Archive of SID

مقدمه‌ای بر تعیین وضعیت تنش به کمک روش برگشتی صفحه های گسلی و خط خشهای مربوطه

نوشته: دکتر محمد رضا عباسی * و یاسمن فربد**

An Outline Determine the Stress State by Inversion of Fault Planes and their Related Striations

By: Dr. M.R.Abbassi* & Y.Farbod**

چکیده

در این نوشتار تاریخچه کوتاه تحول روش برگشتی صفحه‌های گسلی و خط خشهای مربوطه آنها برای تعیین وضعیت و جهت تنش بررسی می‌شود. مباحث مهمی چون مبانی این روش، روشهای مختلف برای جداسازی رویدادهای زمین ساختی، به صورت خلاصه در ادامه این تاریخچه به بحث گذاشته شده است.

کلید واژه‌ها: صفحه گسلی، روش برگشتی، بیضوی تنش، زاویه ناهمخوانی، تنش دیرینه.

Abstract

This article deals with a brief history of inversion of striated fault plane in order to deduce the state and direction of stress. In addition are the concept of this method and separation of phases outlined.

Key words: Fault plain, Inversion method, Stress ellipsoid, Misfit angle, Paleostress.

مقدمه

در تمام مطالعات زمین ساختی که از سده نوزدهم میلادی تاکنون صورت گرفته ، سه تحلیل از اصول اصلی پژوهش بوده است. این سه تحلیل عبارتند از: تحلیل هندسی، تحلیل دینامیکی و تحلیل سینماتیکی (جنبشی). منظور از تحلیل دینامیکی، مشخص کردن جهت تنشهای مؤثر در شکل‌گیری و زایش ساختارهای زمین ساختی است. برای این کار، در ۳۰ سال گذشته تحولات مهمی صورت گرفته و روشهای مختلفی ارائه شده است، از جمله: ۱- روشهای زمین ساختی، ۲- روشهای زمین فیزیکی ۳- روشهای دستگاهی (اندازه‌گیری برجا)

روشهای زمین ساختی برای تعیین جهت تنش، شامل استفاده از ساختارهای گوناگون (مانند گسلها، درزه‌ها و استیلولیتها) است. درکار حاضر، تنها به روش برگشتی برای تحلیل دینامیک گسلها می‌پردازیم که به کمک صفحه‌های گسلی و خط خشهای مربوط به آن، به این مهم دست می‌یابد. در مطالعات زمین ساختی که در ایران انجام می‌گیرد، از پایان نامه‌ها گرفته تا دیگر کارهای مطالعاتی، تحلیل دینامیکی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

نخستین گام در تعیین جهت تنش، با نظریه آندرسن و مدل سه گانه او (شکل۱) برداشته شد (Anderson,1951). این روش از اولین روشهای ترسیمی ساده است که می توان آن را در عملیات صحرایی برای برآورد اولیه جهت تنش به کار برد. براساس این مدل، دگرشکلی همه توده‌های سنگی در پوسته شکننده زمین را می‌توان در سه رژیم زمین ساختی راستالغز، کششی و فشاری تقسیم کرد. برای ترسیم و تعیین جهت تنش، مشخصات فضایی دو صفحه گسلی هم یوغ و خط خشهای مربوط به آن در کارهای میدانی اندازه‌گیری می شود. در این روش، نیمساز دو صفحه گسلی هم یوغ همواره نشان دهنده یکی از محورهای اصلی تنش است. پایه این اندیشه و مدل ارائه شده تا مدت زیادی مورد استفاده زمین‌شناسان قرار گرفت. اشکال این روش برای زمین‌شناسان، همواره محدودیت آن بوده است که یافتن دو صفحه گسلی هم یوغ در طبیعت، کار ساده‌ای نیست. برای جبران این محدودیت، روش Arthaud & Choukroune(1962)کمک شایانی در تعیین جهت تنش

www.SID.ir

Archive of SID

کرد. این روش و روش آندرسن از نخستین روشهای ترسیمی بودند که از سال ۱۹۷۴ اساس کارهای نوین، مانند روش برگشتی قرار گرفتند.

بازسازی تنش دیرینه و تحولات میدان تنش به کمک روش برگشتی در توده‌های سنگی که در شرایط شکننده دگرشکل شده‌اند، موضوعی بوده که در دهه ۱۹۷۰ پایه بسیاری از مطالعات زمین ساختی قرار گرفت (Carey & Brunnier, 1974;Angelier,1975).

Angelier(1978) و Mercier et al.(1979) با بهره جستن از این روش در ابعاد منطقه‌ای به نوزمین ساخت کشور یونان پرداختند.

در دهه ۱۹۸۰، این روش تحول بیشتری یافت و به صورت یکی از روشهای مهم مطالعات زمین‌ساختی مورد استفاده زمین‌شناسان فرانسوی قرار گرفت. از این دهه به بعد، شاهد دوگونه رویکرد هستیم که این روش را اساس مطالعات خود قرار می‌دهند. اولین گروه به سرپرستی Mercier در دانشگاه پاریس جنوبی، با بهره‌گیری از برنامه رایانه‌ای که برای اولین بار برای محاسبه تنسور تنش (Carey & Brunnier,1974) انجام گرفته بود، موضوع نوزمین‌ساخت را سرلوحه کار خود قرار داد.

