



## 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، افزون‌بر تشریح این روش و ذکر مثالهایی از داده‌بردارهای جهت یافتگی ترجیحی شبکه بلوری الیون 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.

### - مقدمه

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 استریونت با یکدیگر مقایسه می‌شود. حالتهای مختلف پراکندگی‌ها بر روی شبکه‌ها اغلب به صورت نواری (griddle)، خوشه‌ای (cluster) و یا حالتی بین آن دو دیده می‌شود. در مطالعات ساختاری، بر حسب شکل به‌وجود آمده بر روی استریونت، از جهات 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 شکل پراکندگی داده‌ها و فابریک‌ها پی برد (Woodcock, 1977). ویژه مقادیر 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 استریونتی و به شکل گرافیکی انجام می‌گیرد (برای آشنایی با دیدگاه ریاضی ویژه مقدار و ویژه بردار به منابع جبر خطی مراجعه شود). بنابراین، ویژه مقادیر 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.

## 2- ویژه مقدار و ویژه بردار

برای شناسایی ویژه مقدار و ویژه بردار، ابتدا فرض می‌شود که همه داده‌های اندازه‌گیری 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 می‌توان با ویژه مقدار و ویژه بردار معادل دانست. با این تجسم، محورهای اصلی پراکندگی‌ها، ویژه بردارها ( $V_1, V_2, V_3$ ) و بزرگی آنها، ویژه مقدارها ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ) منطبق بر آنها را نشان می‌دهند. در این حالت، ویژه بردار  $V_1$  به عنوان جهتی با کمترین پراکندگی در نظر گرفته می‌شود. این ویژه بردار، برآوردی از پراکندگی میانگین داده‌هاست. ویژه بردار  $V_3$  بیشترین پراکندگی را نشان می‌دهد و به عنوان برآوردی از قطب بهترین نوار انطباقی (best-fit gridle) پراکندگی‌ها در نظر گرفته می‌شود. ویژه بردار  $V_2$  بر دو بردار دیگر عمود است (Watson, 1966). ویژه مقادیر  $\lambda_1, \lambda_2$  و  $\lambda_3$  دارای حاصل:

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

هستند. در این معادله،  $N$  تعداد داده‌ها را نشان می‌دهد. چنانچه هر کدام از ویژه مقادیر بر تعداد کل داده‌ها تقسیم شود، میزان تجمع یا درجه خوشه‌ای شدن داده‌ها حول ویژه بردارها به دست می‌آید:

$$N / \lambda_j = S_j \quad (2)$$

در این رابطه،  $S$  نسبت ویژه مقدار هر محور بر تعداد کل داده‌هاست. مطالعات واتسون (1966) نشان داد که پراکندگی‌های خوشه‌ای تمایل به  $S_1 > S_2 \approx S_3$  و نوارهای دایره بزرگ تمایل به  $S_1 \approx S_2 > S_3$  دارند، بنابراین، ویژه مقدارها به طور مستقیم به شکل فابریکا مربوطند. پس از واتسون، ارتباط بین ویژه مقدارها و شکل فابریکا با نمودارهای ترسیمی نشان داده شد (Woodcock, 1977). تاکنون روشهای مختلفی برای نمایش‌های ترسیمی ویژه مقدارها مطرح شده که در اینجا به اختصار مهم‌ترین آنها یعنی نمایش دو محوری، معرفی می‌شود.

## 1-2- نمایش نسبت دو محوری

در این نوع نمایش، دو نسبت از سه ویژه مقدار بر روی محورهای عمود بر هم، رسم می‌شوند. این محورهای عمود بر هم، با نمایش حالت‌های کرنش‌های اصلی قابل مقایسه هستند (Ramsay, 1967). در نمودار دو محوری، هر سه مقدار

$S_1, S_2$  و  $S_3$  (معادله 2) 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 نسبت‌های فوق را فلین برای نمایش بیضوی‌های کرنش پیشنهاد کرده (Woodcock, 1977). پراکندگی داده‌های به‌وجود آمده به طور طبیعی نسبت ویژه مقدار کمتر از 100 دارند ولی در حالت‌های خاص، محدوده‌های 1000 و یا بیشتر نیز وجود دارند. بنابراین برای رسم نسبت‌ها روی محورهای نمودار، استفاده از مقیاس لگاریتم طبیعی آنها مناسب‌تر است. رمزی (1967) 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 1). 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 می‌گیرد. تقارن محوری نوارهای دایره 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 پراکندگی‌هایی با حالت‌های گوناگون از هر دو حالت خوشه‌ای و نوار، اشغال شده است که مسیرهای دگرشکلی بیضوی‌های کرنش را در یک دگرشکلی تدریجی در جسم نشان می‌دهد (شکل 2). مقادیر حالت‌های مختلف دگرشکلی فابریکا توسط پارامتر  $K$  معلوم شود:

