

# مطالعه ویژگی‌ها و شکل‌گیری حباب‌ها در هنگام فوران واحد اسکوری آتشفشان دماوند

بهمن رحیمزاده<sup>۱\*</sup>، فریبرز مسعودی<sup>۲</sup> و شیما رنجبر<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۱/۲۹

## چکیده

اسکوری‌ها یکی از مواد آذرآواری سازنده آتشفشان دماوند هستند. کانی‌های اصلی موجود در واحد اسکوری به‌ترتیب فراوانی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیون است. در این مطالعه، فرایند تشکیل حباب‌ها در هنگام فوران اسکوری‌های آتشفشان دماوند با استفاده از روش توزیع اندازه حباب‌ها و با محاسبه فراوانی، سهم حجمی، مدل‌سازی سه بعدی، هسته‌بندی و رشد حباب‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. حباب‌ها در سه بعد عمود بر هم (X, Y, Z) از سنگ اسکوری منطقه به طور کمی اندازه‌گیری و نتایج ابعاد مختلف با یکدیگر مقایسه شدند. در مجموع در سه بعد ۱۶۸۳۰ حباب (X=7357, Y=5385, Z=4088) رسم و شمارش شد. سهم حجمی حباب‌ها در سه بعد به‌ترتیب (X=47.21, Y=40.27, Z=40.01) درصد محاسبه شد. شکل سه‌بعدی حباب‌ها با استفاده از محاسبه سه قطر عمود بر هم بازسازی شد. بهترین میانگین نسبت ابعاد برای هر وجه برابر با (X=1:1:4, Y=Z=1:1:3.4) اندازه‌گیری شد. شکل رسم شده در هر ۳ وجه یک بیضوی گون است که طول قطر کشیده آن (L) تقریباً ۴ برابر دو قطر دیگر (I, S) است. راستای L همان راستای عمود بر سطح است که کمترین فشار به ماگما وارد می‌شود و حباب‌ها توانایی رشد ۴ برابری را در آن راستا داشته‌اند. وجود سه قله در نمودار توزیع فراوانی اندازه حباب‌ها، نشان‌دهنده سه رخداد هسته‌زایی مجزا (F1, F2, F3) که توزیع پلی‌مدال تا نامایی را برای حباب‌های موجود در اسکوری‌های دماوند پیشنهاد می‌کند. در آتشفشان دماوند سه نسل حباب در سه رخداد هسته‌زایی تشکیل شده است که به ترتیب از نسل اول تا سوم چگالی هسته‌بندی افزایش و رشد حباب‌ها کاهش یافته است. شکل این سه نسل حباب در سه وجه اسکوری دماوند همانند است و نسبت میانگین ۱:۰.۳۷:۷ دارد که یک شکل بیضی‌گون است. نسل اول حباب‌ها در آشیانه ماگمایی و نسل دوم در هنگام صعود ماگما تشکیل شده‌اند. نسل سوم ممکن است در میان حباب‌های بزرگ‌تر پیشین و یا در آخرین مرحله بیرون‌ریزی ماگما از دودکش آتشفشانی تشکیل شده باشد.

**کلیدواژه‌ها:** توزیع اندازه حباب، اسکوری، آتشفشان دماوند.

\*نویسنده مسئول: بهمن رحیمزاده

E-mail: B.Rahimzade59@gmail.com

## ۱- پیش‌گفتار

عدم دسترسی به درون سامانه آتشفشان به این معنی است که دینامیک بیرون آمدن گازها را نمی‌توان به‌صورت مستقیم دید. فرایند هسته‌زایی و رشد حباب‌ها را باید از منشأهای ثانویه مانند مطالعات تئوری و بررسی مثال‌های بافتی نهشته‌های آتشفشانی استنباط کرد. در سه دهه اخیر جزئیات تجزیه‌های ساختاری سنگ‌های آتشفشانی مانند پومیس، اسکوری و گدازه سبب شده است تا ابزارهای مناسب برای بررسی متغیرهای فوران به‌دست آید. یکی از رایج‌ترین متغیرهای بافتی اندازه‌گیری شده توزیع اندازه حفرات (Vesicle Size Distribution (VSD)) در سنگ‌های جامد است که برای توزیع اندازه حباب‌ها (Bubble Size Distribution (BSD)) در طول فرایند مایع بودن ماگما مورد استفاده قرار گرفته است (Blower et al., 2002). حباب‌ها که نتیجه فوق‌اشباع بودن گاز در ماگماست به‌طور چشمگیری در فوران‌های انفجاری دیده می‌شوند. سنگ‌های آذرآواری حباب‌دار حاوی اطلاعات ریخت‌شناختی زیادی است که در روند بیرون آمدن، گاز را در خود حفظ کرده‌اند. بسته به تغییر در ویژگی‌های فیزیکی مانند گرانیوی (ویسکوزیته)، کشش سطحی، انتشار مواد فرار، وضعیت فیزیکی (فشار و دما) و سرعت حرکت ماگما، حباب‌ها دارای شکل‌ها، حجم‌ها و اندازه‌های متفاوت هستند (McBirney & Murase, 1970; Heiken, 1972; Sparks & Brazier, 1982; Heiken & Wohletz, 1985; Whitham & Sparks, 1986). با استفاده از صفات ریخت‌شناسی مواد آذرآواری می‌توان به روند فوران پی‌برد. مطالعه بافت سنگ‌های آذرآواری می‌تواند در پیچیدگی به فهم چگونگی فرایند فوران باشد. بررسی کمی فرایند فوران در سنگ حباب‌دار نیازمند درک شرایط حاکم بر حباب‌دار شدن مذاب در طول بالآمدگی ماگما و همچنین درک درستی از فرایند فوران در بحث نظری و تجربی است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه محاسبات کمی و تفسیر حباب‌ها برای پی‌بردن به نوع آتشفشان با استفاده از روش‌های ریاضی و آماری انجام شده است

(Gonnermann & Manga, 2007; Giachetti et al., 2010; Blower et al., 2002;) (BSD: Bubble Size Distribution). در روش توزیع اندازه حباب (Rust et al., 2002) از میزان، اندازه و شکل حباب‌های موجود در بافت سنگ‌ها استفاده می‌شود (Higgins, 2006; Blower et al., 2001). بر پایه هسته‌بندی، رشد و توزیع اندازه حباب می‌توان به مقدار گاز ماگما که سبب انفجار فوران آتشفشان است، پی برد (Gaonach et al., 1996b). در این پژوهش اسکوری‌های آتشفشان دماوند، مورد توجه قرار گرفته و با استفاده از روش BSD حباب‌های آن بررسی شده‌اند. اطلاعات به‌دست آمده شرایط فوران این آتشفشان را بیشتر روشن می‌کند. بدین منظور پس از مطالعات سنگ‌شناسی یک نمونه اسکوری معرف انتخاب و توزیع اندازه حباب‌ها در ۳ برش عمود بر آن بررسی شد.

## ۲- زمین‌شناسی عمومی

آتشفشان دماوند در شمال ایران و در ۶۰ کیلومتری شمال خاوری تهران، با ارتفاع ۵۶۷۰ متر از سطح دریا و ارتفاع حدود ۱۶۰۰ تا ۱۲۰۰ متر از زمین‌های پیرامون قرار گرفته است. دماوند با سن پلئوسوسن، در تقسیمات زمین‌شناسی ایران جزو پهنه البرز مرکزی قرار دارد (درویش‌زاده، ۱۳۸۳) (شکل ۱). دماوند متشکل از گدازه و سنگ‌های آذرآواری است که حجم گدازه بیش از سنگ‌های آذرآواری است. گدازه‌های دماوند شامل بازالت الیون دار، تراکی‌بازالت، تراکی‌آندزیت و تراکیت است که سرشت آلکالن سدیک و در مجموع یک روند تفرق کلی را نشان می‌دهند (مرادی، ۱۳۷۵). اسکوری‌های دماوند در فاصله زمانی ۱۵۰ تا ۷۰۰ هزار سال پیش فوران کرده‌اند (Davidson et al., 2004). در نمودار  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  تراکی‌آندزیت‌ها در زیر گروه (III) شوشونیتی به نام آبساروکیب و نمونه‌های بازالتی و تراکی‌بازالتی باقی‌مانده در زیر گروه I شوشونیتی (باناکیب) قرار می‌گیرند. گدازه‌های شوشونیتی

هدف از این مقاله، استفاده از توزیع اندازه حباب‌ها (BSD) در سنگ‌های حباب‌دار و برآورد فرایند فوران است. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار CSDslice نسبت میانگین قطرهای حباب‌ها (S:I:L) برآورد شد. از ۵ منحنی و نسبت‌های مرتبط با آنها بهترین منحنی به‌عنوان منحنی پیشنهادی اسکورهای دماوند در هر وجه آن انتخاب شد.

## ۵- بحث

تا امروز مدل‌های تئوری، سازوکارهای متفاوتی را برای انواع مختلف توزیع حباب پیشنهاد داده‌اند. (Blower et al., 2002) با جمع‌بندی و تلفیق مدل‌های پراکنده پیشین سازوکار واحدی را پیشنهاد داده‌اند: در صورت عدم بهم پیوستن حباب‌ها، فرم‌های یونی مدال، پلی مدال به‌طور رایج در همه فوران‌ها تشکیل می‌شوند. ولی توزیع نمایی (Exponential) و قانون توانی (Power Law) BSD در برخی فوران‌ها تشکیل می‌شوند. همچنین این پژوهشگران ابراز داشته‌اند که گسترش فرم‌های توزیع حباب از یونی مدال به قانون توانی به‌صورت خطی و با افزایش شمار رخداددهای مجزای هسته‌بندی است.