در مقابل این گروه، دانشگاه پی یر و ماری کوری به سرپرستی Angelier به دنبال مفهوم ژئودینامیکی این روش برآمدند و تحولات میدان تنش دیرینه را موضوع پژوهشهای خود قرار دادند. پژوهشهای این گروه را به طور خلاصه می توان در نکات زیر خلاصه کرد:

الف: تحول حوضه‌های رسوبی از زمان تشکیل تا بسته شدن آنها.

ب: مشخص کردن نوع و جهت نیرویی که برصفحه‌های زمین‌ساختی اثر کرده‌اند.

ج: یافتن زمان تحولات میدان تنش و تبدیل آنها از وضعیتی به وضعیت دیگر به کمک روابط چینه شناختی.

بدین ترتیب دو گروه پژوهشی با دو رویکرد مختلف، روش برگشتی را در پژوهشهای خود به کار گرفتند. در میانه دهه ۱۹۹۰، این روش که تا این زمان زمین‌شناسان انگلیسی به آن با دیده تردید می‌نگریستند، جای خود را در میان آنها باز کرد و در پایان این دهه، جزئی از کتابهای درسی شد (Ramasy & Lisle ,2000) . البته هنوز بیشترین طرفداران این روش فرانسوی هستند و به طور گسترده از آن در زمین‌شناسی ساختاری بهره می‌گیرند.

تنسور تنش

مقصود از تنسور تنش، تعیین جهت محورهای اصلی تنش (σ_1: بیشینه ؛ σ_2: میانه؛ σ_3: کمینه) است که در یک پهنه گسلی با شرایط شکننده، سامانه‌ای از صفحه‌های گسلی با راستا و شیب متفاوت و خط خشهای مخصوص بر هر صفحه گسلی را تشکیل می‌دهد. از دیدگاه نظری، مطلب بالا را بدین ترتیب باید بیان کنیم، چنانچه بتوان نیروهای وارد بر هر صفحه از یک سامانه گسلی، که در یک تنش مشخص به همه سامانه وارد شده است، را در جهتهای مختلف تعیین کرد ، به تنسور تنش دست یافته‌ایم.

برای محاسبه تنسور تنش می‌توان به کمک روابط هندسی و مثلثاتی به این مهم دست یافت. همان‌گونه که می‌دانیم بردار تنش وارد شده بر یک سطح، به مؤلفه‌های عمودی (σ_n) و موازی (تنش برشی τ) با آن صفحه تقسیم می‌شود. بسط این محاسبه در سه بعد، منجر به شناسایی تمام مؤلفه‌های تنش در یک نقطه می‌شود که تعداد آنها به ۹ مؤلفه می‌رسد و به علت نبود نیروهای پیچشی، تعداد این مؤلفه‌ها به شش مؤلفه می‌رسد. این شناخت ما را به سوی تنسور تنش راهنمایی می‌کند.

Reches(1987) برای به کار بستن این محاسبات و یافتن تنسور تنش در طبیعت بر این باور بود که امکان تعیین بیش از چهار مجهول وجود دارد، اما در واقعیت تعیین بیش از چهار مجهول ممکن نیست. این چهار مجهول شامل سه زاویه اویلر (α,β,γ) شکل (۲- ب) و R (شکل بیضوی تنش) است که منجر به تعیین نسبت محورهای اصلی بیضوی تنش می‌شود. هرچند که در این راه، روشهای گوناگون محاسباتی ارائه شده، اما اساس همه آنها یکسان است.

اکنون با درنظر گرفتن یک پهنه گسلی که در شرایط شکننده شکل گرفته است، سامانه‌ای از صفحه‌های گسلی با راستا و شیب متفاوت و خط خشهای مشخص براثر صفحه گسلی در پیش رو داریم. همان گونه که در تعریف تنسور گفته شد، در طبیعت نیز اندازه‌گیری از صفحه‌های گسلی مختلف می‌تواند تنسور تنش مناسبی را ارائه دهد.

لازم به یادآوری است که برنامه‌های رایانه‌ای بیشماری برای حل تنسور تنش وجود دارد و چنانچه داده‌های ورودی خود را بدون آگاهی کامل از مبانی این روش به رایانه بسپاریم، نباید انتظار حل یک تنسور تنش مناسب را داشته باشیم. در بهره‌گیری از این روش، باید با داده‌های گسلی، باتوجه به رویداد زمین‌ساختی مربوط به آنها کار شود، زیرا نمی توان از سن خط خش باخبر بود. در این صورت، چنانچه نتوان خط خشها را نسبت به جایگاه رویدادی آنها جداسازی کرد، اولین اشتباه در تعیین تنسور تنش انجام خواهد شد. برای جداسازی نسلهای خط خش چندین روش وجود دارد. اشتباه دیگری که می‌تواند در حل تنسور تنش مؤثر باشد، تشخیص نادرست جهت حرکت دو قطعه گسلی نسبت به یکدیگر است. در این مورد، باید جهت درست حرکت دو دیواره گسلی را با کمک خط خشها به درستی تشخیص داد. یکی دیگر از عواملی که ما را از یک تنسور درست دور می‌کند، تغییر غیرمنطقی ضریب اصطکاک است که در بخش بعدی این نوشتار به آن اشاره شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مبانی روش برگشتی

