# کاربرد شیمی کانی درارزیابی شرایط حاکم بر تشکیل توده نفوذی وش، شمال غرب نطنز (اصفهان)

به آفرین شجاعی[1]*، علیخان نصر اصفهانی[2]، محمد هاشم امامی[3]

**چکیده:**

تـودهٔ گرانیتوئیـدی وش در شـمال غـرب شهرسـتان نطنـز واقـع شـده اسـت، ترکیـب سـنگ شناسـی آن گرانودیوریت تا تونالیت می باشد. پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، بیوتیت وآمفیبول کـانی هـای اصـلی ایـن تـودهٔ نفوذی است. براساس داده های ریز پردازش آمفیبولهای این توده از نوع کلسیک و ترکیـب آن هورنبلنـد منیـزیم دار می باشد. ترکیب پلازیوکلاز از آندزین تا لابرادوریت است. مطالعات زمین دما- فـشار سـنجی آمفیبـول - پلاژیـوکلاز نشانگر میانگین فشار حدود ۱/۴ کیلوبار و دمای ۷۴۴درجه سانتی گراد بر تودهٔ آذرین در زمان جـایگیری مـی باشـد. این شرایط با عمق حدود ۴ تا ۷ کیلومتری از سطح زمین تطابق دارد.

**کلید واژه:** گرانیتوئید وش، زمین دماسنجی، زمین فشار سنجی.

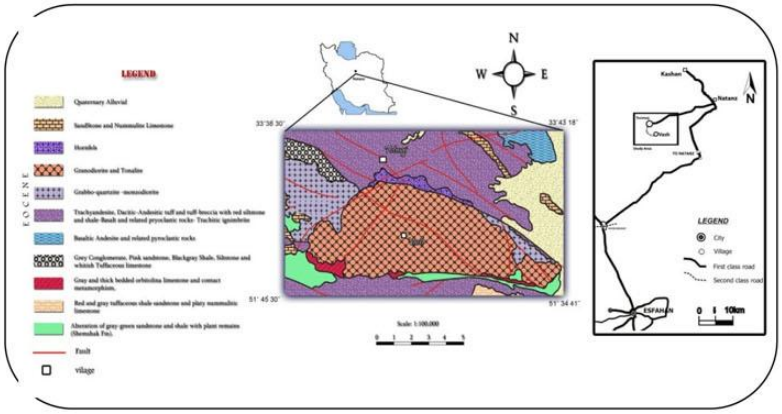
**مقدمه:**

تودهٔ نفوذی گرانیتوئیدی وش در ۶۳ کیلومتری شمال غرب شهر نطنز قـرار دارد(شـکل۱). کارهـای مطالعاتی زیادی بر روی ناحیه کاشان – اردستان و نطنز انجام شده است ولی از جملـه مهمتـرین تحقیقـات انجام شده در منطقه می توان به مطالعات زمین شناسی بر روی توده های نفوذی نطنز- کاشان توسط هونبر و مؤمن زاده [۲] و مطالعـات پترولـوژی توسـط شـیریان[۳] اشـاره کـرد وی بـر اسـاس ترکیـب شـیمیایی گرانیتوئیدهای کوه هیمند وهمچنین وش را کالکو آلکالن می داند. همچنین امین الرعایایی [۴] و کنعانیـان [۵] کانی شناسی، ژئوشیمی ایزوتوپ های پایدار و خاستگاه زمین ساختی سنگهای اطراف تودهٔ نفوذی مورد مطالعه را بررسی نمودند. در این مقاله سعی شده بر اساس ترکیب شیمیایی کانی های آمفیبول و پلاژیوکلاز شرایط فیزیکی جایگیری توده نفوذی وش شامل فشار و حرارت حاکم بر آن را ارزیابی گردد.

**زمین شناسی منطقه:** وذی وش بخـشی از زون سـاختاری آتشفـشانی- رسـوبی ارومیـه دختـر در اسـتان اصفهان می باشد. در نقشهٔ زمین شناسی 1:100000 چهار گوش نطنز سـنگهای منطقـه را تحـت عنـوان گرانودیوریت، تونالیت با سن الیگومیوسن معرفی نموده است کـه در سـنگهای آتشفـشانی ائوسـن و رسـوبی آهکی کرتاسه نفوذ کرده است [۱].گسل نطنز با امتداد شمال غربی جنوب شرقی بخش های شرقی و شمالی توده را قطع نموده است [۱]. این گرانیتوئید با مشخصات هندسی متوسـط عـرض ۵ و طـول ۱۵ بزرگتـرین

[1] - گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، ایران، *behafarin.shojaei@yahoo.com*
[2] - گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، ایران
[3] - گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، ایران

تودهٔ نفوذی منطقه نطنز می باشد که با رنگ خاکستری و حضور بلورهای نسبتاً درشت فرومنیزین در صحرا از سایر سنگهای آذرین قابل تشخیص است. از ویژگی های بارز صحرایی آن وجود آنکلاو آذرین با گسترش وسیع است اندازهٔ آنکلاوها متفاوت بوده واز چندسانتی متر تا بیش از نیم متر می رسد. ترکیب کانی شناسی آنکلاو و سنگهای نفوذی منطقه شباهت زیادی با هم دارند اما به دلیل ریز دانه بودن آنکلاو نسبت به سنگهای گرانیتوئیدی تیره تر به نظر می رسد و احتمالا نشان دهنده تبلور سریع آنهااست[۸].




