

کاربرد روش آماری ویژه مقدار و ویژه بردار در مطالعات ساختاری

نوشته: علیرضا ندیمی *

Usage Of Eigenvalue and Eigenvector Method in Structural Studies

By: A. R. Nadimi *

چکیده

در مطالعات ساختاری، استفاده از روشهای آماری مناسب که توانایی تفسیر داده‌های فراوان را داشته باشند، اهمیت بسیار دارد. روش آماری ویژه مقدار و ویژه بردار یکی از روشهایی است که در مطالعات ساختاری امکان تفسیر بهتر داده‌ها را فراهم می‌کند. در این تحقیق، افزون بر تشریح این روش و ذکر مثالهایی از داده‌بردارهای جهت یافتگی ترجیحی شبکه بلوری الوین و آمفیبول، نموداری برای مقایسه شکل چین خوردگی‌ها و مقادیر K و C ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: ویژه مقدار، ویژه بردار، زمین شناسی ساختاری، جهت یافتگی ترجیحی شبکه بلور، چین خوردگی.

Abstract

In structural studies, usage of appropriate statistical methods renders practical analysis of abundant data. Eigenvalue and eigenvector method is one of the approaches that provides better interpretation of data in structural studies. In addition to describing the method and citing examples from lattice preferred orientation of olivine and amphibole, a chart for comparison of folding forms and K and C values are introduced in this study.

KeyWords: Eigenvalue, Eigenvector, Structural Geology, Lattice Preferred Orientation, Folding.

۱- مقدمه

شکل پراکندگی داده‌ها و فابریکها پی برد (Woodcock, 1977). ویژه مقدار و ویژه بردارها، از مباحث ریاضی و آمار است که برای تفسیر مجموعه‌ای از داده‌ها به کار می‌رود. داده‌های پردازش شده در این علوم، به صورت اعداد بررسی می‌شوند، در حالی که در زمین شناسی، تفسیر داده‌هایی که اغلب شامل شیب و امتداد ساختارهای صفحه‌ای و خطی می‌باشد، بر روی یک شبکه استریوتی و به شکل گرافیکی انجام می‌گیرد (برای آشنایی با دیدگاه ریاضی ویژه مقدار و ویژه بردار به منابع جبر خطی مراجعه شود). بنابراین، ویژه مقدار و ویژه بردارها، طبق توضیحات بعدی می‌توانند به ترتیب شکل فابریکها و جهت‌های میانگین داده‌ها را نشان دهند. از چنین روشی برای نمایش داده‌های صحرایی و پیگیری دگر شکلی تدریجی فابریکها استفاده می‌شود. در این مقاله، ابتدا به معرفی ویژه مقدار و ویژه بردار، در زمین شناسی و سپس به ذکر مثالهایی از مطالعات انجام شده، پرداخته شده است.

مسئله مشترک بعضی شاخه‌های علوم زمین مانند زمین شناسی ساختاری، مغناطیس دیرین، رسوب شناسی و یخسارشناسی، نمایش حالت‌های ویژه‌ای از مشاهدات جهت‌دار است. در اغلب موارد، برای نمایش مشاهدات و بررسی اطلاعات از شبکه‌های استریوگرافیک و شبکه‌های هم مساحت استفاده می‌شود. در این مطالعات وضعیت فضایی و شکل پراکندگی داده‌ها بر روی شبکه‌های استریوتی با یکدیگر مقایسه می‌شود. حالت‌های مختلف پراکندگی‌ها بر روی شبکه‌ها اغلب به صورت نواری (gridle)، خوشه‌ای (cluster) و یا حالتی بین آن دو دیده می‌شود. در مطالعات ساختاری، بر حسب شکل به وجود آمده بر روی استریوتی، از جهت میانگین داده‌های خوشه‌ای و یا قطب شکلهای نواری برای تفسیر و مقایسه داده‌ها استفاده می‌شود.

برای تحلیل بهتر ساختارها، روشهای مختلفی وجود دارد که می‌توان به روش آماری ویژه مقدار و ویژه بردار (eigenvalue, eigenvector) اشاره کرد. در این روش، با تحلیل آماری داده‌ها می‌توان به وضعیت و

۲- ویژه مقدار و ویژه بردار

برای شناسایی ویژه مقدار و ویژه بردار، ابتدا فرض می شود که همه داده‌های اندازه گیری شده در یک منطقه، بر روی یک شبکه استریونوت توزیع شوند. پراکندگی داده‌ها در بعضی نقاط بیشترین و در بعضی نقاط کمترین مقدار را دارد. نقاط تجمع بیشینه و کمینه و حالت میانگین آنها بر روی شبکه را می توان با ویژه مقدار و ویژه بردار معادل دانست. با این تجسم، محورهای اصلی پراکندگی ها، ویژه بردارها (V_1, V_2, V_3) و بزرگی آنها، ویژه مقادارها ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) منطبق بر آنها را نشان می دهند. در این حالت، ویژه بردار V_1 به عنوان جهتی با کمترین پراکندگی در نظر گرفته می شود. این ویژه بردار، بر آوردی از پراکندگی میانگین داده‌هاست. ویژه بردار V_3 بیشترین پراکندگی را نشان می دهد و به عنوان بر آوردی از قطب بهترین نوار انطباقی (best-fit gridle) پراکندگی ها در نظر گرفته می شود. ویژه بردار V_2 بر دو بردار دیگر عمود است (Watson, 1966). ویژه مقادیر λ_1, λ_2 و λ_3 دارای حاصل:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = N \quad (1)$$

هستند. در این معادله، N تعداد داده‌ها را نشان می دهد. چنانچه هر کدام از ویژه مقادیر بر تعداد کل داده ها تقسیم شود، میزان تجمع یا درجه خوشه ای شدن داده ها حول ویژه بردارها به دست می آید:

$$S_j = \lambda_j / N \quad \text{و} \quad S_1 + S_2 + S_3 = 1 \quad (2)$$

در این رابطه، S نسبت ویژه مقدار هر محور بر تعداد کل داده‌هاست. مطالعات واتسون (۱۹۶۶) نشان داد که پراکندگی های خوشه‌ای تمایل به $S_1 > S_2 \approx S_3$ و نوارهای دواير بزرگ تمایل به $S_2 > S_3 \approx S_1$ دارند، بنابراین، ویژه مقدارها به طور مستقیم به شکل فابریکها مربوطند. پس از واتسون، ارتباط بین ویژه مقدارها و شکل فابریکها با نمودارهای ترسیمی نشان داده شد (Woodcock, 1977). تاکنون روشهای مختلفی برای نمایش های ترسیمی ویژه مقدارها مطرح شده که در اینجا به اختصار مهم ترین آنها یعنی نمایش دو محوری، معرفی می شود.