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

که در آن  $K$  شیب خط‌های مستقیمی است که از مبدا منشعب می‌شوند. پراکندگی‌هایی با نوارها و خوشه‌های مساوی، بر روی خط  $K=1$  قرار می‌گیرند 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 1-الف). پراکندگی‌های یکنواخت بر روی مبدا نمودار قرار می‌گیرند. در این نمودار، نسبت  $\ln(S_1/S_3)$  به عنوان پارامتر  $C$  در نظر گرفته می‌شود. پارامتر  $C$  به مقاومت اجسام در برابر دگرشکلی بستگی دارد و مقدار آن میزان سوگیری ترجیحی و پراکندگی داده‌ها را نشان می‌دهد (جدول 1-ب). بر روی این نمودار، پراکندگی‌های همگن و یا تصادفی نزدیک مبدا با مقادیر  $C$  کوچک و پراکندگی‌های با سوگیری ترجیحی قوی با مقادیر  $C$  بزرگ‌تر به تدریج از مبدا دور می‌شوند.

## 2-2- ویژه بردارها در استریونوت

هنگامی که منحنی‌های هم تراکم (منحنی میزان) داده‌های جمع‌آوری شده از منطقه مورد مطالعه بر روی استریونوت رسم شود، شکل‌های مختلفی به‌وجود می‌آید. این شکل‌ها در حالت کلی ممکن است به صورت مدل‌های خوشه‌ای، نوار





### 3- 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.

#### 3-1- ریزساختارها

در بیشتر سنگهای دیگر شکل شده، سوگیری محورهایی بلور شناختی کانیها به طور سامانه مند در جهت های خاصی گسترش یافته اند. این گونه سنگها سوگیری ترجیحی شبکه بلور را برای یک کانی ویژه به نمایش می گذارند. در بخش ریز ساختاری این تحقیق، بلورهای آمفیبول و الیون مورد بررسی قرار گرفته اند. این نتایج از مطالعات انجام شده بر روی افیولیت نیریز (شکل 4) جمع آوری شده است.

#### 3-1-1- آمفیبول

بلورهای آمفیبول (هورنبلند) مطالعه شده، از نمونه های جهت دار گابرومیلونیت های یک پهنه برشی شکل پذیر در بخش مافیک توالی افیولیت نیریز انتخاب شده اند (شکل 4). تصاویر استریوگرافیک محورهایی شبکه بلور آمفیبول به همراه موقعیت آنها بر روی نمودار فلین در شکل 5 آورده شده است. در تصاویر استریوگرافیک، با استفاده از روش منحنی های هم تراکم در مطالعات آماری ساختارها (استریونت)، قطب محورهایی شبکه بلور آمفیبول به صورت قطب ساختارهای خطی به طور جداگانه پردازش قرار شده اند. موقعیت نقاط تمرکز و بیشینه هر کدام از محورها نسبت به شبکه استریونت و سطح برگوارگی، میل و روند آنها، می تواند نشان دهنده سیستم لغزش بلور کانی باشد.

سیستم های لغزش بلور 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 می گیرند. بر روی نمونه ها پس از دگر شکلی و سوگیری ترجیحی محورهایی بلور شناختی، بررسی های میکروسکوپی Universal stage صورت گرفته و تصاویر مربوط به هر کدام محاسبه می شود. در مطالعات ریزساختاری بعدی و مقایسه شکلهای به دست آمده با چنین الگوهای خاصی می توان به سیستمهای لغزش بلور و به دنبال آن به شرایط دگر شکلی و دگرگونی پی برد (Mainprice & Nicolas, 2002 ; Keysner, et al., 1989).

با بررسی نتایج به دست آمده از تصاویر استریوگرافیک بلورهای آمفیبول در بخش مافیک توالی افیولیت نیریز مشخص شده است که [001] عموماً موازی با خطوارگی و [100]

و یا ترکیبی از آنها دیده شوند. موقعیت ویژه بردارها با توجه به مدل های پراکندگی داده ها روی استریونت به دست می آید. وضعیت این بردارها نسبت به پراکندگی داده ها می تواند به شکلهای مختلفی دیده شود که در شکل 3 آورده شده است. در این شکل از لحاظ تقارن پراکندگی و ویژه بردارها، حالت های ارتورومبیک، منوکلینیک و تری کلینیک معرفی شده است. در وضعیت ارتورومبیک (شکل 3- الف، د و ه) پراکندگی ها نسبت به بردارها متقارن هستند، در حالی که در منوکلینیک و تری کلینیک پراکندگی ها به ترتیب از یک سمت و از سه سمت با ویژه بردارها عدم تقارن دارند (شکل 3- ب و ج).