شکل (۱) نقشه زمین شناسی توده نفوذی وش با تغییرات از [۱]

**روش مطالعه:**

مطالعات صحرایی و نمونه برداری از تودهٔ وش در تابستان سال۱۳۸۷ انجام شد. پس از تهیه مقاطع نازک و مطالعه آنها با میکروسکوپ پلاریزان تعداد ۱۴ نمونه جهت تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS و مطالعات ریزپردازشی انتخاب گردید. تعدای از کانی های آمفیبول، بیوتیت، فلدسپار و اوپاک در نمونه های انتخابی با ریزپردازش SX100 شرکت Cameca فرانسه و در شرایط 20kev 30na، 20kev 10na، 20kev 20na مورد برداشت نقطه ای در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران قرار گرفته است(جدول ۱و۲). تفکیک مقادیر آهن فرو وفرین در فرمول کانی های فرومنیزین با کمک روش های پیشنهادی دروپ [۶] ولیک [۷] انجام می گردد.

**پتروگرافی:**

براساس مطالعات میکروسکوپی، ترکیب مدال کانیهای گرانیتوئید وش بیشتر گرانودیوریت است. مهمترین کانی های تشکیل دهنده آن پلاژیوکلاز،اورتوکلاز،آمفیبول، بیوتیت،کواتز و کانی های فرعی اپیدوت، کلریت، کلسیت، کانیهای اپاک در این نفوذی بر اساس مطالعات ریزپردازش مگنتیت است.

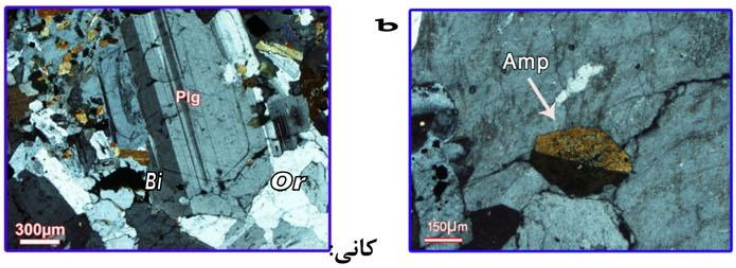
پلاژیوکلاز فراوان ترین کانی توده نفوذی و آنکلاوهای منطقه می باشد. اغلب شکل دار تا نیمه شکل دارند و ماکل پلی سنتتیک، کالسباد دارند و اغلب در نور پلاریزه از خود زونینگ عادی نشان می دهند(شکل

۲). مرکز پلازیوکلاز کلسیک تر از حاشیه بوده که نشانگر یک روند تبلور عادی است. این کانی در جریان دگرسانی به اپیدوت، کلسیت، کلریت، سوسوریت، سریزیت و کائولینیت تجزیه می شود.

کوارتز بین ۲۰ تا ۲۵ درصد مدال سنگ را تشکیل می دهد که در این توده به عنوان کانی اولیه در طی مراحل پایانی و دمای پایین فعالیت ماگمایی متبلور می شود. این کانی معمولاً فضای بین بلورهای دیگر را پر نموده است.

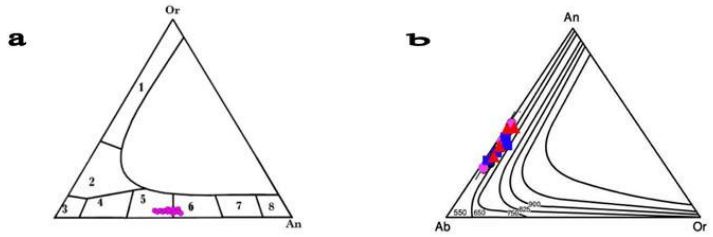
آمفیبول مهمترین کانی مافیک در این سنگ ها شناخته می شود که به عنوان کانی ماگمایی اولیه به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار و دارای پلئوکروئیسم سبز زیتونی تا قهوه ای رنگ پریده در مقاطع نازک دیده می شوند. برخی از آمفیبول ها از خود نشان ماکل می دهد.(شکل ۲).

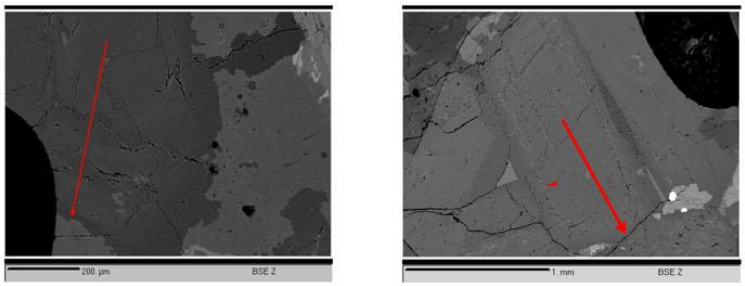
بیوتیت، بعد از آمفیبول فراوان ترین کانی فرومنیزین در توده گرانیتوئیدی وش می باشد. بیوتیت ها به صورت اولیه و شکل دار بدون پلئوکوروئیسم به رنگ قهوه ای دیده می شود. در اثر تجزیه بیوتیت به کانی های همچون اپیدوت، کلریت تبدیل شده اند [۸].



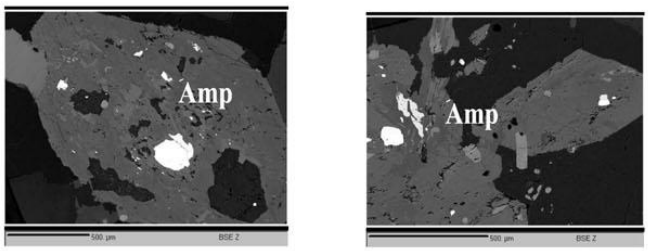

شکل (۲): (a) تصاویر میکروسکوپی آمفیبول (Amp) با ماکل کالسباد و پلاژیوکلاز (Plg) با ماکل پلی سنتتیک، بیوتیت Bi، ارتوز Or پلاژیوکلاز موجود در توده گرانیتوئیدی وش در جدول شماره (۳) آورده شده است. ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها در تودهٔ گرانیتوئیدی از مرکز به حاشیه دارای دامنه تغییرات محتوای آنورتیت ۶۴ تا ۶۷ %می باشد(جدول3a). همچنین از نظر ترکیب شیمیایی آندزین تا لابرادوریت است(شکل۳و۴)

شکل(۳): طبقه بندی پلاژیوکلازهای توده وش [۸](a) ۱-ارتوکلاز،۲آنورتوکلاز۳آلبیت،۴- الیگوکلاز، ۵- آندزین،۶- لابرادوریت،۷- بیتونیت و ۸- آنورتیت. (b) پلاژیوکلازها در محدوده دمایی ۵۵۰-۶۵۰ قرار دارند.