۲-۱- نمایش نسبت دو محوری

در این نوع نمایش، دو نسبت از سه ویژه مقدار بر روی محورهای عمود بر هم، رسم می شوند. این محورهای عمود بر هم، با نمایش حالتیهای کرنش های اصلی قابل مقایسه هستند (Ramsay, 1967). در نمودار دو محوری، هر سه مقدار S_1, S_2 و S_3 (معادله ۲) مستقل و نسبت مقادیر S_2/S_3 به عنوان طول از مبدا و S_1/S_2 به عنوان عرض از مبدا در نظر گرفته شده است، که نسبت های فوق را فلین برای نمایش بیضوی های کرنش پیشنهاد کرده (Woodcock, 1977). پراکندگی داده‌های به وجود آمده به طور طبیعی نسبت ویژه مقدار کمتر از ۱۰۰ دارند ولی در

حالتیهای خاص، محدوده‌های ۱۰۰۰ و یا بیشتر نیز وجود دارند. بنابراین برای رسم نسبت‌ها روی محورهای نمودار، استفاده از مقیاس لگاریتم طبیعی آنها مناسب تر است. رمزی (۱۹۶۷) رسم لگاریتم طبیعی $\ln(S_2/S_3)$ را نسبت به $\ln(S_1/S_2)$ ، به طور کامل برای توضیح نمودار فلین به کار برده است (شکل ۱). بر روی این نمودار، تقارن محوری خوشه‌ها در جایی که $S_2=S_3$ است، در طول خط $\ln(S_2/S_3)=0$ قرار می گیرد. تقارن محوری نوارهای دواير بزرگ در جایی که $S_1=S_2$ است، در طول خط $\ln(S_1/S_2)=0$ قرار دارد. بقیه مناطق این نمودار توسط پراکندگی هایی با حالتیهای گوناگون از هر دو حالت خوشه‌ای و نواری، اشغال شده است که مسیرهای دگرشکلی بیضوی های کرنش را در یک دگرشکلی تدریجی در جسم نشان می دهد (شکل ۲). مقادیر حالتیهای مختلف دگرشکلی فابریک ها توسط پارامتر K معلوم شود:

$$K = \ln(S_1/S_2) / \ln(S_2/S_3) \quad (3)$$

که در آن K شیب خط های مستقیمی است که از مبدا منشعب می شوند. پراکندگی هایی با نوارها و خوشه‌های، مساوی، بر روی خط $K=1$ قرار می گیرند که در آن $S_1/S_2=S_2/S_3$ است. نوارهایی که زیر این خط قرار دارند در ناحیه‌ای هستند که $0 \leq K \leq 1$ و خوشه‌های قسمت بالایی خط در ناحیه‌ای هستند که $1 \leq K \leq \infty$ است (جدول ۱-الف). پراکندگی های یکنواخت بر روی مبدا نمودار قرار می گیرند. در این نمودار، نسبت $\ln(S_1/S_3)$ به عنوان پارامتر C در نظر گرفته می شود. پارامتر C به مقاومت اجسام در برابر دگرشکلی بستگی دارد و مقدار آن میزان سوگیری ترجیحی و پراکندگی داده‌ها را نشان می دهد (جدول ۱-ب). بر روی این نمودار، پراکندگی های همگن و یا تصادفی نزدیک مبدا با مقادیر C کوچک و پراکندگی های با سوگیری ترجیحی قوی با مقادیر C بزرگ تر به تدریج از مبدا دور می شوند.

۲-۲- ویژه بردارها در استریونوت

هنگامی که منحنی های هم تراکم (منحنی میزان) داده‌های جمع آوری شده از منطقه مورد مطالعه بر روی استریونوت رسم شود، شکلهای مختلفی به وجود می آید. این شکلهای در حالت کلی ممکن است به صورت مدل های خوشه‌ای، نواری و یا ترکیبی از آنها دیده شوند. موقعیت ویژه بردارها با توجه به مدل های پراکندگی داده ها روی استریونوت به دست می آید. وضعیت این بردارها نسبت به پراکندگی داده ها می تواند به شکلهای مختلفی دیده شود که در شکل ۳ آورده شده است. در این شکل از لحاظ تقارن پراکندگی و ویژه بردارها، حالتیهای ارتورومبیک، منوکلینیک و تری کلینیک معرفی شده است. در وضعیت ارتورومبیک (شکل ۳-الف، د و ه) پراکندگی ها نسبت به بردارها متقارن هستند، در

می‌گذارند. در بخش ریز ساختاری این تحقیق، بلورهای آمفیبول و الیون مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این نتایج از مطالعات انجام شده بر روی افیولیت نیز (شکل ۴) جمع آوری شده است.

۳-۱-۱-۱- آمفیبول

بلورهای آمفیبول (هورنبلند) مطالعه شده، از نمونه های جهت‌دار گابرومیلونیت‌های یک پهنه برشی شکل پذیرد بخش مافیک توالی افیولیت نیز انتخاب شده‌اند (شکل ۴). تصاویر استریوگرافیک محورهای شبکه بلوری آمفیبول به همراه موقعیت آنها بر روی نمودار فلین در شکل ۵ آورده شده است. در تصاویر استریوگرافیک، با استفاده از روش منحنی‌های هم تراکم در مطالعات آماری ساختارها (استریونت)، قطب محورهای شبکه بلوری آمفیبول به صورت قطب ساختارهای خطی به طور جداگانه پردازش قرار شده‌اند. موقعیت نقاط تمرکز و بیشینه هر کدام از محورها نسبت به شبکه استریونت و سطح برگوارگی، میل و روند آنها، می‌تواند نشان دهنده سیستم لغزش بلوری کانی باشد.