### ۵-۱. توزیع اندازه حباب پلی مدال

در روش توزیع اندازه حباب‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image J تراکم جمعیت حباب‌ها شمارش و در دو بعد اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، با توجه به تصاویر دو بعدی حباب‌ها، تصاویر سه بعدی آنها بازسازی می‌شود. برای سه بعد تعداد کل حباب‌ها محاسبه شد و گسترش منطقه‌ای که حباب‌ها در آن شمارش شده‌اند نیز محاسبه شد (جدول ۲). در مجموع  $16830$  حباب به تفکیک ابعاد و به ترتیب فراوانی  $X=7357$ ،  $Y=5385$  و  $Z=4088$  شمارش و اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

برای هر بعد بسته به اختلاف اندازه حباب‌ها، بازه‌های تعریف و تعداد حباب‌های موجود در آن بازه شمارش شدند (جدول ۳). اندازه‌گیری تعداد حباب‌ها برای هر سه بعد نشان‌دهنده وجود سه نسل از حباب‌هاست که در بازه‌های  $(0/251)$  تا  $(0/251)$ ،  $(0/251)$  تا  $(0/251)$  و بیشترین فراوانی در بازه  $(0/001)$  وجود دارند (شکل ۶). در بازه  $(0/016)$  هیچ حبابی وجود ندارد همچنین در بازه  $(0/250)$  وجود حباب مایل به صفر است. در شکل ۶ این بازه‌ها به‌صورت ۳ قله و ۲ قعر دیده می‌شوند که حباب‌ها در سه نسل کاملاً مجزا نمایش داده می‌شوند.

توزیع‌های شامل یک یا چند پیک (قله) جدا از هم به‌وسیله برخی پژوهشگران گزارش شده‌اند (Sparks & Brazier, 1982; Whitham & Sparks, 1986). (Orsi et al., 1992). معمولاً قله‌های مختلف را به رخداددهای جدا مرتبط می‌دانند. به‌عنوان نمونه BSD ارائه شده توسط (Sparks & Brazier (1982) سه قله جداگانه را نشان می‌دهد. پژوهشگران بزرگ‌ترین قله‌ها را به هسته‌بندی در آشیانه ماگمایی و پیش از فوران نسبت می‌دهند. قله ریز، جداکننده یک جمعیت حباب به‌شمار نمی‌رود بلکه به سبب دیافراگم میان حباب‌هاست (Whitham & Sparks, 1986). برای نمونه داده‌های (Orsi et al., 1992) دو قله را نشان می‌دهد که یکی را به حین فوران و دیگری را به مرحله بعدی و به هم پیوستگی حباب‌ها نسبت می‌دهند.

با توجه به اندازه کاملاً متفاوت حباب‌ها در هر نسل می‌توان گفت که هر نسل زیر فشارهای متفاوت و در نتیجه در ژرفاهای متفاوت متولد شده و رشدی متناسب با میزان گاز موجود در ماگما و فشار حاکم بر آن داشته‌اند. نسل سوم یعنی ریزترین حباب‌ها در بازه‌ای بسیار کوتاه از دید اندازه ولی با فراوانی بسیار بالاتر نسبت به دیگر بازه‌ها دیده می‌شوند. این رویداد نشان‌دهنده چگالی هسته‌بندی با سرعت زیاد ولی رشد بسیار کم است که می‌تواند در نتیجه سرد شدن سریع یا کاهش فشار ناگهانی حاکم بر ماگما به میزان کم باشد. نسل دوم نیز با سرعت هسته‌بندی بالا (کمتر از نسل سوم) شروع می‌شود و به تدریج رو به کاهش می‌گذارد تا در پایان به هسته‌بندی مایل به صفر رسیده است.

به حالت میان‌لایه‌ای و آبساروکیته به‌صورت گدازه‌های قاعده‌ای و یا به شکل اسکوری در درون سنگ‌های آذرآواری دیده می‌شوند (امیدیان، ۱۳۸۶ و Brousse et al., 1977). نهشته‌های جریان اسکوری بخشی از نهشته‌های آذرآواری دماوند هستند که در پیرامون قله آتشفشانی دماوند پراکنده‌اند. وجود کانال‌های تجمعی عبور گاز (Gas Segregation Pipes) بی‌شمار در این نهشته‌ها این تصور را تداعی می‌کند که به صورت دو واحد جریانی مجزا روی هم قرار دارند. دو سری از مجاری عبور گازها وجود دارند که انواع گسترش یافته‌تر (Wilson, 1980) در نهشته‌های واحد زیرین و انواع کوچک‌تر و گسترش نیافته در واحد جریانی بالایی دیده می‌شوند. چگالی این اسکوری‌ها  $(1/2)$  تا  $(1/1)$  گرم بر سانتی متر مکعب است. از ویژگی‌های نهشته‌های اسکوری دماوند که پرکننده فرورفتگی‌های توپوگرافی منطقه هستند می‌توان به جورشدگی ضعیف، ترکیب بازالتی-آندزیتی، وجود کانال‌های تجمعی عبور گاز، عدم جوش خوردگی، ابعاد مختلف (کوچک‌تر از یک میلی‌متر تا حدود  $0/5$  متر) اشاره کرد. قطعات سنگی اسکوری‌ها در بسیاری موارد دانه‌بندی وارون دارند که نشان‌دهنده فوران‌های متوالی با اندازه دانه‌ای متفاوت است (Francis, 1995; Fisher & Schmincke, 1984).

## ۳- سنگ‌نگاری

در بررسی مقاطع سنگ‌نگاری، واحد اسکوری دماوند شامل بازالت و اولوین بازالت با بافت اصلی آمیگدالوئیدال و بافت فرعی پورفیریک است. درشت‌بلورهای موجود در اسکوری‌های دماوند به ترتیب فراوانی، پلاژیوکلاز، پیروکسن و اولوین هستند و کانی فرعی آنها بیوتیت است. نمونه برداشت شده با مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 52' 45''$  شمالی و  $52^{\circ} 10' 20''$  خاوری در نقشه زمین‌شناسی دماوند قرار دارد. نمونه برداشت شده در سه جهت عمود برهم برش و به‌صورت قراردادی با حروف (X, Y, Z) نام‌گذاری شدند. از هر سه وجه آن مقطع نازک تهیه شده و خلاصه سنگ‌نگاری آن در جدول ۱ آمده است.

## ۴- روش مطالعه

ابتدا نمونه دستی مناسب که نماینده خوبی برای واحد اسکوری دماوند باشد برداشت و در سه سوی عمود برهم برش داده شد (شکل ۳). وجوه به‌صورت قراردادی با حروف X-Y-Z نامیده شدند. برای انجام تجزیه کمی توزیع اندازه حباب، ابتدا از نمونه ۳ وجه (X, Y, Z) مقطع نازک تهیه شد. از هر مقطع به‌منظور در اختیار داشتن جامعه آماری مناسب از حباب‌ها ۱۲ عکس میکروسکوپی-دیجیتالی با بزرگ‌نمایی  $2/5$  تهیه شد. عکس‌های هر وجه در کنار هم چیده شد و یک عکس واحد به دست آمد. حباب‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ به‌صورت جدا از هم رسم شدند (شکل ۴). برای جلوگیری از خطای ناشی از نرم‌افزار و شمارش بهتر، بلورهای به هم چسبیده پس از رسم شدن از یکدیگر جدا شده‌اند (شکل ۵). تعداد کل حباب‌ها و تعداد در هر بازه شمارش و دسته‌بندی شد. سپس با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از فراوانی و اندازه حباب‌ها، نمودار  $\ln(\text{population density})$  در برابر اندازه حباب بر پایه روش ارائه شده توسط Marsh (1988) رسم شد (شکل ۵). واحد اندازه‌گیری شده برای حباب‌ها mm و برای مقیاس چگالی تجمعی  $\text{mm}^{-4}$  است. فاکتور گردش‌دگی  $1/0$  برای همه تبدیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. عکس‌های دوبعدی تهیه‌شده در نرم‌افزار ImageJ پردازش می‌شود. این نرم‌افزار تعداد و اندازه حباب‌ها را شمارش می‌کند و مساحت کل محدوده عکس را که حباب‌ها در آن وجود دارد اندازه می‌گیرد. سرانجام در نرم‌افزار CSD correlations با توجه به شکل دوبعدی، تصویر سه بعدی حباب‌ها بازسازی و نمودار لگاریتمی رسم شده است. هرچند نرم‌افزار CSD بیشتر برای بلورها به کار می‌رود ولی از آنجایی که هسته‌بندی و رشد حباب‌ها نیز شبیه بلورهاست و شکل حباب‌ها مانند بلورها معلول شرایط حاکم بر ماگما و چگونگی سرد شدن و فوران آن است، این روش برای حباب‌ها نیز قابل استفاده است. با این حال

سوی  $Z$  بیشترین چگالی دیده می‌شود و در برش‌های  $X, Y$  چگالی‌ها تقریباً نزدیک به هم هستند. توزیع اندازه حباب‌ها به‌صورت یک خط راست در سامانه لگاریتمی نمایان می‌شود. بر پایه تئوری بیان‌شده، منحنی توزیع اندازه حباب‌ها (BSD) برای هر  $3$  سو در نمونه مورد نظر رسم شد.

با اندازه‌گیری ابعاد حباب می‌توان چگالی هسته‌بندی و شیب خط را به‌دست آورد. اگر نمودار فراوانی لگاریتمی حباب‌ها (بر حسب  $\text{mm}^4$ ) در برابر اندازه حباب‌ها (بر حسب  $\text{mm}$ ) رسم شود، یک رابطه لگاریتمی خطی - پراکندگی با افزایش اندازه حباب‌ها به‌دست می‌آید (شکل ۸). نقطه تقاطع خط با محور چگالی تجمعی، چگالی هسته‌بندی اولیه ( $n_0$ ) را نشان می‌دهد. شمار حباب‌ها در اندازه محدود می‌تواند روندی از بازتاب محلی باشد که  $m$  خط رسم‌شده در نمودار پراکندگی اندازه حباب است (جدول ۲).

(۲)  $M = -1/G_1$   
 شیب خط  $M$  را می‌توان از منفی کسر متغیر  $G_1$  (سرعت رشد  $\times$  زمان رشد) به‌دست آورد.