شکل (۴) تصاویر EBS پلاژیوکلاز(Plg) از مرکز به حاشیه در توده گرانیتوئیدی وش.



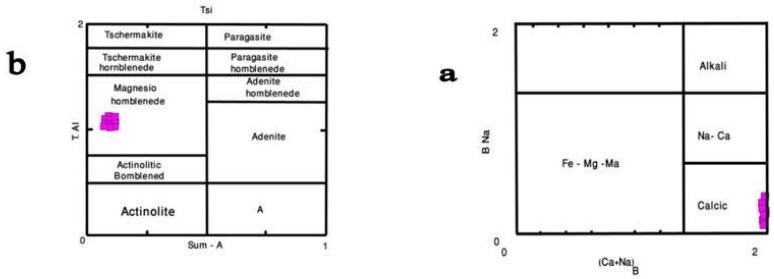

شکل(۵) تصاویر EBS آمفیبولهای آنالیز نقطه ای شده درگرانیتوئیدهای وش.

برای تعیین نوع آمفیبول محاسبات در روش نورمالیز کردن با مجموع ۱۳ کاتیون (13 eCNK) و بر اساس ۲۳ اکسیژن صورت گرفته است. آمفیبول موجود در نفوذی وش با توجه به رده بندی لیک و همکاران [۷] در گروه آمفیبولهای کلسیک قرار می گیرند (شکل۵و ۶a). گروه آمفیبولهای کلسیک توده نفوذی ، آمفیبولهای منو کلین می باشند که در آنها $(Na+Ca)_B > 1$ و $Na_B = ۰،۵-۱،۵$ و معمولا $Na_B > ۱،۵$ Ca است که نشانۀ وابستگی این سنگها به گرانیتوئیدهای نوع I است. نتایج آنالیز تعدادی از آمفیبولهای موجود در این توده نشانگر $(Na+Ca)_B > ۲،۰۶۹$ و $Na_B < ۰،۲۴$ و $Ca_B > ۱،۵$ می باشد . فرمول محاسبه شده آمفیبول موجود در گرانیتوئید وش به قرار زیر است :

$$(K_{0.079}, Na_{0.135})\ O_{22}\ (OH_2)$$

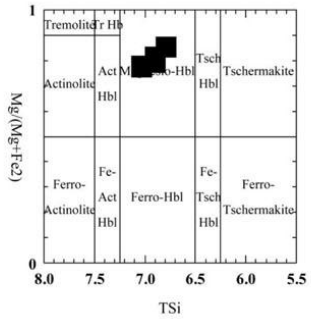
$$(Ca_{1.65}\ ,\ Na_{1.245})\ (Mg_{3.145}\ ,\ Fe^{+2}_{0.75}\ ,\ Fe^{+3}_{0.022}\ ,\ Ti_{0.124}\ ,\ Mn_{0.13}\ )\ (Si_{6.8}\ ,\ Al_{0.978}\ ,\ Ti_{0.124})$$

بر اساس تقسیم بندی [۷] با توجه به داشتن شرایط $(Na+K)_A < ۰،۵$ آمفیبولها در گروه هورنبلندهای منیزیم دار قرار دارند(شکل6b).

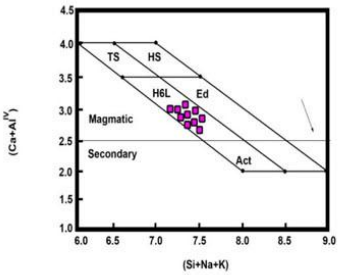



شکل (۶): نمودار لیک و همکاران [۷] جهت تعیین درجه آلکالینه آمفیبول ها. آمفیبول های گرانودیوریت منطقه وش در قلمرو(a) آمفیبول های کلسیک و(b) منیزیوهورنبلند قرار می گیرند.

**آمفیبول های کلسیک:** $(Ca_B \geq 1.5 \ , (Na+K)_A < ۰.5)$




شکل (۷) : نمودار نسبت محتوای $Mg + Fe^{+2}$ به کل Si (TSi) [۹] .هورنبلندهای تـــوده از مـحـــتوی $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ در حـــدود ۰،۷۸ بـــرخـــوردار اســـت.




شکل (۸) طبقه بندی آمفیبولها [۷]بر حسب (Si+Na+K) به $(Ca+Al^{IV})$ .Act:اکتینولیتی ،Ed:ادنیت ،Hbl:هورنبلند ،Hs:هاستینگزیت ،Ts:چرماتیک

