

مطالعات رخساره‌شناسی آتشفشان بیدخوان (استان کرمان)

شهرام خلیلی مبرهن^{۱*} و حمید احمدی پور^۲

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۳۱

چکیده

آتشفشان بیدخوان در استان کرمان و کمر بند ولکانو-پلوتونیک ارومیه - دختر واقع و ساختمان آن شامل تناوبی از گدازه‌ها و مواد آذرآواری مختلف است. این آتشفشان از نظر سنی نسبتاً جوان (میوسن تا پلیوسن) است و ساختار آن تا حدودی سالم است، به طوری که هدف مناسبی برای مطالعات رخساره‌شناسی به شمار می‌رود. بر اساس مطالعات رخساره‌ای، می‌توان ساختمان آتشفشان بیدخوان را در چهار رخساره تفکیک کرد. رخساره مرکزی در محل کالدرا واقع شده و واحدهای سنگی خاصی چون توده نفوذی نیمه ژرف دگرسان شده، برش‌های گدازه‌ای، دایک‌های حلقوی و شعاعی دارد. رخساره نزدیک آتشفشان به صورت دیواره‌های پرشیب و مرتفع در اطراف کالدرا گسترش پیدا کرده و ساختار چینه‌ای را به خوبی نشان می‌دهد که در آن، توالی‌های ستبر واحدهای آذرآواری ریزشی، خیزی، جریانی و گدازه به صورت متناوب قرار گرفته‌اند. رخساره میانی با بیشترین گسترش، به طور عمده از مواد آذرآواری خیزی، جریانی، گدازه و لایه‌های متعدد لاهار تشکیل شده است. رخساره دور آتشفشان بیدخوان، ستبرای کمی دارد و شامل رسوبات رودخانه‌ای درشت دانه‌ای است که در اثر حرکت دوباره محصولات اولیه آتشفشان و حمل آنها توسط رودخانه‌ها به وجود آمده‌اند. مطالعات رخساره‌ای نشان می‌دهد که ساختمان آتشفشان بیدخوان در اثر چندین فاز فورانی انفجاری ایجاد شده که برخی از آنها با دخالت آب همراه بوده‌اند و فاصله زمانی زیادی میان فوران‌ها وجود نداشته است. ویژگی‌هایی چون جوش خوردگی شدید و رنگ نهشته‌های آذرآواری نشان می‌دهد که این واحدها در زمان تشکیل، دمای بالایی داشته و در خشکی تشکیل شده‌اند. رخساره مرکزی آتشفشان بیدخوان می‌تواند محل مناسبی برای اکتشاف مس و مولیبدن پورفیری باشد.

کلید واژه‌ها: بیدخوان، کانی‌سازی کالدرا، رخساره آتشفشانی، آتشفشان مرکب، بردسیر.

*نویسنده مسئول: شهرام خلیلی مبرهن

E-mail: khalilishahram@yahoo.com

۱- پیش‌نویس

شناسایی و بررسی قرار گیرند. با توجه به این که آتشفشان‌های زیادی در ایران وجود دارد این گونه مطالعات، در مناطق دیگر نیز ضروری به نظر می‌رسد.

۲- روش‌های مطالعاتی

به منظور درک صحیح زمین‌شناسی آتشفشان بیدخوان و تعیین ارتباط میان واحدهای مختلف سنگی و بررسی رخساره‌شناسی، از بخش مرکزی کالدرا به سوی دیواره‌ها و همچنین از بخش‌های بیرونی به طرف کالدرا، چندین پیمایش انجام و مقاطع مختلفی مطالعه شد. برای بررسی ترکیب سنگ‌ها، تعدادی نمونه برای تجزیه شیمیایی سنگ کل انتخاب شد که پس از آماده‌سازی، برای تعیین عناصر اصلی و عناصر خاکی کمیاب به روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و ICP-MS در دانشگاه کاتانیا (ایتالیا) مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. ضمناً به منظور اطمینان از درستی داده‌های به دست آمده، نمونه‌های کنترلی انتخاب و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت.

۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

آتشفشان بیدخوان در جنوب خاور ایران و در ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان بردسیر (استان کرمان)، میان طول‌های جغرافیایی 30' 52' 056° تا 50' 09' 056° خاوری و عرض‌های جغرافیایی 10' 49' 029° تا 27' 029° شمالی قرار گرفته و جزئی از کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی (ارومیه - دختر) است (شکل ۱-ب). (Dimitrijevic (1973) بخشی از این کمر بند را که در استان کرمان قرار دارد به نام نوار دهج - ساردوییه نام گذاشته و موقعیت آتشفشان بیدخوان را در بخشی از این نوار در نظر می‌گیرد.

در منطقه مورد مطالعه، تشکیلات سنگی متفاوتی رخمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن که پی و میزبان آتشفشان بیدخوان به شمار می‌روند، در بخش‌های شمالی تا شمال خاوری، جنوبی و جنوب باختری رخمون داشته و شامل انواع

امروزه بررسی‌های آتشفشان‌شناسی جایگاه ویژه‌ای در مطالعات زمین‌شناسی دارند؛ به طوری که این مطالعات روی آتشفشان‌های فعال و نیز روی انواع خاموش یا نیمه فعال انجام می‌گیرد (Cas & Wright, 1988; Dogan et al., 2013). یکی از بخش‌های بسیار مهم آتشفشان‌شناسی را مطالعات رخساره‌شناسی تشکیل می‌دهد که به ویژه در استراتولوکان‌ها (که عموماً گستردگی زیادی دارند) انجام آن ضروری است. با مطالعات رخساره‌شناسی، می‌توان درک درستی از سازوکار فعالیت‌های یک آتشفشان، نوع فوران‌ها و نحوه تشکیل محصولات آتشفشانی به دست آورد. در آتشفشان‌های عهد حاضر، خطرات ناشی از فوران‌ها و مراقبت از آنها، و در آتشفشان‌های خاموش و نیمه فعال، مطالعات زمین‌گرمایی و کانسازسازی‌های وابسته، از اهمیت به سزایی برخوردار است و مطالعات رخساره‌شناسی می‌تواند در فهم پدیده‌های وابسته به آتشفشان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. امروزه، بررسی‌های رخساره‌شناسی به طور گسترده در بسیاری از آتشفشان‌های بزرگ دنیا صورت گرفته و یا در حال انجام است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳؛ احمدی‌پور، ۱۳۷۲؛ Siebert, 1984; Francis et al., 1985; Santacrocce et al., 2008).