محاسبه تنش در زمین‌شناسی ساختاری بخش بزرگی از پژوهشهای انجام شده در ساختارهای شکننده را شامل می‌شود. اطلاعات پایه برای انجام چنین کاری، استفاده از صفحه‌های گسلی و خط خشهای مربوط است. خط خشها جهت جا به جایی دو قطعه سنگی نسبت به یکدیگر را ثبت می‌کنند که به عنوان جهت بیشینه تنش برشی درنظر گرفته می‌شود. این امر یکی از پیش فرضهای مهم روشهای محاسباتی به شمار می‌رود که به آن روش برگشتی گفته می‌شود.

در مکانیک سنگ، پژوهشگران با دردست داشتن جهت تنش معلوم تلاش می‌کنند به جهت بیشینه برش در سنگها دست یابند. اما برای مقاصد زمین‌شناسی، جهت برش بیشینه(خط خش) بر روی صفحه گسلی معلوم است و آنچه مطلوب است، وارونه کردن مسئله است. بدان معنی که با داشتن جهت برش بیشینه بتوان به جهت تنشهای اصلی رسید که باعث تشکیل گسل و خط خش شده است. افزون بر این، در هر پهنه گسلی، تعداد زیادی صفحه گسلی با خط خشهای مربوط به آن رخنمون دارند. با اندازه گیری این عناصر خطی و صفحه‌ای در یک پهنه گسلی، می‌توان به جهت تنشی دست یافت که در شکل‌گیری یک پهنه گسلی کارساز بوده است. از این رو، چون کار محاسباتی وارونه صورت می گیرد به آن روش برگشتی گفته می‌شود. چنانچه چنین محاسباتی در جهتهای مختلف انجام گیرد، می‌توان به یک تنسور تنش دست یافت که می‌تواند بیانگر شکل بیضوی تنش و شیوه قرارگیری جهتهای اصلی تنش (کمینه σ_3 ، میانه σ_2 و بیشینه σ_1) باشد. یکی از مشکلاتی که چنین محاسبه‌ای را با دشواری روبرو می‌کند، اختلافی است که میان جهت بیشینه تنش برشی اندازه گیری شده (خط خش S_k) و جهت بیشینه تنش برشی محاسبه شده (توسط روابط فیزیکی τ_k) به دست می‌آید.

به بیان دیگر، جهت خط خشی که در طبیعت اندازه‌گیری می‌شود، با آنچه که به کمک روابط فیزیکی محض محاسبه می‌شود، با یکدیگر همخوان نیستند. به اختلاف زاویه‌ای که میان این دو مقدار طبیعی و نظری وجود دارد، زاویه ناهمخوانی (misfit angle) گفته می‌شود. برای حل این مشکل لازم است تنسور تنشی محاسبه شود تا زاویه ناهمخوانی در آن به کمترین مقدار ممکن برسد. این مرحله، یکی از پایه‌های روش برگشتی است. شمار روشهای به کمینه رساندن زاویه ناهمخوانی، به اندازه شمار برنامه‌های رایانه‌ای است که توانمند محاسبه تنسور تنش هستند. در نخستین برنامه رایانه‌ای که در قالب یک رساله دکترا (Carey, 1976) نوشته شد، برای به کمینه رساندن زاویه ناهمخوانی از رابطه زیر استفاده شد.

$$F = -\sum_{k=1}^{N} Cos^2(\tau_k, S_k)$$

در این فرمول برای هر گسل و خط خش مربوط به آن، مقدار زاویه ناهمخوانی میان خط خش طبیعی (S_k) و خط خش محاسباتی(τ_k) باید به سوی صفر میل کند، ازاین رو، تابع (F) از مجموعهCos^2 (τ_k, S_k) باید به سوی (N) میل کند. شمار اندازه‌گیری صفحه‌های گسلی (N) برای حل بهینه، باید به ۱۰ تا ۲۰ صفحه برسد، تا اشتباه موجود به کمترین مقدار برسد. پس از محاسبه زاویه ناهمخوانی و تنسوری که بتواند آن را به کمترین مقدار برساند، برای هر اندازه گیری یک زاویه ناهمخوانی خواهیم داشت که از نظر کمی دارای پراکندگی هستند. در روش Carey & Brunier(1974)زاویه ناهمخوانی تا ۳۰ درجه پذیرفتنی است و بیش از این، از محاسبه حذف می‌شود. توزیع زاویه ناهمخوانی باید از منحنی گوسی پیروی کند، بدان معنی که با افزایش زاویه ناهمخوانی، شمار کمتری از اندازه‌گیریها، مورد پذیرش برنامه قرار می‌گیرد(شکل ۳).

فرضهای مهم برای یک مدل مکانیکی مناسب به قرار زیر است:

۱- جنبش زمین ساختی که باعث حرکت گسلها شده تحت یک تنسور خاص همگن صورت گرفته است.