**فشار سنجی :**

هورنبلند متداول ترین آمفیبول موجود در سنگهای کالک آلکالن است . فشار سنجی بر اساس محتوی آلومینیوم در هورنبلند [۱۰] ، [۱۱] در دهه ۹۰ میلادی مورد استقبال قرار گرفت . مطالعه و بررسی روی سنگهای نفوذی کالک آلکالن گویای این مطلب است که ترکیب آمفیبولها با ترکیب شیمیایی دما ، فشار و فوگاسیته اکسیژن تغییر می کند [۹] ، [۱۱و۱۲].نسبت آنیون های OH,F,Cl در فشارسنجی به روش محتوی هورنبلند موثر نیست ،زیرا این آنیون ها جانشین یک اکسیژن می شوند،بنابراین تعداد کاتیونها را تغییر نمی دهند[۹]. در استفاده از روش های مختلف فشارسنجی و حرارت سنجی حضور مجموعه ای از کانی های همزیست شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، هورنبلند، بیوتیت، اسفن و اکسیدهای آهن تیتان دار (مگنتیت/ ایلمنیت) به طور همزمان با مذاب در سنگهای آذرین الزامی می باشد[۹]. همچنین پلاژیوکلاز همزیست با هورنبلند باید دارای محتوای آنورتیت ۲۳ تا ۳۵ درصد باشد (شرط اخیر مربوط به کالیبراسیون اندرسون و اسمیت [۹] است). اندرسون [۱۳] معتقد است که مطالعات تجربی نتواسته اند به طور کامل و آشکار واکنش های فشارسنجی و ترکیب دیگر فازهای درگیر در این معادلات را روشن نمایند، اما همهٔ آنها به طور مشخص به دما وابسته و از پارامترهای دیگری نیز مانند فوگاسیته اکسیژن متأثر می شوند. وی اشاره نمود که یک فشارسنجی صحیح در هورنبلندهایی با $Fe^{+2}/Fe^{+2}+Mg$ کمتر از ۶۵٪ امکان پذیر است. هورنبلند باید فاقد منطقه بندی با حاشیه اکتینولیتی، همچنین تعداد کاتیون های $Si \leq 7.5$ و $Ca \leq 1.5$ باشد[۱۴]. معادلهٔ هم سنجی (کالیبراسیون) برای تعیین فشار فرمول های پیشنهاد شده و آورده می شود..

( 1 Hammarstrom and Zen [10] (eq.1)

$P (\pm 3kbar) = -3.92 + 5.03\ Al(total)$

( 2 Hollister et al. [11]

$P(\pm 1kbar) = -4.76 + 5.64\ Al\ (total)$ (eq.2)

( 3 Johnson and Rutherford [12]

$P(\pm 0.5kbar) = -3.46 + 4.23\ Al\ (total)$ (eq.3)

( 4 Schmidt [9]

$P(\pm 0.6kbar) = -3.01 + 4.76\ Al(total)$ (eq.4)

( 5 Anderson and Smith [15]

$P(kbar) = 4.76\ Al(total) - 3.0 - \{(T-675)/85 * (0.53\ Al + 0.005294\ (T-675)\}$ (eq.5)

به کارگیری مقدار T در کالیبراسیون [۱۵] به تأثیر مستقیم دما در فشار سنجی توده های کالک آلکالن حاوی هورنبلند به روش مقدار محتوای Al در این کانی اشاره دارد.

**دماسنجی:**

با افزایش دما در آمفیبول های حاوی کلسیم میزان Mg/Mg + Fe, Ti ، Al ، Na ، K افزایش می یابد و میزان سیلسیم و مجموع Ca، Mn، Mg و Fe کاهش می یابد. آندرسون و اسمیت [۱۵] تأکید کردند که فوگاسیته پایین اکسیژن منجر به کاهش ، $Fe^{+3}/Fe^{+2}$ و افزایش $Al^{VI}$ در آمفیبول های کلسیک می شود بر همین اساس چنانچه میزان $Fe^{+3}/Fe^{+3} + Mg$ $Fe^{+2}> 0.2$ و $Fe^{total}/Fe^{total}+Mg=0.4-0.65$ باشد مناسب ترین آمفیبولها برای ترمو بارو متری محسوب می شوند . بعد از به دست آوردن فشار از رابطه (eq.2) .(eq. (eq.2) می توان دمای مینیمم و ماکزیمم تشکیل توده نفوذی را به دست آورد [۱۶].

Min T=24.8 P+ 6480 MaxT=50.04 p + 6640 (eq.6)

فشار و دمای گرانودیوریت توده نفوذی وش به صورت زیر بدست می آید:

P Granitoie = 1.2 kbar
T Max granitoid = 726 °C
T min granitoid = 716 °C

لازمه استفاده از روش دماسنجی این است که در بررسی های سنگ شناسی و پتروگرافی، پلاژیوکلاز و هورنبلند در حالت تعادل باشند. این زمین دماسنجی، یک زمین دماسنجی تبادلی است. بلندی و هولند [۱۶] ساده ترین زمین دماسنج را که برپایه واکنش های زیر استوار است ارائه داده اند:

آنورتیت + ریشتریت = ادنیت + آلبیت

Albite + Edenite = Richterite + Anorthite

این واکنش مخصوص (ویژه) واکنش هایی است که در غیاب کوارتز انجام می شود. از آنجایی که در نمونه های مورد بررسی کوارتز حضور دارد، لذا واکنش فوق کاربردی ندارد، اما واکنش دوم:

ترمولیت + آلبیت = ادنیت + کوارتز۴

4 Quartz + Edenite = Albite + Tremolite

به شرطی می تواند کاربرد داشته باشد که در سنگ، کوارتز وجود داشته باشد (سنگ های اسیدی تا حد واسط). به علاوه با پلاژیوکلازهای حاوی $An \leq 0.92$ و هورنبلندهایی با $Si \leq 7.8$ (اتم در واحد فرمولی) مورد استفاده قرار می گیرد.

بلندی و هولندی [۱۶] کالیبراسیون ( هم سنجی) زیر را برای تخمین دما ارائه نمودند:

$$T(\pm 311k0)=0.677P-48.98/\{-0.0429-0.0083144Ln[(Si-4)/(8-si)X^{pl}_{ab}]\}$$

T: دما برحسب درجه کلوین P: فشار بر حسب کیلوبار Si: تعداد Si موجود در واحد فرمولی هورنبلند

$X^{pl}_{ab}$ : مقدار آلبیت در پلاژیوکلاز همزیست

اما مهمترین هم سنجی زمین دماسنج هورنبلند- پلاژیوکلاز را هولند و بلندی [۱۷] ارائه داده اند.