سیستم‌های لغزش بلوری برخی کانیها از جمله آمفیبول، الیون، ارتوپروکسن، کوارتز، فلدسپار و کلسیت از مطالعات آزمایشگاهی محاسبه شده است. در این گونه مطالعات، نمونه های بلور در شرایط فشار و دمای مختلف قرار می‌گیرند. بر روی نمونه‌ها پس از دگر شکلی و سوگیری ترجیحی محورهای بلور شناختی، بررسی‌های میکروسکوپی Universal stage صورت گرفته و تصاویر مربوط به هر کدام محاسبه می‌شود. در مطالعات ریزساختاری بعدی و مقایسه شکل‌های به دست آمده با چنین الگوهای خاصی می‌توان به سیستمهای لغزش بلوری و به دنبال آن به شرایط دگر شکلی و دگرگونی پی برد (Keysner, et al., 2002; Mainprice & Nicolas, 1989).

با بررسی نتایج به دست آمده از تصاویر استریوگرافیک بلورهای آمفیبول در بخش مافیک توالی افیولیت نیز مشخص شده است که [001] عموماً موازی با خطوارگی و [100] موازی با برگوارگی است (شکل ۶). این وضعیت نشان دهنده سیستم لغزش [001][100] در شبکه بلوری آمفیبول است. چنین سیستم لغزشی نشانه دگر شکلی در درجه‌های بالای دگرگونی در حد رخساره گرانیولیت می‌باشد (ندیمی، ۱۳۷۷). در شکل ۵ همچنین داده‌های مربوط به محورهای شبکه بلوری آمفیبول پس از پردازش توسط نرم افزار Spheristat و محاسبه ویژه مقدارها و ویژه بردارهای آن بر روی نمودار فلین نشان داده شده است. مقادیر K و C این داده‌ها در جدول ۲-الف مشخص شده است. موقعیت این داده‌ها بر روی نمودار فلین و مقایسه با شکل نشان می‌دهد که محور a آمفیبول به صورت خوشه‌ای متوسط و محور C به صورت نوارهای ضعیف تا متوسط است.

حالی که در منوکلینیک و تری کلینیک پراکندگی‌ها به ترتیب از یک سمت و از سه سمت با ویژه بردارها عدم تقارن دارند (شکل ۳-ب و ج).

۳-۲- چگونگی به دست آوردن ویژه مقدارها و ویژه بردارها

در مطالعات زمین‌شناسی ساختاری، داده‌های جمع آوری شده، شامل شیب و امتداد ساختارهای صفحه‌ای و یا خطی است. پردازش این اطلاعات و به دست آوردن ویژه مقدارها و ویژه بردارهای آن، به دو طریق دستی و رایانه‌ای انجام می‌گیرد. (۱) روش دستی: این روش بسیار وقت گیر است و در آن، ابتدا قطب داده‌های اندازه گیری شده بر روی یک شبکه استریوگرافیکی هم مساحت رسم شده و سپس با استفاده از روش رسم منحنی‌های هم تراکم، شکل پراکندگی به دست می‌آید. مقدار مقادیر از روابط ریاضی محاسبه شده و موقعیت بردارها با مقایسه شکل پراکندگی‌ها و مدل‌های ارائه شده در شکل های ۲ و ۳ بدست می‌آید. رسم دستی ویژه بردارها در مواقعی که مناطق مورد مطالعه از لحاظ زمین ساختی پیچیده و دچار چندین فاز چین خوردگی باشند، مناسب تر است. در چنین مواردی، به دلیل این که در روش رایانه‌ای پراکندگی‌ها به طور میانگین بررسی می‌شود، بهتر است پس از رسم رایانه‌ای شکل پراکندگی، آنرا برای جدا کردن فازهای مختلف دگر شکلی به طور دستی پردازش کنیم. (۲) روش رایانه‌ای: این روش ساده‌تر و سریع‌تر است. در این حالت با پردازش آماری داده‌ها، ویژه مقدارها محاسبه و همچنین تصاویر استریوگرافیکی آنها رسم می‌شوند. برنامه‌های رایانه‌ای متعددی وجود دارد که برای مطالعات ساختاری طراحی شده‌اند، و می‌توان به رایج‌ترین آنها مانند Stereonet, Dips, Spheristat اشاره کرد. برنامه Spheristat یکی از برنامه‌های پیشرفته زمین‌شناسی است که افزون بر رسم تصاویر استریوگرافیک، ویژه مقدارها و ویژه بردارها را نیز محاسبه کرده و موقعیت آنها را بر روی تصاویر استریوگرافیک نشان می‌دهد. در این برنامه، نمودارهای دو محوری ویژه مقدارها نیز محاسبه و رسم می‌شود. در این تحقیق مثال‌هایی آورده شده است که با استفاده از این برنامه پردازش شده‌اند.

۳- فعالیت های تجربی

در این قسمت سعی شده است با ذکر چند مثال از فعالیت های انجام شده، کاربرد این روش در مطالعات ساختاری و ریز ساختاری بیان شود.

۳-۱- ریز ساختارها

در بیشتر سنگهای دیگر شکل شده، سوگیری محورهای بلور شناختی کانیها به طور سامانه‌مند در جهت‌های خاصی گسترش یافته‌اند. این گونه سنگها سوگیری ترجیحی شبکه بلور را برای یک کانی ویژه به نمایش

هارزبورژیتهی و رادیولاریتهای چین خورده در بخشهای مختلف مجموعه افیولیتی نیز جهت مطالعه انتخاب شده است.