### 3-2- چگونگی به دست آوردن ویژه مقدارها و ویژه بردارها

در مطالعات زمین شناسی ساختاری، داده های جمع آوری شده، شامل شیب و امتداد ساختارهای صفحه ای و یا خطی است. پردازش این اطلاعات و به دست آوردن ویژه مقدارها و ویژه بردارهای آن، به دو طریق دستی و رایانه ای انجام می گیرد. (1) روش دستی: این روش بسیار وقت گیر است و در آن، ابتدا قطب داده های اندازه گیری شده بر روی یک شبکه استریوگرافیکی هم مساحت رسم شده و سپس با استفاده از روش رسم منحنی های هم تراکم، شکل پراکندگی به دست می آید. مقدار مقادیر از روابط ریاضی محاسبه شده و موقعیت بردارها با مقایسه شکل پراکندگی ها و مدل های ارائه شده در شکل های 2 و 3 بدست می آید. 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 رایانه ای پراکندگی ها به طور میانگین بررسی می شود، بهتر است پس از رسم رایانه ای شکل پراکندگی، آنرا برای جدا کردن فازهای مختلف دگر شکلی به طور دستی پردازش کنیم. (2) روش رایانه ای: این روش ساده تر و سریع تر است. در این حالت با پردازش آماری داده ها، ویژه مقدارها محاسبه و همچنین تصاویر استریوگرافیکی آنها رسم می شوند. برنامه های رایانه ای متعددی وجود دارد که برای مطالعات ساختاری طراحی شده اند، و می توان به رایج ترین آنها مانند Stereonet, Dips و Spheristat اشاره کرد. برنامه Spheristat یکی از برنامه های پیشرفته زمین شناسی 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 می دهد. در این برنامه، نمودارهای دو محوری ویژه مقدارها نیز محاسبه و رسم می شود. در این تحقیق مثال هایی آورده شده است که با استفاده از این برنامه پردازش شده اند.





موازي با برگوارگي است (شکل 6). اين وضعيت نشان دهنده سيستم لغزش [001] (100) در شبکه بلوري آمفیبول است. چنین سيستم لغزشي نشانه دگر شکلي در درجه هاي بالاي دگرگوني در حد رخساره گرانوليت مي باشد (نديمي، 1377). در شکل 5 همچنين داده هاي مربوط به محورهاي شبکه بلوري آمفیبول پس از پردازش توسط نرم افزار Spheristat و محاسبه ویژه مقادير آن بر روي نمودار فلین نشان داده شده است. مقادير K و C اين داده ها در جدول 2- الف مشخص شده است. موقعيت اين داده ها بر روي نمودار فلین و مقایسه با شکل نشان مي دهد که محور a آمفیبول به صورت خوشه اي متوسط و محور c به صورت نوارهاي ضعيف تا متوسط است. دگر شکلي محور c آمفیبول به صورت نوارهاي ضعيف تا متوسط و در نظر گرفتن قابليت دگر شکلي پلاستيكي بسيار ضعيف آمفیبولها، اين نتیجه را در پي خواهد داشت که دگر شکلي و دگرگوني شدیدی بر بلورهاي آمفیبول گذشته است.

### 2-1-3- الیون

در این قسمت بلورهاي الیون در سنگهاي هارزبورژيت بخش الترامافیک توالي افیوليت نيريز مورد مطالعه قرار گرفته است. تصاویر استریوگرافیک محورهاي شبکه بلوري الیون به همراه موقعيت آنها بر روي نمودار فلین در شکل 5 نشان داده شده است. همان گونه که در مورد بلورهاي آمفیبول گفته شد، با مقایسه تصاویر استریوگرافیک حاصل از مطالعات میکروسکوپي بر روي الیون و مقایسه آنها با الگوهاي آزمایشگاهی مي توان سيستم لغزش بلوري الیون را به دست آورد. در تصاویر استریوگرافیک مشاهده مي شود که [100] به صورت نقطه بیشینه و گاهی نوارهاي کوتاه با زاویه کمی نسبت به خطوارگي و [001] به صورت نقطه بیشینه و گاهی نوارهاي کوتاه با زاویه زیادی نسبت به خطوارگي، زاویه کمی نسبت به برگوارگي قرار گرفته است (شکل 6). رخداد نوارهاي محورهاي اصلي و نیز خوشه ها به ترتيب بیانگر سيستم هاي لغزش [100] (010) و گاهی [100] (0k1) است. بلورهاي الیون در طی این لغزش، به صورت پلاستيک دگر شکل شده اند. از سوي دیگر، با پردازش آماری داده هاي اندازه گيري شده توسط نرم افزار اشاره شده، ویژه مقاديرها و ویژه بردارها محاسبه گردیده و سپس موقعيت آنها بر روي نمودار فلین مشخص شده است (جدول 2- ب). موقعيت اين داده ها بر روي نمودار فلین و مقایسه با شکلهای 2 و 5 نشان مي دهد که محوره الیون به صورت خوشه اي متوسط و محور c به صورت نوار و خوشه ضعيف است. حالت نواري شدن الیون در هارزبورژيت نشان دهنده رفتار پلاستيكي بلور در محیط، تشکیل دهنده آن يعني مرکز گسترش افيانوس

### 2-3- مطالعات ساختاري

بیشتر سنگهاي رسوبي و دگرگوني داراي ساختارهاي صفحه اي صفحه اي مشخصي هستند که با نامهاي مختلفی از جمله لایه بندي يا برگوارگي معرفي مي شوند. شناسايي ارتباط این ساختارها و نیروهاي عمل کننده از اهمیت ویژه اي برخوردار بوده و مي تواند در شناسايي مسیر دگرشکلي و تاریخچه آن در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. در بخش ساختاري این تحقیق شیب و راستاي ساختارهاي صفحه اي مختلفی از جمله سنگهاي آهکي لایه لایه در منطقه باختر سیوند، برگوارگي هارزبورژيتي و رادیولاریتهای چین خورده در بخشهای مختلف مجموعه افیوليتي نيريز جهت مطالعه انتخاب شده است.