چگونگی محاسبه دما در این روش از فرمول زیر استفاده شده است که در آن $T_A$ برحسب درجه سانتی گراد منظور شده است:

$$T_A(\pm 40c^0)=\{-76.95+0.79P+Y_{ab}+39.4X^A_{Na}+22.4X^A_k(41.5-2.89P)X^{M2}_{Al}\}/\{-0.0650-RLn[(27X^A_{vac}*X^T_{si}*X^{pl}_{ab})/256*X^A_{Na}*X^T_{Al}]-273$$

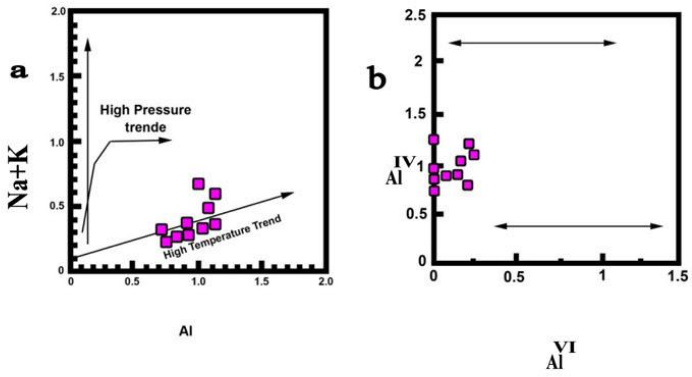
در این رابطه ، T دمای تعادلی بر حسب درجه کلوین و P فشار بر حسب کیلو بار است . پارامترهای دیگر از روابط زیر یه دست می آیند :

$$X_{Si}^{Ti}=(Si-4)/4 \quad , \quad X_{Al}^{Ti}=(8-Si)/4 \quad , \quad X^{M2}_{Al}=(Al+Si-8)/2 \quad , \quad X^A_K=K \quad ,$$
$$Cm=Si+Al+Ti+Fe+3+Fe+2+\ Mg+Mn-13 \quad , \quad X^A_{vac}=3-Ca-Na-K-Cm \quad ,$$
$$X^A_{Na}=Ca+Na+Cm-2 \ , \ X^{M4}_{Ca}=Ca/2 \ , \ R=0.0083144\ (kj/kmol)$$

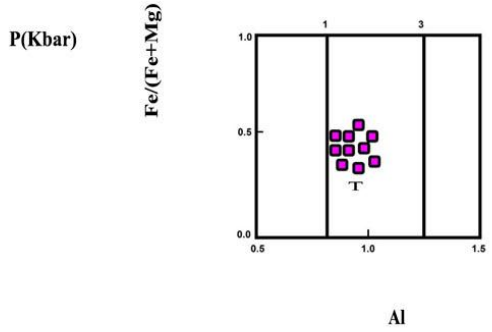
در روابط بالا نمادهای Mn, Si, Al, Fe, Mg معرف تعداد کاتیونها در فرمول ساختاری آمفیبول هستند و مقدار

$Y_{Ab-An}$ از روابط زیر بدست می آید :

$$X_{Ab}>o.5 \rightarrow Y_{Ab-An}=3\ kj \qquad X_{Ab}<o.5 \rightarrow Y_{Ab-An}=12.0(2XAb-1)+3kj$$




شکل (9) قرارگیری نمونه های آمفیبول نمودار پیشنهادی لیک وهمکاران [۷] a: آمفیبولها در روند حرارت بالا قرار می گیرند که نشانگر تبلور ماگمایی است.b: آمفیبولها در محدوده آمفیبولهای کلسیم دار با فشار پایین قرار دارند.




شکل (۱۰): نمودار تغییرات AlT بر حسب Fe/Fe+Mg بر این اساس می توان گستره فشاری در حدود ۰،۹۷ تا ۲ کیلوبار را برای این توده نفوذی براورد کرد.

**نتیجه گیری:**

۱-گرانیتوئید وش با سن الیگومیوسن سنگهای اتشفشانی ائوسن ورسوبات آهکی کرتاسه را قطع نموده است.

۲-مهمترین کانیهای تشکیل دهنده این توده شامل آمفیبول ، بیوتیت ،پلاژیوکلاز ،فلدسپات آلکالن،کوارتز می باشدواز نظر ترکیب مودال سنگ گرانودیوریت است.

۳-بلورهای پلاژیوکلاز در آن دارای منطقه بندی عادی می باشد.ترکیب آن در گستره آندزین ـ لابرادوریت قرار دارد.

۴-آمفیبولها از نوع کلسیکی وشاخص ماگمای نوع I است و از نظر ترکیب منیزیوهورنبلند می باشد.

۵-بر اساس چهار روش فشارسنجی [۹-۱۲] میانگین فشار حاکم بر توده نفوذی در زمان جایگزینی در حدود ۱،۴ کیلوبار می باشد که بین ۰،۹۸ و ۱،۹۹ تغییر می کند.

۶-بر اساس دو روش حرارت سنجی [۱۷و۱۶] متوسط حرارت توده نفوذی وش ۷۴۴ درجه سانتی گراد ارزیابی می شود.

۷-با توجه به میانگین فشار و حرارت بدست آمده و چگالی متوسط سنگهای پوسته زمین عمق احتمالی جایگزینی توده حدود ۴تا ۷ کیلومتر است.

