

اندازه‌گیری ضریب مغناطیس پذیری و ناهمسانگردی به منظور تعیین بافت سنگ

حسرو حجتی* و ناصر حسین زاده گویا**

چکیده

این تحقیق به منظور یافتن ارتباط بین ضریب مغناطیس پذیری و ناهمسانگردی آن با ساختار سنگ و زمین‌شناسی منطقه و کرنش حاکم بر منطقه و همچنین روابط بین آنها صورت گرفته است. برای این منظور، ساختار مغناطیسی نمونه‌های مختلف از ۶ محل در آبراهه شمالی امام زاده علی واقع در بین جاده رینه و جاده اصلی تهران-آمل در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال شرق تهران، اندازه‌گیری و محاسبه شد. این کار به روش جدید اندازه‌گیری ضریب مغناطیس پذیری و ناهمسانگردی آن انجام شد که مبتنی بر تنسورهای مرتبه دومی است که برای بیضوی ضریب مغناطیس پذیری و ناهمسانگردی آن تعریف شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیریها با سایر تحقیقات مقایسه و معلوم شد که اندازه‌گیری ضریب مغناطیس پذیری سریع‌تر و راحت‌تر از روشهای زمینساختی، جنبه ساختاری منطقه را مشخص می‌کند. مخصوصاً چون بیضوی مغناطیس پذیری با بیضوی کرنش تطابق دارد می‌توان کرنش حاکم بر منطقه را تعیین نمود، در صورتی که روشهای برآورد مستقیم بیضوی کرنش خیلی سخت و طولانی است.

کلید واژه‌ها: ضریب مغناطیس‌پذیری^۱، ناهمسانگردی^۲، آتشفشان دماوند^۳، بیضوی کشیده^۴، بیضوی پهن^۵، ساختار مغناطیسی^۶ و ساختار سنگ^۷

۱ مقدمه

تحقیقات درباره ضریب مغناطیس‌پذیری میدان ضعیف و ناهمسانگردی آن در انواع سنگها و کاربرد آن در زمین‌شناسی و ژئوفیزیک دیرزمانی است که صورت گرفته است (فولر^۸ ۱۹۶۳، بورادایل^۹ ۱۹۸۸ و روش و ابورگ^{۱۰} ۱۹۹۲). گیردلر^{۱۱} (۱۹۶۱) نشان داد که ناهمسانگردی ضریب مغناطیس‌پذیری^{۱۲} (AMS) باید به عنوان تنسور مرتبه دوم بیان شود. به این ترتیب که با

شدت مغناطیسی تولید شده در ماده (J) به طور خطی با میدان بکار رفته (H) متناسب است. ضریب مغناطیس‌پذیری (K) با نسبت J/H برابر است. ضریب مغناطیس‌پذیری توده سنگ به طور عمده به وسیله حضور ذرات مگنتیت کنترل می‌شود، حتی اگر کانیهای مغناطیسی دیگری نیز وجود داشته باشند. تغییر ضریب مغناطیس‌پذیری در راستاهای مختلف را ناهمسانگردی گویند.

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Susceptibility | 2. Anisotropy |
| 3. Damavand volcano | 4. Prolate ellipsoid |
| 5. Oblate ellipsoid | 6. Magnetic fabric |
| 7. Fabric | 8. Fuller |
| 9. Borradaile | 10. Rochette & Aubourg |
| 11. Girdler | |
| 12. Anisotropy of Magnetic Susceptibility | |

* دانشگاه پیام نور - مرکز آموزشی اصفهان، صندوق پستی ۱۱۷-۸۱۴۶۵، اصفهان.
** موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵، تهران.

جدول ۱. ضرایب مختلف حاصل از اندازه گیری ضریب مغناطیس پذیری

علامت اختصاری	فرمول	شرح
A_v	$(K_1 + K_2 + K_3)/3$	میانگین ضریب مغناطیس پذیری
%Anisotropy	$((K_3 - K_1)/A_v)/100$	درصد ناهمسانگردی
Lin	$(K_3 - K_2)/A_v$	بخط شدگی مغناطیسی
Fol	$(((K_3 + K_2) / 2) - K_1) A_v$	تورق مغناطیسی
Q	$(K_3 - K_2)/0.5(K_3 + K_2) - K_1$	پارامتر Q
E	$K_2^2/K_3.K_1$	بیضویت
P_1	K_3/K_2	درجه بخط شدگی
P_2	K_3/K_1	ناهمسانگردی
P_3	K_2/K_1	درجه تورق

به وسیله این ضرایب و تعیین ناهمسانگردی ضریب مغناطیس پذیری در هر منطقه می توان مطالعات سنگ را با دقت بیشتری انجام داد و کرنش^۲ حاکم بر منطقه را تشخیص داد. ضرایب مذکور بر اساس تعاریف جلینگ^۳ (۱۹۸۱) و فلین^۴ (۱۹۶۲) محاسبه و تفسیر شده است. (K_3, K_2, K_1) به ترتیب مقادیر بیشینه، متوسط و کمینه ضریب مغناطیس پذیری هستند).