### 2-3-1- سنگهاي آهکي لایه اي باختر سیوند

در این قسمت سنگهاي آهکي لایه اي سازند سروک با سن آلبین تا تورونین واقع در تاقديس کوه حسین در باختر سیوند مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل 7). این منطقه همانند دیگر نواحی زاگرس، دچار چین خوردگی شده است. شیب و راستاي لایه بندي در نقاط مختلفی از این تاقديس اندازه گيري شد. این داده ها توسط نرم افزار مورد پردازش قرار گرفت و تصویر استریوگرافیک، مقادير K و C آن به دست آمد (شکل 8). با توجه به تصویر استریوگرافیک، مشاهده مي شود که محل ویژه بردار V2 با موقعيت محور b چین مطابقت دارد و همچنین مي توان نصف النهار V1V2 را به عنوان سطح محوري این چین در نظر گرفت. فابريك چین خوردگی در این مورد خوشه اي متوسط به دست آمده است. مطالعات صحرایی نشان مي دهد که پهلو هاي این چین داراي شیب و ارتفاع متوسط است.

### 2-3-2- برگوارگي هارزبورژيتي

یکی از مشخصات مشترک افیوليتها داشتن ساختارهاي صفحه اي دماي بالايي هستند که اصولاً موازي موهو تشکیل مي شوند (Nicolas, 1989). با مطالعه آماری برگوارگي هارزبورژيتي در افیوليت ها مي توان سرگذشت حرکات هارزبورژيت و بخش الترامافیک افیوليت ها را مطالعه کرد. شیب و راستاهای اندازه گيري شده در منطقه افیوليت نيريز نشان مي دهد که این برگوارگي ها هنگام تشکیل و جایگزینی بر روي پوسته قاره اي و چین خوردگی هاي بعدي دگرشکل شده اند. مقادير K و C داده هاي اندازه گيري شده، تصاویر استریوگرافیک به همراه ویژه بردارها و ویژه مقادير آنها در شکل 8 نشان داده شده است. همانند حالت پیش،





در چین خوردگی به صورت شکل 9 تفسیر کرد. در این شکل، فابریکهای مربوط به  $K=1$  و  $C < C95$  به چین هایی با سطح مقطع نیمدایره‌ای تشبیه می‌شوند که هرچه مقادیر  $C$  آن افزایش یابد، از وضعیت پراکندگی یکنواخت به سمت وضعیت های توسعه یافته و چین های بسته تغییر می‌کنند. در فابریکهای با  $0 < K < 1$ ، چینهایی مشاهده می‌شود که عرض آنها به مراتب بیشتر از ارتفاع آنهاست. چین‌های 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 می‌آورد. در فابریکهای با  $K < 1$  چین هایی مشاهده می‌شود که ارتفاع آنها و اوج‌گیری چین به مراتب بیش از عرض آنهاست و می‌توان چینهای بلند و تیز را در آنها دید. مقادیر مختلف  $C$ ، چین‌هایی را در محدوده چینهای تیز و بلند ملایم تا بسته به وجود می‌آورد.

#### 5- نتیجه گیری

در مطالعات ساختاری هر منطقه، می‌توان 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، می‌توان با اندازه‌گیری های صحرائی شیب و راستای ساختارهای صفحه‌ای 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، می‌تواند نوع تاثیر نیروهای عمل کننده و خواص فیزیکی سنگهای منطقه را نشان دهد. از طرف دیگر ویژه مقادیرهای مختلف، بیانگر پراکندگی در راستای ویژه بردارها می‌باشند و نشان می‌دهند که در چه راستایی بیشترین و یا کمترین پراکندگی وجود دارد. بنابراین، با بررسی موقعیت ویژه بردارها می‌توان به طور دقیق‌تر 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، می‌توان با اندازه‌گیری‌های 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.

در این مورد نیز می‌توان سطح و محور چین‌خوردگی 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 پهلوهایی با شیب متوسط می‌باشد.