۳-۲-۱- سنگهای آهکی لایه‌ای باختر سیوند

در این قسمت سنگهای آهکی لایه‌ای سازند سروک با سن آلپین تا تورونین واقع در تاق‌دیس کوه حسین در باختر سیوند مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۷). این منطقه همانند دیگر نواحی زاگرس، دچار چین خوردگی شده است. شیب و راستای لایه‌بندی در نقاط مختلفی از این تاق‌دیس اندازه‌گیری شد. این داده‌ها توسط نرم افزار مورد پردازش قرار گرفت و تصویر استریوگرافیک، مقادیر K و C آن به دست آمد (شکل ۸). با توجه به تصویر استریوگرافیک، مشاهده می‌شود که محل ویژه بردار V_2 با موقعیت محور b چین مطابقت دارد و همچنین می‌توان نصف النهار V_1V_2 را به عنوان سطح محوری این چین در نظر گرفت. فابریک چین خوردگی در این مورد خوشه‌ای متوسط به دست آمده است. مطالعات صحرائی نشان می‌دهد که پهلوهای این چین دارای شیب و ارتفاع متوسط است.

۳-۲-۲- برگوازی هارزبورژیتهی

یکی از مشخصات مشترک افیولیتها داشتن ساختارهای صفحه‌ای دمای بالایی هستند که اصولاً موازی موهو تشکیل می‌شوند (Nicolas, 1989). با مطالعه آماری برگوازی هارزبورژیتهی در افیولیتها می‌توان سرگذشت حرکات هارزبورژیت و بخش الترامافیک افیولیتها را مطالعه کرد. شیب و راستاهای اندازه‌گیری شده در منطقه افیولیت نیز نشان می‌دهد که این برگوازیها هنگام تشکیل و جایگزینی بر روی پوسته قاره‌ای و چین خوردگی‌های بعدی دگرشکل شده‌اند. مقادیر K و C داده‌های اندازه‌گیری شده، تصاویر استریوگرافیک به همراه ویژه بردارها و ویژه مقدارهای آنها در شکل ۸ نشان داده شده است. همانند حالت پیش، در این مورد نیز می‌توان سطح و محور چین خوردگی را مشخص کرد. فابریک به دست آمده برای این نمونه نوار همراه با خوشه‌های متوسط است و شکل چین نیز به صورت یک چین باز و پهلوهای با شیب متوسط می‌باشد.

۳-۲-۳- رادیولاریتهای چین خورده

رادیولاریتهای رسوبات پلاژیک، بخش رسوبی و بالاترین قسمت توالی افیولیتها را تشکیل می‌دهند. رادیولاریتهای در منطقه نیز در بخشهای باختری و خاوری بیرونزدگی مرکزی افیولیت، رخنمون دارند (شکل ۴). در مسیر جاده نیز - استهبان شیب و راستای لایه‌های چین خورده

دگر شکلی محور C آمفیبول به صورت نوارهای ضعیف تا متوسط و در نظر گرفتن قابلیت دگر شکلی پلاستیکی بسیار ضعیف آمفیبولها، این نتیجه را در پی خواهد داشت که دگر شکلی و دگر گونی شدیدی بر بلورهای آمفیبول گذشته است.

۳-۱-۲- الیون

در این قسمت بلورهای الیون در سنگهای هارزبورژیت بخش الترامافیک توالی افیولیت نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. تصاویر استریوگرافیک محورهای شبکه بلوری الیون به همراه موقعیت آنها بر روی نمودار فلین در شکل ۵ نشان داده شده است. همان گونه که در مورد بلورهای آمفیبول گفته شد، با مقایسه تصاویر استریوگرافیک حاصل از مطالعات میکروسکوپی بر روی الیون و مقایسه آنها با الگوهای آزمایشگاهی می‌توان سیستم لغزش بلوری الیون را به دست آورد. در تصاویر استریوگرافیک مشاهده می‌شود که [100] به صورت نقطه بیشینه و گاهی نوارهای کوتاه با زاویه کمی نسبت به خطوارگی و [001] به صورت نقطه بیشینه و گاهی نوارهای کوتاه با زاویه زیادی نسبت به خطوارگی، زاویه کمی نسبت به برگوازی قرار گرفته است (شکل ۶). رخدادهای محورهای اصلی و نیز خوشه‌ها به ترتیب بیانگر سیستم‌های لغزش [100][010] و گاهی [100](Ok1) است. بلورهای الیون در طی این لغزش، به صورت پلاستیکی دگر شکل شده‌اند. از سوی دیگر، با پردازش آماری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط نرم افزار اشاره شده، ویژه مقدارها و ویژه بردارها محاسبه گردیده و سپس موقعیت آنها بر روی نمودار فلین مشخص شده است (جدول ۲-ب). موقعیت این داده‌ها بر روی نمودار فلین و مقایسه با شکلهای ۲ و ۵ نشان می‌دهد که محوره a الیون به صورت خوشه‌ای متوسط و محور C به صورت نوار و خوشه ضعیف است. حالت نواری شدن الیون در هارزبورژیت نشان دهنده رفتار پلاستیکی بلور در محیط، تشکیل دهنده آن یعنی مرکز گسترش اقیانوسی است.

۳-۲- مطالعات ساختاری

بیشتر سنگهای رسوبی و دگرگونی دارای ساختارهای صفحه‌ای صفحه‌ای مشخصی هستند که با نامهای مختلفی از جمله لایه بندی یا برگوازی معرفی می‌شوند. شناسایی ارتباط این ساختارها و نیروهای عمل کننده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و می‌تواند در شناسایی مسیر دگر شکلی و تاریخچه آن در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. در بخش ساختاری این تحقیق شیب و راستای ساختارهای صفحه‌ای مختلفی از جمله سنگهای آهکی لایه لایه در منطقه باختر سیوند، برگوازی

فابریکهای با $I < K$ چین هایی مشاهده می شود که ارتفاع آنها و اوج گیری چین به مراتب بیش از عرض آنهاست و می توان چینهای بلند و تیز را در آنها دید. مقادیر مختلف C ، چین هایی را در محدوده چینهای تیز و بلند ملایم تا بسته به وجود می آورد.