۲- خواص فیزیکی سنگ همگن بوده و جهت خط خش S_k روی صفحه گسلی جهت تنش برشی بیشینه را نشان می‌دهد.

۳- جنبش زمین ساختی که موجب شکل گیری گسلها شده، یک رویداد یکباره بوده و صفحه‌های گسلی در حین این رویداد زمین‌ساختی، دچار هیچ چرخشی نشده‌اند و اندازه تغییرات هندسه گسل در مقایسه با ابعاد صفحه‌های گسلی و بلوکهای تشکیل شده، بسیار اندک است.

۴- در این رویداد مشخص زمین‌ساختی، هیچ تغییرحجمی درتوده سنگی روی نداده است.

به طور کلی، موارد بالا در همه نرم افزارهای رایانه‌ای به عنوان مفاهیم پایه‌ای به کار رفته شده‌اند. مراحل انجام محاسبه تنش در روش برگشتی در نرم افزارهای رایانه‌ای کنونی را می‌توان به موارد زیر خلاصه کرد:

۱- تبدیل داده‌های زمین شناختی شامل راستای صفحه گسل، شیب صفحه گسل و زاویه افتادگی خط خش در یک سیستم مختصاتی جغرافیایی؛

۲- کمینه کردن زاویه ناهمخوانی (زاویه میان خط خش اندازه‌گیری شده و خط خش محاسباتی)؛

۳- محاسبه یک تنسور مناسب (محاسبه بردار تنش برشی $\vec{\tau}$، بر روی صفحه اصلی گسلش و محاسبه شکل بیضوی تنش،R)؛

۴- جداسازی داده‌های ناهمخوان با تنسور مناسب و (R) مشخص.

بیضوی تنش سه بعدی

شکل بیضوی تنش و یا به عبارت دیگر نسبت (R) نقش مهمی در سازوکار گسلها دارد که بهترین بیانگر وضعیت تنش سه بعدی در یک

www.SID.ir

Archive of SID

نقطه از جسم است. نسبت (R) یکی از مؤلفه‌هایی است که در روش برگشتی توسط برنامه‌های رایانه‌ای محاسبه می‌شود. بر اساس تعریف، سه محور اصلی تنش یعنی σ_1(تنش بیشینه)، محور میانی σ_2 (تنش میانه) و محورσ_3 (تنش کمینه) یک بیضی سه بعدی (بیضوی) را شکل می‌دهند (شکل ۲- الف) و در حالت عمومی با آرایش $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ نوشته می‌شوند.

بیضوی تنش سه بعدی، با توجه به تغییرات مقدار سه محور اصلی می‌تواند شکلهای مختلفی را نشان دهد. پژوهشگران مختلف، برای این مقدار تعریفهای متفاوتی ارائه کرده‌اند که همگی نمایانگر شکل بیضوی تنش سه بعدی است و با علامت اختصاری(Φ)یا (R) نشان داده می‌شود. مهم‌ترین این تعاریف به صورت زیر است:

$$R = \frac{\sigma_y - \sigma_z}{\sigma_x - \sigma_3} \qquad \text{(Bott, 1959)}$$

$$\phi = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \qquad \text{(Angelier, 1984)}$$

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_2 - \sigma_3} \qquad \text{(Carey - Gailhardis and Mercier, 1987)}$$

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \qquad \text{Etchecopar (1981)}$$

نسبت R(شکل بیضوی) میان دو مقدار صفر تا ۱ نوسان می کند. نسبت (R) در نوشتار کنونی به صورت زیر درنظر گرفته شده است:

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \quad (0 \langle R \langle 1)$$

از آنجا که مقدار محورهای اصلی($\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3$) می‌تواند مختلف باشد، انتظار می‌رود بیضوی تنش نیز به شکهای مختلفی بروز کند. در اینجا سه حالت مهم و ساده بیضوی تنش را باتوجه به تعریف بیضوی تنش یاد شده درنظرمی گیریم که عبارتند از:

الف- R=0 ،

ب- R=1/2 ،

ج- R=1 .

در حالت (الف)، مقدار محورهای اصلی σ_3 وσ_2 با هم برابر است. در حالت (ب) به ترتیب مقدار محور اصلیσ_1 بزرگ‌تر از σ_2 و σ_3 است و در حالت (ج) مقدار محورهای اصلی σ_1 و σ_2 با هم $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ برابر است.