#### 3-2-3- رادیولاریتهای چین خورده

رادیولاریتها و رسوبات پلاژیک، بخش رسوبی و بالاترین قسمت توالی افیولیتها را تشکیل می‌دهند. رادیولاریتها در منطقه نیریز در بخشهای باختری و خاوری بیرون‌زدگی مرکزی افیولیت، رخنمون دارند (شکل 4). در مسیر جاده نیریز- استهبان شیب و راستای لایه های چین خورده رادیولاریتها اندازه‌گیری شد و تصویر استریوگرافیکی، مقادیر  $K$  و  $C$  آن در شکل 8 آورده شده است. فابریک به دست آمده برای این مثال خوشه‌ای متوسط تا قوی می‌باشد. مطالعات صحرائی در این منطقه نشان می‌دهد که این مجموعه به شدت چین خورده اند و چینهای تشکیل شده دارای پهلوهایی پرشیب است.

#### 4- بحث

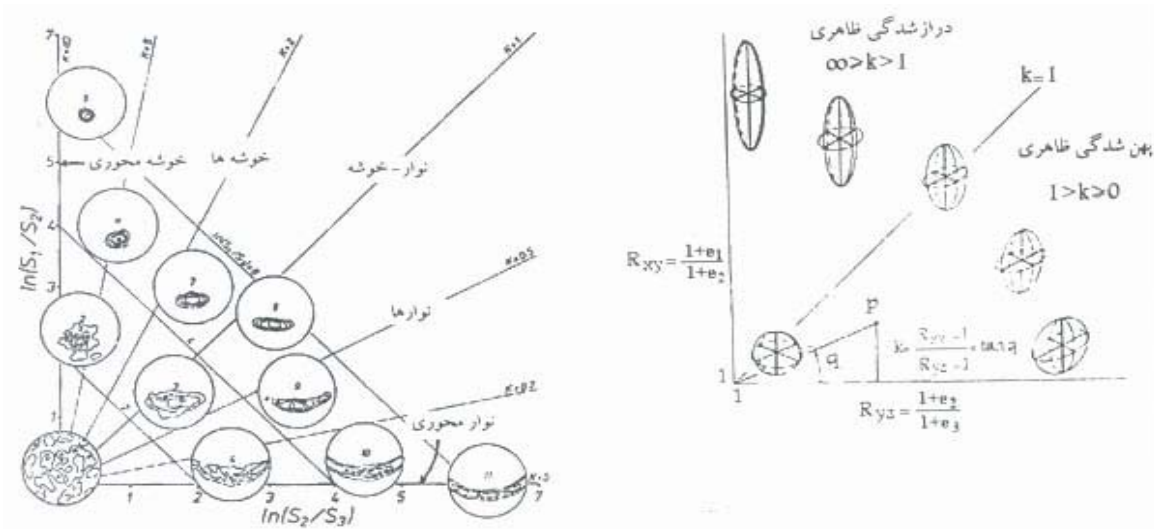
بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای آماری که به صورت تصاویر استریوگرافیک و نمودار  $K$  و  $C$  ارائه شده، نشان می‌دهد که پراکندگی های مختلف داده‌های خطی (خطواره ها، محورهای شبکه بلوری) و صفحه‌ای (برگوارگی، لایه بندی) در شبکه استریونت، شکلهای مختلفی را به وجود می‌آورد که می‌توان موقعیت آنها را با بردارهای  $V1$  الی  $V3$  مطابقت داد. مقادیر مربوط به هر بردار بیانگر پراکندگی داده‌ها نسبت به آن بردار است که جمع مقادیر آن برابر تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده است. در چین‌ها، ویژه بردارهای مختلف را می‌توان با محورهای اصلی  $a$ ،  $b$  و  $c$  چین مقایسه کرد. در این حالت، می‌توان محور  $V2$  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  $V1$  و  $V3$  به ترتیب با محورهای  $a$  و  $c$  چین مطابقت دارند. دایره بزرگ در برگرفته بردارهای  $V1$  و  $V2$  را می‌توان 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، می‌توان تقارن آن را نیز دقیق‌تر مطالعه کرد. دایره بزرگ در برگرفته بردارهای  $V1$  و  $V3$  به عنوان نمودار  $\pi$  چین تفسیر می‌شود. مقادیر  $K$  و  $C$  همان گونه که در مطالعات ریزساختاری به پهن و نواری شدن یا خوشه‌ای و کشیده شدن فابریکها اشاره می‌کند، می‌تواند در مطالعات ساختاری نیز به کار برده شود. این فابریکهای دگرشکلی را می‌توان



**سپاسگزارى**

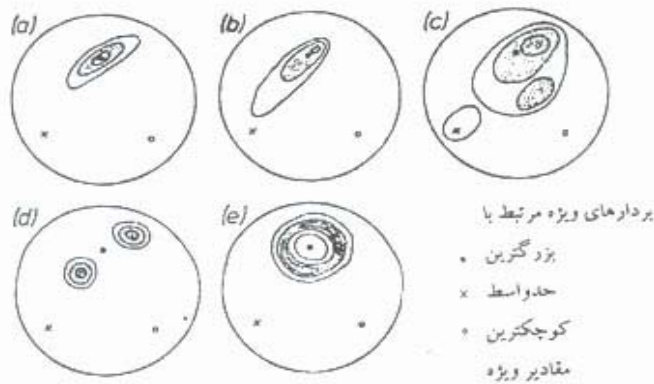
شناسي و اکتشافات معدني کشور و حسن نديمي از گروه فيزيک دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان که در این راه ياري نمودند سپاسگزارى کنم .

