بررسي كارآيي روش آناليز شدت تغيير شكل در تخمين مقدار تنش برجا

مرتضي احمدي*[۱] و بهروز سمندري[۲]

[۱] دانشيار گروه مكانيك سنگ- بخش معدن- دانشكده فني - دانشگاه تربيت مدرس

[۲] دانش آموخته كارشناسي ارشد گروه مكانيك سنگ- دانشكده فني - دانشگاه تربيت مدرس

(تاريخ دريافت ۸۴/۱۰/۲۷ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۶/۹/۱۲ ، تاريخ تصويب ۸۶/۱۰/۱۵)

چكيده

روش‌هاي متعددي جهت تعيين مقدار تنش برجا در توده سنگ مورد استفاده قرار مي‌گيرند. روش اسلاتر، جك صفحه‌اي و شكست هيدروليكي از جمله روش‌هاي معمول مي‌باشند. اين روش‌ها گران و زمان بر بوده و هر يك از اين روش‌ها دقت مخصوص به خود را دارد. دانستن حدود مقدار تنش مورد اندازه گيري در انتخاب روش مناسب از اهميت خاصي برخوردار است. به همين دليل اخيراً روش‌هايي جهت تخمين تنش برجا با استفاده از مغزه حفاري ارائه شده است. اين روش‌ها شامل روش بازيابي كرنش غير كشسان، آناليز منحني كرنش تفاضلي، انتشار امواج صوتي و آناليز شدت تغيير شكل مي‌باشد. از روش‌هاي تخمين مقدار تنش برجا، روش آناليز شدت تغيير شكل به دليل فراهم بودن امكانات آزمايشگاهي انتخاب شد. در اين تحقيق توانايي و قابليت اين روش در اندازه‌گيري تنش برجا مورد مطالعه قرار گرفته است. بدين منظور ساختگاه سد بختياري به عنوان مطالعه موردي استفاده شده است. با توجه به اين كه در اين محل، ميزان تنش برجا از روش اسلاتر به دست آمده است، لذا روي مغزه‌هاي گرفته شده از محل اندازه گيري تنش، آزمايش تعيين تنش برجا بر اساس روش فوق به عمل آمد. تخمين تنش به دست آمده با مقدار تنش تعيين شده با روش اسلاتر نزديك مي‌باشد. از نتايج اين تحقيق، تأييد توانايي و قابليت روش آناليز شدت تغيير شكل در تخمين تنش برجا مي‌باشد. هم چنين نحوه انجام اين روش با توجه به امكانات آزمايشگاهي موجود مشخص گرديد.

واژه‌های کلیدی: تخمين تنش برجا- روش اسلاتر- سد بختياري- انتشار امواج صوتي در سنگ - آناليز شدت تغيير شكل – اثركايزر

مقدمه

آگاهي از مقدار و جهت تنش‌هاي اوليه در محل اجراي فضاهاي زيرزميني، در پروژه‌هاي معدني و عمراني اهميت زيادي داشته و ندانستن آن ممكن است هزينه‌ها و خسارت جبران ناپذيري را به همراه داشته باشد. اين آگاهي در بسياري از مراحل طراحي و اجرا راه‌گشا بوده و به مهندسين ديد وسيعي مي‌بخشد [۱]. اگر چه روش‌هاي متعددي براي تعيين تنش برجا، پيشنهاد شده است اما اندازه‌گيري دقيق تنش برجا، كار آساني نبوده و هر روش نواقص و محدوديت‌هاي مخصوص به خود را دارد [۲]. از ايرادهاي روش‌هاي معمول مانند روش اسلاتر، بيش مغزه گيري، جك صفحه‌اي و شكست هيدروليكي، گران بودن و زمان بر بودن آنها مي‌باشد. نقطه ضعف ديگر مهم اين روش‌ها عدم انجام آنها دراعماق زياد و دور از دسترس مي‌باشد.

روش‌هاي جديدي براي تخمين تنش برجا براي نمونه سنگي كه از اعماق زياد و نواحي دور از دسترس ارائه شده است كه اين روش‌ها شامل روش بازيابي كرنش غير كشسان[۱]، آناليز منحني كرنش تفاضلي[۲]، انتشار امـواج صوتي[۳] و آناليز شدت تغيير شكل[۴] مي‌باشند [۳].