۲ عملیات صحرائی و آزمایشگاهی

منطقه مورد تحقیق در طول جغرافیایی $۳۵^{\circ} ۵۲/۶'$ شرقی و عرض جغرافیایی $۵۲^{\circ} ۷/۸'$ شمالی و در ارتفاع بین ۲۳۰۰ تا ۲۴۰۰ متری از سطح دریا در دامنه جنوبی آتشفشان دماوند و در آبراهه شمال امام زاده علی جاده اصلی تهران-آمل قرار دارد و از شمال به جاده رینه و از جنوب شرقی به عباس آباد (غرب روستای اسک) محدود می شود. گدازه های مورد مطالعه مربوط به دوران کواترنر است که ترکیب آنها بازیک

فرض یک دستگاه مختصات متعامد (x, y, z) و با اندازه گیری در جهات مختلف محورها، مقادیر K_{ij} ($i, j=1, 2, 3$) بدست می آیند که در مدل ریاضی برای هر i, j ، $K_{ij} = K_{ji}$ است. در نتیجه تنسوری بدست می آید که متقارن است و نه کمیت K_{ij} به شش کمیت تقلیل می یابد و نهایتاً تنسور مرتبه دوم حاصل می شود. مقادیر حاصل را K_{11}, K_{33}, K_{22} می نامند که در حقیقت همان مقادیر K_{min}, K_{max} می باشند و هریک دارای اندازه و جهت می باشند. مجموعه این مقادیر را ساختار مغناطیسی گویند. مطالعات اکثراً بر موارد زیر متمرکز شده است. ۱- رابطه بین دامنه ضریب مغناطیس پذیری و سنگ شناسی منطقه (بوچز^۱ و همکاران، ۱۹۹۰). ۲- رابطه بین ناهمسانگردی ضریب مغناطیس پذیری (AMS) و ساختار پایدار مغناطیسی (بوچز و همکاران، ۱۹۹۰). در این تحقیق با اندازه گیری ضریب مغناطیس پذیری و محاسبه ضرایب مختلف (جدول ۱)، ساختار مغناطیسی تعیین و سپس نشان داده می شود که

1. Bouchez
2. Strain
3. Jelink
4. Fllin

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری توسط دستگاه MS₂ و حاصل محاسبات ضرایب بیضوی ضریب مغناطیس‌پذیری نمونه‌های مورد آزمایش منطقه تحقیق

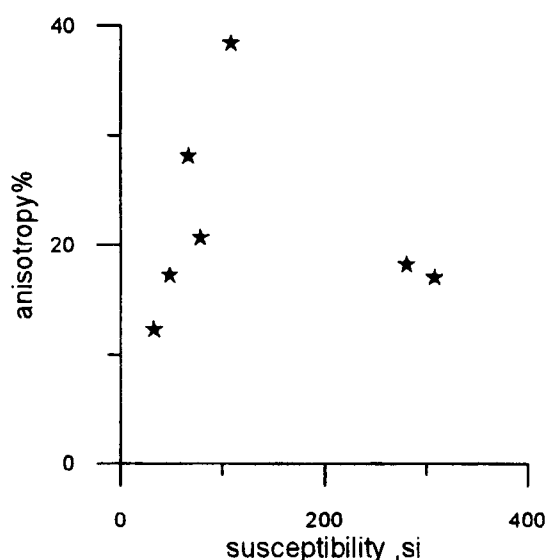
نام نمونه	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
K _{min} SI	۰/۰۰۱۲۱۳	۰/۰۰۷۵۳۵	۰/۰۰۱۱۹۵	۰/۰۰۱۵۳۱	۰/۰۰۵۱۹۲	۰/۰۰۵۵۵۲
K _{int} SI	۰/۰۰۱۲۶۸	۰/۰۰۷۷۳۱	۰/۰۰۱۲۵۴	۰/۰۰۱۶۵۸	۰/۰۰۵۴۳۳	۰/۰۰۵۶۵۳
K _{max} SI	۰/۰۰۱۵۲۵	۰/۰۰۸۵۵۷	۰/۰۰۱۵۰۰	۰/۰۰۲۱۲۴	۰/۰۰۶۲۱۸	۰/۰۰۶۶۳۴
AV SI	۰/۰۰۱۳۳۵	۰/۰۰۷۹۴۱	۰/۰۰۱۳۱۶	۰/۰۰۱۷۷۱	۰/۰۰۵۶۱۴	۰/۰۰۵۹۴۷
%Anisotropy	۲۷/۳۳	۱۲/۸۸	۲۳/۲۱	۳۸/۵۱	۱۸/۲۸	۱۸/۲۰
Lin	۰/۱۹۳	۰/۱۰۴	۰/۱۸۷	۰/۲۶۳	۰/۱۴۰	۰/۱۶۵
Fol	۰/۰۱۳۷	۰/۰۰۷۷	۰/۰۱۳۹	۰/۲۰۳	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۹۹
E	۰/۸۶۹	۰/۹۲۷	۰/۸۷۸	۰/۸۴۵	۰/۹۱۴	۰/۸۶۸
P ₁	۱/۲۰۲۸۴	۱/۱۰۶۹۴	۱/۱۹۶۰۹	۱/۲۸۱۲۴	۱/۱۴۴۵۰	۱/۱۷۳۵۴
P ₂	۱/۱۹۴۸۸	۱/۱۹۷۷۱	۱/۳۸۷۶۹	۱/۲۵۵۶۸	۱/۱۳۵۷۱	۱/۲۵۷۲۶
P ₃	۱/۰۴۵۲۴	۱/۰۲۵۹۹	۱/۰۴۹۸۲	۱/۰۸۳۰۹	۱/۰۴۶۵۱	۱/۰۱۸۱۹
* درصد کانی‌مگنتیت	۱۰	۱۰	۱۴	۱۶	۶	۲/۵
* حداکثر اندازه ذرات کانی مگنتیت‌اند	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۱ و اکثرآ ۰/۰۱

مستقل می‌باشند. حفاریها به وسیله مته مخصوص انجام و مغزه‌هایی به قطر ۲/۵ سانتیمتر در محل برداشت شد. قبل از برداشت، این مغزه‌ها در محل علامت گذاری می‌شوند (جدول ۲). از مغزه‌های حاصل نمونه‌هایی به ارتفاع ۲/۲ سانتیمتر تهیه شد که اندازه آنها برای دستگاههای اندازه‌گیری مناسب می‌باشند. بدین ترتیب از ۷ محل مغزه حفاری شد و از بعضی مغزه‌ها بیش از یک نمونه آزمایشگاهی بریده شد. سپس نمونه‌ها با دستگاه اندازه‌گیری ضریب مغناطیس‌پذیری (MS₂) آزمایشگاه دیرینه مغناطیس‌موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران اندازه‌گیری شدند. با این دستگاه می‌توان از هر