آتشفشان بیدخوان با گستردگی حدود ۴۲۵ km²، استراتولوکانی است که در استان کرمان قرار گرفته و از آنجایی که ساختمان اولیه و رخساره‌های آتشفشانی خود را به دلیل جوان بودن، تا حدودی حفظ کرده است، مطالعات رخساره‌شناسی می‌تواند به خوبی در آن انجام گیرد. فهم سازوکار فعالیت‌های آتشفشانی در این منطقه، بررسی احتمال وجود کانسارهای مختلف و پیدا کردن محل دقیق آنها و شناخت فرایندهای زمین‌شناسی مرتبط و تفکیک فازهای فورانی، اهمیت و ضرورت مطالعات رخساره‌شناسی را در این آتشفشان نشان می‌دهد. هدف از این مطالعه، رخساره‌شناسی آتشفشان بیدخوان و ارائه مدل رخساره‌ای آن است و برای رسیدن به این هدف، سعی شده تا با استفاده از مطالعات صحرایی گسترده و معرفی و توصیف رخساره‌ها و محصولات آتشفشانی و شیمی گدازه‌های موجود، رخساره‌ها مورد

مخصوصاً در رخساره‌های میانی و دور را تشکیل می‌دهد، نباید از نظر دور داشت (Cas & Wright, 1988).

– رخساره مرکزی (Central Facies): این رخساره منحصرأ در محدوده کالدرای بیدخوان قرار گرفته (شکل ۲- الف) و قطری حدود ۶ کیلومتر دارد و از نظر توپوگرافی کاملاً تپه‌ماهوری است (شکل ۴- a). محصولات موجود در این رخساره عمدتاً شامل برش‌های گدازه‌ای، دایک‌های شعاعی و حلقوی با ترکیب داسیتی و آندزیتی، گنبدها و توده‌های نفوذی کم ژرفا و دگرسان شده است. برش‌های گدازه‌ای که شامل قطعات آندزیتی زاویه‌دار در یک زمینه از جنس گدازه داسیتی هستند، حجم گسترده‌ای از رخساره مرکزی را به خود اختصاص داده و اثری از لایه‌بندی در آنها دیده نمی‌شود.

دایک‌های حلقوی و شعاعی با ترکیب داسیتی و آندزیتی از دیگر محصولات موجود در رخساره مرکزی هستند. قطع‌شدگی دیگر محصولات در رخساره مرکزی توسط دایک‌ها نشان از شکل‌گیری آنها پس از فروریزش کالدار است (شکل ۴- b). چنین به نظر می‌رسد که پس از فروریزش کالدار، شکستگی‌های موجود در کالدرای بیدخوان، معابر مناسبی سوی حرکت ماگماها به سوی بالا بوده و نفوذ آنها در شکستگی‌ها، انواع دایک‌ها را به وجود آورده است.

برش‌های آتشفشانی بسیار دگرسان موجود در این رخساره، به علت نزدیکی به دهانه انفجاری دارای جورشدگی ضعیفی بوده و بخش دیگری از محصولات فورانی این رخساره را تشکیل می‌دهند (شکل ۴- c). گنبدها اگرچه تعدادشان در رخساره مرکزی زیاد نیست؛ ولی با ترکیبی داسیتی در بخش خاوری کالدار قابل رویت هستند (شکل ۴- d). از دیگر رخنمون‌های مهمی که در رخساره مرکزی مشاهده می‌شود، توده نفوذی کم ژرفای داسیتوئیدی است. نفوذ این توده سبب ایجاد شکستگی‌های گسترده‌ای در سطح کالدار شده است. روند عمومی شکستگی‌های یادشده عمدتاً شمال باختری بوده و شیب قائم دارند. عبور سیال‌های گرمایی از درون شکستگی‌ها سبب شده تا سطح گسترده‌ای از این رخساره، تحت تأثیر دگرسانی قرار گیرد؛ که از مرکز کالدار به اطراف، از شدت آن کاسته می‌شود. دگرسانی موجود در این رخساره عمدتاً از نوع سریستی و آرژیلیکی است.

بافت رخساره مرکزی هر آتشفشان، انعکاسی از نحوه تشکیل آن و فرایندهای خاصی است که در آن رخساره رخ می‌دهد (Cas & Wright, 1988; Mc Phie et al., 1993). بافت برشی و خرد شده موجود در برش‌های گدازه‌ای رخساره مرکزی که جابه‌جایی زیادی را تحمل نکرده، نشان از شکل‌گیری آن برش‌ها در اثر انفجارهای قوی است؛ به طوری که این انفجارها سبب قطعه قطعه شدن سنگ‌ها و پراشیدن فضای موجود در میان قطعات، توسط گدازه‌های فوران‌های بعدی می‌شود (Cas & Wright, 1988; Mc Phie et al., 1993). اندازه دانه‌های موجود در این مجموعه خوردشده، بیانگر قدرت انفجاری آن است (Cas & Wright, 1988). با توجه به اندازه قطعات موجود در برش‌های کالدرای بیدخوان که قطرشان در حد ۳ تا ۸ سانتی‌متر است (شکل ۴- e)، می‌توان گفت در هنگام تشکیل این برش‌ها، احتمالاً فوران‌های انفجاری روی داده است. گردشدگی و جورشدگی در این قطعات بسیار ضعیف بوده و نشانه عدم تحرک آنها در زمان شکل‌گیری و پس از آن است. دگرسانی به نسبت شدید رخساره مرکزی آتشفشان بیدخوان و شکستگی‌های فراوان سبب شده تا در طی زمان، حجم گسترده‌ای از رسوبات در آن شکل گرفته و محیط مناسبی برای کشاورزی در بخش مرکزی کالدار ایجاد شود.