در این مطالعه شیب هر سه مقطع بررسی شد و بیشترین شیب در مقطع  $Z$  و کمترین شیب در مقطع  $X$  نمایان شدند. شیب هر سه مقطع در جدول ۴ ارائه شده است.

### ۳-۵. سهم حجمی حباب‌ها

سهم حجمی (میزان حجم اشغال‌شده به‌وسیله مجموع حباب‌ها) حباب‌های اسکوری در واحدهای مورد نظر با استفاده از محاسبات ریاضی که به‌صورت فرمول زیر رسم شده برای هر کدام از نمونه‌ها محاسبه شده است (Morgan & Jerem, 2006).

$$V_i = \sigma \int_0^{\infty} n_i(L) L^3 dL \quad (3)$$

که می‌تواند به‌صورت زیر کامل شود:

$$V_i = 6 \sigma n_{i0} C_i^4 \quad (4)$$

که در آن  $C_i$  ثابت یک طول مشخص،  $n_{i0}$  چگالی هسته‌بندی نهایی و  $\sigma$  فاکتور شکلی برابر با نسبتی از حجم حباب‌هاست که طول  $L$  دارند. سهم حجمی از یک فاز مشخص از معادله شماره ۴ به دست می‌آید. حباب‌ها با حجم‌های مختلف درصدی از کل سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. محل کمترین و بیشترین تراکم حباب و سهم حجمی آن در هر سه بعد محاسبه شد (جدول ۶). بیشترین سهم حجمی در بعد  $X$  و کمترین سهم حجمی در بعد  $Z$  آمده است (جدول ۶).

### ۴-۵. نتایج مدل عددی

نتایج اصلی این مدل این است که شکل توزیع اندازه حباب‌ها به‌شدت بستگی به تعداد رخداد هسته‌بندی دارد که در طول رشد رخ می‌دهد. اگر تنها یک رخداد هسته‌بندی وجود داشته باشد نتیجه BSD یونی‌مدال است و اگر ۲ و ۳ رخداد باشد تغییرات پلی‌مدال است. پس از تعداد کمی مرحله رخداد هسته‌زایی (استاندارد ۳ رخداد)، BSD نمایی پدیدار می‌شود (شکل ۹-۹) (Marsh, 1988). در این مدل BSD نمایی همیشه با افزایش تعداد رخداد‌های هسته‌بندی به توزیع قانون توانی گسترش پیدا می‌کند. پس از حدود ۵ مرحله توزیع به‌طور پایدار توانی است (شکل ۹-۹). با افزایش تعداد رخداد‌های هسته‌بندی، توزیع همچنان توانی است (شکل ۹-۹) (Blower et al., 2002). وجود ۳ رخداد هسته‌بندی در اسکوری‌های دماوند مشخص می‌کند که توزیع اندازه حباب‌ها پلی‌مدال است و همچنین در آغاز شروع فرم نمایی BSD نیز نشان می‌دهد (شکل ۹).

### ۵-۵. مدل سازی سه‌بعدی حباب‌ها

در این روش با استفاده از داده‌های خام برگرفته از نرم‌افزار Image J و استفاده از نرم‌افزار CSDslice نسبت طول قطرهای (S:I:L) برآورد می‌شود (Morgan & Jerrem, 2006). در این روش توزیع نسبت طول بزرگ: متوسط: کوچک (S:I:L) حباب‌ها محاسبه و با اشکال پیش‌فرض موجود در نرم‌افزار مقایسه می‌شود (۷۰۳ محاسبه شکل پیش‌فرض در نرم‌افزار وجود دارد). در نتیجه این مقایسه حباب‌های همانند دسته‌بندی و در

برخلاف نسل سوم، در نسل دوم حباب‌ها شرایط مناسب رشد بهتری از دید زمان و فشار حاکم بر ماگما داشته‌اند. نسل اول میزان هسته‌بندی کمتر (کمتر از نسل سوم و دوم) ولی از دو نسل گذشته میزان رشد بیشتری داشته است (شکل‌های ۶ و ۷). به این معنی که تغییر فشار زیاد و سرد شدن آرام‌تر بر ماگما حاکم بوده است. با توجه به این مطالب می‌توان گفت که نسل اول در آشیانه ماگمایی و نسل دوم در دودکش آتشفشان تشکیل شده است. چگونگی رشد حباب‌های نسل سوم مبهم‌تر بوده و ممکن است در میان حباب‌های بزرگ‌تر پیشین گیر افتاده و به علت نبود فضا رشد نکرده باشند (Sparks & Brazier, 1982) که در این صورت ممکن است در همه طول دوره بالا آمدن و سرد شدن ماگما هسته‌بندی نمایند. این فرض نیز درست است که در لحظه بیرون آمدن ماگما از دودکش به جو، که فشار یک بار افت می‌کند، این نسل از حباب‌ها با نرخ بالا هسته‌بندی کرده باشند و سرد شدن یک باره نیز مانع از رشد زیاد حباب‌ها می‌شود که این دو ویژگی در نسل سوم به‌طور آشکار دیده می‌شود.

در نسل اول و دوم فراوانی حباب‌ها در ابعاد به ترتیب  $X > Y > Z$  است ولی در نسل سوم برخلاف این دو نسل، فراوانی در بازه‌های کوچک‌تر با پس  $Z$  است که همیشه کمترین مقدار را داشته است. فراوانی بازه‌های بزرگ‌تر این نسل با بعد  $Y$  است در حالی که در دو نسل دیگر در همه بازه‌ها با بعد  $X$  بوده و فراوانی در کل حباب‌ها نیز در بعد  $X$  بیشتر از دو بعد دیگر است (شکل ۷).

### ۵-۲. توزیع اندازه حباب نمایی

این روش با استفاده از تئوری Marsh (1988) است که این مدل برای توزیع اندازه بلور ابداع شد. در این رویکرد فرض بر این است که سامانه در حالت پایدار است و BSD با زمان تغییر نمی‌کند. بر پایه فراوانی و اندازه حباب‌ها نمودار  $\ln$  (population density) در برابر Bubble size رسم می‌شود. رابطه مستقیم لگاریتمی، مربوط به تبلور پیوسته و یکنواخت است که توسط سرعت رشد کم و بیش ثابت ایجاد می‌شود و اندازه حباب‌ها نیز تأثیری در آن ندارد. قانون بقا برای تعادل رشد حباب‌ها چه در درون و چه در بیرون یک گروه معین که حاصل آن تولید یک توزیع نمایی است با فرمول زیر مشخص می‌شود.

$$N(R) \propto N_0 = \exp(-R/Gt) \quad (1)$$

که در آن  $N_0$  چگالی هسته‌بندی و  $t$  زمان مورد نیاز برای رشد حباب است و برای  $R=0$  آنگاه  $N(R)=N_0$  خواهد بود. توانایی این مدل در راحتی و سادگی آن است. متغیرهای فوران به‌راحتی با BSD محاسبه می‌شوند.  $Gt$  نماینده مقیاس طول طبیعی برای اندازه حباب‌هاست. مدل مارش در مطالعات زیادی پذیرفته شده است: (Sarda & Graham, 1990; Mangan et al., 1993; Klug & Cashman, 1994; Mangan & Cashman, 1996; Burnard, 1999). نمونه‌های اسکوری آتشفشان کیلوآ را (Cashman & Mangan (1994) مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها نرخ هسته‌بندی را برابر با  $2 \times 10^4 \text{ (CM}^{-3} \text{ S}^{-1})$  به‌دست آوردند که بسیار بیشتر از مقدار  $35/9 \text{ (CM}^{-3} \text{ S}^{-1})$  برآورد شده برای فعالیت فوران گدازه‌های جریان‌افزیز (Mangan et al., 1993) است.

نرخ هسته‌بندی بالا در آتشفشان کیلوآ به دلیل گسترش بخش فوق‌اشباع ماگماست که پیش از هسته‌بندی رخ می‌دهد و سبب فوران‌های انفجاری می‌شود. محدودیت مدل مارش وجود فرض دایمی بودن رفتار و ثابت بودن هسته‌بندی و نرخ رشد است که این فرض تنها برای ساده کردن روابط ریاضی است. مدل‌های عددی رشد حباب‌ها به‌دلیل نشر و کاهش فشار (Sparks, 1978; Proussevitch & Sahagian, 1996; Blower, 2001; Blower et al., 2001) آشکار می‌کنند که نرخ رشد ممکن است دور از حالت ثابت باشد. با این وجود BSD نمایی در بسیاری از بافت‌های آتشفشانی دیده شده است (Blower et al., 2002).

چگالی هسته‌بندی برای هر  $3$  سوی انجام‌شده در جدول ۴ آورده شده است که در

با توجه به دوکی شکل بودن حباب‌های اسکوری دماوند می‌توان گفت در فضای آزاد یعنی بیرون آتشفشان تشکیل و یا رشد نکرده‌اند. چون بیرون آمدن اسکوری در آتشفشان‌ها معمولاً انفجاری و با سرعت زیاد همراه است، احتمال می‌رود که بیشتر حباب‌ها در آشیانه ماگمایی و دودکش آتشفشانی تشکیل شده باشند که با توجه به شکل حباب‌ها و برآورد احتمالی فشار حاکم بر آن شکل گلابی‌مانند بهترین شکل پیشنهادی برای آشیانه ماگمایی است که حباب‌ها در آن شکل گرفته و رشد کرده‌اند. در ادامه در مسیر حرکت در دودکش حباب‌های نسل دوم هسته‌بندی می‌کنند و به همراه حباب‌های نسل اول به رشد ادامه می‌دهند. از سوی دیگر دودکش نیز به صورت استوانه‌ای بوده و فشار وارد بر ماگمای در حال بالا آمدن از دو سوی دیواره با هم یکسان ( $S=I$ ) و مقدار آن بالاست در حالی که در راستای سوم یعنی به سوی بالا ( $L$ ) فشار بسیار کمتر است و حباب‌ها در این راستا مجبور به رشد بوده‌اند. با تلفیق دو طرح نمادین ارائه شده در شکل‌های ۱۲-A و B و داده‌های به دست آمده در این پژوهش، طرح نمادین شکل ۱۲-c برای آتشفشان دماوند پیشنهاد می‌شود.