و خد واسط است و بیشتر شامل بازالت^۱ قلیایی^۲ اولوین^۳ دار و تراکی آندزیت و بطور کلی انواع کانیهای فرومنیزین^۴ است. آلن باخ^۵ (۱۹۷۰) سنگهای منطقه را از نوع تراکی آندزیت و گاهی بین تراکی آندزیت و تراکیت و به ندرت تراکیتی حاصل از تفریق ماگمایی، معرفی کرده است. ضخامت این روانه‌های گدازه در حدود ۱۵ متر است. با توجه به محدوده منطقه مورد تحقیق (مساحت حدود ۱ کیلومتر مربع) از نظر زمین شناسی همه نمونه‌ها از یک محل برداشته شده‌اند. از طرفی چون فاصله هر دو مکان نمونه‌برداری در حدود ۱۰۰ متر انتخاب شده، حفاریهای مربوط به هر محل

1. Basalt
2. Alkaline
3. Olivine
4. Ferromagnesian
5. Allenbach

* این مقادیر حاصل از اندازه‌گیریهای میکروسکوپی است.



شکل ۱. تغییرات درصد ناهمسانگردی نسبت به ضریب مغناطیس پذیری منطقه تحقیق.

بدیهی است که به عواملی مثل فراوانی مقادیر آب، اکسیژن فرار، فعالیت‌های ماگمایی نیز می‌تواند بستگی داشته باشد (ویلسون، ۱۹۹۸). در نتیجه برای تایید نقشه‌های سنگ‌شناسی منطقه، دامنه ضریب مغناطیس‌پذیری می‌تواند ابزار قابل اعتمادی باشد. این موضوع در نمودار P_1 نسبت به P_3 شکل ۲ نشان داده شده است، زیرا بیضوی‌ها همگی دارای کشیدگی هستند. در مورد منطقه مورد تحقیق هوسن^۱ و پلوئیجم^۲ ۱۹۹۱، بیضویها همگی پهن گزارش شده‌اند (شکل ۳).

بعلاوه نمودار P_2 بر حسب نمونه‌ها و تغییرات کم آن نشان دهنده تغییر شکل بسیار کم منطقه است (شکل ۴). سینگ^۸ و همکاران ۱۹۷۵ نمودار مشابهی در مورد منطقه مورد تحقیق خود رسم

نمونه در جهات مختلف (ترجیحا ۱۲ جهت) چند بار ضریب مغناطیس پذیری را اندازه‌گیری نمود. بعلاوه دستگاه به کامپیوتر متصل است و نرم‌افزار موجود (موریس^۱، ۱۹۹۳) ضرایب جدول ۱ را محاسبه می‌نماید که نتایج آن در جدول ۲ منعکس است.

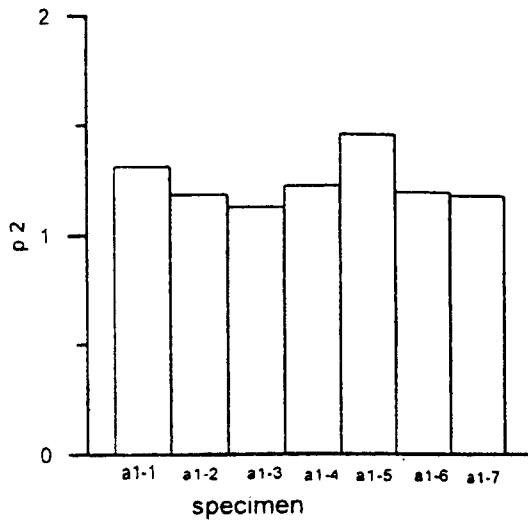
علاوه بر این با استفاده از مقاطع نازک - صیقلی تهیه شده از سنگهای منطقه و مطالعه آنها با میکروسکوپ پلاریزان مدل ZEISS JENALAB، کانیهای کدر^۲ و درصد کانی مگنتیت که مهم‌ترین عامل مغناطیدگی سنگها است، با روش نور انعکاسی تعیین گردید (جدول ۲). جداول و منحنی‌ها و محاسبات مربوطه نشان می‌دهند که در حدود ۷۲٪ نمونه‌ها دارای ضریب مغناطیس پذیری نزدیک به هم می‌باشند، با وجودی که درصد کانی مگنتیت در آنها خیلی متفاوت است و از ۶ تا ۱۶٪ تغییر می‌کند. دامنه تغییرات ناهمسانگردی ضریب مغناطیس پذیری در این نمونه‌ها متناسب با ضریب مغناطیس پذیری است و این نکته قابل توجه است که هیچگونه تغییرات سیستماتیک وجود ندارد (شکل ۱).

با توجه به ضرایب فلین (۱۹۶۲) و جلینگ (۱۹۸۱) بیضوی‌های مغناطیسی نمونه‌ها همگی کشیده هستند. بنابراین وجود ابهام در رابطه ضریب مغناطیس پذیری و موقعیت زمین‌شناسی طبق فرضیه آرکانجو^۳ و همکاران و جنوفروی^۴ و همکاران، که در مقاله ویلسن^۵ (۱۹۹۸) ذکر شده، در این ناحیه رفع می‌گردد.