– رخساره نزدیک (جنبی) (Proximal Facies): در اطراف رخساره مرکزی و در دیواره‌های کالدار، نقاط بسیار مرتفعی وجود دارد که پرشیب بوده و به جز بخش شمالی، دور تا دور رخساره مرکزی را احاطه کرده‌اند (شکل ۲- الف). این دیواره‌های مرتفع که توالی محصولات فورانی در آنها به خوبی دیده می‌شود، تحت عنوان رخساره نزدیک معرفی می‌شوند (شکل ۵- a). رخساره یادشده در

گدازه (تراکی آندزیت، داسیت، آندزیت) و سنگ‌های آذرآواری (ایگنیمبریت‌ها و توف‌ها) می‌شود. ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای آتشفشانی الیگوسن به صورت یک رخنمون کشیده در بخش‌های شمالی و شمال خاوری رخنمون داشته و رسوبات نئوژن نیز در بخش باختری آتشفشان رخنمون پیدا کرده‌اند (شکل ۱- الف). محصولات فورانی آتشفشان بیدخوان بسیار گوناگون بوده و انواع گدازه و مواد آذرآواری را شامل می‌شوند. گدازه‌ها شامل دو گروه آندزیت و داسیت هستند و به صورت لایه لایه در بخش‌های مختلف ساختمان آتشفشان گسترده شده‌اند. بافت این گدازه‌ها پورفیری است و شامل درشت بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت و به مقدار کمتر کوارتز در یک زمینه ریزدانه و یا شیشه‌ای است. مواد آذرآواری که بیشترین گستردگی را دارند شامل نهشته‌های آذرآواری خیزابی، کنگلومراها و برش‌های آتشفشانی هستند. لاهارها و توده‌های نفوذی نیمه ژرف نیز از دیگر واحدهای سنگ‌شناسی آتشفشان بیدخوان به شمار می‌روند (شکل ۱- الف). این آتشفشان در تاریخ خود فعالیت‌های زیادی داشته که برخی از آنها انفجاری و شدید بوده‌اند و وجود ستبرای زیاد نهشته‌های آذرآواری و گدازه، دال بر تعداد زیاد فازهای فورانی است نه انفجار شدید.

۴- بررسی‌های رخساره‌های آتشفشان بیدخوان

رخساره آتشفشانی، یک بخش مشخص از محصولات مختلف فورانی یک آتشفشان است که همه سنگ‌های آن تحت شرایط محیطی یکسان تشکیل شده و ویژگی‌های آنها کاملاً با جزییات، مورد بررسی قرار گرفته باشد (Bogie & Mackenzie, 1998). با توجه به تعریف فوق به نظر می‌رسد که آتشفشان‌های مرکب، قابلیت بررسی و مطالعه رخساره‌شناسی را داشته باشند (Cas & Wright, 1988). مطالعات رخساره‌شناسی از چند جنبه حائز اهمیت است که از جمله می‌توان به بررسی فرایندها و تعیین محیط رسوبی در هنگام تشکیل آتشفشان، و تشخیص و تفسیر کانسارهای احتمالی موجود و همچنین به دست آوردن تصویر روشن‌تری از دینامیزم آتشفشان اشاره کرد. در این مطالعات معمولاً از مدل‌های سه رخساره‌ای یا چهار رخساره‌ای استفاده می‌شود. در مدل سه رخساره‌ای که توسط پژوهشگران مختلفی چون Williams & Mc Birney (1979) و Best (1982) ارائه شده است، به تدریج و به ترتیب با فاصله گرفتن از دهانه اصلی آتشفشان، سه بخش رخساره مرکز (Near vent or Central facies)، رخساره جنبی (نزدیک) (Distal or Alluvial facies) و رخساره دور (F flank or Proximal facies) در نظر گرفته می‌شود. در مدل چهار رخساره‌ای که توسط پژوهشگرانی چون Cas & Wright (1988)، Smith & Lowe (1991) و Vessel & Davies (1981)، ارائه شده، چهار رخساره مرکزی (Core or Central)، نزدیک (جنبی) (Proximal)، متوسط (Medial) و دور (Distal) معرفی شده است. مدل چهار رخساره‌ای معمولاً در آتشفشان‌های مرکب کالک- آلكال دارای کالدار، با اندازه‌های متوسط و بزرگ کاربرد دارد (Cas & Wright, 1988; Pike & Clow, 1981)؛ بنابراین با توجه به اندازه آتشفشان بیدخوان که سطحی حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع را اشغال کرده است، از مدل چهار رخساره‌ای استفاده خواهد شد. برای جلوگیری از طولانی شدن مطالب، ویژگی‌های نهشته‌های آذرآواری بیدخوان، در بخش بررسی رخساره‌ها بیان می‌شود.

۴-۱. رخساره‌شناسی آتشفشان بیدخوان

همان‌گونه که در نقشه رخساره‌شناسی آتشفشان بیدخوان (شکل ۲- الف) دیده می‌شود، ساختار این آتشفشان را می‌توان به چهار رخساره مرکزی، نزدیک، متوسط و دور تقسیم کرد. مکان این رخساره‌ها در تصویر پانارومای شکل ۳ نیز قابل مشاهده است. اگرچه شکل‌گیری ساختار چنین آتشفشان‌هایی نتیجه فوران انواع آذرآواری‌ها و گدازه‌هایی است که از دهانه اصلی خارج می‌شود؛ ولی نقش ریزش توده‌ای (Mass wasting) که حجم گسترده‌ای از توالی‌های آبی کلاستیک،

بیش از ۱۰۰ متر از این محصولات، در رخساره مرکزی امری بسیار عادی است. قطعات سازنده این محصولات نیز عمدتاً ترکیبی داسیتی و آندزیتی داشته و میزان جوش خوردگی در آنها نسبت به انواع ریزشی کمتر است. همین امر سبب شده تا تأثیر فرسایش بر آنها بیشتر شده و شکل‌های هموارتر با شیب ملایم‌تری داشته باشند. از ویژگی‌های این رخساره، حضور لایه‌هایی از مواد آذرآواری جریان‌ی قطعات و خاکستر (block & ash pyroclastic flows) است. همانند آنچه که (Thouret 2005) در مورد آتشفشان مونت‌هود در آمریکا توصیف کرده است. این پیروکلاستیک‌ها، سرشار از بمب‌های آندزیتی در یک زمینه از جنس خاکستر آتشفشانی بوده و به عنوان لایه‌های کلیدی برای تطابق ستون‌های چینه‌شناسی کاربرد دارند.