## ۶- نتیجه‌گیری

در آتشفشان دماوند سه نسل حباب در سه رخداد هسته‌زایی تشکیل شده‌اند. نسل اول با چگالی هسته‌بندی کم و رشد زیاد نسبت به نسل دوم است. نسل دوم نیز نسبت به نسل سوم هسته‌بندی پایین و رشد بالایی دارد. نسل سوم دارای هسته‌بندی وسیع و رشد کم است. شکل این سه نسل در سه وجه اسکوری دماوند یکسان است و نسبت میانگین  $۳/۳ : ۱ : ۱$  دارد که یک شکل بیضی گون و گویای نسبت فشارهای وارد به مذاب در آشیانه ماگمایی و دودکش آتشفشانی است.

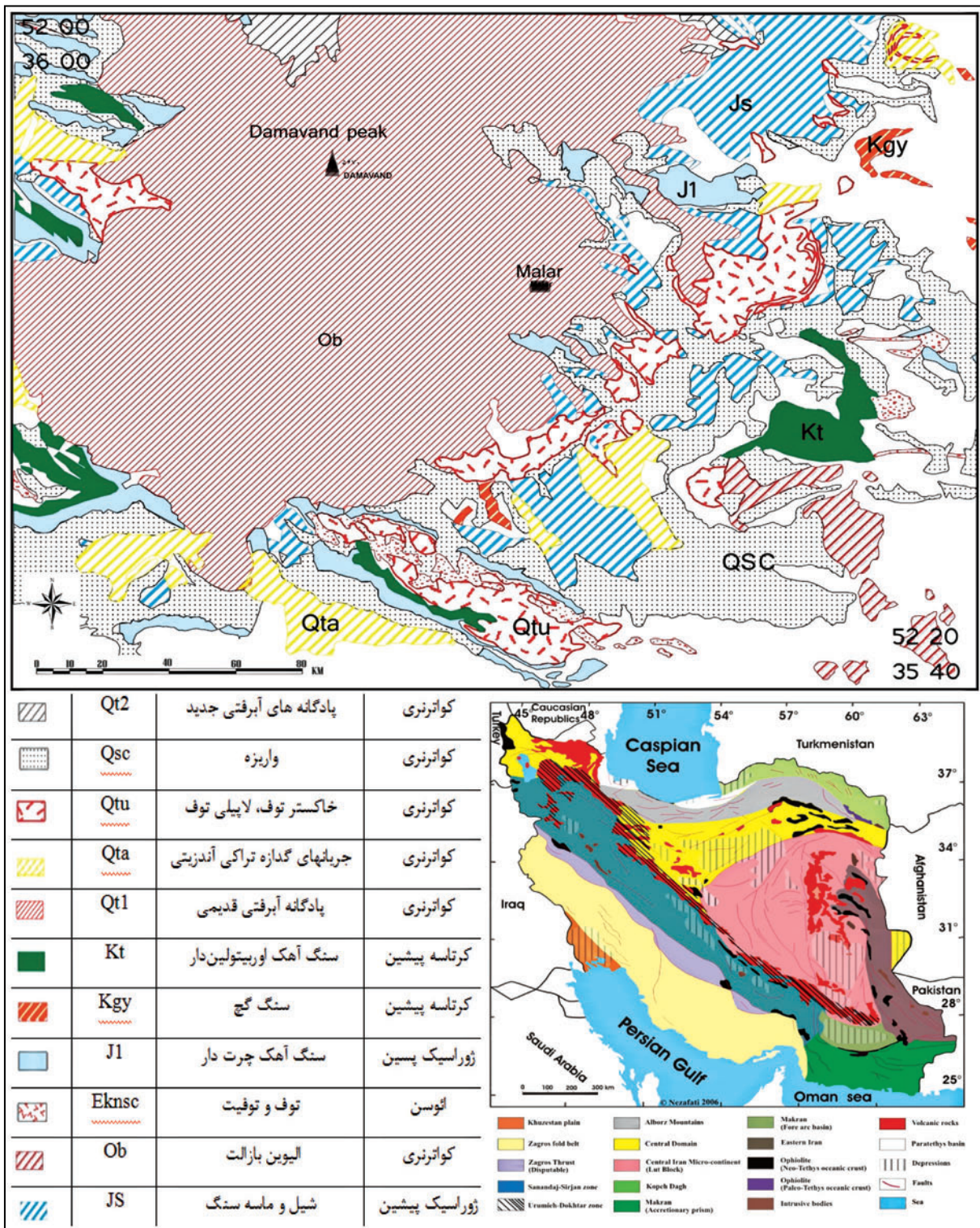
نسل اول در حباب‌ها در آشیانه ماگمایی و نسل دوم در دودکش آتشفشان تشکیل شده‌اند. تشکیل نسل سوم در دو شرایط ۱- تشکیل در میان حباب‌های بزرگ‌تر پیشین و ۲- در آخرین مرحله ماگما از دودکش آتشفشانی محتمل است.

فراوانی حباب‌ها در مدل‌های مختلف اسکوری دماوند متفاوت است لیکن شکل همه حباب‌ها در سه وجه  $X, Y, Z$  مشابه است. همچنین شکل حباب‌ها در سه نسل نیز تقریباً یکسان است.

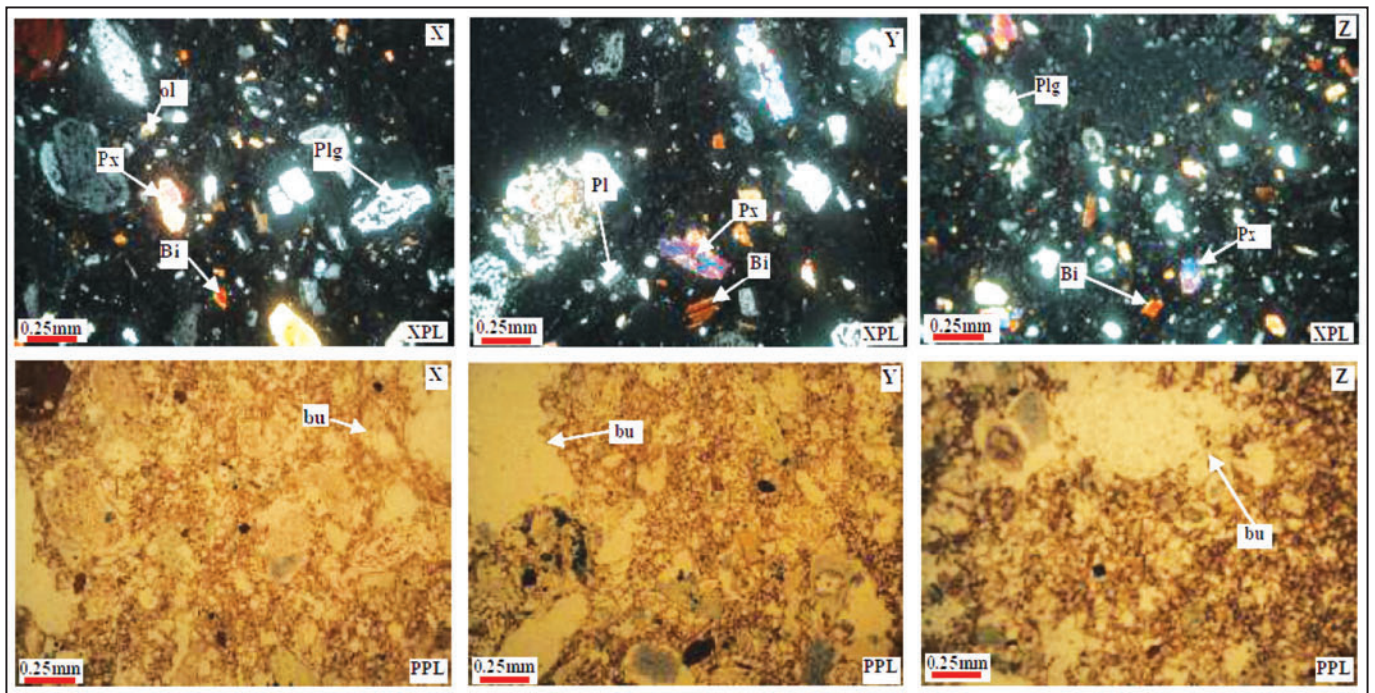
تشکیل حباب‌های بیضی گون در آشیانه ماگمایی با نسبت میانگین  $۱:۱:۴$  در ابتدا، بیانگر فشار حاکم بر آشیانه ماگمایی با همان نسبت است. از این نسبت فشار می‌توان یک آشیانه ماگمایی با شکل بیضی گون را برای آشیانه‌ای که این حباب‌ها در آن تشکیل شده‌اند، متصور شد.