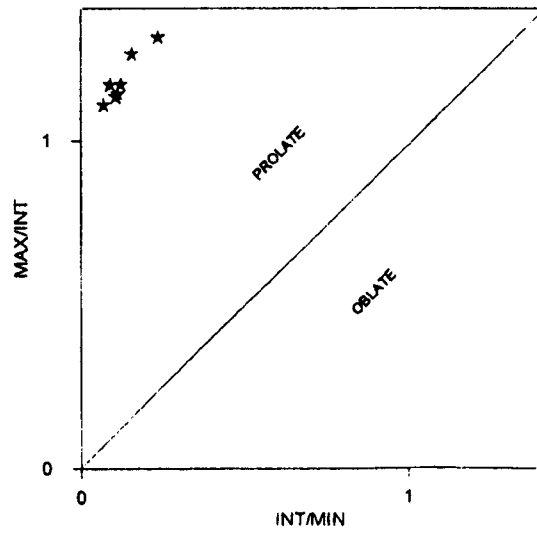
بنابراین دامنه ضریب مغناطیس‌پذیری مستقیما می‌تواند با تغییرات سنگ‌شناسی مربوط باشد،

1. Morris
3. Arcanjo
5. Wilson
7. Pluijm

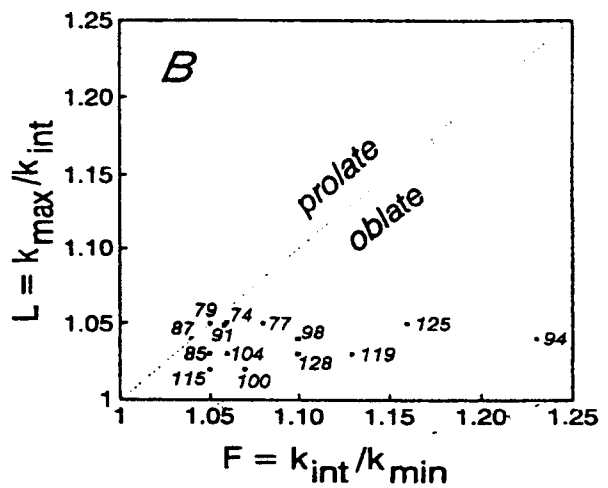
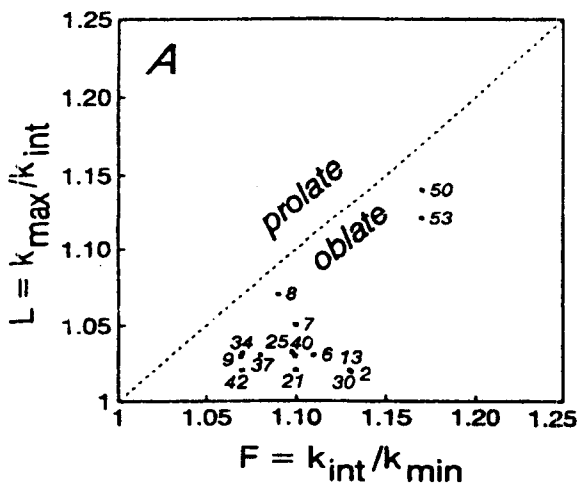
2. Opac
4. Jenoffroy
6. Housen
8. Singh



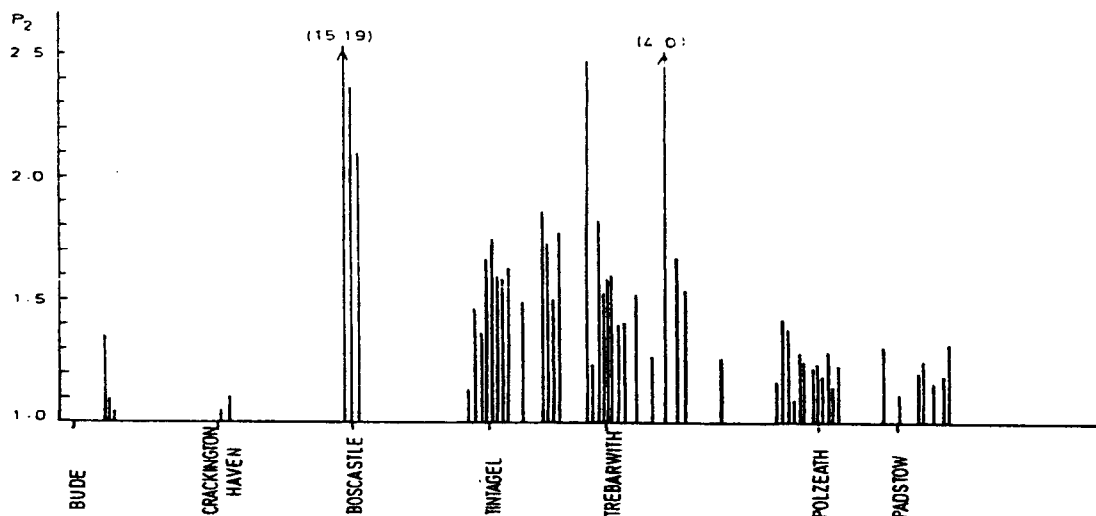
شکل ۴. تغییرات بسیار کم متغیر P_2 در نمونه‌های مختلف منطقه تحقیق، نشان دهنده تغییر شکل خیلی ناچیز است.



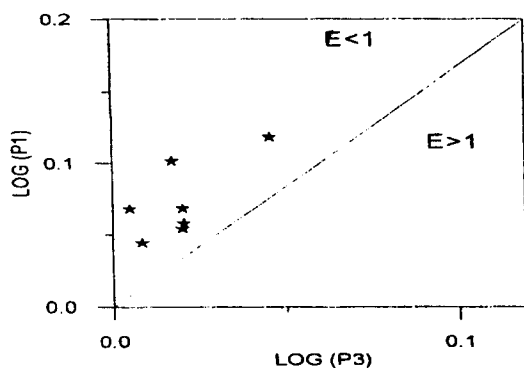
شکل ۲. تغییرات P_1 نسبت به P_3 و قرار گرفتن همه نقاط در ناحیه کشیدگی منطقه تحقیق.



شکل ۳. نمودار فیلین مربوط به شکل بیضوی منطقه مورد تحقیق هوسن و پلونیجم (۱۹۹۱).



شکل ۵. نمودار تغییرات P_2 برای نمونه‌های مورد آزمایش سنگ (۱۹۷۵).