هر دو روش انتشار امواج صوتي و آناليز شدت تغيير شكل از اثر كايزر تبعيت مي‌كنند. اثر كايزر، بازيافت تنش پيشين حداكثري مي باشد كه سنگ در محيط برجا تحت آن شرايط تنش، قرار داشته است. مطالعات زيادي در مورد اين روش‌ها صورت گرفته است و هنوز در مورد اينكه حافظه تنش چه مدت، مي‌تواند حفظ شود نظر قاطعي وجود ندارد [۴].

روش شدت تغيير شكل در مورد اثر تنش‌هاي اعمال شده پيشين در تغيير شكل غيرالاستيك نمونه سنگي تحت بارگذاري تك محوري سيكلي به منظور تخمين تنش برجا مي‌باشد [۵]. اين روش مشابهت زيادي با روش انتشار امواج صوتي دارد. ضمن اين كه در هر دو روش از خصوصيات غير الاستيک سنگ‌ها تحت بارگذاري تک محوري استفاده شده است. در سال ۱۹۹۰ ياماموتو و همكارانش به صورت تجربي نشان دادند كه تنش پيشين از روي تغييرات شيب منحني روابط تنش ـ كرنش، تحت بارگذاري تک محوره متوالي قابل تخمين مي‌باشد و اين

* نويسنده مسئول : تلفن : ۸۲۸۸۳۳۵۱ , فاكس : ۸۲۸۸۴۳۲۴ , Email: moahmadi@modares.ac.ir

روش را آنالیز شدت تغییر شکل (DRA) نامیدند [۶]. تغییرات شیب روابط تنش ـ کرنش، با روش‌هاي معمول قابل تشخیص نمي‌باشد، به دلیل تغییرات غیر خطي بزرگتر بوجود آمده در نتیجه سایر عوامل مانند بسته شدن ترك‌ها ممکن است تغییرات شیب پوشیده شود. آنها با استفاده از تابع زیر مقادیر تفاضل کرنش در طول بارگذاري بین دو سیکل را مطابق رابطه زیر اندازه‌گیري نموده‌اند[۶].

$$\Delta\varepsilon_{ji}(\sigma) = \varepsilon_j(\sigma) - \varepsilon_i(\sigma) \quad ; \quad j > i \qquad (۱)$$

که در آن σ تنش محوري اعمالي و $\varepsilon_i(\sigma)$ و $\varepsilon_j(\sigma)$ کرنش محوري کاهش یافته در بارگذاري i ام و j ام مي‌باشد. معادله (۱) تفاضل کرنش غیر الاستیک مابین دو سیکل را نشان مي‌دهد که تحت عنوان تابع تفاضل کرنش خوانده مي‌شود [۵].

با توجه به تنش محوري اعمال شده، رفتار مکانیکي ترك‌هاي موجود در نمونه، باعث کاهش یا افزایش کرنش‌هاي غیر خطي مي‌شود. تغییرات تنش محوري، باعث باز یا بسته شدن ترك‌ها مي گردد که این نوع رفتار، در طول چند دوره بارگذاري تا جایي که اندازه ترکهاي موجود تغییرنکند اغلب قابل برگشت در نظر گرفته شده [۷] که در این صورت اجزاء قابل برگشت کرنش از معادله (۱) حذف مي گردد. تنش محوري اعمال شده در نمونه ممکن است سبب گسترش ترك‌هاي موجود و تشکیل ترك‌هاي جدید شود. با درنظرگرفتن اثرکایزر، زماني این حالت اتفاق خواهد افتاد که تنش اعمالي از مقدار حداکثر تنش تجاوز نماید. کرنش به وجود آمده از این حالت براي دو سیکل متوالي غیرقابل برگشت بوده و از معادله (۱) حذف نخواهد شد. بنابراین با استفاده از تابع تفاضل کرنش به راحتي مي‌توان از منحني تنش ـ کرنش، یك نقطه انحنا (عطف) را جهت تخمین مقدار حداکثر تنش پیشین مشخص نمود [۵].