جدول شماره۱) نتایج داده های تجزیه الکترون ریزپردازش (برحسب درصد وزنی) ۱۰ نمونه از آمفیبول.

| Sample | V.Am.6.1 | V.Am.6.2 | V.Am.6.3 | V.Am.6.4 | V.Am.6.5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 47.103 | 46.213 | 46.631 | 47.864 | 46.850 |
| $TiO_2$ | 0.917 | 1.297 | 1.322 | 0.783 | 0.659 |
| $Al_2O_3$ | 5.415 | 6.142 | 6.344 | 5.161 | 4.819 |
| FeO | 15.697 | 14.027 | 15.697 | 15.339 | 15.697 |
| MnO | 0.798 | 0.471 | 0.446 | 0.779 | 0.953 |
| MgO | 14.255 | 14.485 | 14.981 | 14.440 | 13.813 |
| CaO | 10.924 | 10.982 | 11.062 | 10.680 | 12.331 |
| $Na_2O$ | 1.192 | 1.347 | 1.480 | 1.200 | 1.054 |
| $K_2O$ | 0.396 | 0.479 | 0.484 | 0.356 | 0.355 |
| TSi | 6.863 | 6.816 | 6.666 | 6.942 | 6.957 |
| TAl | 0.929 | 1.067 | 1.068 | 0.884 | 0.843 |
| $TFe^{+3}$ | 0.208 | 0.118 | 0.266 | 0.169 | 0.200 |
| TTi | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum-T | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| CAl | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $CFe^{+3}$ | 0.872 | 0.951 | 1.162 | 1.154 | 0.602 |
| CTi | 0.100 | 0.144 | 1.162 | 1.154 | 0.074 |
| CMg | 3.096 | 3.186 | 3.193 | 3.125 | 3.058 |
| $CFe^{+2}$ | 0.833 | 0.662 | 0.449 | 0.540 | 1.147 |
| CMn | 0.098 | 0.059 | 0.054 | 0.096 | 0.120 |
| CCa | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum-C | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| BMg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $BFe^{+2}$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BMn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BCa | 1.705 | 1.735 | 1.694 | 1.661 | 1.962 |
| BNa | 0.306 | 0.338 | 0.295 | 0.265 | 0.038 |
| Sum-B | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| ACa | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ANa | 0.285 | 0.121 | 0.105 | 0.000 | 0.265 |
| AK | 0.074 | 0.090 | 0.088 | 0.066 | 0.067 |
| Sum-A | 0.359 | 0.211 | 0.193 | 0.066 | 0.333 |
| Sum-Cat | 15.359 | 15.211 | 15.193 | 15.065 | 15.333 |
| Sum-O | 23.000 | 23.000 | 23.000 | 23.000 | 23.000 |

ادامه جدول۱ نتایج داده های تجزیه الکترون ریزپردازش (برحسب درصد وزنی)

| Sample | V.Am.4.1 | V.Am.4.2 | V.Am.4.3 | V.Am.4.4 | V.Am.4.5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۴۷،۲۷۳ | ۴۸،۴۵۳ | ۴۷،۵۷۰ | ۴۸،۳۶۰ | ۴۶،۷۰۱ |
| $TiO_2$ | ۱،۳۵۴ | ۱،۰۶۵ | ۱،۳۵۵ | ۱،۴۰۵ | ۱،۲۱۵ |
| $Al_2O_3$ | ۶،۰۳۹ | ۵،۵۶۰ | ۶،۲۸۲ | ۴،۹۷۳ | ۶،۵۴۹ |
| FeO | ۱۴،۱۲۴ | ۱۴،۴۹۰ | ۱۲،۷۸۱ | ۱۴،۲۲۶ | ۱۳،۷۸۵ |
| MnO | ۰،۵۵۵ | ۰،۶۱۷ | ۰،۳۶۷ | ۰،۷۲۴ | ۰،۴۳۹ |
| MgO | ۱۴،۳۳۹ | ۱۴،۱۶۸ | ۱۵،۲۱۰ | ۱۴،۵۲۵ | ۱۴،۸۷۹ |
| CaO | ۱۱،۱۵۵ | ۱۱،۲۶۴ | ۱۱،۴۶۵ | ۱۱،۶۱۹ | ۱۰،۹۲۳ |
| $Na_2O$ | ۱،۳۷۲ | ۱،۰۳۶ | ۱،۳۸۴ | ۰،۹۲۵ | ۱،۴۹۶ |
| $K_2O$ | ۰،۴۴۹ | ۰،۴۶۳ | ۰،۴۸۷ | ۰،۳۶۵ | ۰،۴۵۵ |
| TSi | ۶،۹۰۰ | ۷،۰۳۳ | ۶،۸۹۷ | ۷،۰۲۹ | ۶،۷۹۰ |
| TAl | ۱،۰۳۸ | ۰،۹۵۰ | ۱،۰۷۳ | ۰،۸۵۱ | ۱،۱۲۱ |
| $TFe^{+3}$ | ۰،۰۶۲ | ۰،۰۱۷ | ۰،۰۳۰ | ۰،۱۱۹ | ۰،۰۸۸ |
| TTi | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ |
| Sum-T | ۸،۰۰۰ | ۸،۰۰۰ | ۸،۰۰۰ | ۸،۰۰۰ | ۸،۰۰۰ |
| CAl | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ |
| $CFe^{+3}$ | ۰،۸۴۱ | ۰،۸۵۴ | ۰،۷۶۶ | ۰،۷۱۶ | ۰،۰۳۴ |
| CTi | ۰،۱۴۹ | ۰،۱۱۶ | ۰،۱۴۸ | ۰،۱۵۴ | ۰،۱۳۳ |
| CMg | ۳،۱۲۰ | ۳،۰۶۶ | ۳،۲۸۸ | ۳،۱۴۷ | ۳،۲۲۵ |
| $CFe^{+2}$ | ۰،۸۲۱ | ۰،۸۸۸ | ۰،۷۵۴ | ۰،۸۹۴ | ۰،۵۵۳ |
| CMn | ۰،۰۶۹ | ۰،۰۷۶ | ۰،۰۴۵ | ۰،۰۸۹ | ۰،۰۵۴ |
| CCa | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ |
| Sum-C | ۵،۰۰۰ | ۵،۰۰۰ | ۵،۰۰۰ | ۵،۰۰۰ | ۵،۰۰۰ |
| BMg | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ |
| $BFe^{+2}$ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ |
| BMn | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ |
| BCa | ۱،۷۰۲ | ۱،۸۰۹ | ۱،۷۸۱ | ۱،۷۵۲ | ۱،۷۴۵ |
| BNa | ۰،۲۹۸ | ۰،۱۹۱ | ۰،۲۱۹ | ۰،۲۴۸ | ۰،۲۵۵ |
| Sum-B | ۲،۰۰۰ | ۲،۰۰۰ | ۲،۰۰۰ | ۲،۰۰۰ | ۲،۰۰۰ |
| ACa | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ | ۰،۰۰۰ |
| ANa | ۰،۱۲۳ | ۰،۰۷۰ | ۰،۱۷۰ | ۰،۰۴۳ | ۰،۱۳۳ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| AK | ۰،۰۸۴ | ۰،۰۸۶ | ۰،۰۹۰ | ۰،۰۶۸ | ۰،۰۸۴ |
| Sum-A | ۰،۲۱۶ | ۰،۱۲۹ | ۰،۲۶۰ | ۰،۱۳۸ | ۰،۲۰۸ |
| Sum-Cat | ۱۵،۲۱۶ | ۱۵،۱۲۹ | ۱۵،۲۶۰ | ۱۵،۱۳۸ | ۱۵،۲۰۸ |
| Sum-O | 23.000 | 23.000 | 23.000 | 23.000 | 23.000 |