جریان‌های گدازه از دیگر اجزاء رخساره نزدیک بوده که ترکیبی داسیتی و آندزیتی دارند و به صورت میان لایه‌ای همراه با دیگر محصولات فورانی قرار گرفته و تا ۱۰ متر ستبراً دارند. این گدازه‌ها گاه حالت قطعه‌ای پیدا می‌کنند و در پاره‌ای موارد، شکل‌های اختلاطی لایه لایه در آنها دیده می‌شود. جریان‌های گدازه‌ای، معمولاً به عنوان آخرین محصول از یک فاز فورانی، در توالی‌های فورانی رخساره نزدیک به صورت دیواره‌های عمودی و تیره رنگ دیده می‌شود. تعداد دایک‌های موجود در رخساره نزدیک چندان زیاد نیست و به نظر می‌رسد ادامه دایک‌هایی باشند که در رخساره مرکزی وجود دارند. ترکیب آنها داسیتی است و روند مشخصی ندارند. از واحدهای بسیار شاخص این رخساره، می‌توان پلاگ‌های داسیتی را نام برد که در بخش خاوری رخنمون دارند و به صورت گنبد، مرتفع‌ترین نقاط را ساخته‌اند. مرز میان رخساره نزدیک با رخساره مرکزی ناگهانی است و محل گسل حلقوی اطراف کالدرا را نشان می‌دهد؛ در حالی که مرز میان رخساره نزدیک با رخساره میانی به صورت میان انگشتی است. حضور مرز میان انگشتی میان رخساره نزدیک و میانی در برخی مواقع امکان تفکیک دقیق این دو را از یکدیگر مشکل می‌نماید؛ ولی با توجه به تغییر شیب توپوگرافی از شیب زیاد و دیواره کاملاً عمودی در رخساره نزدیک، به ارتفاعاتی با شیب ملایم در رخساره میانی و همچنین تغییر محسوس در مشخصات محصولات فورانی می‌توان رخساره نزدیک را از رخساره میانی تفکیک کرد.

به جهت مقایسه ستبراً و نوع واحدهای فورانی در بخش‌های مختلف رخساره نزدیک، چندین ستون چینه‌شناسی در نقاط مختلف رخساره، مورد مطالعه دقیق قرار گرفت (شکل ۶) که در زیر تعدادی از آنها (ستون‌های چینه‌شناسی منتخب) بررسی می‌شود. گفتنی است که در رخساره‌های میانی و دور، برخی از فازهای فورانی حذف می‌شوند و همچنین نقش ریزش توده‌ای (Mass wasting)، که حجم گسترده‌ای از توالی‌های اپی کلاستیک، مخصوصاً در رخساره‌های میانی و دور را تشکیل می‌دهد را نیز نباید از نظر دور داشت (Cas & Wright, 1988)، بنابراین بهترین مکان برای تعیین فازهای فورانی، ستون‌های رسم شده در رخساره نزدیک است. به همین منظور در ستون‌های رسم شده برای رخساره میانی و دور، فازهای فورانی نشان داده نشده است.

• **ستون a از شکل ۶:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات $E 056^{\circ} 30' 04''$ و $N 029^{\circ} 34' 02''$ قرار گرفته است. بنا به عقیده مؤلفان مختلف نظیر (Cas & Wright, 1988) و (Mc Phie et al., 1993) در آتشفشان‌های مرکب نظیر بیدخوان، معمولاً نهشته حاصل از یک فاز فورانی ایده‌آل با رسوبات آذرآواری ریزشی شروع می‌شود، سپس سنگ‌های آذرآواری جریان‌ی روی آنها قرار می‌گیرند و در انتها، فاز فورانی با یک جریان گدازه‌ای به اتمام می‌رسد، این مجموعه را یک واحد فورانی می‌نامند. ولی در ستون شماره ۱، ترتیب قرارگیری محصولات فورانی به صورت فوق نیست. این موضوع می‌تواند ناشی از نبود برخی محصولات فورانی در برخی از فازها و یا فرسایش بعدی باشد که به نظر می‌رسد در بیدخوان، مورد اول بیشتر محتمل است؛ زیرا عواملی نظیر خاک‌های قدیمی و یا شکل‌های فرسایشی در میان واحدهای موجود در مقطع مورد مطالعه دیده نشد. در این ستون، محصولات

نقاط مختلف آتشفشان بیدخوان دارای ستبراهای متفاوتی است؛ ولی در مجموع، ستبرای محصولات فورانی در این رخساره بیشترین مقدار را دارد (حداکثر ۴۰۰ متر). حجم بسیار زیاد محصولات فورانی در این رخساره سبب شده تا عوارض پیشین زمین‌شناسی (گودی‌ها و تپه‌ها و غیره)، کاملاً توسط آنها پوشیده شود.

در این رخساره، واحدهایی که جوش خوردگی ضعیف‌تری دارند به صورت برجستگی‌های کم شیب و محصولات با جوش خوردگی بهتر به همراه گدازه‌ها، دارای دیواره‌های عمودی‌تر هستند (شکل ۵-b). این رخساره، البته در بخش شمالی کالدرا ارتفاع زیادی ندارد؛ زیرا اثر ریزش کالدرا و فرسایش بعدی، این بخش فرسوده شده و تصویری نعل‌اسبی را به سوما (Soma) آتشفشان بیدخوان داده است (شکل ۵-c). رخساره نزدیک بیدخوان به علت جوش خوردگی آذرآواری‌ها و مقدار بیشتر گدازه، بسیار سخت و مقاوم است، به ویژه در بخش‌های بالایی خود دارای گدازه بیشتری است و همین امر سبب شده که به صورت دیواره‌های طولی و عمودی دیده شود. در این رخساره، حمل شدگی مواد آذرآواری در کمترین حد خود است و به همین دلیل، گردشگی قطعات بسیار ضعیف است. به علت نزدیکی رخساره به محل خروج مواد، قطر قطعات تشکیل دهنده آذرآواری‌ها نیز بیش از دیگر رخساره‌ها است. محصولات فورانی موجود در رخساره نزدیک شامل آذرآواری‌های خیزایی، ریزشی، جریان‌ی و گدازه‌ها است که به صورت توالی‌های متعدد دیده می‌شوند و گاهی به وسیله دایک‌ها قطع شده‌اند.