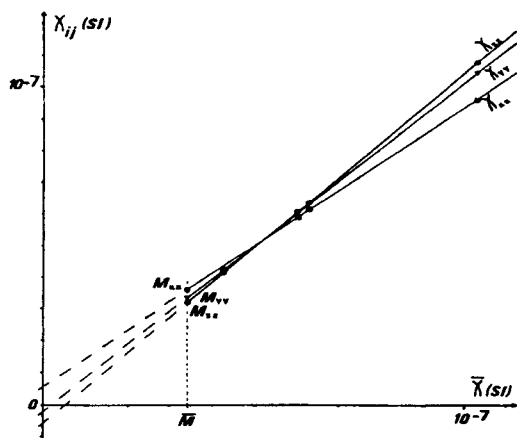
شکل ۶. تغییرات $\text{Log}(P_1)$ نسبت به $\text{Log}(P_3)$ نشان می‌دهد که همگی نمونه‌های منطقه تحقیق دارای بیضویت کمتر از ۱ ($E < 1$) است.

بسیار کم و ثابا با افزایش مقادیر K_{mean} افزایش فاصله بسیار ناچیز است و در نتیجه اولاً ناهمسانگردی منطقه بسیار کم بوده و ثابا دارای کرنش همگنی است (شکل ۷). هنری^۱ (۱۹۸۳) نموداری مشابه برای منطقه تحقیق خود رسم نموده است (شکل ۸).

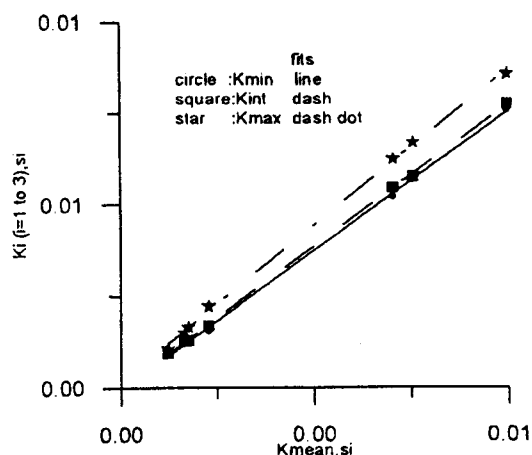
نموده‌اند (شکل ۵).

این موضوع بوسیله مشاهده مقاطع نازک - صیقلی تهیه شده از نمونه سنگ‌ها و نیز اندازه‌گیری مقادیر ناهمسانگردی ضریب مغناطیس پذیری و شدت متوسط حجمی به اثبات رسید (شکل ۶). با توجه به نمودار می‌توان نتیجه گرفت که در این منطقه با چنین اندازه‌گیری‌هایی می‌توان جنبه ساختاری و سنگ‌شناسی را مورد بررسی قرار داد. بعلاوه با توجه به شکل بیضوی‌های کشیده، به نظر می‌رسد که کرنش موجود در ناحیه همگن بوده ولی به علت پراکندگی داده‌ها ممکن است فعل و انفعالات مغناطیسی پیچیده دیگری نیز وجود داشته باشد (ویلسن، ۱۹۹۸).

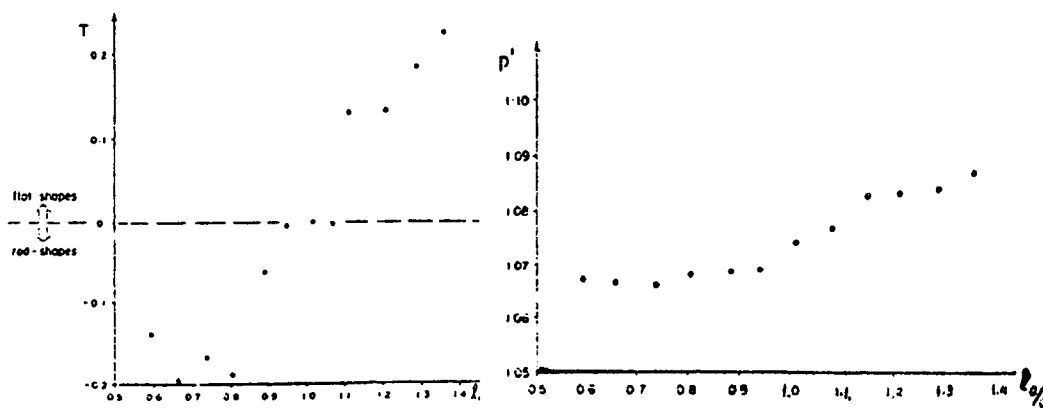
بنا به پیشنهاد بورادایل (۱۹۸۸) نمودارهای K_{min} ، K_{int} ، K_{max} را در یک دستگاه مختصات نسبت به \bar{K} رسم نمودیم. طبق نظر ایشان در نمودارهای رسم شده مربوط به این منطقه مشاهده می‌شود که اولاً بطور کلی فاصله خطوط



شکل ۸. نمودار تغییرات K_{min} , K_{max} , K_{int} نسبت به K_{mean} هنری (۱۹۸۳) در این شکل χ_{ij} نشان دهنده محوری است که سه ضریب K_{max} و ... را نشان می‌دهد و K_{mean} محور است.



شکل ۷. تغییرات سه مقدار ضریب مغناطیس‌پذیری ماکزیمم و مینیمم و متوسط نمونه‌های منطقه تحقیق نسبت به میانگین آنها که هر دسته از نقاط بوسیله یک خط برازش شده‌اند.