جدول2: نتایج ریزپردازش پلاژیوکلازهای موجود در گرانودیوریت

| **Sample** | **V.plg.1** | **V.plg.2** | **V.plg.3** | **V.plg.4** | **V.plg.5** | **V.plg.6** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | rim ← | | | | | core |
| $SiO_2$ | 59.632 | 58.450 | 61.053 | 57.279 | 62.562 | 62.914 |
| $TiO_2$ | 0.000 | 0.031 | 0.000 | 0.000 | 0.016 | 0.053 |
| $Al_2O_3$ | 24.247 | 25.144 | 23.427 | 26.121 | 23.860 | 22.276 |
| FeO | 0.259 | 0.219 | 0.143 | 0.193 | 0.133 | 0.058 |
| MgO | 0.000 | 0.040 | 0.000 | 0.076 | 0.008 | 0.000 |
| CaO | 6.768 | 8.067 | 5.731 | 8.730 | 4.974 | 3.955 |
| $Na_2O$ | 7.636 | 6.879 | 8.249 | 6.460 | 8.622 | 9.450 |
| $K_2O$ | 0.486 | 0.334 | 0.337 | 0.266 | 0.352 | 0.193 |
| Si | 2.690 | 2.639 | 2.744 | 2.592 | 2.759 | 2.814 |
| Al | 1.288 | 1.337 | 1.240 | 1.392 | 1.239 | 1.173 |
| Ti | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 |
| $Fe^{+2}$ | 0.010 | 0.008 | 0.005 | 0.007 | 0.005 | 0.002 |
| Mg | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.005 | 0.001 | 0.000 |
| Ca | 0.327 | 0.390 | 0.276 | 0.423 | 0.235 | 0.190 |
| Na | 0.668 | 0.602 | 0.719 | 0.567 | 0.737 | 0.820 |
| K | 0.028 | 0.019 | 0.019 | 0.015 | 0.020 | 0.011 |
| Cations | 5.011 | 4.999 | 5.003 | 5.001 | 4.997 | 5.012 |
| Ab | 0.65 | 0.60 | 0.71 | 0.56 | 0.74 | 0.80 |
| An | 0.32 | 0.039 | 0.27 | 0.42 | 0.24 | 0.19 |
| Or | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |

ادامه جدول شماره۲: نتایج ریزپردازش پلاژیوکلازهای موجود در گرانودیوریت

| Sample | V.plg. 1 | V.plg. 2 | V.plg. 3 | V.plg. 4 | V.plg. 5 | V.plg. 6 | V.plg. 7 | V.plg. 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rim ← | | | | | Core ← | | |
| $SiO_2$ | 60.397 | 60.326 | 61.268 | 60.793 | 59.736 | 58.181 | 57.785 | 63.126 |
| $TiO_2$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.039 | 0 | 0.017 |
| $Al_2O_3$ | 25.084 | 25 | 24.806 | 24.663 | 25.679 | 26.196 | 26.14 | 23.313 |
| FeO | 0.162 | 0.237 | 0.18 | 0.226 | 0.219 | 0.198 | 0.188 | 0.198 |
| MgO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.013 | 0.032 | 0 | 0 |
| CaO | 7.236 | 6.759 | 6.862 | 6.574 | 7.641 | 8.88 | 8.715 | 4.68 |
| $Na_2O$ | 7.253 | 7.937 | 7.779 | 8.22 | 7.688 | 7.03 | 6.823 | 9.158 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.44 | 0.275 | 0.36 | 0.513 | 0.611 | 0.466 | 0.518 | 0.485 | $K_2O$ |
| 2.777 | 2.596 | 2.593 | 2.64 | 2.69 | 2.697 | 2.676 | 2.679 | Si |
| 1.208 | 1.383 | 1.375 | 1.336 | 1.285 | 1.286 | 1.306 | 1.31 | Al |
| V.plg. 8 | V.plg. 7 | V.plg. 6 | V.plg. 5 | V.plg. 4 | V.plg. 3 | V.plg. 2 | V.plg. 1 | Sampl e |
| 0.001 | 0 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ti |
| 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.008 | 0.007 | 0.009 | 0.006 | $Fe^{+2}$ |
| 0 | 0 | 0.002 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | Mg |
| 0.221 | 0.419 | 0.424 | 0.362 | 0.312 | 0.324 | 0.321 | 0.344 | Ca |
| 0.781 | 0.594 | 0.6 | 0.659 | 0.705 | 0.664 | 0.683 | 0.624 | Na |
| 0.025 | 0.016 | 0.02 | 0.029 | 0.034 | 0.026 | 0.029 | 0.027 | K |
| 5.02 | 5.015 | 5.029 | 5.035 | 5.034 | 5.004 | 5.024 | 4.99 | Cation s |
| 0.76 | 0.58 | 0.58 | 0.63 | 0.67 | 0.65 | 0.66 | 0.63 | Ab |
| 0.21 | 0.41 | 0.4 | 0.34 | 0.3 | 0.32 | 0.31 | 0.35 | An |
| 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Or |