۴ دسته‌نهایی در نمودار CSDslice رسم شدند. نسبت طول قطرهای هر ۵ دسته نیز به صورت جدا محاسبه شد (شکل ۱۰). در پایان با توجه به بایمدال بودن شکل حباب‌های موجود در اسکوری دماوند، نسبت  $۱:۱:۴$  به عنوان نسبت نهایی معرفی می‌شود که تقریباً میانگین هر ۴ دسته حباب‌ها است (جدول ۹). از نسبت طول این حباب‌ها چنین دریافت می‌شود که قطرهای کوچک و متوسط در همه نمونه بسیار همانند (برابر ۱) هستند و با طول قطر بزرگ‌تر اختلاف دارند. در بعد  $X$  قطر بزرگ‌تر در مقایسه با دو قطر دیگر ۴ برابر بیشتر رشد داشته است. در وجه  $Y, Z$  نیز قطرهای کوچک و بزرگ بسیار همانند (برابر ۱) و قطر بزرگ‌تر  $۳/۴$  برابر دو قطر دیگر رشد کرده است. در مقایسه نسبت نهایی سه بعد اسکوری دماوند (جدول ۷) چنین دریافت می‌شود که شکل حباب‌ها در بعدهای  $Y, Z$  کاملاً همانند هستند ( $۱:۱:۳,۴$ ). بعد  $x$  با نسبت  $۱:۱:۴$  در مقایسه با دو وجه دیگر کمی در قطر بزرگ‌تر کشیده‌تر است. در مجموع تفاوت شکل حباب‌ها در سه بعد اسکوری ناچیز است و می‌توان یک شکل بیضوی سه‌بعدی با نسبت قطرهای ( $۳/۷ : ۱ : ۱$ ) به عنوان میانگین کل حباب‌ها در نظر گرفت. با توجه به این نتایج آشکار می‌شود که حباب‌های تشکیل شده اسکوری‌های دماوند به طور کلی در دو قطر همانند، به یک میزان از سوی مذاب تحت فشار و در بعد سوم حدود  $۳/۷$  برابر کمتر تحت فشار بوده‌اند، حباب رشد بیشتری داشته و حالت دوکی شکل به خود گرفته است (شکل ۱۱). نظم موجود در شکل حباب‌های موجود در هر سه بعد اسکوری دماوند این فرض را پیش می‌آورد که نسبت فشارهای وارد به مذاب از ۳ جهت فضایی با نسبت تقریبی  $۱:۱:۴$  بوده و در ۳ نسل حباب ثابت است. اگر آشیانه ماگمایی را به صورت گلابی شکل در نظر بگیریم، طبیعی به نظر می‌رسد که از دو سوی دیواره در راستای افق به یک میزان فشار وارد شده باشد ولی در راستای عمود یعنی همان راستای دودکش آتشفشانی فشار کمتر باشد که حباب‌ها در آن راستا بیشتر رشد کرده‌اند. با فرض درست بودن این باور می‌توان گفت که فشار حاکم بر آشیانه ماگمایی در ژرفایی که حباب‌ها رشد کرده‌اند در راستای افقی حدود  $۳/۷$  برابر راستای عمودی بوده است.

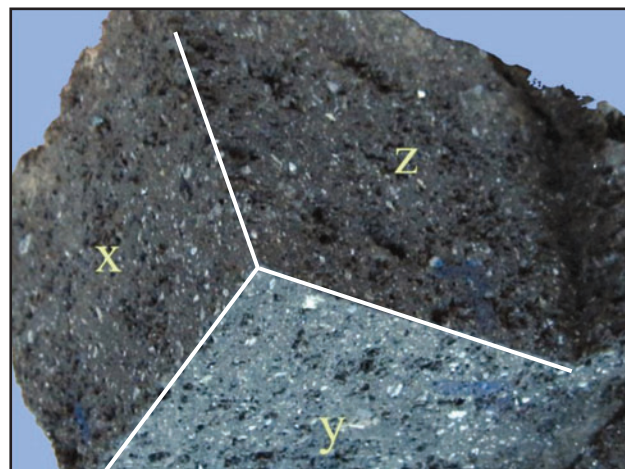
بر پایه مطالعات Davidson et al. (2004) بیشترین فوران اسکوری‌های دماوند در مدت زمان ۷۰۰ تا ۱۵۰ هزار سال پیش بوده است. بازسازی توپوگرافی کهن دماوند توسط این پژوهشگران گویای این است که دماوند کم و بیش شکل مخروط امروزی خود را داشته است و اسکوری‌ها از دودکش دماوند که راستایی عمود بر سطح داشته است بیرون آمده‌اند (شکل ۱۲-a). (Gonnermann & Manga (2007) در مطالعه کاملی، طرح هسته‌بندی و رشد حباب را در طول آشیانه ماگما و دودکش آتشفشان بازسازی کرده‌اند (شکل ۱۲-a).



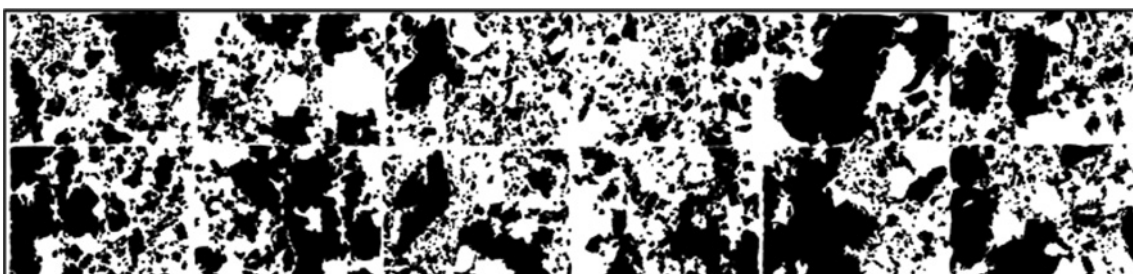
شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دماوند، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، محل نمونه برداشت شده با ستاره مشخص شده است.



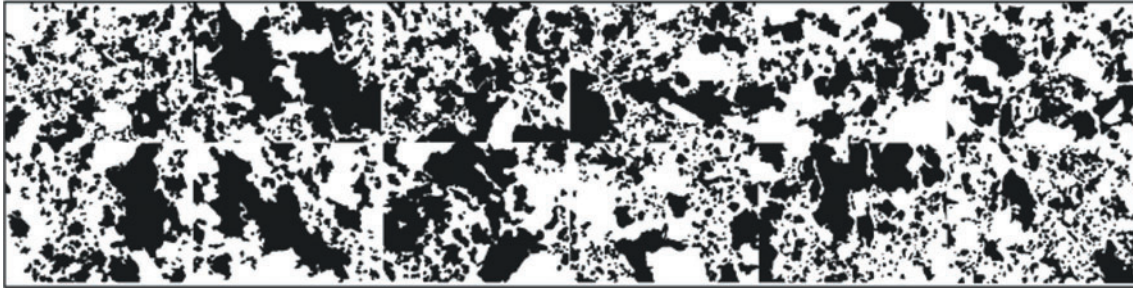
شکل ۲- عکس‌های تهیه‌شده از مقاطع برای استفاده در نرم‌افزار CSD. Plg: پلاژیو کلاز، bu: حباب، Px: پیروکسن، Bi: بیوتیت، Ol: اولیون.



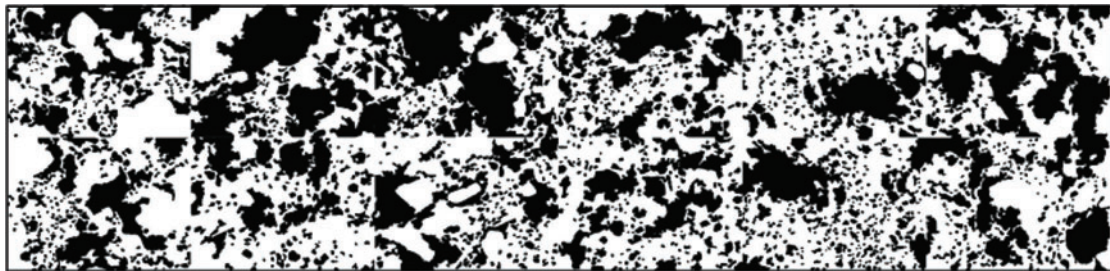
شکل ۳- نمونه دستی اسکوری دماوند؛ ابعاد X-Y-Z در تصویر مشخص شده است.



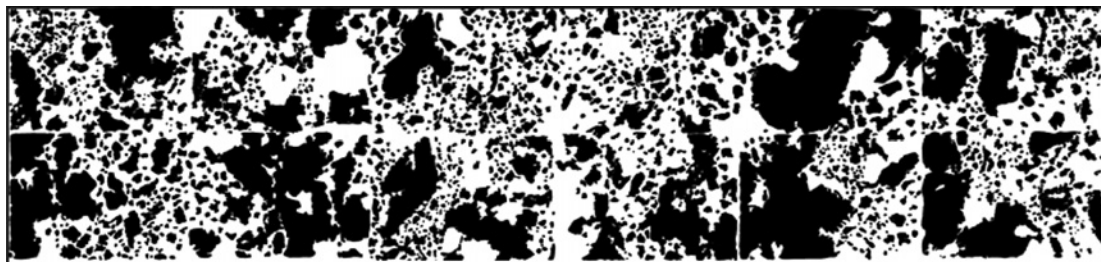
شکل ۴- الف) حباب‌های رسم‌شده در نور طبیعی از برش X؛



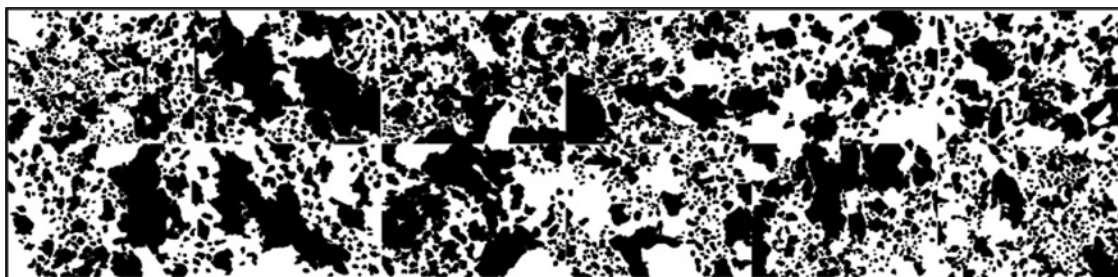
شکل ۴-ب) حباب‌های رسم‌شده در نور طبیعی در پرش Y؛



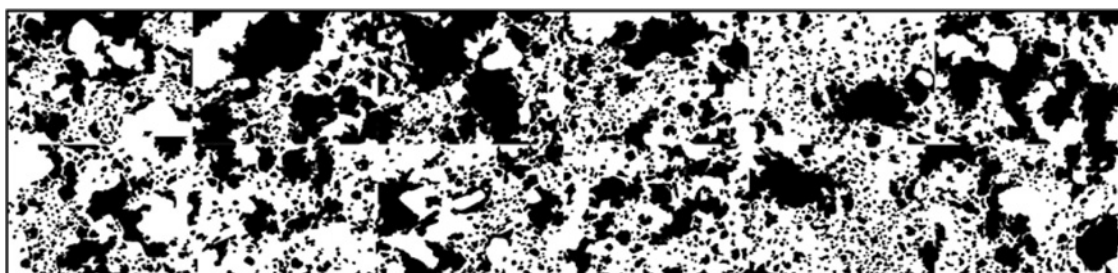
شکل ۴-ج) حباب‌های رسم‌شده در نور طبیعی در پرش Z؛