در این رخساره دو نوع نهشته خیزایی (Surge deposits) دیده می‌شود. نهشته‌های خیزایی قاعده‌ای (Base surges) که نماینده اولین فاز فورانی بوده، ستبرای زیادی دارند و با رنگ سفید و تراکم پایین قطعات، بخش‌های پایینی ستون‌های فورانی را تشکیل می‌دهند. تصور می‌شود که این نهشته‌ها معمولاً همراه با فوران‌های فراتوماگمایی تشکیل می‌شوند (Vazquez & Ort, 2006). در عوض، نهشته‌های خیزایی زمینی (Ground surges)، در این رخساره، ستبرای بسیار کمی دارند (حداکثر ۴۰ سانتی‌متر) و در میان لایه‌های آذرآواری‌های جریان‌ی قرار گرفته‌اند (شکل ۵-d). مواد آذرآواری خیزایی قاعده‌ای موجود در این رخساره، دانه‌ریز بوده و رنگ روشن دارند. ستبرای ظاهری آنها در برخی نقاط، از جمله نزدیک روستای گوغر به ۱۰۰ متر نیز می‌رسد و در بیشتر نقاط با مواد آذرآواری بالایی یک مرز ناگهانی و فرسایشی دارند. اجزاء فیزیکی مواد آذرآواری خیزایی در این رخساره شامل قطعات سنگ دیواره، پامیس، قطعات ماگمایی و خاکستر است که در آنها جهت یافتگی دانه‌ها و انواع ساخت‌های رسوبی از جمله لایه‌بندی متقاطع و به صف شدن دانه‌ها دیده می‌شود. از لحاظ ژئوتیک، مواد آذرآواری خیزایی قاعده‌ای قرابت نزدیکی با فوران انفجاری موجود در رخساره مرکزی داشته؛ در حالی که خیزایی‌های زمینی قرابت نزدیکی با آذرآواری‌های جریان‌ی دارند (Cas & Wright, 1988).

مواد آذرآواری ریزشی موجود در این رخساره به طور کامل جوش خورده‌اند و دارای قطعات درشت‌تری نسبت به ریزشی‌های موجود در دیگر رخساره‌ها هستند. این نهشته‌ها که دارای جورشدگی و گردشگی ضعیفی هستند، دارای قطعات گدازه داسیتی و آندزیتی بوده و ستبرای لایه‌هایشان میان ۵۰ تا ۶۰ تغییر می‌کند. درشت بودن قطعات متشکله آذرآواری‌های ریزشی موجود در رخساره نزدیک (با قطر تا یک متر) همراه با جورشدگی و گردشگی ضعیف، نشان از نزدیکی قطعات یادشده به دهانه دارد. مجموعه قطعات یادشده در زمینه‌ای از خاکستر جوش خورده قرار گرفته‌اند. به نظر می‌رسد دمای بالای خاکسترهای مذکور به خاطر نزدیکی به محل فوران سبب شده تا جوش خوردگی با شدت بالایی صورت پذیرد (Mc Phie et al., 1993; Cas & Wright, 1988). مواد آذرآواری ریزشی این رخساره به دلیل جوش خوردگی شدید زمینه، به شکل دیواره‌های پرشیب درآمده‌اند. مواد آذرآواری جریان‌ی موجود در رخساره نزدیک، حجم بالایی از محصولات فورانی را به خود اختصاص داده‌اند؛ به نحوی که مشاهده لایه‌های با ستبرای

متر قرار گرفته است. دومین واحد فورانی در این ستون شامل آذرآواری ریزشی به ستبرای ۵۰ متر همراه با گدازه‌ای به ستبرای ۵ متر است. سومین واحد فورانی با آذرآواری ریزشی به ستبرای ۲۰ متر آغاز و در ادامه، آذرآواری‌های جریان‌ی به ستبرای ۴۰ متر روی آن را می‌پوشاند. این واحد فورانی با گدازه‌ای به ستبرای ۳۰ متر که دارای شکل‌های ناآمیختگی است پایان می‌یابد. آخرین واحد فورانی در این ستون شامل آذرآواری‌های ریزشی با ستبرای بسیار زیاد است. ستبرای این بخش از محصول فورانی حدود ۹۰ متر است و سرشار از قطعات بمب با قطری بالغ بر ۳ متر است.

همان‌گونه که ملاحظه شد، این ستون از چند نظر دارای اهمیت است اول اینکه گدازه موجود در سومین واحد فورانی شکل‌های ناآمیختگی از خود نشان می‌دهد، دوم این که آذرآواری ریزشی در چهارمین واحد فورانی، سرشار از قطعات بمب بوده و ستبرای بالایی نیز دارد، سوم این که ستبرای آذرآواری‌های ریزشی و جریان‌ی در این ستون زیاد است، چهارم این که حداقل یک واحد فورانی کامل، دارای آذرآواری ریزشی، جریان‌ی و گدازه در این ستون دیده می‌شود. در مجموع و با توجه به اطلاعات فوق به نظر می‌رسد فعالیت شدید انفجاری در آتشفشان بیدخوان حاکم بوده است.

• **ستون e از شکل ۶:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات $N 029^{\circ} 37' 06''$ و $E 056^{\circ} 27' 47''$ قرار گرفته است. اولین واحد فورانی در ستون یادشده با آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای ۱۰ متر آغاز و با گدازه‌ای به ستبرای ۵ متر خاتمه می‌یابد. دومین واحد فورانی دارای مواد آذرآواری ریزشی به ستبرای ۹۰ متر همراه با قطعات فراوان بمب است که در زیر گدازه‌ای با ستبرای ۱۰ متر دارای شکل‌های ناآمیختگی قرار گرفته است. سومین واحد فورانی دارای آذرآواری ریزشی به ستبرای ۲۰ متر است که توسط گدازه‌ای به ستبرای ۱۰ متر پوشیده می‌شود. چهارمین واحد فورانی در این ستون دارای مواد آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۲۰ متر است.

• **ستون f از شکل ۶:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات $N 029^{\circ} 35' 04''$ و $E 56^{\circ} 28' 23''$ قرار گرفته است. اولین واحد فورانی در این ستون با آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای ۳۰ متر آغاز می‌شود و در ادامه، توسط گدازه‌ای به ستبرای ۵ متر پوشیده می‌شود. دومین واحد فورانی در این ستون آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۷۰ متر است که توسط گدازه‌ای به ستبرای ۳۰ متر پایان می‌یابد. سومین واحد فورانی، با آذرآواری جریان‌ی سبتر لایه‌ای که دارای قطعات بمب است آغاز می‌شود و سپس توسط گدازه‌ای به ستبرای ۳۰ متر پوشیده می‌شود. چهارمین واحد فورانی شامل آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۷۰ متر و گدازه‌های ناآمیختگی به ستبرای ۲۵ متر است. پنجمین و آخرین واحد فورانی شناخته شده در این ستون شامل آذرآواری جریان‌ی دارای قطعات بمب به ستبرای ۷۰ متر همراه با گدازه‌ای به ستبرای ۲۰ متر است. همان‌گونه که ملاحظه شد در این ستون ستبرای آذرآواری‌های ریزشی و جریان‌ی بسیار زیاد است و ستبرای گدازه‌ها نیز قابل توجه است.