برخود لازم مي دانم از همکارهاي استاد ارجمند محمد تقى صالحى از گروه شيمي دانشگاه پیام نور اصفهان سپاسگزارى نمايم. همچنين از آقاىان داود يحيى آبادي از سازمان زمين

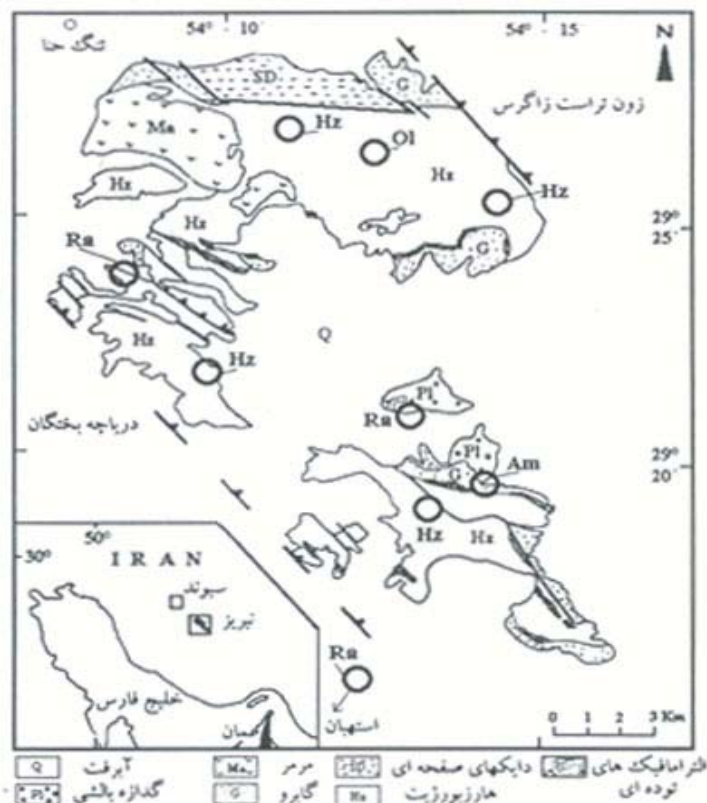


شکل 2- نمایش نسبت لگاریتمی دو محوري ویژه مقاديرها به همراه مثالهايي از شکل فابريکا (اقتباس از Woodcock, 1977).

شکل 1- نمودار فلين براي نشان دادن شکل بيضوي کرنش. Ryz و Rxy به ترتيب عبارتند از نسبت طول شدگي محورهاي دوم- سوم و اول- دوم. مقدار نسبت K بيضوي که بر روي نقطه P قرار دارد برابر خواهد بود با تانژانت زاويه q (اقتباس از Ramsay & Huber, 1983).



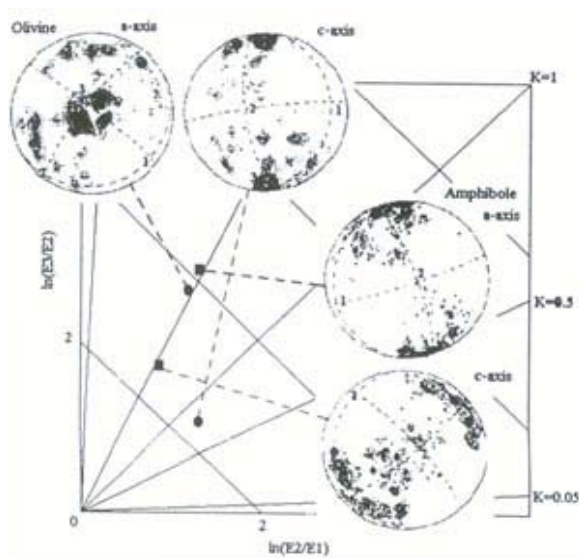
شکل 3- نمایش استریوگرافیکي هم سطح فابريکهاي ایده آل با تقارنهاي ارترومبیک ( الف، د و ه)، منوکلينیک (ب) و تريکلينیک (ج) به همراه ویژه بردارهاي مربوطه (اقتباس از Woodcock, 1977).