جداسازی رویدادهای زمین ساختی

یکی از مهم‌ترین مواردی که باید در روش برگشتی به آن توجه شود، اندازه‌گیری داده‌های گسلی مربوط به یک رویداد زمین ساختی است که منجر به دگرشکلی شکننده شده است، زیرا واحدهای مختلف بریده شده با گسلها و افزایش سن می‌توانند چندین رویداد زمین ساختی را در خود ثبت کرده باشند. همه کوهزادها از آغاز کوهزایی تا مراحل فراخاست پایانی آنها و کارسازی تعادل هم‌ایستایی (ایزوستازی) پذیرای چندین رویداد زمین‌ساختی مختلف می‌شوند. از آنجا که نمی‌توان سن خط خشهای گسلی را مشخص کرد، باید اطمینان کامل داشت که اندازه گیریهای انجام شده مربوط به یک رویداد زمین‌ساختی مشخص است. به عنوان یک قانون کلی، می‌توان گفت که سن خط خش همواره جوان‌تر از سن واحد سنگی مربوطه است. این قانون کلی تنها قطعیتی است که می‌توان در مورد سن خط خش گسلی بیان کرد. برای مثال چنانچه اندازه‌گیریها در واحدهای هولوسن انجام گیرد، به طور قطع می‌توان تنسور تنش به دست آمده را از کیفیتی چون سازوکار کانونی دانست و از سوی دیگر اطمینان خواهیم داشت که در اندازه‌گیریهای انجام گرفته مربوط به یک رویداد مشخص است. اما همان‌گونه گه گفته شد با افزایش سن واحدهای سنگی، احتمال وجود ثبت چندین رویداد در یک توده افزایش می‌یابد و این پدیده نباید لزوما نشان‌دهنده دو نسل خط خش بر روی یک صفحه گسلی باشد.

نخستین و منطقی‌ترین روشی که می‌تواند ما را در این راه یاری دهد، جداسازی اندازه گیریها براساس سازوکار گسلهاست. برای مثال دسته گسلی با سازوکار کششی حتماً باید از دسته گسلی با سازوکار معکوس جدا شده و در دو گروه مجزا تقسیم بندی و محاسبه شود.

علت این جداسازی را باید در وضعیت تنش و چگونگی قرارگیری محورهای اصلی تنش در هنگام شکل‌گیری این دو سازوکار متفاوت جستجو کرد.

توالی ساختاری را می‌توان در کارهای میدانی یا بر روی صفحه گسلی مشاهده کرد که با دونسل خط خش نمایان می‌شود و یا در دو صفحه گسلی مجزا آنها را دید. در اولین حالت لازم است که براساس تقدم و تأخر و خط خشها و تعیین سن نسبی، این دو نسل را از هم جدا کرد. در مثال شکل۴-الف یک صفحه گسلی با دو نسل خط خش دیده می‌شود. با نگاه دقیق‌تر به چگونگی بریده شدن این دو نسل (شکل۴-الف) دیده می‌شود که ابتدا گسل کششی با خط خش قائم در فرورفتگیها به صورت یک شیار وسیع ایجاد شده است و نسل دوم بدون اینکه در فرورفتگی شیارها اثرگذار باشد، فضای بیرون شیارها را به صورت افقی خط انداخته است.

در این مثال، مشخص است که ابتدا گسلش کششی رخ داده و در یک رویداد دیگر، گسل راستالغز وارد عمل شده است و تنها توانسته است در فضای بیرون شیارها اثرگذار باشد. در این مثال، نسل قدیمی مربوط به

www.SID.ir

Archive of SID

گسل کششی است و نسل جدید مربوط به گسل راستالغز است. البته این کارتنها یک تعیین سن نسبی رویدادهاست که در کنار شواهد دیگر می‌تواند تفسیر و بررسی شود.

مثال دیگری که در توالی ساختارها به کار می‌رود، بریده شده صفحه یک گسل توسط یک صفحه گسلی دیگر است (شکل۴- ب). در این مثال دیده می‌شود که گسل کششی با وضعیت تنش خاصی شکل گرفته و سپس در یک رویداد بعدی، این صفحه گسلی کششی، با یک گسل راستالغز با محورهای اصلی تنش مربوط به این رویداد، بریده شده است. در این مثال بخت یاری کرده است که این توالی بریده شدن را می‌توان در یک رخنمون دید، اما در طبیعت همیشه چنین شرایطی حاکم نیست و باید به کمک روش اول جداسازی انجام داد.

در روش تفریقی با توالیهای رسوبی با سنهای مشخص تعیین شده روبرو هستیم که یکی از بهترین شرایط برای جداسازی رویدادها به شمار می‌رود. برای مثال، توالی چینه شناختی x ، y و z را در شکل (۵) درنظر بگیرید. این سه توالی چینه شناختی با سن مختلف به ترتیب از واحد (z) قدیمی‌ترین تا واحد (x) جوان‌ترین دگرشکل شده‌اند. در این مثال، دیده می‌شود که واحد (z) دربرگیرنده سه رویداد زمین ساختی با سه جهت تنش متفاوت است. باتوجه به جوان‌ترین واحد(x) که آخرین رویداد در آن کار ساز بوده، می‌توان به واحد پیشین (y) بازگشت که دو رویداد زمین ساختی آن را متأثر کرده است. با کنار گذاشتن رویداد مربوط به واحد (x) ،به رویداد دیگری می رسیم که باعث شکل‌گیری درزه‌های کششی در شرایط جدید تنش شده است. با دانستن این دو رویداد از واحد (y) دیده می‌شود که رویداد زمین‌ساختی سومی در واحد (z) موجود است. اکنون با تفریق رویدادهای متعلق به واحد (x) و (y) می‌توان به آخرین رویداد زمین ساختی متعلق به واحد (z) دست پیدا کرد.

