اصلی بیشینه در آزمایش‌ها مختلف در دو روش DRA و AE.



شکل٥- تغییرات مقادیر تنش اصلی متوسط در آزمایش‌ها مختلف در دو روش DRA و AE.



شکل٦- تغییرات مقادیر تنش اصلی کمینه در آزمایش‌ها مختلف در دو روش DRA و AE.

بر این اساس مقدار تنش‌های اصلی برای ساختگاه سد سیمره در محدوده‌ی تونل‌های آبرسان با یک میانگین‌گیری از آزمایش‌های نمونه‌های C، D، E و F به تفکیک به شرح جدول۲ است.

جدول۲-مقادیر تنش‌های اصلی حاصل از روش‌های DRA و AE

تنش اصلی	روش AE	روش DRA
σ_1 (MPa)	۳/۹±۰/۳	۳/۹±۰/٤
σ_2 (MPa)	۳/۱±۰/۸	۳/۲±۰/۳
σ_3 (MPa)	۲/٥±۰/٤	۲/٥±۰/۳

٤. مقایسه مقادیر به دست آمده با شکست هیدرولیکی

مقدار تنش‌های اصلی ساختگاه سد سیمره در محدوده تونل‌های آبرسان، براساس آزمایش‌های شکست هیدرولیکی[1] انجام شده توسط شرکت MeSy مطابق جدول۳ ارائه شده است.

جدول۳-مقادیر تنش‌های اصلی و جهت آن براساس گزارش شرکت MeSy [۱۳]

تنش	جهت	مقدار (MPa)
S_H	(NE-SW) ۷±٥۰ N	۳/۹-٤
S_h	(NW-ES) ۷±۱٤۰ N	۲/۲-۲/٤
S_v	قائم	۲/۲-۲/٥

همان‌گونه که در قسمت قبل ذکر شد زمان تاخیر باعث شده است تا مقادیر تنش‌های اصلی به دست آمده از نمونه‌های A و B اختلاف زیادی با مقادیر تنش‌های اصلی سایر نمونه‌ها داشته باشند.

۱. Hydroulic Fracturing

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

لـذا مقادیـر آنهـا منطقـی نبـوده و بـه همیـن دلیـل از نتایـج آنهـا در تجزیـه و تحلیـل اسـتفاده نشـده اسـت. تعییـن جهـت تنش‌هـای اصلـی در ایـن دو روش بـه علـت نبـود جهت‌بنـدی نمونه‌هـا، امـکان نداشـته اسـت، از آنجـا کـه نمونـه های‌سـری اول در امتـداد تنـش S_h (بـا ۹ درجـه اختـلاف زاویـه) و نمونه‌هـای سـری دوم در امتـداد S_H اسـت، می‌تـوان مقادیـر تنـش بیشـینه و کمینـه را در صفحـه عمـود بـر محـور نمونه‌گیـری تعییـن کـرد. بـه دلیـل اینکـه نمونه‌هـای سـری اول شـامل مطلـب زمـان تاخیـر شـده‌اند، از آنهـا جهـت تعییـن تنـش صفحـه‌ای عمـود بـر محـور گمانـه اسـتفاده نشـده اسـت. سـری دوم نمونه‌هـا از گمانـه‌ای کـه در جهـت عمـود بـر محـور تونـل حفـاری شـده اسـت، اخـذ شـده‌اند. بـا توجـه بـه گـزارش شـرکت MeSy جهـت تنـش اصلـی S_H نیـز هـم راسـتا بـا ایـن جهـت است(شـکل۷)، در نتیجـه مقادیـر تنـش بـه دسـت آمـده از روش DRA و AE، از نمونه‌هایـی کـه در راسـتای محـور گمانـه (عمـود بـر محـور تونـل) کـم مغـزه گیـری شـده‌اند، بایـد بـا تنـش S_H اختـلاف زیـادی نداشـته باشـد. نمـودار مقادیـر تنـش بـه دسـت آمـده در جهـت محـور گمانـه از نمونه‌هـای C تـا F درشـکل۸ ارائـه شـده اسـت. مقـدار متوسـط تنـش در ایـن جهـت در هـر دو روش AE و DRA برابـر MPa ۳/٤ اسـت.