۵- نتیجه گیری

در مطالعات ساختاری هر منطقه، می توان اطلاعات با ارزشی از سرگذشت دگر شکلی به دست آورد. گاهی مناطق چین خورده به دلایلی مانند فرسایش، به طور کامل در سطح زمین نمایان نیستند. بنابراین در هنگام مطالعه ساختاری چنین مناطقی، می توان با اندازه گیری های صحرائی شیب و راستای ساختارهای صفحه ای یا خطی و بررسی آماری آنها، اطلاعات با ارزشی از چین خوردگی به دست آورد و یا با مشاهده شکل چین و مقایسه با نمودار ارائه شده، به سرعت به محدوده تقریبی K و C پی برد. مطالعه این مقادیر و یا شکل چین به طور غیر مستقیم، می تواند نوع تاثیر نیروهای عمل کننده و خواص فیزیکی سنگهای منطقه را نشان دهد. از طرف دیگر ویژه مقدارهای مختلف، بیانگر پراکندگی در راستای ویژه بردارها می باشند و نشان می دهند که در چه راستایی بیشترین و یا کمترین پراکندگی وجود دارد. بنابراین، با بررسی موقعیت ویژه بردارها می توان به طور دقیق تر به ساز و کار چین خوردگی، مشخصات روند و میل محور چین، محورهای اصلی چین خوردگی و محورهای اصلی کرنش پی برد.

در بخش ریزساختاری نیز با توجه به مقادیر K و C و شکل به وجود آمده، می توان با اندازه گیری های آزمایشگاهی و میکروسکوپی از جمله استفاده از Universal Stage، روندهای اصلی کرنش و محورهای دگر شکلی را در هر نمونه مشخص کرد و نیز با توجه به فابریک به وجود آمده و خواص فیزیکی سنگ، روند توسعه دگر شکلی را مطالعه کرد.

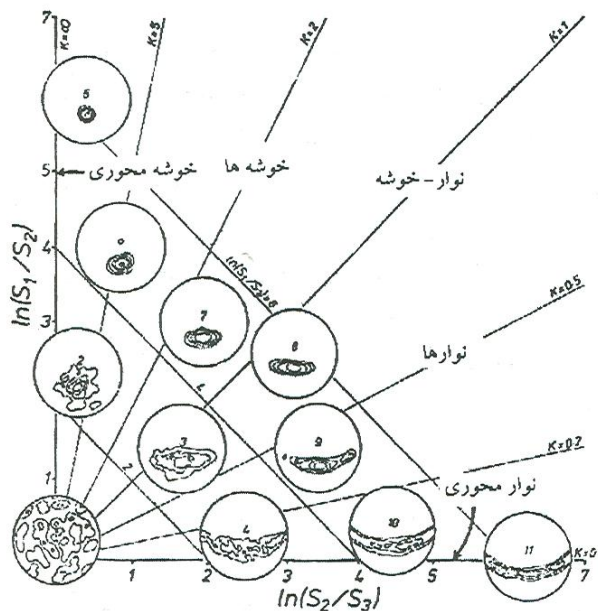
سپاسگزاری

برخود لازم می دانم از همکاریهای استاد ارجمند محمد تقی صالحی از گروه شیمی دانشگاه پیام نور اصفهان سپاسگزاری نمایم. همچنین از آقایان داود یحیی آبادی از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و حسن ندیمی از گروه فیزیک دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان که در این راه مرا یاری نمودند سپاسگزاری کنم.

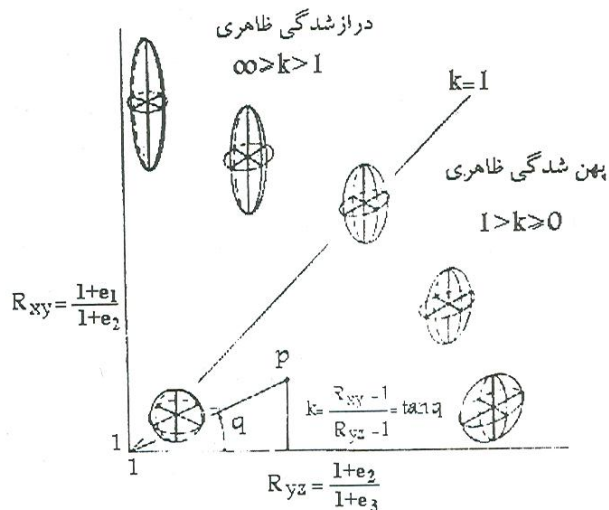
رادیولاریتها اندازه گیری شد و تصویر استریوگرافیکی، مقادیر K و C آن در شکل ۸ آورده شده است. فابریک به دست آمده برای این مثال خوشه ای متوسط تا قوی می باشد. مطالعات صحرائی در این منطقه نشان می دهد که این مجموعه به شدت چین خورده اند و چینهای تشکیل شده دارای پهلوهای پرشیب است.