• **ستون g از شکل ۶:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات $N 029^{\circ} 33' 56''$ و $E 056^{\circ} 31' 32''$ قرار گرفته است. در این ستون اولین واحد فورانی شامل آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای ۲۰ متر است که توسط آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۳۰ متر پوشیده می‌شود. در دومین واحد فورانی، آذرآواری ریزشی به ستبرای ۵ متر توسط آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۵ متر پوشیده می‌شود. سومین واحد فورانی موجود در این ستون شامل آذرآواری ریزشی به ستبرای ۱۰ متر است که با ادامه فوران، آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۱۱۰ متر و دارای قطعات بمب به گدازه‌ای به ستبرای ۶۰ متر و دارای شکل‌های ناآمیختگی ختم می‌شود. چهارمین واحد فورانی شامل آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۱۰۰ متر است. با توجه به اطلاعات فوق، در این ستون، حداقل یک واحد فورانی کامل دیده می‌شود و انواع محصولات فورانی نیز در طول این ستون قابل مشاهده است.

فورانی با آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای ۴۰ متر آغاز می‌شود، سپس گدازه‌ای آتدزیتی با ستبرای تقریبی ۳۰ متر روی آن را می‌پوشاند و در ادامه، ردیفی از آذرآواری‌های ریزشی، جریان‌ی و ریزشی با ستبرای‌های ۱۰، ۲۵ و ۱۰ متر قرار گرفته است. سپس دوباره گدازه‌ای با ستبرای تقریبی ۱۰ متر به چشم می‌خورد. به سوی بالای ستون، یک واحد آذرآواری جریان‌ی با ستبرای ۹۰ متر دیده می‌شود که روی آن گدازه‌ای با ستبرای ۲۰ متر قرار دارد و تعدادی کهنه سومین واحد فورانی است. در انتهای ستون، یک واحد آذرآواری ریزشی با ستبرای تقریبی ۱۰۰ متر قرار گرفته که روی آن را گدازه‌ای با ستبرای ۱۰ متر پوشانده است و چهارمین واحد فورانی را تشکیل می‌دهد. نگاهی گذرا به ستبرای‌های ارائه شده نشان می‌دهد که گدازه‌های موجود در همه واحدهای فورانی، ستبرایی تقریباً نزدیک به هم دارند، در حالی که هر چه به سوی انتهای ستون پیش می‌رویم بر ستبرای آذرآواری‌ها مخصوصاً انواع جریان‌ی افزوده می‌شود.

• **ستون b از شکل ۶:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات $N 029^{\circ} 36' 06''$ و $E 056^{\circ} 31' 56''$ قرار گرفته است. در این ستون، اولین واحد فورانی شامل آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای تقریبی ۳۰ متر است که گدازه‌ای با ستبرای حدود ۱۵ متر روی آن قرار دارد. در ادامه ستون، آذرآواری‌های جریان‌ی با ستبرایی تقریبی ۱۵ متر قرار گرفته‌اند که خود توسط گدازه‌ای با ستبرای ۵ تا ۱۰ متر پوشیده می‌شوند و نشان‌دهنده دومین واحد فورانی هستند. محصولات سومین واحد فورانی، شامل آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای تقریبی ۱۵ متر است که روی آنها نیز گدازه‌ای با ستبرای حدود ۵۰ متر تشکیل شده است. ادامه فعالیت فورانی بیدخوان در این ستون سبب ایجاد آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای تقریبی ۱۵ متر همراه با گدازه‌ای به ستبرای ۲۰ متر شده است (چهارمین واحد فورانی). در پایان، یک واحد آذرآواری ریزشی به ستبرای تقریبی ۳۰ متر که توسط گدازه‌ای به ستبرای ۲۰ متر پوشیده شده است، پنجمین واحد فورانی را در این ستون معرفی می‌کند.

از نکات جالب توجه در این ستون، تغییرات ستبرای گدازه‌های فوران یافته است. از دیگر نکات قابل بیان، مقدار زیاد مواد آذرآواری ریزشی در هر واحد فورانی است، به نحوی که یک واحد آذرآواری جریان‌ی تنها در پایین ستون دیده می‌شود. این امر احتمالاً نشان‌دهنده طبیعت انفجاری آتشفشان بیدخوان در طول فوران است.

• **ستون c از شکل ۶:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات $N 029^{\circ} 38' 32''$ و $E 056^{\circ} 31' 24''$ قرار گرفته است. در این ستون، فوران با یک واحد مواد آذرآواری ریزشی به ستبرای ۱۵ متر آغاز و با گدازه‌ای با ستبرای ۱۰ متر ختم می‌شود، در ادامه، پس از گذر از مواد ریزشی، دوباره گدازه‌ای به ستبرای ۳۰ متر دیده می‌شود که از نظر مشخصات صحرائی، با گدازه پیشین کاملاً متفاوت است و به نظر می‌رسد واحد پایانی دومین فاز فورانی باشد. آذرآواری ریزشی به ستبرای ۱۰ متر همراه با گدازه روی آن که ستبرایی حدود ۱۵ متر دارد سومین واحد فورانی را در این ستون ساخته است. بررسی واحدهای موجود در ادامه ستون نشان می‌دهد که محصولات آذرآواری تغییر ماهیت داده و از ریزشی به جریان‌ی تبدیل شده‌اند، به نحوی که آذرآواری‌های جریان‌ی به ستبرای ۳۰ متر همراه با گدازه‌هایی با ستبرای ۱۰ متر چهارمین واحد فورانی را تشکیل می‌دهند. واحد فورانی پنجم در این ستون شامل آذرآواری‌های جریان‌ی با ستبرای حدود ۵ متر و گدازه‌ای به ستبرای ۵ متر می‌شود. در پایان، ششمین واحد فورانی شامل آذرآواری‌های جریان‌ی به ستبرای ۱۰ متر همراه با گدازه‌ای به ستبرای ۵ متر است. از نکات جالب توجه در این ستون استراتیگرافی، ستبرای کم محصولات فورانی و تغییر در آذرآواری‌ها از ریزشی به جریان‌ی در میانه فعالیت آتشفشان است.