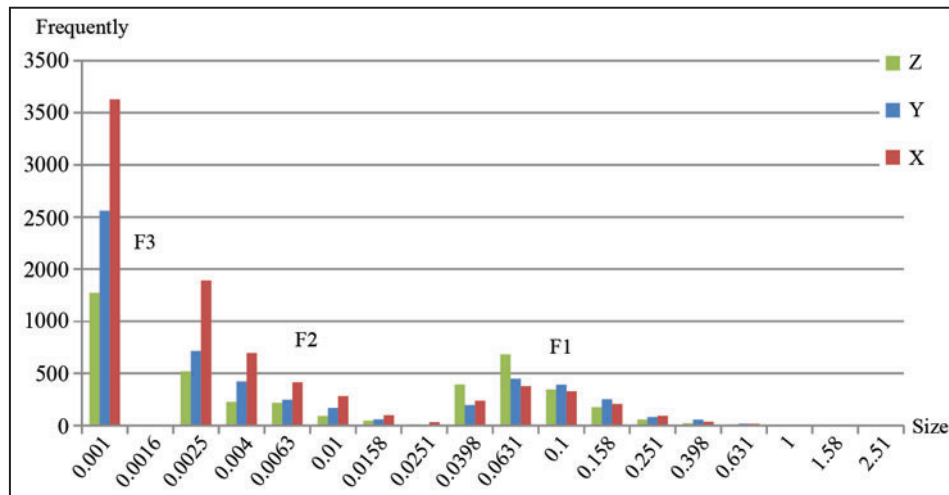
شکل ۵-الف) حباب‌های رسم‌شده در حالت منفصل از مقطع X؛



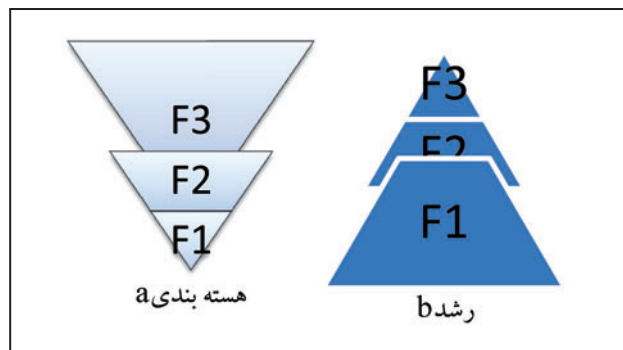
شکل ۵-ب) حباب‌های رسم‌شده در حالت منفصل در مقطع Y؛



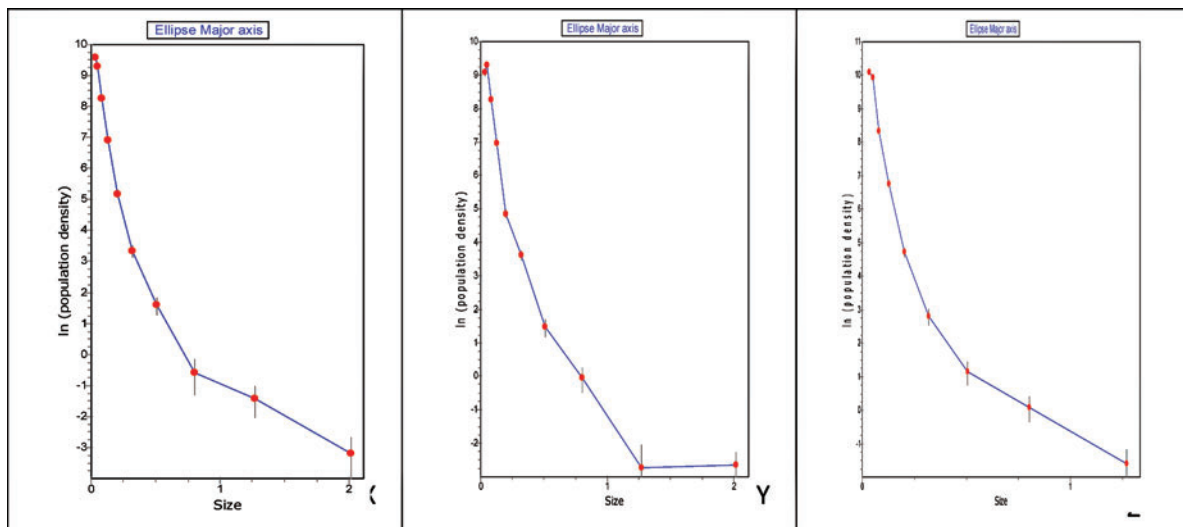
شکل ۵-ج) حباب‌های رسم‌شده در حالت منفصل در مقطع Z (طول هر عکس در شکل‌های ۴ و ۵ برابر با ۴۰ میلی‌متر است. مناطق سیاه‌رنگ را حباب و مناطق سفیدرنگ را بلور و شیشه تشکیل می‌دهد)



شکل ۶- نمودار فراوانی حباب‌ها؛ در بازه‌های متفاوت، سه نسل حباب قابل جدایش هستند.

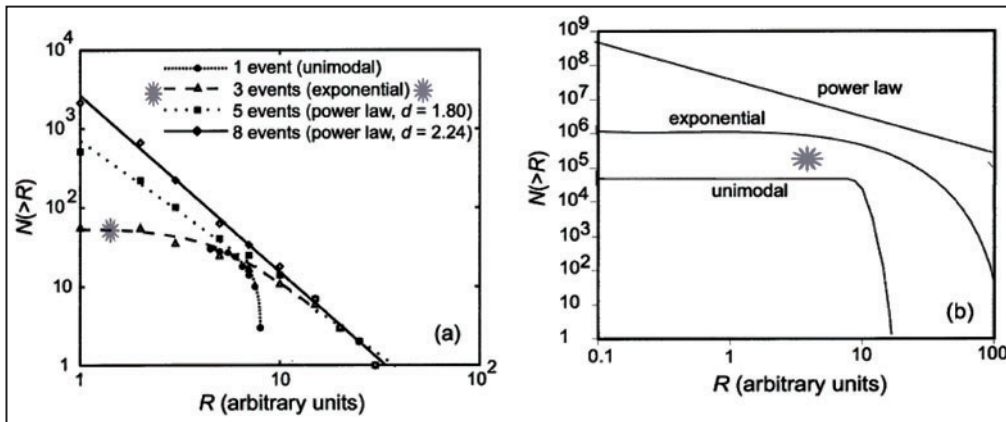


شکل ۷- مقایسه سه نسل حباب‌ها در اسکوره‌های دماوند؛ (a) هسته‌بندی حباب‌ها  $F1 >> F2 > F3$ ؛ (b) رشد حباب‌ها  $F3 >> F2 > F1$



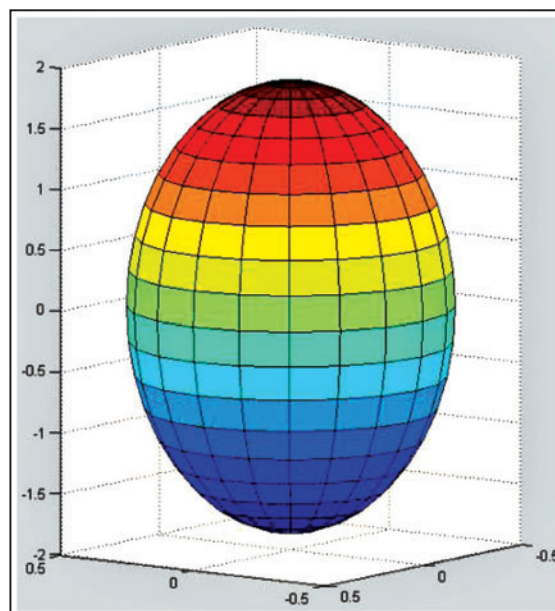
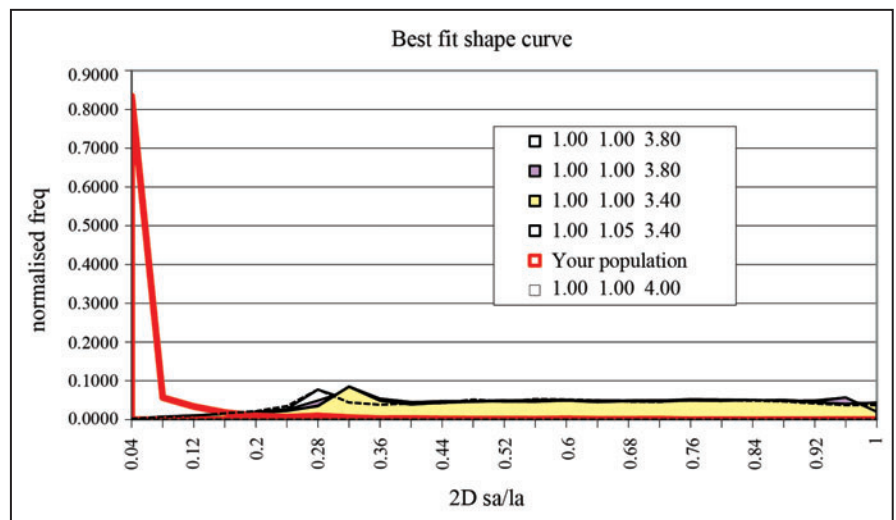
شکل ۸- نمودارهای لگاریتمی چگالی تجمعی در برابر اندازه دانه‌ها برای نمونه‌های مطالعه‌شده.