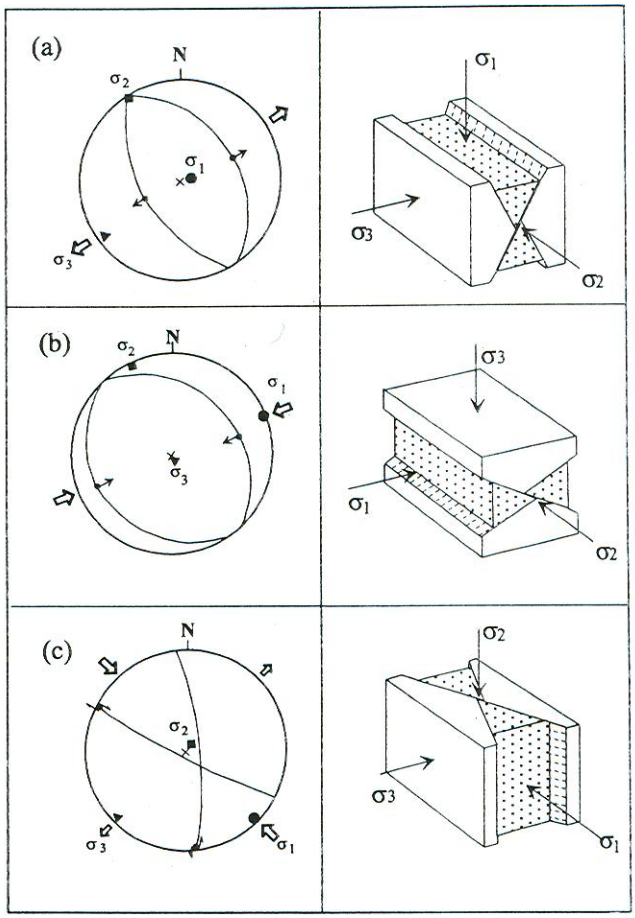
نتیجه‌گیری

نخستین نکته‌ای که با دیدن فرضهای این روش در ذهن هر زمین شناس پیش می‌آید این است که خط خشهای موجود بر روی یک صفحه گسلی نمی‌تواند با جهت برش بیشینه (τ) یکی باشد. این دیدگاه درست است. در پاسخ باید گفته شود که این نوع رویکرد که پیش فرضهایی را درنظر می‌گیرد، در بسیاری از روشهای محاسباتی معمول است. از این رو، این روش نیز مانند روشهای دیگر ادعای حل مطلق مسائل زمین ساختی را ندارد. همان‌گونه که در تعیین بیضوی کرنش و تنسور آن نیز باید ساده انگاریهای بسیاری انجام داد.

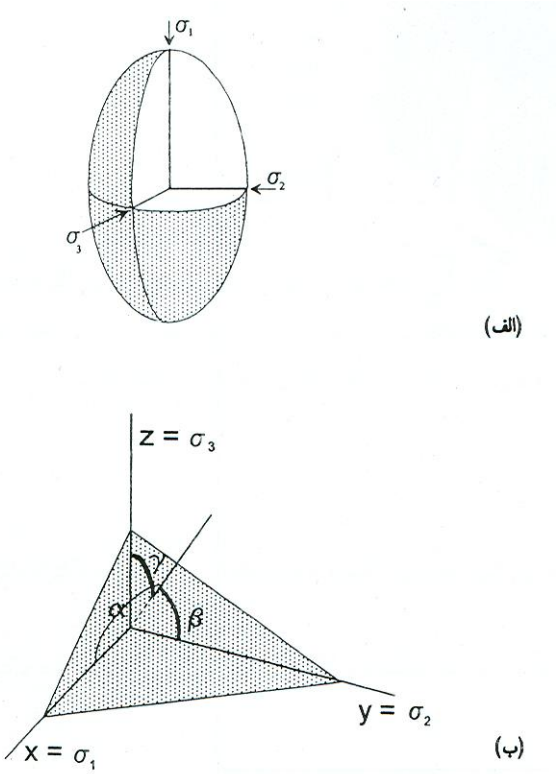
نکته دیگر این است که آیا حل سازوکار کانونی که بسیار دقیق هم به نظر می‌رسد دارای همین ضعفها نیست؟ به هر رو، این تنها کمبود این روش نیست. کمبود دیگر در رابطه با اصطکاک توده سنگی است. برای حل این مسئله، دو دیدگاه اول توسط Mercier مطرح می‌شود که نقش اصطکاک بر روی صفحه‌های گسلی را به شمار نمی‌آورد. زیرا این گروه بر این باور است که گسل در سطح بالایی پوسته سنگی شکل گرفته و از آنجا که اصطکاک تابعی از فشاری عمودی (σ_n) است، بنابراین در سطح بالایی پوسته سنگی به صفر می‌رسد. گروه دیگر اصطکاک را به حساب می‌آورد. اما نکته جالب توجه این است که نتیجه‌ها و تفسیرهای این دو گروه، یکسان است. پس در این صورت، مسئله اصطکاک نمی‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در محاسبات روش برگشتی داشته باشد. به دلایلی که گفته شد تغییر ضریب اصطکاک برای به دست آوردن توزیع گوسی زاویه ناهمخوانی که در برخی کارهای انجام شده توسط پژوهشگران ایرانی صورت گرفته است، نادرست است و این کار ما را به سوی حل یک تنسور نادرست هدایت می‌کند(مقایسه کنید الیاسی، ۱۳۷۹ و امیدی، ۱۳۸۰). کمبود بعدی هنگام اندازه‌گیری به‌وجود می‌آید، زیرا ثابت شده است که در بهترین حالت و دقت در اندازه‌گیری صفحه‌های گسلی و خط خشها، همواره با ۱۰ درجه خطا روبرو هستیم. با توجه به این کمبودها، برتری این روش در چیست؟ برتری این روش در تعیین جهت تنش نیست، زیرا برای این کار روشهای ترسیمی چون روش آندرسن نیز می‌تواند مناسب باشد. آنچه این روش را برجسته می‌کند، تعیین شکل نسبی بیضوی تنش است و این نکته‌ای است که همه پژوهشگران در تفسیرهای زمین ساختی از آن بهره می‌گیرند.