• **ستون d از شکل ۶:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات $N 029^{\circ} 39' 17''$ و $E 056^{\circ} 30' 38''$ قرار گرفته است. در این ستون، اولین واحد فورانی شامل آذرآواری‌های ریزشی به ستبرای ۳۰ متر است که روی آن گدازه‌ای به ستبرای ۵

این رخساره در حقیقت تغییر تدریجی رخساره نزدیک، به واسطه فاصله گرفتن از مرکز فوران است و قطعات موجود به دلیل دوری از مرکز آتشفشان، حمل و نقل بیشتری را تحمل کرده و همین بعد فاصله سبب شده تا قطعات تشکیل دهنده آن ریزتر شده و گردشدگی بیشتری نیز داشته باشند، این رخساره مرز تدریجی با رخساره نزدیک و رخساره دور دارد. به منظور بررسی دقیق این رخساره و واحدهای فورانی موجود در آن، چندین ستون از مواد فورانی در این رخساره مطالعه شد که تعدادی از آنها در شکل ۸ آمده و در ادامه به بررسی این ستون‌ها پرداخته می‌شود:

• **ستون a از شکل ۸:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات "N 029° 34' 41" و "E 056° 33' 08" قرار گرفته و با محصولات آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۸۰ متر آغاز می‌شود که بلا فاصله یک واحد لاهار به ستبرای ۵۰ متر روی آن نهشته شده است. در ادامه گدازه‌ای با ستبرای تقریبی ۴۰ متر روی آذرآواری جریان‌ی تشکیل شده است که از عمده مشخصات این گدازه، حضور شکل‌های ناآمیختگی در آن است. در ادامه، نهشته آذرآواری جریان‌ی دارای قطعات بمب با ستبرای ۳۰ متر وجود دارد که دو آذرآواری جریان‌ی دیگر، هر کدام با ستبراهایی ۵۰ و ۳۰ متر به ترتیب روی آن نهشته شده‌اند.

• **ستون b از شکل ۸:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات "N 029° 37' 07" و "E 056° 33' 42" قرار گرفته است. فوران در این ستون با آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۵۰ متر شروع می‌شود و در ادامه، سه واحد آذرآواری جریان‌ی و لاهار به ترتیب با ستبراهای ۱۰۰، ۶۰ و ۱۵۰ متر آن را همراهی می‌کنند تا اینکه در ادامه فعالیت فوران، واحد آذرآواری دارای قطعات بمب به ستبرای ۱۰۰ متر روی آنها نهشته می‌شود. در این ستون آخرین فاز فورانی مربوط به گدازه‌ای با ستبرای ۳۰ متر است.

• **ستون c از شکل ۸:** این ستون در نقطه‌ای با مختصات "N 029° 29' 02" و "E 056° 33' 48" قرار گرفته و محصولات فورانی موجود در آن از گستردگی و تنوع بالایی برخوردار هستند. در ابتدای ستون، نهشته‌های خیزابی با ستبرای بالغ بر ۶۰ متر اولین فاز فورانی را شکل می‌دهند و در ادامه، دو سری نهشته آذرآواری جریان‌ی و لاهار هر کدام به ترتیب با ستبراهای ۱۰۰ و ۴۰ متر قرار گرفته‌اند. در ادامه، فوران منجر به تشکیل گدازه‌ای به ستبرای ۳۰ متر شده است که روی آن آذرآواری جریان‌ی به ستبرای ۵۰ متر و دارای نازک لایه‌هایی از نهشته‌های خیزابی وجود دارد. در ادامه فعالیت آتشفشان بیدخوان، آذرآواری جریان‌ی دارای قطعات بمب به ستبرای ۲۰۰ متر تشکیل شده است که نه تنها یکی از ستبرترین نهشته‌های آذرآواری ریزشی دارای قطعات بمب است، بلکه به رغم فاصله‌ای که از مجرای اصلی خروج مواد فورانی دارد، قطر بمب‌های موجود در آن بسیار قابل توجه است و گاه به ۳ متر می‌رسد. در نهایت گدازه‌ای با ستبرای ۵۰ متر که دارای شکل‌های ناآمیختگی است پایان بخش این ستون فورانی است. گستردگی و حجم بالای محصولات در این ستون چینه‌نگاری همراه با حضور نهشته‌های خیزابی قاعده‌ای و زمینی و همچنین آذرآواری ریزشی دارای قطعات بمب و گدازه دارای شکل‌های اختلاطی، سبب شده تا این ستون به صورت ستونی بسیار منحصر بفرد درآید.

• **ستون d از شکل ۸:** در نقطه‌ای با مختصات "N 029° 34' 52" و "E 056° 24' 00" قرار گرفته است. این ستون با فوران دو سری نهشته آذرآواری جریان‌ی هر کدام به ترتیب با ستبراهای ۴۰ و ۵۰ متر آغاز می‌شود و گدازه دارای شکل‌های اختلاطی به ستبرای ۶۰ متر روی آن قرار گرفته است.

— **رخساره دور (Distal Facies):** این رخساره در انتهای مخروط آتشفشان بیدخوان واقع شده است و بیشترین گسترش را در بخش‌های باختری و خاوری کالدرا دارد. در این رخساره رسوبات، عمدتاً شامل محصولات فرسایشی و جابه‌جا شده دیگر رخساره‌ها هستند و به ندرت دنباله مواد آذرآواری جریان‌ی و لاهار نیز در آن قابل تشخیص است.

— **رخساره متوسط (Medial Facies):** رخساره متوسط در آتشفشان بیدخوان وسیع‌ترین بخش محصولات فورانی را به خود اختصاص داده و میان رخساره نزدیک و دور آتشفشان قرار دارد (شکل ۲-الف). این رخساره توپوگرافی ملایمی داشته و تمامی رخنمون‌های موجود در آن، ساختمان لایه‌ای دارند (شکل ۷-ا). به گونه‌ای که در حال حاضر لایه‌ها با شیبی کم (حدود ۵ درجه) به سوی بیرون کالدرا قرار گرفته‌اند. از آنجا که حجم محصولات فورانی در رخساره متوسط بسیار زیاد است؛ لذا فرورفتگی‌های قبلی در این بخش به طور کامل توسط مواد آذرآواری پوشیده شده‌اند.