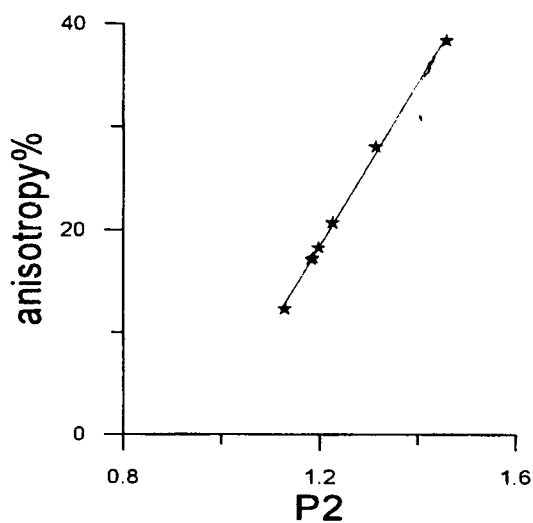
شکل ۹. تغییرات پارامترهای T , P' نسبت به تغییرات L/D (نسبت طول به قطر) نمونه‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است (بورادایل ۱۹۸۷).

$$T = \left[\frac{2(\ln K_{max} - \ln K_{int})}{(\ln K_{int} - \ln K_{min})} \right] - 1 \quad (1)$$

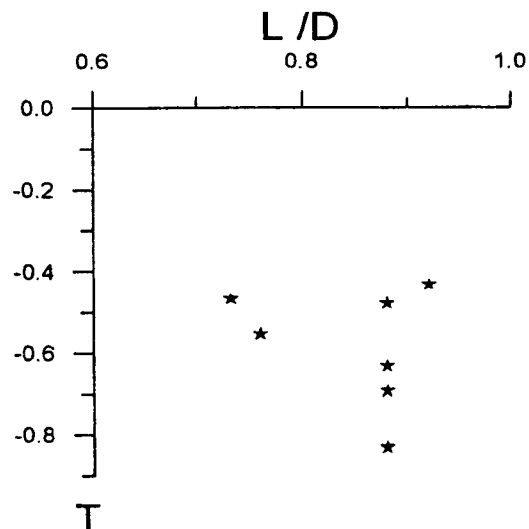
$$P' = \exp \left[\sqrt{2(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)} \right], a_1 = \ln(K_{max}/K_{mean}), \dots \quad (2)$$

با توجه به شکل ۱۲ تغییرات P_2 نسبت به

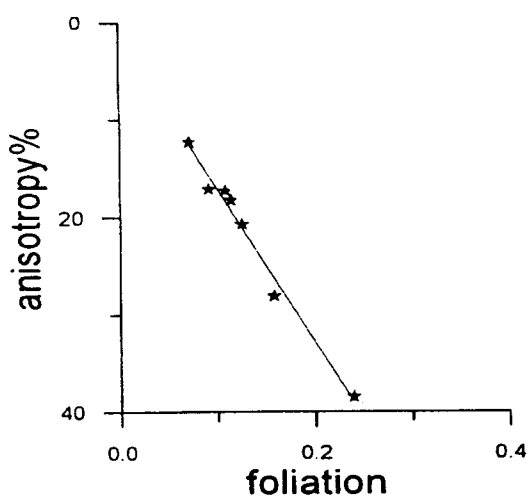
مطابق اظهارات بورادایل (۱۹۸۷)، (شکل ۹) و براساس رسم نمودار تغییرات L/D نسبت به T , P' ملاحظه می‌شود که در ناحیه اندازه‌گیری ما این تغییرات تاثیر مستقیمی بر T , P' ندارد (شکل ۱۰ و ۱۱).



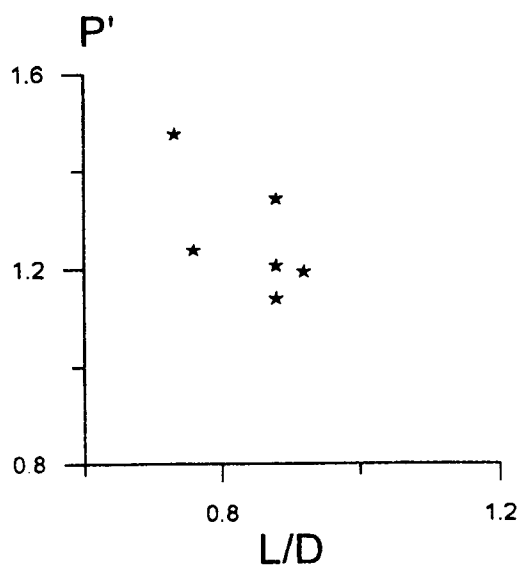
شکل ۱۲. تغییرات درصد ناهمسانگردی نسبت به P_2 و خط برازش شده به آنها در مورد منطقه تحقیق.



شکل ۱۰. تغییرات پارامتر T نسبت به L/D (نسبت طول به قطر نمونه) منطقه تحقیق



شکل ۱۳. تغییرات درصد ناهمسانگردی نسبت به Fol و خط برازش شده به آنها در مورد منطقه تحقیق.



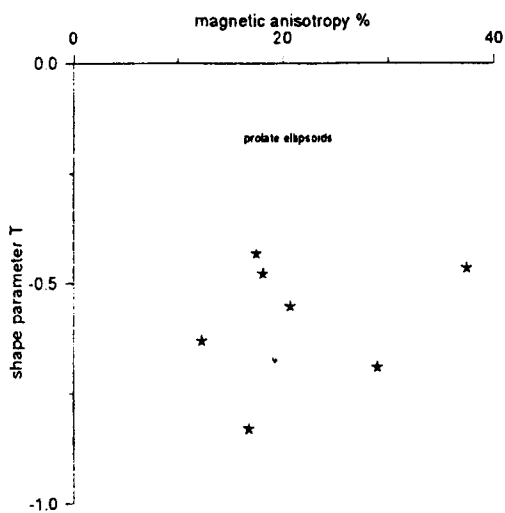
شکل ۱۱. تغییرات پارامتر P' نسبت به L/D منطقه تحقیق

نسبت به درصد ناهمسانگردی با مقادیر $A = 1$ ،
 $B = 161$ خطی بوده به نقاط برازش می شود.
 با توجه به شکل ۱۴ تغییرات به خط شدگی
 (Lin) نسبت به درصد ناهمسانگردی با $A = -0.5$ ،
 $B = 128$ خطی بوده به نقاط برازش می شود.