www.SID.ir

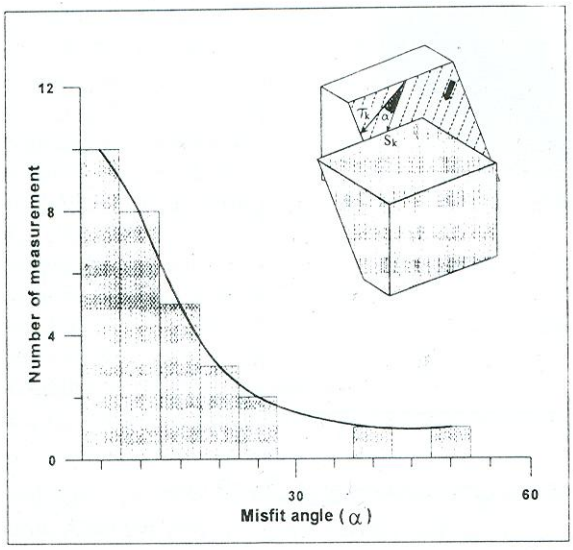
Archive of SID



شکل(۱): نمودار سه بعدی شکستگی در سه رژیم زمین ساختی کششی (a)، فشارشی (b) و راستالغز (c) با رسم صفحه‌های شکستگی و ارتباط آنها با سه جهت اصلی تنش بر پایه الگوی آندرسن.



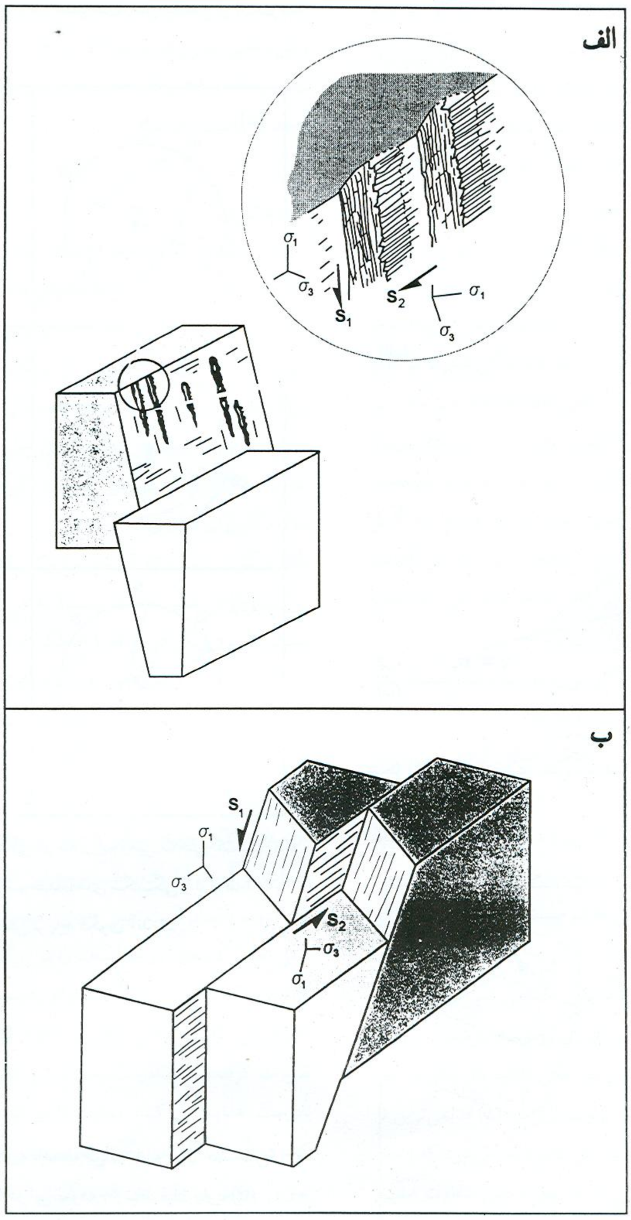
شکل(۲): الف- بیضوی تنش سه بعدی ، ب- زوایای اویلر α ، β و γ