بـه منظـور مقایسـه تنـش برجـای اندازه‌گیـری شـده از دو روش(DRA و AE) بـا روش شکسـت هیدرولیکـی، تصویـر تنش‌هـا در راسـتای عمـود بـر محـور گمانـه از تانسـور تنـش حاصـل از روش DRA و AE محاسـبه شـده اسـت. بدیـن ترتیـب کـه بـا اسـتفاده از روابـط (۳) و (۷) تنـش در فضـای دو بعـدی محاسـبه می‌شـود. بـرای محاسـبه تنـش در صفحـه عمـود بـر محـور گمانـه، بایـد از مقادیـر تنش‌هـای بـه دسـت آمـده بـرای نمونه‌هـای کـم مغزه‌گیـری در جهـت محـور Y، Z و ZY کـه بـا محور Z و Y زاویـه ٤٥ درجـه مـی سـازد، اسـتفاده کـرد[۱۰].

$$\sigma_\theta = \sigma_X \cos^2\theta + \sigma_y \sin^2\theta + 2\tau_{xy} \sin\theta\cos\theta \qquad (۷)$$

σ_θ تنـش اندازه‌گیـری شـده بـه روش DRA و AE در جهـت زاویـه θ اسـت. بـا توجـه بـه رابطـه فـوق و بـا حـل دسـتگاه معـادلات مربوطـه، مقادیـر σ_y ، σ_x و τ_{xy} محاسـبه شـده و از رابطـه (۸) مقادیـر بیشـینه و کمینـه تنـش در صفحـه عمـود بـر محـور گمانـه بـه دسـت می‌آیـد [۱۰].

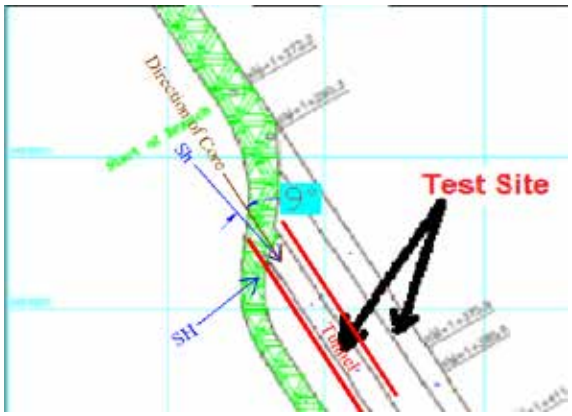
$$\sigma_H, \sigma_h = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2_{xy}} \qquad (۸)$$

نمـودار مقادیـر تنـش بیشـینه و کمینـه در صفحـه عمـود بـر محـور گمانـه دوم در شـکل۹ و شـکل۱۰ ارائـه شـده اسـت. مقـدار تنـش بیشـینه در صفحـه عمـود بـر محـور گمانـه دوم بـه صـورت میانگیـن در روش AE برابـر MPa ۳/۷۳ و در روش DRA برابـر MPa ٤ اسـت. میانگیـن مقـدار تنـش کمینـه در ایـن صفحـه از روش AE برابـر MPa ۲/۵۰ و از روش DRA، برابـر MPa ۲/۳۲ بـه دسـت آمـده اسـت.

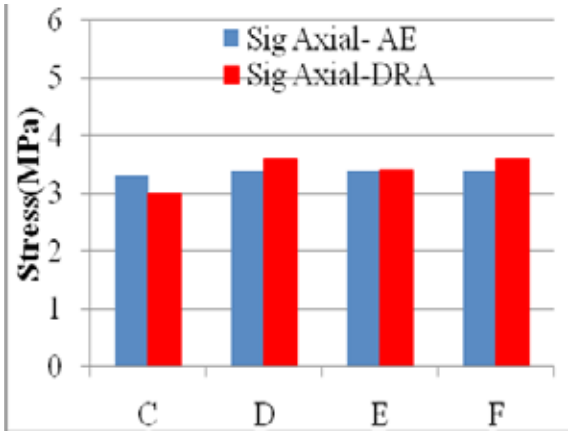
طبـق گـزارش شـرکت MeSy مقـدار تنـش S_H برابـر MPa ۳/۹۵ اسـت. ایـن تنـش بـا تنـش بـه دسـت آمـده از نمونه‌هایـی کـه در جهـت محـور گمانـه دوم کـم مغزه‌گیـری شـده و سـپس روی آنهـا آزمایـش AE و DRA انجـام شـده اسـت، همخوانـی خوبـی دارد. بـر همیـن اسـاس مقـدار تنـش در صفحـه عمـود بـر محـور گمانـه دوم معـادل تنـش Sh و Sv اسـت.