در دو روش بازیابي کرنش غیرکشسان و آنالیز منحني کرنش تفاضلي بلافاصله پس از نمونه گیري در محل باید روي نمونه آزمایش انجام شود. تهیه نمونه و انجام آزمایش در دو روش انتشار امواج صوتي و روش آنالیز شدت تغییر شکل آسان تر مي‌باشد. لذا با توجه به فراهم بودن امکانات آزمایشگاهي و تهیه آسان نمونه، روش آنالیز شدت تغییر شکل براي تخمین مقدار تنش برجا انتخاب گردید. هدف اصلي این تحقیق، بررسي توانایي و قابلیت روش آنالیز شدت تغییر شکل در تخمین تنش برجا است که براي انجام آن نیاز به دانستن مقدار تنش برجا در یك محل مي‌باشد. از میان پروژه‌هاي موجود، سد بختیاري به عنوان محل پروژه انتخاب گردید. در این محل به منظور ایجاد نیروگاه در زیر زمین نیاز به مقدار تنش برجا مي‌باشد که این مقدار توسط روش اسلاتر تعیین شده است.

آزمون‌های آزمایشگاهی

روش انجام آزمایش

براي انجام آزمایش شدت تغییر شکل، ابتدا از بلوك بدست آمده از کالري و یا مغزه گرفته شده از حفر گمانه در داخل گالري و یا مغزه بدست آمده از حفر گمانه[۵] از سطح زمین، براي تهیه نمونه مجدداً مغزه گیري[۶] در قطر کوچکتر انجام مي‌شود. به طور مثال اگر قطر مغزه گمانه ۷۵ میلیمتر باشد. مغزه گیري جدید از محیط دور آن خواهد بود. نمونه جدید باید نسبت طول به قطري معادل ۲ براي آزمایش فشارشي محوري داشته باشد، لذا اندازه قطر مي‌تواند حداکثر حدود ۳۰ میلي متر باشد. حدود تنش عمودي اعمالي بر نمونه توسط طبقات فوقاني براساس وزن مخصوص متوسط لایه‌هاي زمین (۰/۰۲۷ KN/m^2) مشخص خواهد گردید. نمونه بر اساس استاندارد ISRM تهیه شده [۸] و آزمایش بر روي آن تنش فشارشي بر اساس استاندارد پیشنهاد شده توسط ISRM صورت مي‌پذیرد. بیشترین مقدار تنش اعمالي حدود ۱/۲۵ برابر مقدار محاسبه شده تنش عمودي اعمالي خواهد بود که در این آزمایش پس از رسیدن تنش به این مقدار، باربرداري انجام مي گردد که لازم است حداقل در این جا دو سیکل بارگذاري و باربرداري انجام شود.

تهیه نمونه

به منظور بررسي از تکیه گاه سد بختیاري و براي آزمایش از مغزه‌هاي حفاري شده در یکي از گالري‌هاي اکتشافي استفاده شد. ضخامت روباره در این گالري ۱۱۵ متر بوده و نمونه سنگ آهك سیاه از سه عمق ۸/۲۰، ۱۲/۷۰ و ۱۴/۳۰ متري گمانه مربوط به آزمایش دیلاتومتري با قطر ۹۰ mm از ساختگاه تهیه گردیدند. مشخصات فیزیکي و مکانیکي این نمونه عبارت است از: تخلخل ۰/۳۶ درصد و مقاومت فشاري تك محوره ۷۶ مگاپاسکال.

از آن جائي كه اندازه‌گيري‌ها بايستي حداقل در سه جهت مستقل صورت گيرد، از نمونه‌هاي آهك سياه مربوط به هر عمق در سه جهت مستقل مغزه‌گيري مجدد صورت پذيرفت كه با توجه به امكانات موجود، مغزه‌ها با قطر mm ۲۶ تهيه گرديدند. مشخصات مربوط به نمونه‌هاي تهيه شده در جدول (۱) ارائه شده است. بايد توجه داشت در اين گونه روش‌ها هر چه تعداد نمونه مورد آزمايش بيشتر باشد، نتايج آزمايش‌ها قابل اطمينان‌تر خواهد بود.

جدول۱: مشخصات مربوط به مغزه‌ها.