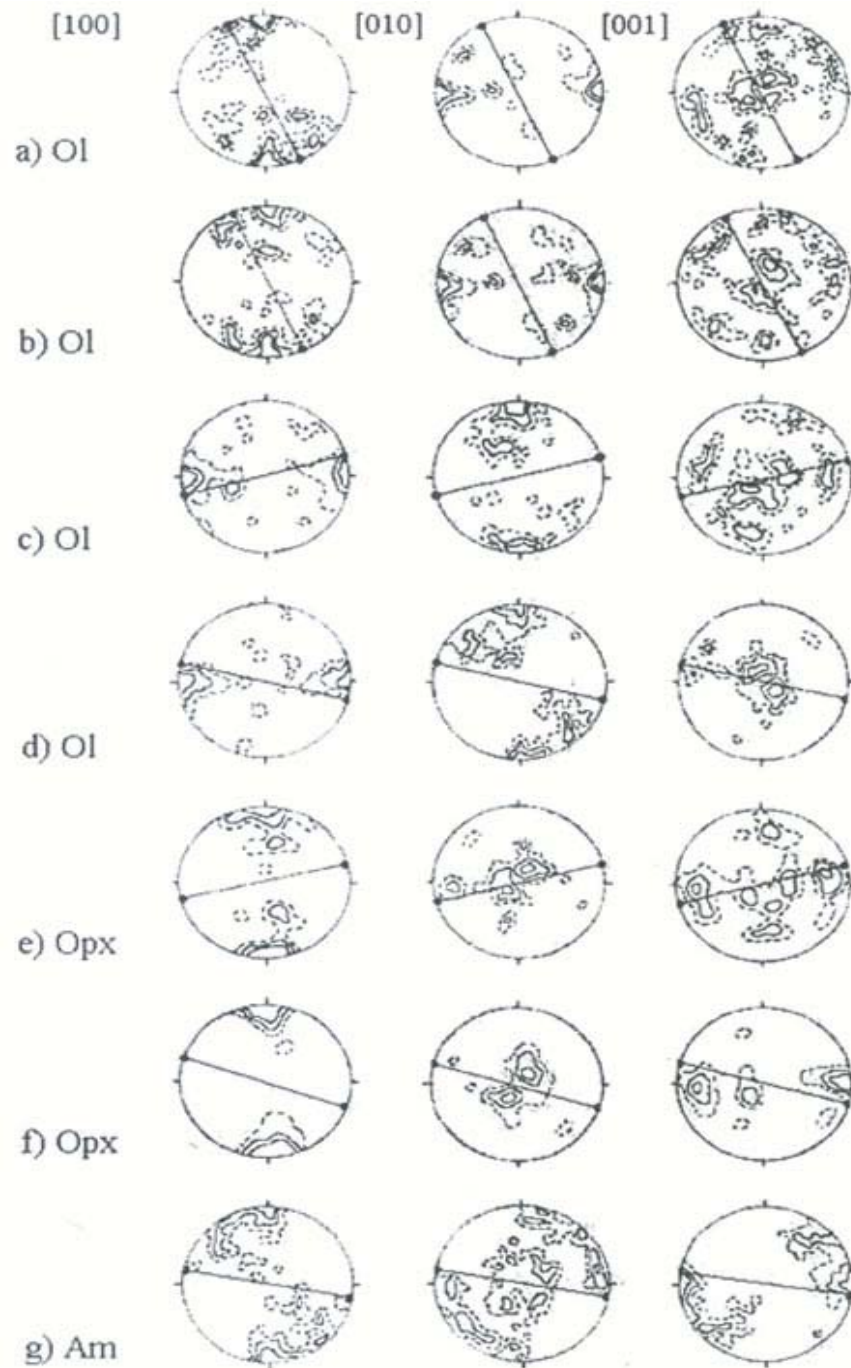
شکل 4- نقشه زمین شناسی مجموعه افیولیت نیریز. در این نقشه محل مطالعات انجام شده با دایره نشان داده شده است. در این دایره‌ها (Am) آمفیبول، (Ol) الیون، (Hz) برگوارگی هارزبورژیت و (Ra) رادیولاریته‌های چین خورده است. همچنین موقعیت نمونه برداریها از باختر سیوند بر روی نقشه راهنمای فوق و شکل 7 نشان داده شده است (اقتباس از Nadimi, 2002).

جدول 1- مقادیر مختلف K (الف) و C (ب) و نوع الگوهای پراکنندگی نمونه‌ها (اقتباس از Woodcock, 1977).

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



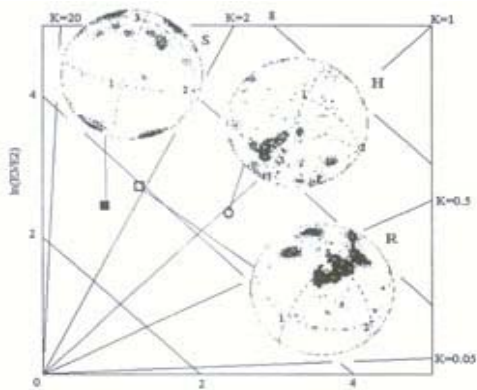
شکل 5- نمودار فلین و تصاویر استریوگرافیکی محورهای a و c نمونه‌های الیون (Ol) و آمفیبول (Am) به ترتیب در بخش‌های الترامافیک و مافیک توالی افیولیت نیریز. تصاویر استریوگرافیک مربوط به نیمکره پایینی و خطوط تراز تراکم‌های 1، 4 و 8% و شماره‌های 1، 2 و 3 به ترتیب محل ویژه بردارها را نشان می‌دهند.