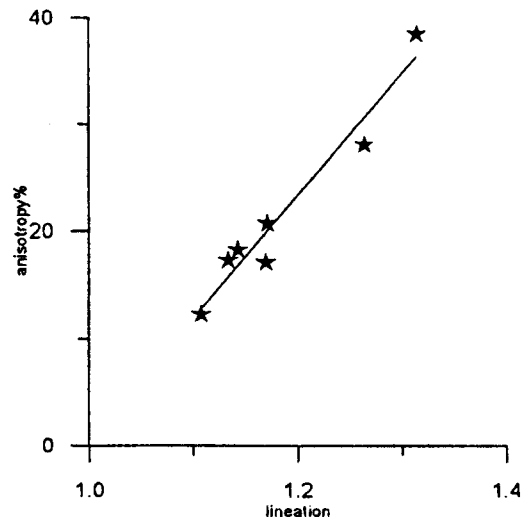
ناهمسانگردی بر اساس فرمول خطی (۳) با
 $A = -78$ و $B = 80$ خطی است و خط حاصل به
 نقاط برازش می شود.

$$y = A + BX \quad (3)$$
 با توجه به شکل ۱۳ تغییرات تورق (Fol)

تغییرات پارامتر شکل نسبت به درصد ناهمسانگردی نمونه‌های مورد تحقیق در شکل (۱۵) رسم گردیده است که نشان می‌دهد همه مقادیر منفی است. نمودار مشابهی ویلسون ۱۹۹۸ برای منطقه تحقیق خود رسم کرده است (شکل ۱۶).



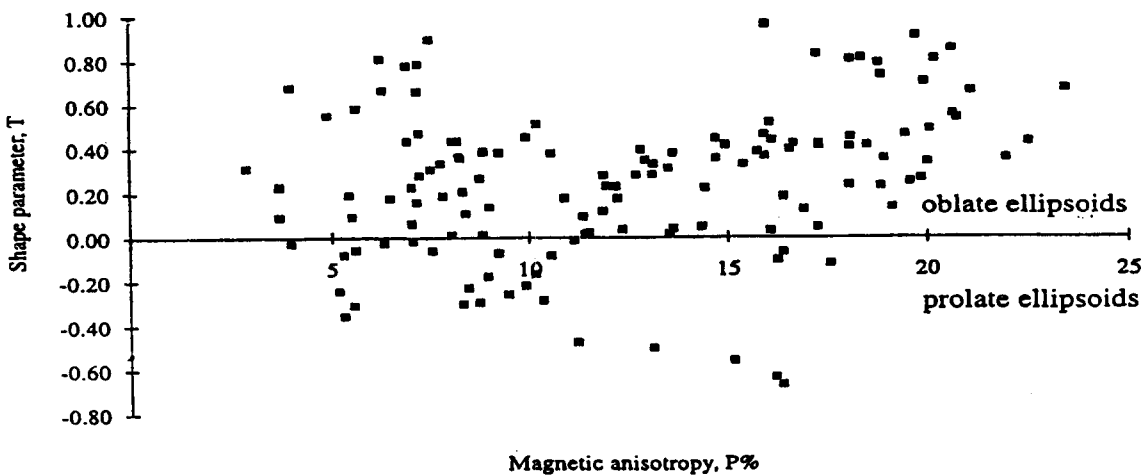
شکل ۱۵. نمودار تغییرات پارامتر شکل T نسبت به درصد ناهمسانگردی منطقه مورد تحقیق.



شکل ۱۴. تغییرات ناهمسانگردی نسبت به بخت شدگی و خط برازش شده به نقاط در مورد منطقه تحقیق.

همچنین با تقریب ۰/۰۱ با توجه به شکل ۷ روابط زیر را در مورد $K_{mean}, K_{min}, K_{int}, K_{max}$ می‌توان نوشت

$$K_{min} = K_{mean} = K_{int}, K_{max} = 1.1 K_{mean} \quad (۴)$$



شکل ۱۶. نمودار تغییرات پارامتر شکل T برحسب درصد ناهمسانگردی (ویلسون ۱۹۹۸).

نتیجه گیری

طبق نظرات هوسن و پلوئیجم، ۱۹۹۱، در مورد منطقه مورد تحقیق ایشان بیضوی‌های ضریب مغناطیس پذیری در آن منطقه همگی پهن هستند. آنها اینگونه مناطق را «پهن مغناطیسی» و اگر بیضوی‌ها همگی کشیده باشند «کشیده مغناطیسی» می‌نامند. در هر حال اگر در منطقه‌ای همه بیضوی‌ها از یک نوع باشند منطقه دارای کرنش همگنی است و با تغییر بیضوی‌های مغناطیسی، کرنش نیز تغییر می‌کند. با مقایسه نظرات هوسن و پلوئیجم ۱۹۹۱ با بیضوی‌های منطقه مورد تحقیق نتیجه می‌شود که منطقه «کشیده مغناطیسی» است و کرنش حاکم بر این منطقه همگن است که با اظهارات سینگ و همکاران (۱۹۷۵) و بورادایل (۱۹۸۷ و ۱۹۸۸) نیز وفق دارد. البته این موضوع و بسیاری از مطالب دیگر در مناطق مختلف بررسی شده و گاهی تایید و گاهی رد گردیده است، و اکثر نگارندگان اظهار می‌دارند که موضوع جهانی نیست و در هر منطقه بطور مستقل باید بررسی شود.

ویلسون (۱۹۹۸) در تحقیق خود نمودار تغییرات «ضرایب شکل T» را نسبت به درصد ناهمسانگردی رسم نموده است و اظهار می‌دارد که ضریب مغناطیس پذیری ابزار غیر قابل اعتمادی برای تایید نقشه‌های سنگ شناسی است. اما مطالعات ما در این منطقه نشان می‌دهد که T برای همه نمونه‌ها منفی است، در نتیجه دقیقاً قابلیت اعتماد به ضریب مغناطیس پذیری را برای تایید نقشه‌های سنگ شناسی بیان می‌کند که با اظهارات بوچز و همکاران (۱۹۹۰) نیز مطابقت دارد.