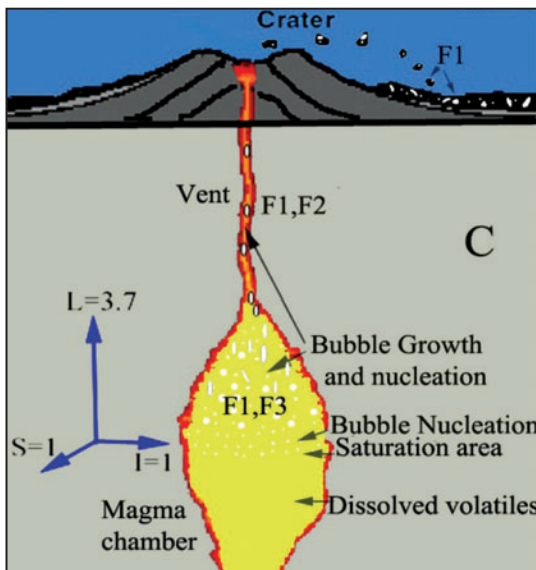
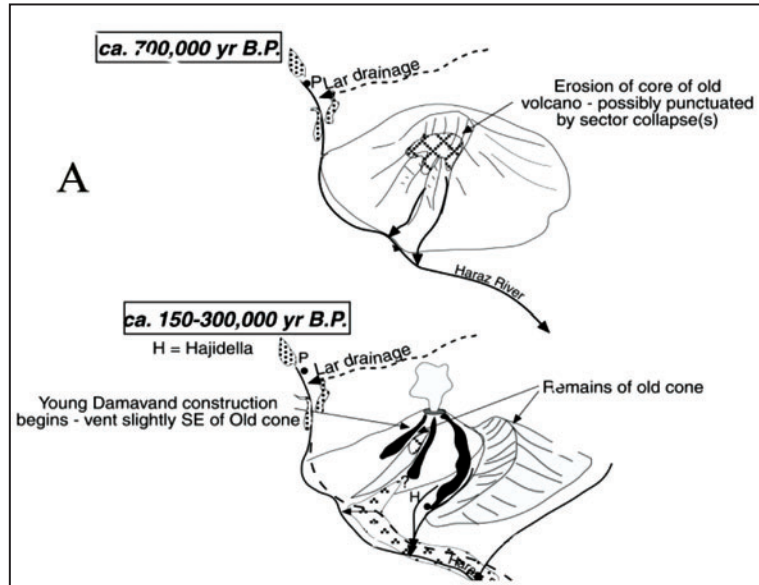
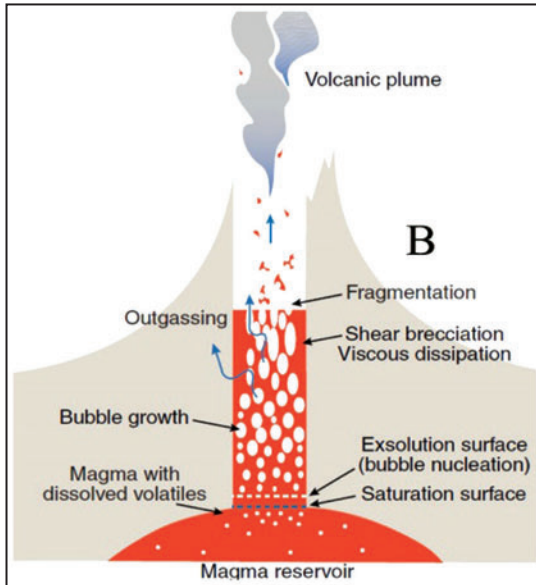


شکل ۹- نمودار اجمالی توزیع های پیشرونده حباب با افزایش تعداد رخداد های هسته بندی (Blower et al., 2002)، با توجه به ۳ رخداد هسته بندی در دماوند توزیع حباب ها پلی مدال تا نمایی است. محل نمونه دماوند با علامت ستاره مشخص شده است.

شکل ۱۰- منحنی فراوانی نسبت به توزیع نسبت های S:I برای مقایسه شکل حباب ها در وجه X؛ منحنی پیشنهادی نهایی نسبت متوسط طول قطرهای حباب ها را به صورت ۱:۱:۴ پیشنهاد می دهد. در جدول وسط تصویر، حباب ها با توجه به همانندی اندازه، در ۴ گروه دسته بندی شده اند و در پایان میانگین بهترین میانگین (Your population) برای کل حباب ها محاسبه شده است.



شکل ۱۱- تصویر نمادین بازسازی شده حباب های موجود در اسکوری دماوند با استفاده از نرم افزار Matlab بر پایه میانگین قطر هر ۳ وجه (۳:۷:۱).



شکل ۱۲- A) تصویر نمادین آتشفشان دماوند در ۷۰۰ تا ۱۵۰ هزار سال پیش، (برگرفته از Davidson et al., 2004)، تعیین سن ایزوتوپی توسط این پژوهشگران بیانگر این است که اسکوری‌های دماوند در ۶۰۰ تا ۱۵۰ هزار سال پیش فوران کرده‌اند؛ B) تصویر نمادین از یک آتشفشان و فرایند هسته‌بندی، رشد و چگونگی بالا آمدن به همراه ماگما (Gonnermann & Manga, 2007). در این شکل سطح فوق اشباع و هسته‌بندی در ابتدای دودکش و رشد حباب‌ها درون دودکش فرض شده است؛ C) شکل نمادین پیشنهادی برای آشیانه ماگمایی دماوند که حباب‌ها در آن شکل گرفته‌اند. گازهای محلول در ماگما ضمن بالا آمدن منبسط شده‌اند و در یک ژرفای مشخص در ماگما فوق اشباع خواهند بود. آنگاه هسته‌بندی شروع می‌شود و در سطوح بالاتر حباب‌ها با توجه به فشارهای وارد شده به آشیانه ماگما و دودکش (که متأثر از شکل هندسی آشیانه و دودکش و ژرفاست) حباب‌ها رشد می‌کنند و شکل‌های خاصی به خود می‌گیرند. با افزایش فشار درونی ماگما به واسطه حباب‌ها فوران‌های انفجاری رخ می‌دهند و ماگما قطعه‌قطعه می‌شود. هسته‌بندی و رشد در ۳ مرحله در آشیانه ماگمایی، دودکش و حتی اتمسفر نیز ممکن است رخ دهد.

جدول ۱- خلاصه ویژگی‌های سنگ‌نگاری نمونه اسکوری دماوند در ۳ سوی برش خورده

نمونه	سنگ شناسی (بدون در نظر گرفتن حباب‌ها)	شواهد بافتی
جهت برش X	درشت بلور: پلاژیو کلاز (۵۰٪)، الیوین و پیروکسن (۳۰٪) زمینه: شیشه (۱۲٪)، میکروولیت (۵٪)، اپک (۳٪)	بافت آمیگدالوئیدال - پورفیریک، بافت غربالی، پلاژیو کلازها دارای ماکل سوزنی پلیستیک، دارای بافت منطقه ای
جهت برش Y	درشت بلور: پلاژیو کلاز (۴۶٪)، الیوین و پیروکسن (۳۷٪) زمینه: شیشه (۱۰٪)، میکروولیت (۳٪)، اپک (۴٪)	بافت آمیگدالوئیدال - پورفیریک، بافت گلوبروپورفیریک، حاشیه سوخته و تحلیل رفته در بیوتیت، پلاژیو کلاز دارای ماکل سوزنی پلی ستیک
جهت برش Z	درشت بلور: پلاژیو کلاز (۵۳٪)، الیوین و پیروکسن (۲۸٪) زمینه: شیشه (۱۱٪)، میکروولیت (۶٪)، اپک (۲٪)	بافت آمیگدالوئیدال - پورفیریک، بافت گلوبروپورفیریک، پلاژیو کلازها دارای ماکل تکراری، بافت غربالی

جدول ۲- مناطق اندازه‌گیری شده در هر مقطع طول و عرض محدود

sample	Area (mm <sup>2</sup> )	X	Y	Major	Minor
X	۴۱/۹۹	۶/۵۲۷	۱/۵۷۵	۱۴/۶۲۷	۳/۶۵۶
Y	۴۱/۹۹	۶/۵۹۲	۱/۶۳۲	۱۴/۶۲۴	۳/۶۵۶
Z	۳۵/۷۷۹	۵/۹۸۲	۱/۴۹۵	۱۳/۴۹۹	۳/۳۷۵

جدول ۳- فراوانی حباب‌های اندازه گرفته شده در هر بازه، جمع کل حباب‌ها در جدول ۶ آمده است.

وجه	بازه	۰/۰۶۳۱	۰/۱۰	۰/۱۵۸	۰/۲۵۱	۰/۳۹۸	۰/۶۳۱	۱/۰۰	۱/۵۸	۲/۵۱
تعداد	X	۳۷۸	۳۲۸	۲۰۷	۹۳	۳۷	۱۶	۵	۵	۲
	Y	۴۴۸	۳۹۱	۲۵۲	۸۱	۵۶	۱۷	۹	۲	۴
	Z	۶۸۳	۳۴۵	۱۷۶	۵۸	۲۲	۱۱	۹	۴	
وجه	بازه	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶۳	۰/۰۱	۰/۰۱۵۸	۰/۰۲۵۱	۰/۰۳۹۸
تعداد	X	۳۱۳۰	۰	۱۳۹۲	۶۹۶	۴۱۵	۲۸۳	۹۹	۳۴	۲۳۷
	Y	۲۰۶۰	۰	۷۱۵	۴۲۳	۲۴۸	۱۶۹	۵۹	۳	۱۹۷
	Z	۱۲۷۲	۰	۵۲۰	۲۲۷	۲۱۸	۹۲	۴۷	۱۱	۳۹۳

جدول ۴- شیب خط و محل تقاطع توزیع اندازه حباب‌ها محاسبه شده در نمودار خطی BSD برای حباب‌های X, Y, Z

جدول ۵- مقایسه تعداد بلورها و میزان سهم حجمی

بعد	X	Y	Z	کل
تعداد حباب‌ها	۷۳۵۷	۵۳۸۵	۴۰۸۸	۱۶۸۳۰
سهم حجمی حباب‌ها	۴۷/۲۸	۴۱/۲۲	۴۰/۱	۴۲/۸۶

شیب خط	چگالی هسته بندی CM <sup>-3</sup> S <sup>-1</sup>	محل‌های تقاطع پراکندگی اندازه بلور (n°)	نمونه
-۱۲/۵	6×10 <sup>4</sup>	۲۷/۹	X
-۱۱/۰	5×10 <sup>4</sup>	۰۰/۹	Y
-۱۶/۳	2×10 <sup>5</sup>	۱۶/۱۰	Z

جدول ۶- فراوانی کل، کمینه و بیشینه توزیع حباب‌ها در سه وجه اسکوری دماوند.