طبـق جـدول۳ مقـدار Sv برابـر MPa ۲/۳۵ و مقـدار Sh برابـر MPa ۲/۳ اسـت. مقـدار تنـش حداقـل در صفحـه عمـود بـر محـور گمانـه دوم بـا مقـدار Sh تطابـق داشـته، امـا مقـدار Sv بـا مقـدار تنـش بیشـینه در صفحـه مذکـور اختـلاف دارد. پـس طبـق ایـن مقایسـه مقـدار تنـش بیشـینه و کمینـه (S_H و Sh) بـا نتایـج روش AE و DRA یکسـان اسـت. امـا تنـش Sv بـا نتایـج روش‌هـای مذکـور هم‌خوانـی نـدارد.

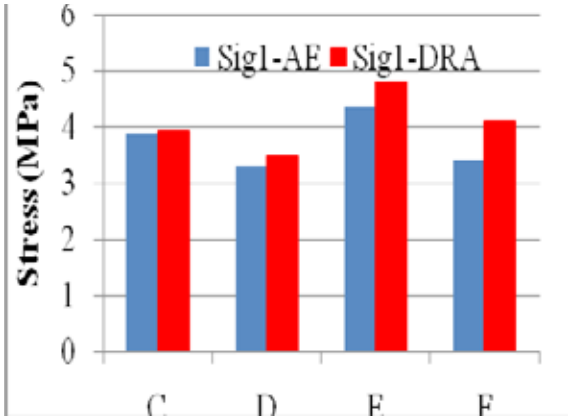
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]



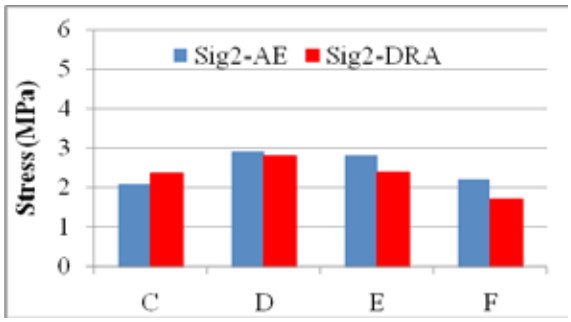
شکل۷- شماتیکی از محور تونل و جهت تنش‌های افقی حاصل از آزمایش HF.



شکل۸- مقادیر تنش در جهت محور گمانه دوم.



شکل۹- مقادیر تنش اصلی بیشینه در صفحه عمود بر محور گمانه دوم.



شکل۱۰- مقادیر تنش اصلی حداقل در صفحه عمود بر محور گمانه دوم.

همان‌گونه که از نتایج مشخص است اختلافی بین نتایج روش AE و DRA با روش HF وجود دارد که این اختلاف به علت زیر است.

در روش شکست هیدرولیکی فرض می‌شود که جهت یکی از تنش‌های اصلی در راستای قائم بوده و مقدار آن برابر وزن روباره است، و جهت دو تنش دیگر افقی خواهد بود. اما در روش‌های DRA و AE چنین فرضی وجود ندارد. مقدار و جهت تنش‌های اصلی در این دو روش مستقل از هر فرضی به دست می‌آیند. با توجه به اینکه در این پژوهش نمونه آزمایش شده در روش DRA و AE دارای جهت‌بندی نبوده، پس نمی‌توان جهت تنش‌ها را مشخص کرد. اگر این امکان فراهم بود، با چرخش محورهای ماتریس تنش، مقادیر تنش در راستاهای ذکر شده در روش هیدرولیکی، محاسبه شده و اختلاف‌ها به صورت دقیق بررسی می‌شد. ویلاسکوزا و ماچوکا[۱] با انجام آزمایش AE در ۸۰ معدن در اعماق زیاد(بیش از ۱۵۰۰ متر) به این نتیجه رسیدند که جهت یکی از تنش‌های اصلی همواره قائم و مقدار آن برابر وزن روباره است و جهت دو تنش دیگر افقی هستند[۱۴]. پس می‌توان بیان داشت روش شکست هیدرولیکی در اعماق زیاد نتایج قابل قبولی را ارائه خواهد کرد، اما در اعماق کم مقادیر تنش قائم به دست آمده از این روش، زیاد قابل اطمینان نمی باشد. پس

۱. Villaescusa & Machuca

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

جهت‌هایی که در روش شکست هیدرولیکی ذکر شده‌اند جهت تنش‌های اصلی نیست و در این جهت‌ها تنش‌های برشی نیز وجود دارد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقادیر تنش‌های به دست آمده از روش‌های AE و DRA با روش HF مطابقت خوبی داشته، پس تنش‌های تخمین زده شده از دو روش صحیح است.