هنری (۱۹۸۳) در مورد منطقه تحقیق خود

برای هر کدام از K_{min} ، K_{max} و K_{int} نسبت به K_{mean} نموداری رسم نمود و به هر دسته از نقاط حاصل، یک خط برازش داد، و چنین نتیجه گرفت که چون فواصل خطوط نسبت به افزایش K_{mean} افزایش می‌یابد، در منطقه ناهمسانگردی وجود دارد.

با مقایسه نظرات هنری (۱۹۸۳) و داده‌های مربوط به منطقه مورد تحقیق نتیجه می‌شود که اولاً به راحتی مقادیر هر کدام از K_{max} ... نسبت به K_{mean} با یک خط برازش می‌شود یعنی با رابطه ۳ مطابقت دارد. ثانیاً با توجه به نزدیک بودن فواصل خطوط و تغییرات بسیار اندک آنها مجدداً نتایج قبلی تایید می‌گردد که ناهمسانگردی در منطقه ناچیز بوده و کرنش حاکم نیز همگن است. هنری (۱۹۸۹) مجدداً تحقیق مشابهی با همان نتایج ارائه داده است که تایید دیگری بر مطالب فوق است. دانسلپ و آرگیل^۱ (۱۹۹۷) در مقاله خود اظهار می‌دارند که بستگی ضعیفی بین اندازه ذرات کانی مگنتیت و ضریب مغناطیس پذیری وجود دارد.

سینگ (۱۹۷۵) تغییرات P_2 را برای نمونه‌های مورد آزمایش رسم نمود و از تغییرات زیاد آنها نتیجه گرفت که در منطقه مورد مطالعه وی تغییر شکل اتفاق افتاده است. برای بررسی تغییر شکل منطقه مورد مطالعه این تحقیق (آتشفشان دماوند)، نمودار تغییرات ضرایب P نسبت به همه نمونه‌های مختلف رسم شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود اختلافات بسیار ناچیز است. به علاوه مطالعه مقاطع نازک - صیقلی نمونه‌ها توسط میکروسکوپ، تبدیل مگنتیت به هماتیت را به ندرت و بسیار ناچیز نشان داد و در ضمن، تغییر شکل بافتی ناشی از اثر نیروهای

- magnetic susceptibility applied to emplacement kinematics of granites: *Tectonophysics*, **184**, 157-171.
- Dunlop, D. J. and Argyle, P., 1997, Thermoremanence, anhysteretic remanence and susceptibility of submicron magnetites: *J.G.R.*, **102**, B, 20199-20210.
- Flinn, D., 1962, On folding during three-dimensional progressive deformation: *Q. J. Geol. Soc. London*, **118**, 385-433.
- Fuller, M. D., 1963, Magnetic anisotropy and paleomagnetism. *J.G.R.* **68**, 293-309.
- Girdler, R.W., 1961, The measurement and computation of anisotropy of magnetic susceptibility of rocks: *Geophys. J.R. Astron. Soc.* **5**, 34-44.
- Henry, B., 1983, From qualitative to quantitative magnetic anisotropy analysis: *Tectonophysics*, **98**, 327-336.
- Henry, B., 1989, Magnetic fabric and orientation tensor of minerals in rocks: *Tectonophysics*, **165**, 21-27.
- Housen, B. A., and Pluijm, B. A., 1991, Slaty cleavage development and magnetic Anisotropy fabrics: *J.G.R.*, **96**, B6, 9937-9946.
- Jelink, V., 1981, Characterization of magnetic fabrics of rock: *Tectonophysics*, **79**, 563-567.
- Morris, W., 1993, Magnetic susceptibility anisotropy software for the Bartington MS2B susceptibility system: Canada.
- Rochette, G., and Aubourg, L., 1992, Rock زمینساختی نیز مشاهده نشد.
- مشاهدات مذکور با این واقعیت که اندازه‌های مورد مطالعه جوان و سن آنها هولوسن در نظر گرفته شده است، همخوانی دارد.
- بنابراین هر سه نوع بررسی مکمل و موید یکدیگر شدند و با اطمینان از ساختار مغناطیسی می‌توان در تشخیص و تعیین تغییر شکل کمک گرفت.
- تشکر و قدردانی
- از آقای دکتر جمشید حسن زاده و آقای پیمان سیاح به خاطر کمک‌هایی که در مطالعه مقاطع نازک - صیقلی نمودند، همچنین از آقای کامبیز طهیری که مقاطع نازک - صیقلی را تهیه نمودند تشکر می‌نمایم.
- همچنین از آقایان خمسه و قهوه ریز که در حفاری صحرائی کمک کردند متشکریم.
- منابع
- Allenbach, P., 1970, Geology and petrology of Mt. Damavand and its environment (Central Alborz), IRAN, Geological Survey of IRAN, Report 17, (Farsi translation).
- Borradaile, G., 1987, Relationship between magnetic susceptibility and strain: *Tectonophysics*, **133**, 3, 121-135.
- Borradaile, G., 1988, Magnetic susceptibility, Petrofabrics and Strain: *Tectonophysics*, **156**, 1-20.
- Bouchez, J. L., Gleizis, G., Djouadi, T., and Rochett, P., 1990, Microstructure and

magnetism and interpretation of anisotropy of magnetic susceptibility: *Rev. Geophys.*, **30**, 209-226.

Singh, J., Sanderson, D.J., and Tarling, D.H., 1975, The magnetic susceptibility anisotropy of deformed rocks from north Cornwall, England: *Tectonophysics*, **27**, 141-153.

Wilson, J., 1998, Magnetic susceptibility patterns in a Cordilleran granitoid: *J.G.R.*, **103**, B3, 5257-5267.