عمق مغزه(m)	آزيموت	۰	۴۵°	۹۰°
۸/۲۰	نمونه جديد	A_1	B_1	C_1
	قطر(mm)	۲۶	۲۶	۲۶
	ارتفاع(mm)	۶۷/۵۸	۶۹/۲۶	۷۰/۳۸
۱۲/۷۰	آزيموت	۰	۳۷°	۷۰°
	نمونه جديد	A_2	B_2	C_2
	قطر(mm)	۲۶	۲۶	۲۶
	ارتفاع(mm)	۶۴/۲۰	۶۷/۷۶	۴۲/۸
۱۴/۳۰	آزيموت	۰	۳۵°	۷۰°
	نمونه جديد	A_3	B_3	C_3
	قطر(mm)	۲۶	۲۶	۲۶
	ارتفاع(mm)	۶۶/۵۸	۶۵/۲۸	۴۷/۶۴

دستگاه آزمايش

دستگاه مورد استفاده در اين آزمايش يک دستگاه اعمال بار به صورت فشارش مدل ۶۰۲۷ از سري پيشرفته ۵۵۰۰ ساخت شركت اينسترون[۷] مي‌باشد. اين دستگاه مجهز به سيستم كنترل خودكار با قابليت بارگذاري متوالي بوده كه سيكل‌هاي بارگذاري و باربرداري با يک نرخ ثابت بر نمونه اعمال مي‌شود. همچنين اين دستگاه قابليت ثبت خودكار تغييرات تنش و كرنش بوجود آمده در طول بارگذاري و باربرداري در نمونه را دارا مي‌باشد. دقت اندازه‌گيري تغيير شكل در اين دستگاه به ميزان ۱ ميكرون بوده كه به دليل انجام آزمايش با دقت ۱ ميكرون از اين دستگاه منحصر به فرد استفاده شده است. در شكل (۱) دستگاه به همراه نمونه در حال آزمايش ديده مي‌شود.

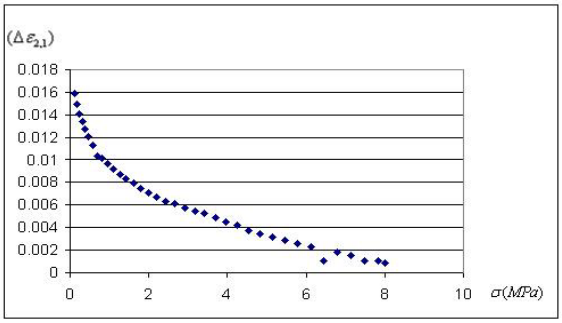
شكل ۱: دستگاه اعمال فشارش محوري به همراه نمونه مورد آزمايش.

نتايج آزمون‌ها

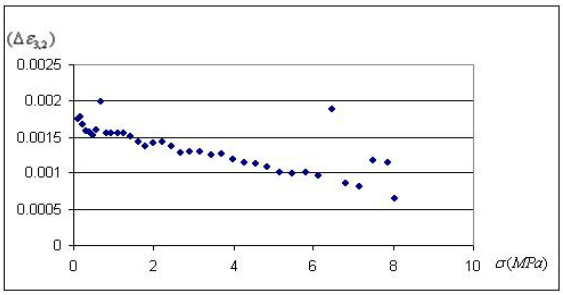
با توجه به نتايج به دست آمده از تحقيقات قبلي بر روي نمونه مارن، نمي‌توان از دو سيكل بارگذاري و باربرداري براي تخمين تنش استفاده نمود [۲]. اين حالت به خاطر وجود حافظه تنش صفر در نمونه مي‌باشد. ممكن است به نمونه سنگ در حين حفاري، حمل و نقل نادرست، آماده سازي و ... ضربه و نيروهايي وارد شود كه در حافظه سنگ بماند كه در نتايج آزمايش‌ها بي‌تأثير نيستند. از اين حافظه، تحت عنوان حافظه تنش صفر ياد مي‌شود و تفاوت آن با حافظه تنش در اين است كه در سيكل‌هاي پايين آزمايش‌ها از بين مي‌روند. در واقع اين حافظه جزء حافظه كوتاه مدت سنگ محسوب مي گردد [۵].

بنابراين با توجه به نتايج به دست آمده، در اين آزمايش، چهار سيكل بارگذاري و باربرداري براي هر نمونه در نظر گرفته شد. بارگذاري با نرخ ثابت ۰/۱۵ مگاپاسكال بر دقيقه و تا حداكثر تنش ۸ مگاپاسكال بر نمونه اعمال گرديد. در طول هر آزمايش تغييرات تنش و كرنش به صورت خودكار ثبت و نتايج آن در شكل هاي (۲) تا (۴) ارائه شده است. در تمامي اشكال، نمودار (الف) مربوط تفاضل كرنش $(\Delta\varepsilon_{2,1})$، نمودار (ب) مربوط به تفاضل كرنش $(\Delta\varepsilon_{3,2})$ و نمودار (ج) مربوط به تفاضل كرنش $(\Delta\varepsilon_{4,3})$ مي‌باشد. با توجه به منحني‌هاي ارائه شده در اشكال، كاملاً واضح است كه از منحني مربوط به تفاضل كرنش $(\Delta\varepsilon_{2,1})$، نمي‌توان براي تخمين تنش استفاده نمود ضمن اين كه نتيجه به دست آمده براي نمونه مارن