٦- نتیجه‌گیری

با استفاده از آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های اخذ شده از سایت سیمره به روش AE و DRA و مقایسه مقادیر تنش با مقادیر تنش حاصل شده از روش شکست هیدرولیکی نتایج زیر می‌توان نتیجه گرفت:

۱- مقادیر تخمین تنش‌های اصلی به دست آمده از روش‌های AE و DRA دارای اختلاف ناچیزی است.

۲- براساس مراحل انجام شده در آزمایش‌ها، تعیین نقطه تنش پیشین در روش AE نسبت به روش DRA ساده‌تر است.

۳- آزمایش‌های انجام شده برای تخمین تنش در روش AE و DRA مشخص کردند که تاخیر در انجام آزمایش مقادیر صحیح را ارائه نمی‌دهند.

٤- مقادیر تنش SH و Sh حاصل از روش شکست هیدرولیکی با مقادیر تنش به دست آمده از روش AE و DRA انطباق داشته، اما مقدار تنش Sv تعیین شده از روش شکست هیدرولیکی با مقادیر تنش تخمین زده شده یکسان نیست

۵- در روش شکست هیدرولیکی فرض بر این است که یکی از تنش‌های اصلی قائم بوده و مقدار آن برابر وزن روباره است. اما در این دو روش مقادیر به دست آمده، مستقل از فرض فوق می‌باشد پس این دو روش در تعیین میزان تنش قائم نسبت به روش شکست هیدرولیکی بهتر است.

۷- مراجع

[1] Lavrov, A.*"The Kaiser effect in rocks: principles and stress estimation techniques"*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 40 (2003). pp 151–171.

[2] Daido, M. Aydan, O. Kuwae, H. & Sakoda, S.*" An experimental study on the validity of Kaiser effect for in-situ stress measurements by Acoustic Emission Method (AEM)in rocks subjected to cyclic loads"*, Journal of The School of Marine Science and Technology, (2003). Vol.1 No.1 pp.17-22.

[3] Kojima, T. and Matsuki, K. *''A fundamental study on the use of the Kaiser effect for tectonic stress measurement"*, NDT & E International, (1994), Vol. 27 pp. 33–39

[4] Yan, J. Zili, Q. *"Time-sensitivity of the Kaiser effect of acoustic emission in limestone and its application to measurements of in-situ stress"*, Pet.Sci. (2009). 6:176-180.

[5] Seto, M. Nag, D. & Vutukuri, V.*" In-situ rock stress measurement from rock cores using the acoustic emission method and deformation rate analysis"*, Geotechnical and Geological engineering, (1999)17: 241–266.

[6] Villaescusa, E. Seto, M. Baird, G. *"Stress measurements from oriented core"* Int. J. of Rock Mech. & Min. Sci. 39, (2002) 603-615.

[7] Yamamoto, K. & Kuwahara, Y., Kato, K. Hirasawa, T.*" Deformation Rate Analysis A New Method In Situ Stress stimation from Inelastic Deformation of Rock Samples under Uni-Axial Compressions"*, Tohoku Geophys. Journ. (Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5), (1990) Vol. 33, No. 2, pp. 127-147.

[8] Lin, H. Wu, I. & Lee, D. *'' Evaluating the pre-*

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

stress of Mu-Shan sandstone using acoustic emission and deformation rate analysis '' International Symposium on In-Situ Rock Stress, Trondheim, Norway, (2006) pp 215–222

[9] Louchinkov, V.*"A Numerical investigation into the stress memory effect in rocks"*, University of Adelaide, Australia , M.Sc .Thesis, (2004)

[10] Jaeger, J. Cook, N. and Zimmerman, R. *'' Fundamentals of Rock Mechanics"*, Fourth Edition, (2007) Blackwell Publishing.

[۱۱] عطار.ایمان، «بررسی روش‌های تخمین تنش برجا از روی مغزه‌های حفاری شده»، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۷.

[12] Mahab Ghodss Consulting Engineering Company,*"Seymareh and Hydropower Plant Project. Rock Mechanics Report, phase-II design studies"* (2003)

[13] Mesy GmbH Company, *''Hydraulic fracturing/ Hydraulic injection tests at the Seymareh hydropower project site, Iran, Final Report Part I: Results of In - Situ Tests"*, Date: 26.04.2007,Report No.:05.07A

[14] Villaescusa, E. Machuca, L. & Windsor, C. *"Stress measurements at great depth at Craig-Onaping Mines, Sudbury Canada"*. Proceedings of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium, (2009) Toronto.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]