۴- بحث

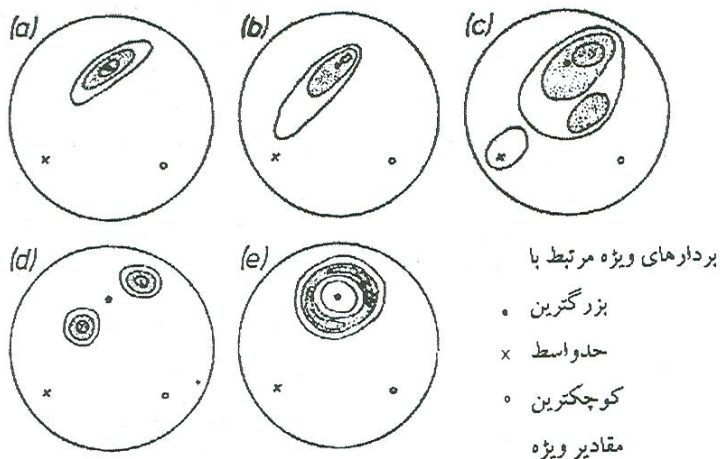
بررسی نتایج حاصل از اندازه گیریهای آماری که به صورت تصاویر استریوگرافیک و نمودار K و C ارائه شده، نشان می دهد که پراکندگی های مختلف داده های خطی (خطواره ها، محورهای شبکه بلوری) و صفحه ای (برگوارگی، لایه بندی) در شبکه استریونت، شکلهای مختلفی را به وجود می آورد که می توان موقعیت آنها را با بردارهای V_1 الی V_3 مطابقت داد. مقادیر مربوط به هر بردار بیانگر پراکندگی داده ها نسبت به آن بردار است که جمع مقادیر آن برابر تعداد داده های اندازه گیری شده است. در چین ها، ویژه بردارهای مختلف را می توان با محورهای اصلی a ، b و c چین مقایسه کرد. در این حالت، می توان محور V_2 را با محور b چین یکسان در نظر گرفت و مشخصات روند و میل آن را به عنوان روند و میل محور چین شناسایی نمود. بردارهای V_1 و V_3 به ترتیب با محورهای a و c چین مطابقت دارند. دایره بزرگ در برگرنده بردارهای V_1 و V_2 را می توان سطح محوری چین در نظر گرفت و مشخصات آن را با استفاده از شبکه استریوگرافیک هم مساحت بدست آورد. با این کار، افزون بر میل چین، می توان تقارن آن را نیز دقیق تر مطالعه کرد. دایره بزرگ در برگرنده بردارهای V_1 و V_3 به عنوان نمودار π چین تفسیر می شود. مقادیر K و C همان گونه که در مطالعات ریزساختاری به پهن و نواری شدن یا خوشه ای و کشیده شدن فابریکها اشاره می کند، می تواند در مطالعات ساختاری نیز به کار برده شود. این فابریکهای دگر شکلی را می توان در چین خوردگی به صورت شکل ۹ تفسیر کرد. در این شکل، فابریکهای مربوط به $K=1$ و $C < C_{95}$ به چین هایی با سطح مقطع نیم دایره ای تشبیه می شوند که هرچه مقادیر C آن افزایش یابد، از وضعیت پراکندگی بکنواخت به سمت وضعیت های توسعه یافته و چین های بسته تغییر می کنند. در فابریکهای با $0 < K < 1$ ، چینهایی مشاهده می شود که عرض آنها به مراتب بیشتر از ارتفاع آنهاست. چین های پهن و گسترده در این بخش قرار دارند. تغییرات مقادیر C شکلهای مختلفی از چین های پهن ملایم و باز تا چینهای پهن بسته را به وجود می آورد. در



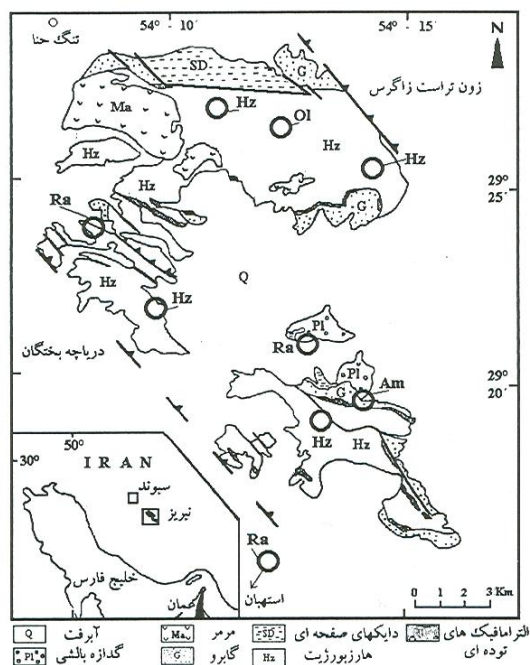
شکل ۲- نمایش نسبت لگاریتمی دو محوری ویژه مقادیرها به همراه مثالهایی از شکل فابریکها (اقتباس از Woodcock, 1977).



شکل ۱- نمودار فلین برای نشان دادن شکل بیضوی کرنش R_{xy} و R_{yz} به ترتیب عبارتند از نسبت طولیل شدگی محورهای دوم- سوم و اول- دوم. مقدار نسبت k بیضوی که بر روی نقطه P قرار دارد برابر خواهد بود با تانژانت زاویه q (اقتباس از Ramsay & Huber, 1983).



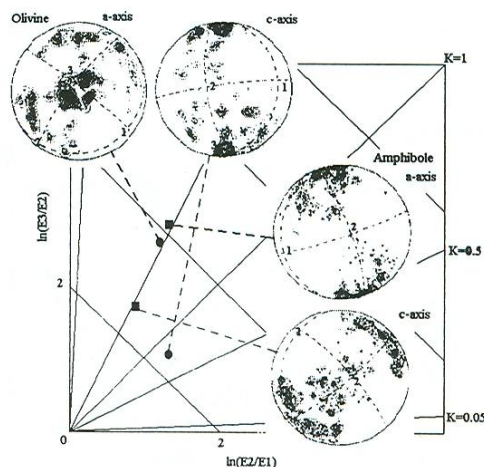
شکل ۳- نمایش استریوگرافیکی هم سطح فابریکهای ایده آل با تقارنهای ارتورومبیک (الف، د و ه)، منوکلینیک (ب) و تری کلینیک (ج) به همراه ویژه بردارهای مربوطه (اقتباس از Woodcock, 1977).