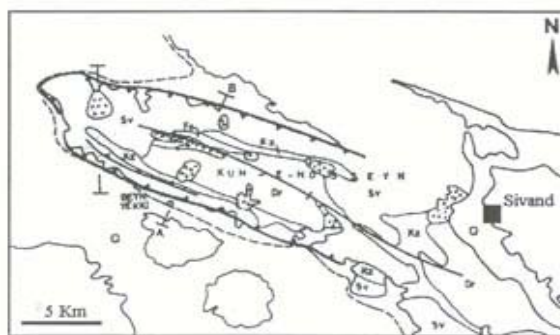
شکل 6- تصاویر استریوگرافیک محوره‌های a, b و c نمونه‌های الیون (Ol)، ارتوپروکسن (Opx) در بخش الترامافیک و آمفیبول (Am) در بخش مافیک توالی افیولیت نیریز. در این تصاویر خطها و نقاط نشان دهنده خطواره و برگواره در نمونه‌ها است. تصاویر استریوگرافیک مربوط به نیمکره پایینی و خطوط به ترتیب تراز تراکم‌های 1، 4 و 8% را نشان می‌دهد (افتباس از Nadimi, 2002).







شکل 8- نمودار فلین و تصاویر استریوگرافیکی شیب و راستاهای ساختارهای مطالعه شده در سنگهای آهکی لایه لایه غرب سیوند (S)، برگوارگی هارزبورژیتی مجموعه افیولیت نیریز (H) و رادیولاریتهای چین خورده منطقه نیریز (R). تصاویر استریوگرافیک مربوط به نیمکره پایینی و خطوط تراز به ترتیب تراکمهای 1، 4 و 8% و شماره‌های 1، 2 و 3 به ترتیب محل ویژه بردارها را نشان می‌دهند.



شکل 7- نقشه زمین شناسی تاق‌دیس کوه حسین در غرب سیوند، استان فارس. موقعیت این نقشه در شکل 4 نشان داده شده است. در این نقشه (Sm) سازند سورمه، (Fa) فهلیان، (Gd) گدوان، (Dr) داریان، (Kz) کزدمی، (Sv) سروک و (Q) آبرفت است. (اقتباس از ندیمی و همکاران، 1378).

جدول 2- ویژه بردارها و ویژه بردارها (1)، مقادیر K و C و نوع الگوی پراکندگی ریزساختارهای مطالعه شده (2) در نمونه‌های آمفیبول (الف) و الیون (ب). در این جدول بخشهای بالایی مربوط به محور a و بخشهای پایینی مربوط به محور C است. الف- ویژه بردارها و ویژه بردارها در بلور آمفیبول ب - ویژه بردارها و ویژه بردارها در بلور الیون

مقدار ویژه	میل	رودک	بردار ویژه
1	128	12	13-665
2	220	3	26-443
3	348	78	99-892

مقدار ویژه	میل	رودک	بردار ویژه
1	253	12	22-633
2	73	78	37-679
3	343	0	162-69

مقدار ویژه	میل	رودک	بردار ویژه
1	80	20	23-502
2	280	70	46-714
3	174	3	69-782

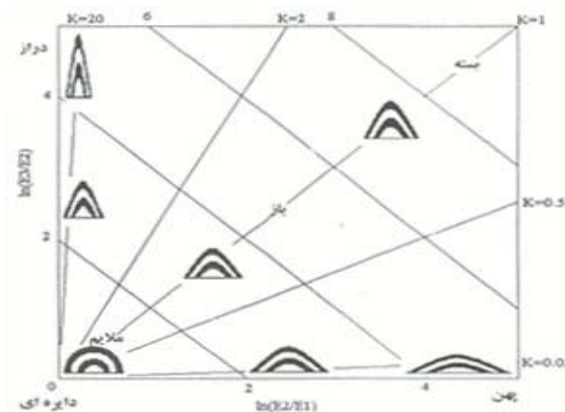
مقدار ویژه	میل	رودک	بردار ویژه
1	320	13	39-233
2	83	74	62-590
3	233	5	120-88

مقدار ویژه	میل	رودک	بردار ویژه
1	80	20	23-502
2	280	70	46-714
3	174	3	69-782

مقدار ویژه	میل	رودک	بردار ویژه
1	320	13	39-233
2	83	74	62-590
3	233	5	120-88



شکل 9- 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. 1377- تحلیل ریزساختاری حرکت پلاستیکی گوشته فوقانی و زونهای برشی افیولیت نیریز، پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه شیراز، 135 صفحه.

ندیمی، یوسفی و کارگر، 1378- بررسی عوامل تکتونیکی زمین لغزشهای تاقدیس کوه حسین، غرب سیوند، استان فارس. اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. صفحه 259-265.

**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