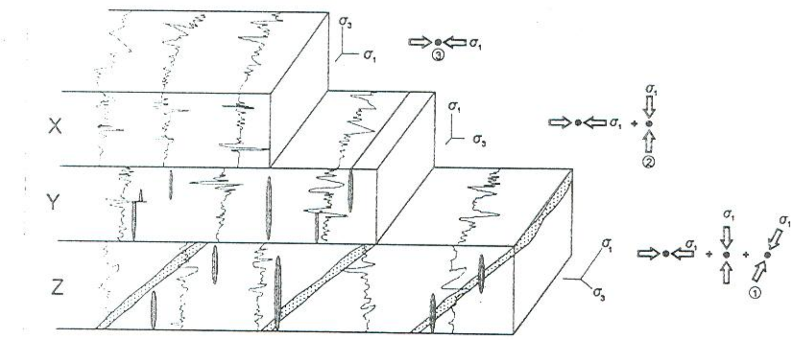
شکل(۳): نمودار فراوانی بهینه زاویه ناهمخوانی (αزاویه میان خط خش واقعی(S_k) و محاسباتی(τ_k)) ؛ در این نمودار، ارتباط میان زاویه(α) اندازه گیریها (صفحه‌های گسلی به کار رفته در محاسبه) نشان داده شده است. در بهترین حالت، شمار اندازه‌گیریها درتابعی از زاویه ناهمخوانی(α) باید از منحنی گوسی بالا پیروی کند (با تغییر براساس Carey, 1976).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل(۴): توالی دو رویداد زمین ساختی بر روی یک صفحه گسلی (الف) و بر روی دو صفحه گسلی متفاوت (ب). نسل خط خش قدیمی با S_1 و جوان‌تر با S_2 نشان داده شده است.



شکل(۵): طرح نمایشی سه رویداد زمین ساختی ۱، ۲ و ۳ در سه واحد x (جوان‌ترین) ، y (میانی) و z (قدیمی) با جهت تنش مربوط به شکل گیری ساختارهای موجود در هر واحد به نمایش درآمده اند. جوان ترین رویداد زمین ساختی مربوط به واحد (x) است که با تشکیل استیلولیت همراه است. دو نسل درزه های کششی مربوط به واحدهای (y) و (z) هستند که قدیمی‌ترین آنها به صورت نمایشی با شکل گیری بودیناژ رسم شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

کتابنگاری

امیدی، پ.، ۱۳۸۰- تحلیل ساختاری و دینامیکی تفصیلی زونهای گسلی در حاشیه جنوبی البرز خاوری (گستره سمنان- دامغان) ، پایان نامه دکترا، دانشگاه تربیت‌مدرس.

الیاسی، م.، ۱۳۷۹- تحلیل هندسی و دینامیکی دگریختی بخش جنوبی البرز مرکزی در شرایط شکننده با تأکید بر تنشهای دیرین، پایان نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.

References

Anderson, E. M., 1951- The dynamics of faulting and dyke formation with application to Britain. Oliver & Boyd, Edinburgh, PP. 206.

Angelier, J., 1957- Sur l'analyse des measures recueillies dans des sites failles: l'utilite d'une confrontation entre les methodes dynamiques et cinematiques. C.R. Acad. Sci. Paris. D 281, 1805-1808. (Erratum: Ibid (D) 1976, 283, 466).

Angelier, J., 1978- Tectonic evolution of the Hellenic Arc since the Late Miocene. Tectonophysics 49, 23-36.

Bott, M. H., 1959- The mechanics of oblique slip faulting. Geol. Mag. 96,109-117.

Carey, E.,1976- Analyse numerique d'un model mechanique elementaire appliqué a letude d'une population des failles: calcul d'un tenseur moyen des contraintes a partir des stries de glissement-thes 3ε cycle Univ. Orsay Paris-sud, 147pp.

Carey,E.,Brunnier.,M.B., 1974 - Analyse theorique et numerique d'un modele mechanique elemetaire applique' l'etude d'une population de failles. C. R. Acad. Sci. Paris D 279,891.

Carey-Gailhardis, E. & Mercier,J.L.,1987- A numerical method for determining the state of stress using focal mechanisms of earthquake populations. Application to Tibetan teleseisms and microseismicity of southern Peru. Earth Planet. Sci. Lett. 82. 165-179.

Etchecopar,A.,Vasseur,G. & Daigneres,M., 1981- An Inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis. J. Struct. Geol. 3(1): 51-65.

Mercier,J.,Carey,E.,Phillip, H. & Sorel,D., 1976- La Neotectonique plioquaternaire de l'arc ege' en 7), T. XVII n. 2,P.355-372.

Ramasy,J.G. & Lisle,R.J.,2000- The techniques of modern structureal geology. Vol. 3. Applications of continium mechanics in structural geology Academic press. London.

Reches, Z., 1987- Faulting of rocks in three dimensional strain fields. II. Theoretical analysis. Tectonophysics 95, 133-156.

*پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

** دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شمال تهران

*International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

**Islamic Azad University, North Tehran Unit

www.SID.ir