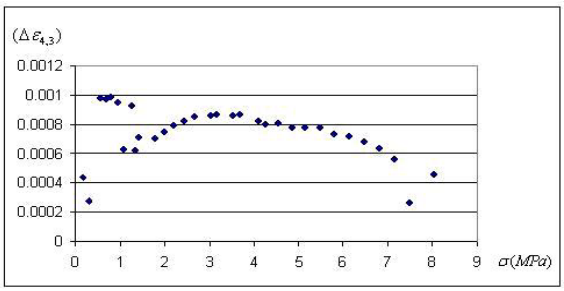
در مورد اين نمونه نيز صادق مي‌باشد [۲]. با تكرار سيكل‌هاي بارگذاري و باربرداري، تغيير شيب واضحي (نقطه عطف) در يك نقطه خاص در منحني‌ها، خصوصاً در منحني مربوط به تفاضل كرنش $(\Delta\varepsilon_{4,3})$، قابل مشاهده مي‌باشد. بنابراين با توجه به نتايج به دست آمده در بالا مي‌توان ميزان تنش‌هاي مربوط به اين عمق را به صورت خلاصه در جدول (۲) ارائه نمود.



(الف)



(ب)



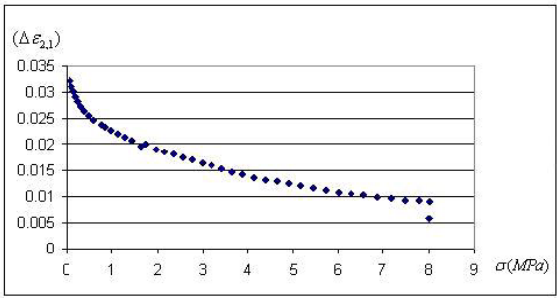
(ج)

شكل ۲: منحني تنش- تفاضل كرنش مربوط به نمونه A_1.

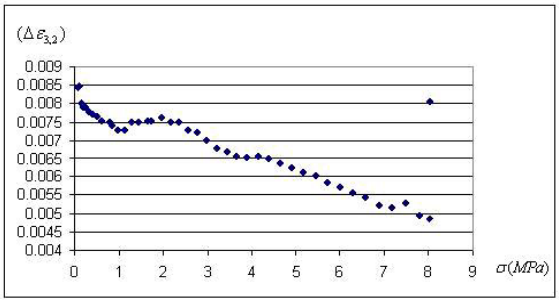
جدول ۲: تنش‌هاي تخمين زده شده براي نمونه مربوط به عمق ۸/۲۰ متري گمانه.

عمق نمونه(m)	آزيموت	۰	۴۵°	۹۰°
۸/۲۰	نمونه	A_1	B_1	C_1
	تنش(MPa)	۳/۸	۲/۱۷	۳

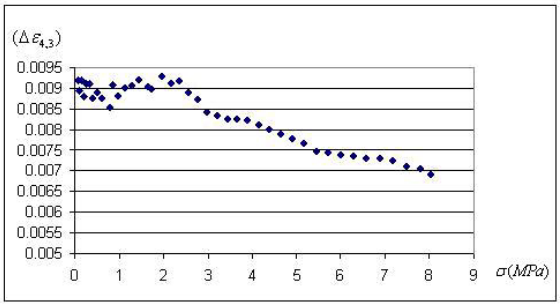
براي نمونه هاي مربوط به عمق ۱۲/۷۰ و ۱۴/۳۰ عيناً آزمايش‌هاي انجام شده بر روي نمونه مربوط به عمق ۸/۲۰ متري گمانه، نيز انجام گرديد به دليل تشابه منحني‌ها از ارائه آنها صرف نظر شده است. در خصوص اين دو نمونه نيز، از منحني مربوط به تفاضل كرنش $(\Delta\varepsilon_{2,1})$، براي تخمين تنش نمي‌توان استفاده نمود، اما در منحني‌هاي مربوط به تفاضل كرنش $(\Delta\varepsilon_{3,2})$ و $(\Delta\varepsilon_{4,3})$، تغيير شيب واضحي قابل تشخيص مي‌باشد. نتايج اين آزمايش‌ها در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