جدول (۳): نتیجه محاسبه در صد اعضای پایانی پلاژیوکلازهای موجود در گرانودیوریت منطقه وش

| Sample | Anorthite (%) | Albite (%) | Orthoclase (%) |
|---|---|---|---|
| **V.plg.6.1** | 34.57 | 62.71 | 2.71 |
| **V.plg.6.2** | 31.07 | 66.11 | 2.8 |
| **V.plg.6.3** | 31.95 | 65.4 | 2.5 |
| **V.plg.6.4** | 29.68 | 67.07 | 3.2 |
| **V.plg.6.5** | 34.47 | 62.7 | 2.7 |
| **V.plg.6.6** | 34.4 | 49.3 | 1.62 |
| **V.plg.6.7** | 35.7 | 50.5 | 1.36 |
| **V.plg.6.8** | 21.5 | 76.04 | 2.43 |

جدول(۴) نتیجه زمین دماسنجی دو کانی آمفیبول – پلاژیوکلاز در گرانودیوریت مورد بررسی به روشهای مختلف کالیبراسیون

| Temprature (c°) | | | | Pressure (Kbar) | Method |
|---|---|---|---|---|---|
| Sample V.6.2 | | Sample V.6.1 | | | |
| 699 | 728 | 709 | 740 | 1.984 | Schmidt [9] |
| 718 | 749 | 708 | 745 | 1.358 | Hammarstrom & Zen [10] |
| 721 | 752 | 710 | 748 | 1.158 | Holister [11] |
| 713 | 750 | 723 | 755 | 0.978 | Johnson & Rutherford [12] |
| rime | core | rime | core | | |

زمین دماسنجی دو کانی آمفیبول –پلاژیوکلاز همزیست با مگنتیت در گرانودیوریت به روشهای [۹ تا ۱۲] بررسی شده است (جدول ۴).

**منابع:**


[۱] علائی مهابادی ،س.،خلعتبری جعفری ،م."نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوش نظنز".ورقه شماره نظنز(۱۳۷۷).

[۲] هونبر ،م.ومومن زاده ،م.ع.،"کانی سازیهای مرتبط با توده های نفوذی منطقه نطنز-کاشان"،سازمان زمین شناسی و اکتشافات کشور(۱۹۷۲).

[۳] شیریان ،ف.،"پتروژنزگرانیتوئیدها وانکلاوهای کوه هیمند(شمال غرب نطنز)"،پایان نامه کارشناسی ارشد رشته پترولوژی ،دانشگاه اصفهان(۱۳۸۵).

[۴] امین الرعایایی ،م.، "بررسی ژئوشیمی و خاستگاه زمین ساختی سنگهای آتشفشانی تتماج"،دانشگاه تهران(۱۳۸۶).

[۵] کنعانیان ،ع.،"کانی شناسی و ژئوشیمی ایزوتوپهای پایدار سنگهای آتشفشانی دگرسان شده جنوب خاوری کاشان".دانشگاه تهران(۱۳۸۷).

[6] Droop G.T.R.,"A general equation Fe+3 concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis using stoichiometric criteria ", Mineralogical Magazine 51 (1987) 431-435

[7] Leake B.E.,Woolly A.R., Arps C.E.S.,Birch W.D.,Gilbert M.C.,.Grice J.D.,Havthorne F.C.,Kato A.,Kisch H.J.,Krivovichev V.G.,linthoutk.,Laird J.,Mndarine J.,Maresch W.V.,Nickle E.h.,Rock N.M.S.,Schmucher J.C.,Smith .D.C.,Stephenson N.C.N,Ununggaretti L.,Whittaker E.J.W.,Youzhi G.,"Nomenclature of Amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals Names "European Journal of Mineralogy, (1997)623-651.

[8] Deer W.A.,Howie R.A.,Zussman .J.,"Anintrucloction to the Rock Forming Minerals", 17th ,ongman ,Ltd,(1991)528p.

[9] Schmidt M.W.,"Amphibole Composition in Tonalite as a function of Pressure an Experimental Calibration of the Al-Hornblende Barometer ". Contribution to Mineralogy and Petrology 110(1992)304-310.

[10] Hammarstrom J.M.,Zen E.," Aluminum in Hornblende: an empirical igneous geobarometer " American Mineralogist 71(1986)1297-1313.

[11] Hollister Ls., Grissom G.C., Peters E.K,Stowell H.H.,Sisson V.B.," confirmation of the Empirical Correlation of Al in hornblende with Pressure Of Solidification of Calc-Alkaline Plutons ", American Mineralogist 72(1987)231-239.

[12] Johnson M.C.,Rutherford M.J., " Experimental Calibration of the Aluminum in Hornblende Geobarometer with applications to long Valley Caldera (California) Volcanic Rocks ", Geology 17(1989)837-841.

[13] Anderson J.L.," Status of Thermo-barometry in Granitic Batholiths Earth Science Review 87 (1996)125-138.

[14] Helmy H.M., Ahmed A.F.,El Mahallawi M.M.,Ali S.M.," Pressure ,Temperature and Oxygen Fugacity Condition of Calc-Alkaline Granitoids .Eastern Desert of Egypt and Tectonic implication ",J. of African Earth Science 38(2004)255-268.

[15] Anderson. J.L., Smith D.R., "The Effects of Temperature and Oxygen Fugacity on the Al in Hornblende Barometer" ,American Mineralogist 80(1995)549-559.

[16] Blundy J.D., Holand T.J.B., " calcic Amphibole Equilibrium and a new Amphibole – Plagioclase Geothermometer ", Contribution to Mineralogy and petrology 104(1990)208-224.
[17] Holland T. Blundy J.,"Non-ideal Interaction in Calcic-Amphibols and their bearing on Amphibole and petrology 11(1994)6433-447.