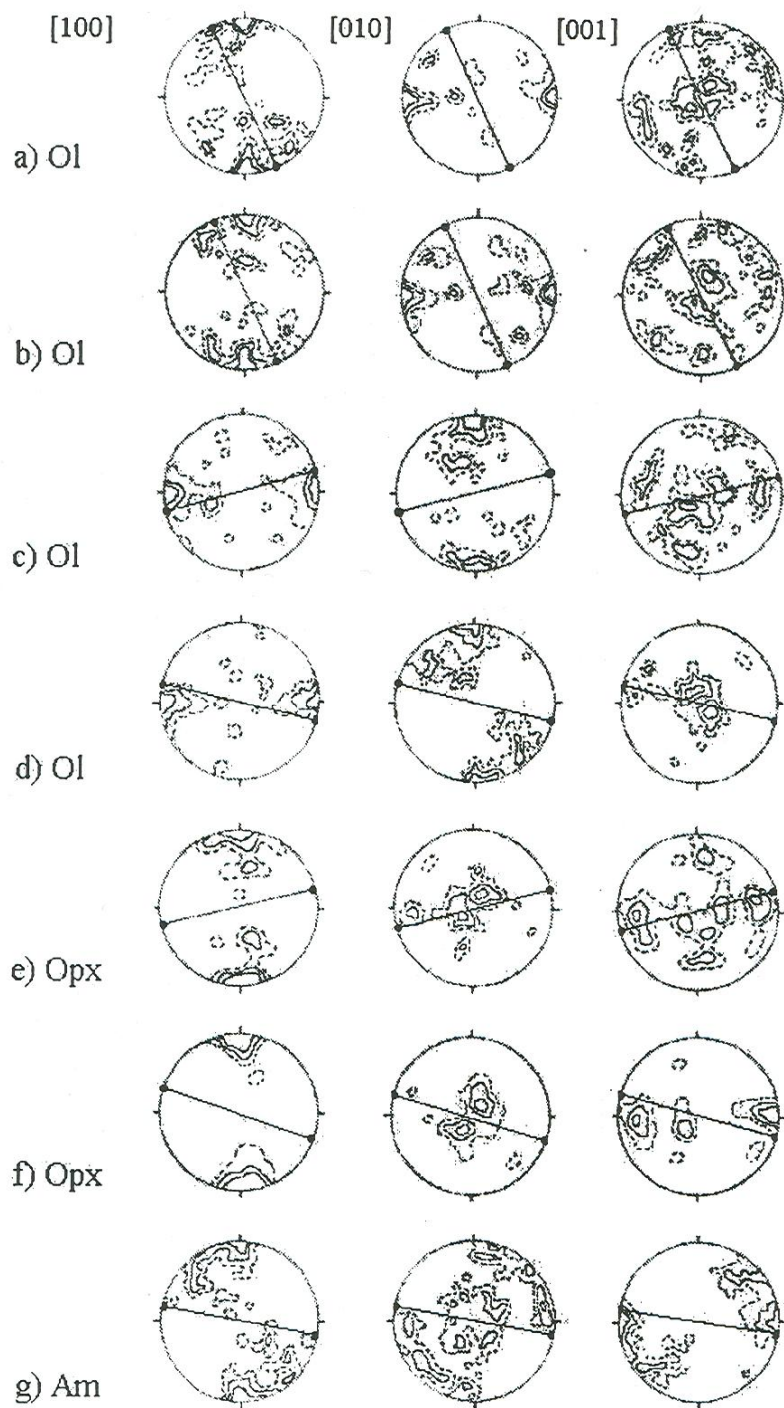
شکل ۴- نقشه زمین شناسی مجموعه افیولیت نیریز. در این نقشه محل مطالعات انجام شده با دایره نشان داده شده است. در این دایره‌ها (Am) آمفیبول، (Ol) الیون، (Hz) برگواری هارزبورژیت و (Ra) رادیولاریت‌های چین خورده است. همچنین موقعیت نمونه برداریها از باختر سیوند بر روی نقشه راهنمای فوق و شکل ۷ نشان داده شده است (اقتباس از Nadimi, 2002).

جدول ۱- مقادیر مختلف K (الف) و C (ب) و نوع الگوهای پراکندگی نمونه‌ها (اقتباس از Woodcock, 1977).

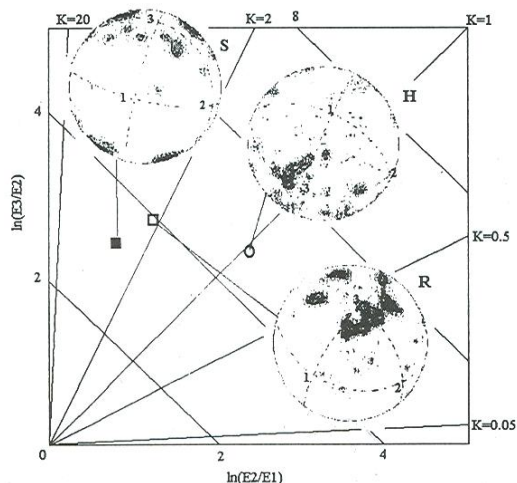
الف)	K	شکل قابریک
	0 - 0.05	نوار محوری
	0.05 - 0.5	نوار
	0.5 - 0.8	نوار با خوشه
	0.8 - 1.25	نوار و خوشه
	1.25 - 2	خوشه و نوار
	2 - 20	خوشه
	K > 20	خوشه محوری
ب)	C	مقاومت قابریک
	$C < C_{95}$	پراکندگی یکنواخت
	$C_{95} - C_{95} + 1$	توسعه ضعیف
	$C_{95} - 1 - C_{95} + 3.5$	توسعه متوسط
	$C > C_{95} + 3.5$	توسعه قوی



شکل ۵- نمودار فلین و تصاویر استریوگرافیکی محورهای a و c نمونه‌های الیون (Ol) و آمفیبول (Am) به ترتیب در بخش‌های الترامافیک و مافیک توالی افیولیت نیریز. تصاویر استریوگرافیک مربوط به نیمکره پایینی و خطوط تراز تراکمهای ۱، ۴ و ۸/۳ و شماره‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب محل ویژه بردارها را نشان می‌دهند.



شکل ۶- تصاویر استریوگرافیک محورهای a، b و c نمونه های الومین (Ol)، ارتوپروکسن (Opx) در بخش الترامافیک و آمفیبول (Am) در بخش مافیک توالی افیولیت نیریز. در این تصاویر خطها و نقاط نشان دهنده خطواره و برگواره در نمونه ها است. تصاویر استریوگرافیک مربوط به نیمکره پایینی و خطوط به ترتیب تراز تراکمهای ۱، ۴ و ۸ را نشان می دهد (اقتباس از Nadimi, 2002).



شکل ۸- نمودار فلین و تصاویر استریوگرافیکی شیب و راستاهای ساختارهای مطالعه شده در سنگهای آهکی لایه لایه غرب سیوند (S)، بر گوارگی هارزبورژیتی مجموعه افیولیت نیریز (H) و رادیولاریتهای چین خورده منطقه نیریز (R). تصاویر استریوگرافیک مربوط به نیمکره پایینی و خطوط تراز به ترتیب تراکمهای ۱، ۴ و ۸٪ و شماره‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب محل ویژه بردارها را نشان می‌دهند.