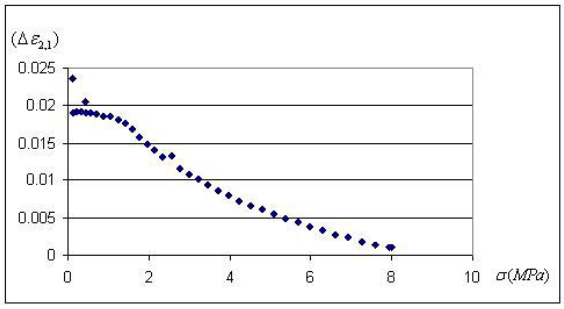
شكل۳: منحني تنش- تفاضل كرنش مربوط به نمونه B_1.

جدول ۳: تنش‌هاي تخمين زده شده براي نمونه عمق ۱۲/۷۰ متري گمانه.

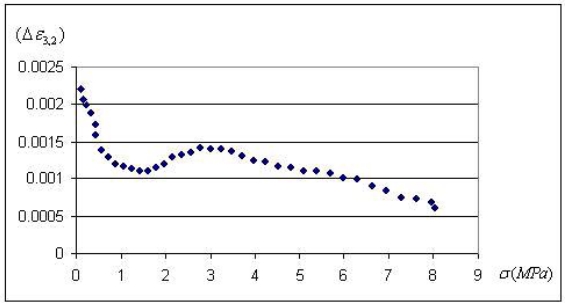
آزيموت	۰	۳۷°	۷۰°
نمونه	A_2	B_2	C_2
تنش(MPa)	۳/۸	۳/۲۱	۴/۱۸

جدول ۴: تنش‌هاي تخمين زده شده براي نمونه عمق ۱۴/۳۰ متري.

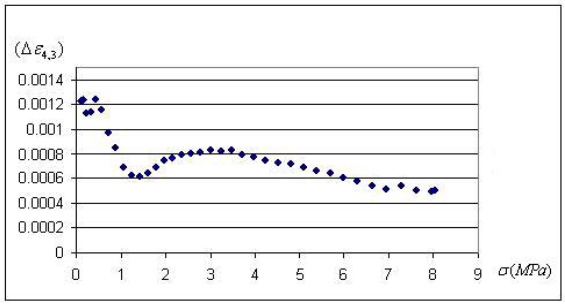
آزيموت	۰	۳۵°	۷۰°
نمونه	A_3	B_3	C_3
تنش(MPa)	۳/۸	۲/۴	۲/۹



(الف)

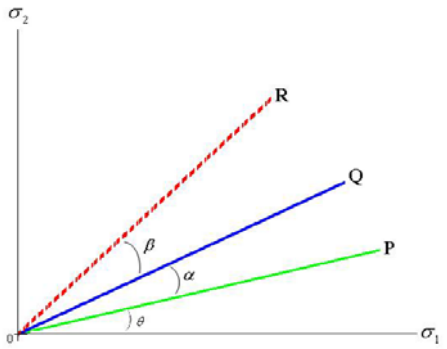


(ب)



(ج)

شكل ۴: منحني تنش – تفاضل كرنش مربوط به نمونه C_1.



شكل۵: جهت هاي سه گانه اندازه گيري تنش [۹].

تجزيه و تحليل

اگر P، Q و R سه جهت مستقلي باشند(شكل ۵) كه تنش در آنها اندازه‌گيري شده باشد، با داشتن سه مقدار $\sigma_R, \sigma_Q, \sigma_p$ و با استفاده از روابط (۲) تا (۴) مي‌توان تنش‌هاي اصلي را محاسبه نمود كه بهتر است زاويه بين اين خطوط كمتر از ۴۵ درجه باشد [۹].