وجه	تعداد کل حباب‌ها	بیشترین محدوده فراوانی حباب‌ها (mm <sup>2</sup> )			کمترین فراوانی در (mm <sup>2</sup> )			بیشترین فراوانی در (mm <sup>2</sup> )		
		مساحت	درصد حجم	تعداد حباب	مساحت	درصد حجم	تعداد حباب	مساحت	درصد حجم	
X	۷۳۵۷	۶/۹۴	۴۱/۵	۳۱۳۰	۲/۲۵۶	۰	۱	۶/۲۵-۶/۹۴	۷۶	۵۵۹۷
Y	۵۳۸۵	۵/۹۲	۴۰/۶	۲۱۸۸	۱/۸۷۸	۰	۱	۴/۱۴-۵/۹۲	۶۷/۳	۳۶۲۵
Z	۴۰۸۸	۵/۹۲	۳۱/۱	۱۲۷۲	۵/۵۹	۰	۱	۵/۹۲-۳/۵۵	۵۱/۴	۲۱۰۶

جدول ۷- نتایج انتخاب نهایی نسبت قطر حباب‌ها در سه وجه X-Y-Z در اسکوری دماوند.

X	Y	Z	بعد
100:100:3.80	100:1.05:3.40	100:1.05:3.40	نسبت قطرها در ۴ گروه تشخیص داده شده در هر بعد
100:100:3.80	100:1.05:3.40	100:1.05:3.40	
100:100:3.40	100:100:3.00	100:100:2.90	
100:100:3.40	100:100:2.80	100:100:3.00	
100:100:4.00	100:100:3.40	100:100:3.40	بهترین نسبت قطرها

## کتابنگاری

- آلباخ، پ، اشتایگر، ر، امینی، ب. و خلعتبری، م، ۱۳۵۷- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دماوند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امیدیان، ص، ۱۳۸۶- تعیین جایگاه زمین‌ساختی آتشفشان دماوند بر اساس شواهد ساختاری و ژئوشیمیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- درویش‌زاده، ع، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران نشر امیرکبیر، ۳۴۳ص.
- مرادی، م، ۱۳۷۵- تفروکرونولوژی و دینامیک فوران آتشفشان دماوند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

## References

- Blower, J. D., 2001- Degassing Processes in Volcanic Eruptions. Ph.D. Thesis, University of Bristol.
- Blower, J. D., Keating, J. P., Mader, H. M. & Phillips, J., 2002- the evolution of bubble size distributions in volcanic eruptions, 120, 1-23.
- Blower, J. D., Mader, H. M. & Wilson, S. D. R., 2001b- Coupling of viscous and diffusive controls on bubble growth during explosive volcanic eruptions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, in press.
- Brousse, R., Lefevre, C., Maury, R. C., Moine-Vaziri, H. & Aminie-Sobhani, E., 1977- Le Damavand: Un volcan shoshonitique de la plaque iranienne: Paris, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie D*, v. 285, p. 131-134. Cartier, E., 1972, *Geological*.
- Burnard, P., 1999- Eruption dynamics of 'popping rock' from vesicle morphologies. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 92, 247- 258.
- Cashman, K. V. & Mangan, M. T., 1994- Physical aspects of magmatic degassing. 2. Constraints on vesiculation processes from textural studies of eruptive products. In *Volatiles in Magmas*, vol. 30 of *Reviews in Mineralogy*, pp. 447-78. *Mineral. Soc. Am.*
- Davidson, J., Hassanzadeh, J., Berzins, R., Stockli, D. F., Bashukoo, B., Turrin, B. & Pandamouz, A., 2004- The geology of Damavand volcano, Alborz Mountains, northern Iran. *GSA Bull* 116(1/2):16-29.
- Fisher, R. V. & Schmincke, H. U., 1984- *pyroclastic rocks*. Springer- Verlag, 472 p.
- Francis, P., 1995- *Volcanoes: A planetary perspective*. Clarendon press. 442 p.
- Gaonac'h, H., Stix, J. & Lovejoy, S., 1996b- Scaling effects on vesicle shape, size and heterogeneity of lavas from Mount Etna. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 74, 131-153.
- Giachetti, T., Druitt, T. H., Burgisser, A., Arbaret, L. & Galven, C., 2010- Bubble nucleation, growth and coalescence during the 1997 Vulcanian explosions of Soufrière Hills Volcano, Montserrat. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 193, 215-231.
- Gonnermann, H. M. & Manga, M., 2007- The Fluid Mechanics Inside a Volcano, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 39:321-356. Downloaded from [arjournals.annualreviews.org](http://arjournals.annualreviews.org) by University of California - Berkeley on 12/21/06. For personal use only.
- Heiken, G. & Wohletz, K., 1985- *Volcanic Ash*. University of California Press. 246 pp.
- Heiken, G., 1972- Morphology and petrography of volcanic ashes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83:1961-1988.
- Higgins, M. D., 2006- *Quantitative textural measurements in igneous and metamorphic petrology*. Cambridge University Press. 277pp.
- Klug, C. & Cashman, K. V., 1994- Vesiculation of May 18, 1980, Mount St. Helens magma. *Geology* 22, 468-472.
- Mangan, M. T., Cashman, K. V. & Newman, S., 1993- Vesiculation of basaltic magma during eruption. *Geology* 21, 157- 160.
- Mangan, M. T. & Cashman, K. V., 1996- The structure of basaltic scoria and reticulite and inferences for vesiculation, foam formation, and fragmentation in lava fountains. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 73, 1-18.
- Marsh, B. D., 1988- Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization I. Theory. *Contrib. Mineral. Petrol.* 99, 277-291.
- McBirney, A. R. & Murase, T., 1970- Factors governing the formation of pyroclastic rocks. *Bull. Volcanol.* 34:372-84.
- Morgan, D. J. & Jerram, D. A., 2006- On estimating crystal shape for crystal size distribution analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 154, 1-7.
- Orsi, G., Gallo, G., Heiken, H., Wohletz, K., Yu, E. & Bonani, G., 1992- A comprehensive study of pumice formation and dispersal: The Cretaceous Tephra of Ischia Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 53, 329-354.
- Proussevitch, A. A. & Sahagian, D. L., 1996- Dynamics of coupled diffusion and decompressive bubble growth in magmatic systems. *J. Geophys. Res.* 101, 17447-17455.
- Rust, A. C., Manga, M. & Cashman, K. V., 2002- Determining low type, shear rate and shear stress in magmas from bubble shapes and orientations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 122 (2003) 111-132.
- Sarda, P. & Graham, D., 1990- Mid-ocean ridge popping rocks: implications for degassing at ridge crests. *Earth Planet. Sci. Lett.* 97, 268-289.
- Sparks, R. S. J. & Brazier, S., 1987- New evidence for degassing processes during explosive eruptions. *Nature* 295, 218-220. URASE.
- Sparks, R. S. J., 1978- The dynamics of bubble formation and growth in magmas: A review and analysis. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 3, 1-37.
- Whitham, A. G. & Sparks, R. S. J., 1986- Pumice. *Bull. Volcanol.* 48, 209-223.
- Wilson, J. A., 1980- "Some hypergeometric orthogonal polynomials", *SIAM Journal on Mathematical Analysis* 11 (4): 690-701, doi:10.1137/0511064, ISSN 0036-1410, MR 579561.

## Characterization of Bubbles and Their Formation during the Eruption of Damavand Volcano Scoria

B. Rahimzadeh <sup>1\*</sup>, F. Masoudi <sup>2</sup> & S. Ranjbar <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> M. Sc., Department of Geology, Faculty of Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 2011 August 08

Accepted: 2012 April 17

### Abstract

Scoria is one of the main pyroclastic units in Damavand volcano, which its main crystals are plagioclase, olivine and pyroxene. In this study, characterization of bubbles and their formation during the eruption considered using Bubble Size Distribution (BSD) method including study of volume, 3D modeling, nucleation and bubble growth. For selected sample, the bubbles investigated in 3 perpendicular dimensions (X-Y-Z) and in total 16830 bubbles (X=7357, Y=5385, Z=4088) were measured and drawn. The Bubbles volumes calculated in 3 dimensions are X=47.21, Y=40.27, Z=40.01 percent. The Bubbles axes were calculated: X=1:1:4, Y=Z=1:1:3.4 and the 3D schematic shape is ellipsoid which the longest axis (L) is about 4 times longer than the other two axes (I, S). The L axis is parallel to the lowest pressure dictated on magma and the bubbles could be grown 4 times more in that direction. The bubbles shape of Damavand scoria is an ellipsoid with an average of 1:1:3.7 for its axes. The presence of 3 peaks in frequency distribution versus bubble size diagram, suggesting polymodal events of bubbles generation and in the Damavand volcano the bubbles nucleation occurred in 3 events (F1, F2, and F3). The nucleation density increased from F1 to F3 but the bubbles growth reduced in the same direction. The first group of bubbles formed in the magma chamber and the second group formed during the magma ascent. The third group of bubbles could form either in the space between earlier groups or in the last stage of magma eruption.

**Keywords:** Bubble Size Distribution (BSD), Scoria, Damavand volcano.

For Persian Version see pages 11 to 22

\*Corresponding author: B. Rahimzadeh; E-mail: B.Rahimzade59@gmail.com