جدول ۲- ویژه مقدارها و ویژه بردارها (۱)، مقادیر K و C و نوع الگوی پراکنندگی ریزساختارهای مطالعه شده (۲) در نمونه‌های آمفیبول (الف) و الیونین (ب). در این جدول بخشهای بالایی مربوط به محور a و بخشهای پایینی مربوط به محور C است.

الف- ویژه بردارها و ویژه مقدارها در بلور آمفیبول ب- ویژه بردارها و ویژه مقدارها در بلور الیونین

محور	مقدار ویژه			مقدار ویژه			
	بردار ویژه	روند	میل	بردار ویژه	روند	میل	
a-محور	1	128	12	22.635	1	253	12
	2	220	3	26.443	2	73	78
	3	348	78	99.892	3	343	0
c-محور	1	80	20	23.502	1	320	13
	2	280	70	46.714	2	85	74
	3	174	3	69.782	3	235	5

مقادیر K و C

محور	مقادیر K و C		مقادیر K و C	
	K ratio [ln(E3/E2)/ln(E2/E1)]	C ratio [ln(E3/E1)]	K ratio [ln(E3/E2)/ln(E2/E1)]	C ratio [ln(E3/E1)]
a-محور	2.013	1.989	2.870	1.972

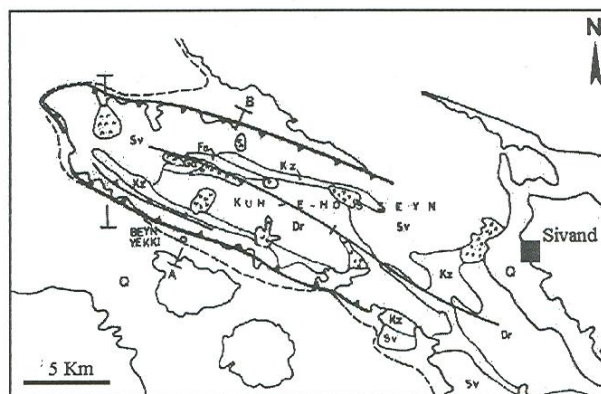
خوشه متوسط توسعه یافته

خوشه متوسط توسعه یافته

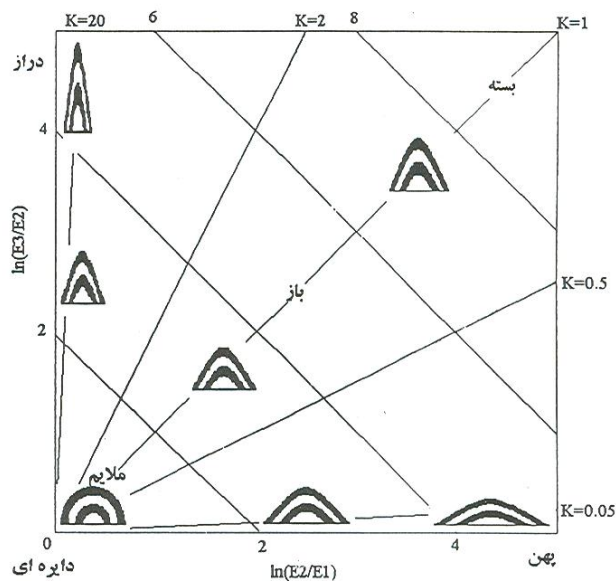
محور	مقادیر K و C		مقادیر K و C	
	K ratio [ln(E3/E2)/ln(E2/E1)]	C ratio [ln(E3/E1)]	K ratio [ln(E3/E2)/ln(E2/E1)]	C ratio [ln(E3/E1)]
c-محور	0.584	1.088	1.385	1.125

نوار با خوشه ضعیف توسعه یافته

خوشه با نوار ضعیف توسعه یافته



شکل ۷- نقشه زمین شناسی ناقدیس کوه حسین در غرب سیوند، استان فارس. موقعیت این نقشه در شکل ۴ نشان داده شده است. در این نقشه (Sm) سازند سورمه، (Fa) فهلیان، (Gd) گدوان، (Dr) داریان، (Kz) کژدمی، (Sv) سروک و (Q) آبرفت است. (اقتباس از ندیمی و همکاران، ۱۳۷۸).



شکل ۹- نمودار مقایسه شکل چینها و مقادیر K و C بر روی نمودار فلین. در این نمودار نوع چین بر روی مبدا از نوع چینهای دایره ای و با دور شدن از مبدا بر روی محور افقی به چینهای پهن و باز و بر روی محور قائم به چینهای دراز و بسته نزدیک می‌شود.

کتابنگاری

- ندیمی، ع. ۱۳۷۷- تحلیل ریزساختاری حرکت پلاستیکی گوشته فوقانی و زونهای برشی افیولیت نیریز، پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه شیراز، ۱۳۵ صفحه.
- ندیمی، یوسفی و کارگر، ۱۳۷۸- بررسی عوامل تکتونیکی زمین لغزشهای تاقدیس کوه حسین، غرب سیوند، استان فارس. اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. صفحه ۲۵۹-۲۶۵.

Reference

- Keyssner, S., Standner, P., & et. al., 2002 - Annual report 2002. Experimentelle Geochemie and Geophysik, Universitat Bayreuth, 216p.
- Mainprice, D., & Nicolas, A., 1989 - Development of shape and lattice preferred orientations: application to the seismic anisotropy of the lower crust. J. Struct. Geol., 11, 175-190.
- Nadimi, A., 2002- Mantle flow patterns at the Neyriz Paleo-spreading center, Iran, Earth & Planet. Sci. Lett., 203(1), 93-104.
- Nicolas, A., 1989- Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere, Kluwer Academic Publishers. 367p.
- Ramsay, J.G., 1967- Folding and fracturing of rocks. New York, McGraw-Hill Book Co., 568p.
- Ramsay, J.G., & Huber, M.I., 1983 -The techniques of modern structural geology, 1- strain analysis. Academic Press, London.
- Watson, G.S., 1966- The statistics of orientation data. Geology, 74, 786-797.
- Woodcock, N.H., 1977- Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. Geol. Soc. Am. Bull., 88, 1231-1236.

* گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات

* Geology Department, Islamic Azad University, Mahallat, Branch, Mahallat, Iran