تنش‌هاي اصلي مربوط به هر عمق كه با استفاده از روابط (۲) لغايت (۴) و نتايجي كه براي سه عمق انتخاب شده بدست آمده است، در جدول (۵) ارائه شده است.

$$\sigma_P = \frac{1}{2}(\sigma_1+\sigma_2)+\frac{1}{2}(\sigma_1-\sigma_2)\cos 2\theta \qquad (۲)$$

$$\sigma_Q = \frac{1}{2}(\sigma_1+\sigma_2)+\frac{1}{2}(\sigma_1-\sigma_2)\cos 2(\theta+\alpha) \qquad (۳)$$

$$\sigma_R = \frac{1}{2}(\sigma_1+\sigma_2)+\frac{1}{2}(\sigma_1-\sigma_2)\cos 2(\theta+\alpha+\beta) \qquad (۴)$$

جدول۵: نتايج بدست آمده از آنالیز شدت تغيير شكل.

عمق(m)	$\sigma_1(MPa)$	$\sigma_2(MPa)$
۸/۲۰	۴/۷۵	۲/۱۱
۱۲/۷۰	۴/۶۵	۲/۹
۱۴/۳۰	۴/۹۷	۲/۳

با توجه به اين آزمايش‌ها، حال مي‌توان نتايج اين آزمايش‌ها را با نتايج بدست آمده از روش اسلاتر مقايسه نمود همان گونه كه قبلاً ذكر گرديد تنش برجا با استفاده از روش اسلاتر در محل تكيه‌گاه هاي سد بختياري تعيين شده است. در محاسبات مدول الاستيسيته سنگ ۲۴ گيگا پاسكال و ضريب پواسون ۰/۲۵ منظور گرديده [۱۰] و در جدول (۶) نتايج بدست آمده ارايه شده است.

جدول۶ : نتايج بدست آمده از آزمايش اسلاتر[۱۰].

عمق (m)	α' (o)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	R^2 (%)
۱۱/۲۰	۶۷	۵/۷	۲/۱	۹۴
۱۱/۲۵	۸۰	۵/۸	۲/۶	۶۹
۱۱/۳۵	۸۰	۵/۸	۲/۸	۷۷

كه در آن α، زاويه بين σ_1 با جهت مبنا بوده و σ_1, σ_2 تنش‌هاي اصلي دو بعدي مي باشد.

مقدار متوسط تنش‌هاي اندازه گيري شده در دو روش شدت تغيير شكل و اسلاتر و ميزان خطا در جدول (۷) ارائه شده است. با مقايسه نتايج بدست آمده براي مقدار تنش از روش اسلاتر و آنالیز شدت تغيير شكل، براي σ_1، ۱۶درصد و براي σ_2، ۳ درصد، خطا در نتايج بدست آمده است. مطلب مورد توجه اين مي‌باشد كه مقادير به دست آمده از روش اسلاتر براي مقادير تخميني

E = ۲۴ GPa و ν = ۰/۲۵ بوده، لذا در تعیین این مقادیر همواره خطا وجود داشته است. با توجه به تفاوت اندکي که در عمق انجام آزمایش‌ها وجود دارد اختلاف حادث شده در نتایج منطقي به نظر مي‌رسد.

جدول۷: مقایسه مقدار تنش‌هاي اندازه گیري شده در دو روش.

تنش (MPa)	روش اسلاتر	روش شدت تغییر شکل	اختلاف (MPa)	خطا (%)
σ_1	۵/۷۵	۴/۸	۰/۹۵	۱۶
σ_2	۲/۵	۲/۴۳	۰/۰۷	۳

نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایش‌هاي انجام شده و مقایسه آنها با مقادیر تنش تعیین شده به روش اسلاتر مي‌توان نتایج زیر را استنتاج نمود:

۱- با انجام آزمایش ها روي نمونه ساختگاه سد بختیاري و مقایسه مقادیر آن با مقادیر به دست آمده از روش اسلاتر، قابلیت و توانایي روش آنالیز شدت تغییر شکل در تخمین تنش برجا تأیید شد.

۲- با توجه به این که آزمایش مربوط به نمونه اول (عمق ۸/۲۰ متري از گمانه) حدوداً هفت ماه و آزمایش مربوط به نمونه دوم (عمق ۱۲/۷۰ متري از گمانه) و نمونه سوم(عمق ۱۴/۳۰ متري از گمانه) حدوداً هشت ماه پس از روش اسلاتر انجام گرفته است، بنابراین مي‌توان نتیجه گرفت که پس از گذشت حدوداً هشت ماه حافظه تنش قابل برگشت مي‌باشد.

۳- براي اکثر نمونه‌ها، کرنش‌هاي غیر الاستیک بوجود آمده در بارگذاري اول، رفتار خاص و متفاوتي با بارگذاري سیکل‌هاي بعدي از خود نشان مي‌دهند. با وجود این معمولاً از روي منحني توابع تفاضل کرنش داده‌هاي سیکل‌هاي بعدي نقاط انحناي واضح قابل تشخیص مي‌باشد، لذا توصیه مي گردد در آزمایش ها حداقل چهار سیکل بارگذاري و باربرداري انجام شود. شیب منفي به وجود آمده در اکثر منحني‌هاي $\Delta\varepsilon_{2,1}$، احتمالاً در اثر ترک‌هاي بوجود آمده در حین و بعد از نمونه‌گیري و رهایي تنش، در نمونه‌ها مي‌باشد.

۴- اگر از نمونه بتوان در شش جهت مستقل مغزه‌گیري نمود، تانسور تنش و جهت تنش‌ها به طور کامل محاسبه خواهد شد. البته باید توجه نمود که مقادیر تنش حاصل از این روش، تخمیني از تنش واقعي بوده و هرچه تخمین صورت گرفته دقیق‌تر باشد در مراحل بعدي، انتخاب روش‌هاي برجاي براي اندازه‌گیري تنش دقیق‌تر خواهد بود.

فهرست علائم

σ_1	تنش اصلي محوري	(MPa)
σ_2	تنش اصلي محوري	(MPa)
σ_Q	تنش در جهت خط Q	(MPa)
σ_R	تنش در جهت خط R	(MPa)
θ	زوایه جهت خط P با σ_1	(درجه)
α	زوایه جهت خط Q با خط P	(درجه)
β	زاویه جهت خط R با خط Q	(درجه)
α	زوایه بین σ_1 با جهت مبنا در آزمایش اسلاتر	(درجه)
E	ضریب الاستسیته سنگ	(GPa)
ν	ضریب پواسون	(--)
σ	تنش محوري اعمالي	(MPa)
$\varepsilon_i(\sigma)$	کرنش محوري در مقدار i	(MPa)
σ_P	تنش در جهت خط P	(MPa)

مراجع

1 - Brady, B. H. G. and Brown, E. T. B. (1993). *Rock mechanics for underground mining*. London: Chapman and Hall, PP: 157-158.

2 - Ahmadi M. and Samandary B. (2007). *Feasibility study of stress estimation by rock cores*, 3rd Iranian Rock Mechanics Conference October 2007 Amirkabir University of Technology Tehran Iran (in Persian).

3 - Villaescusa, E., Seto, M. and Baird, G. (2002). "Stress measurement from oriented core". *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 39, PP. 603- 615.

4 - Seto, M.، Nag, D. K. and Vutukuri, V. S. (1999). "In situ stress measurement from rock cores using the acoustic emission method and deformation rate analysis". *Geotechnical and Geological Engineering*. Vol. 17, PP. 241-266.

5 - Yamamoto, K., Kuwahara, Y. and Kato, N. (1990). "Deformation rate analysis: A new method for in situ stress estimation from inelastic deformation of rock samples under uni-axial compressions". *Tohoku Geophysics Journal*. Vol. 33, No 2, PP. 127- 147.

6 - Seo, M., Utagawa, M. and Katsuyama, K. (2002). "Some fundamental studies on the AE method and its application to in-situ stress measurements in Japan". *Int. Workshop on the Application of Geophysics in Rock Engineering.* Toronto, Canada.

7 - Holcomb, D. J. and Stevens, J. L. (1980). "The reversible Griffith crack: A viable model for dilatancy." *J. Feasibility Res,* Vol. 85, PP. 7101-7107.

8 - Brown, E. T. (1981). *Rock characterization Testing & Monitoring ISRM Suggested method*, Pergamon press.

9 - Goodman, R. E. (1989). *Introduction to rock mechanics*. 2nd. Edition Wiley, New York.

10 - Dipl – Geophys, Koing. E. (2005). *In situ stress measurement with the interfiles borehole Slater along borehole DL2R*. No. 2506. Bakhtiyari Dam.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Anelastic Strain Recovery (ASR)
2 - Differential Strain Curve Analysis (DSCA)
3 - Acoustic Emission (AE)
4 - Deformation Rate Analysis (DRA)
5 - Borhole
6 - Coring
7 - Instron