اگرچه محصولات این رخساره به لحاظ اسمی قرابت نزدیکی با محصولات فورانی رخساره نزدیک دارند و به نوعی می‌توان رخساره متوسط بیدخوان را ادامه رخساره نزدیک دانست؛ ولی رخساره متوسط توپوگرافی پست‌تر و کم شیب‌تری داشته و این امر به دلیل کاهش گدازه از لحاظ حجمی و تعداد در مقایسه با رخساره نزدیک و همچنین جوش خوردگی ضعیف آذرآواری‌ها در رخساره متوسط است. به عبارت دیگر تأثیر هوازدگی و فرسایش در این رخساره بیشتر بوده و به همین دلیل دره‌های ژرف ۷ شکل، به ویژه در بخش جنوبی آتشفشان به وجود آمده است.

در برخی نقاط، از جمله در شمال آتشفشان بیدخوان، رخساره متوسط آخرین بخش از رخساره‌های آتشفشان بیدخوان را می‌سازد و اثری از رخساره دور در این مناطق نیست. شاید این امر به دلیل فرسایش رخساره دور یا تشکیل نشدن آن باشد. محصولات فورانی موجود در این بخش از آتشفشان بیدخوان، عمدتاً آذرآواری‌های جریان‌ی با حجم بالا و همچنین جریان‌ات گدازه و نهشته‌های خیزابی هستند. رخساره متوسط، ساختمان چندان پیچیده‌ای ندارد و شامل لایه‌های متعدد آذرآواری و لاهار است که گاهی گدازه آنها را همراهی می‌کند (شکل ۷-ب). حجیم‌ترین محصولات موجود در رخساره متوسط را آذرآواری‌های جریان‌ی و لاهارها تشکیل می‌دهند. هر چند که در مجموع، نهشته‌های جریان‌ی، ظاهری لایه لایه دارند، ولی هر یک از این لایه‌ها معرف یک واحد فورانی است که به صورت یک جریان تک واحدی روی زمین جریان یافته و پس از توقف، مواد همراه خود را رسوب داده است. ستبرای محصولات فوق میان ۲۰ تا ۲۰۰ متر متغیر است و در بیشتر نقاط می‌توان نهشته‌های یادشده را بر روی خیزابی‌های قاعده‌ای مشاهده کرد (شکل ۷-ج). نهشته‌های خیزابی قاعده‌ای موجود در رخساره متوسط رنگ روشن دارند و در دامنه جنوبی بیدخوان ستبرایشان به ۸۰ متر می‌رسد. در این رخساره، نهشته‌های آذرآواری جریان‌ی چندین بار تکرار شده‌اند و یکی از این نهشته‌ها، دارای مقادیر زیادی قطعات بمب است. این نهشته که از نوع آذرآواری‌های جریان‌ی دارای قطعات و خاکستر است، در انطباق لایه‌ها به عنوان لایه‌های کلیدی به شمار می‌رود. گدازه‌ها با ترکیبی آندزیتی و با ستبرای‌هایی تا ۴۰ متر، حداقل به صورت دو واحد کامل از دو فوران مجزا در این رخساره قابل تشخیص هستند (شکل ۷-د). از نکات جالب توجه در رخساره فوق، عدم حضور نهشته‌های آذرآواری ریزشی است که به نظر می‌رسد به علت فاصله گرفتن از مجرای خروج یا فرسایش آنها باشد. اندازه دانه‌های متشکله در انواع آذرآواری‌های موجود در این رخساره در مجموع کوچک‌تر از رخساره نزدیک است. جورشدگی قطعات در این رخساره ضعیف بوده و از نقطه نظر بافت‌شناسی، تراکم دانه‌ها در آذرآواری‌های جریان‌ی بیشتر است. خوردشدگی در مواد آذرآواری متشکله رخساره میانی متفاوت است؛ بدین نحو که مواد آذرآواری خیزابی شدیدتر و آذرآواری‌های جریان‌ی کمتر تحت تأثیر خوردشدگی قرار گرفته‌اند. شاید بتوان شدت خوردشدگی در این دو نوع محصول فورانی را در نحوه تشکیل آنها جستجو کرد؛ به طوری که در خیزابی‌ها حمل مواد در یک محیط با گرانروی پایین و جریان آشفته صورت گرفته؛ که توسط گاز به جلو رانده می‌شده است؛ اما در جریان‌ی‌ها مواد در یک جریان مملو از قطعات سنگ، با گرانروی بالا منتقل می‌شده‌اند (Cas & Wright, 1988).

شده و به همین دلیل، فوران‌ها انفجاری‌تر بوده و مواد آذرآواری خیزایی را با حجم زیاد تولید کرده‌اند. سپس نوبت به فوران ماگماهای آندزیتی رسیده و پدیده‌های وابسته به این ماگماها همچون فوران‌های ولکانین، ایجاد برش‌های انفجاری و تشکیل مواد آذرآواری جریانی از نوع مواد دارای قطعات و خاکستر (Block & ash pyroclastic deposits) در طی این فوران‌ها به وجود آمده‌اند. آثار این پدیده‌ها را در رخساره‌های مختلف بیدخوان می‌توان دید. البته نقش پدیده‌های اختلاط و آلودگی در مخازن ماگمایی بیدخوان (Khalili & Ahmdeipour, 2010) را در ایجاد شکل‌های مختلف رخساره‌ای نباید از نظر دور داشت.

۶- مدل رخساره‌ای

مطالعه ستون‌های فورانی و تطابق آنها با یکدیگر نشان داد که به نظر می‌رسد فعالیت فورانی آتشفشان بیدخوان شامل ۳ فوران اصلی است که هر یک از آنها خود به تعدادی فوران فرعی‌تر تقسیم می‌شود. اولین فوران بسیار انفجاری و با دخالت آب همراه بوده و سبب ایجاد رسوبات خیزایی قاعده‌ای در پایین‌ترین بخش ستون فورانی شده است، سپس مدتی فعالیت انجام نشده و در سطح این نهشته‌ها، شکل‌های فرسایشی و گودی و کانال ایجاد و برخی از این گودی‌ها توسط خرده سنگ‌ها پر شده‌اند و سپس فاز بعدی شروع شده است (دومین فاز فورانی اصلی) که خود دارای چند انفجار مجزا است، سپس مدتی فعالیت فورانی انجام نشده است و پس از فاصله کوتاهی دوباره فاز فورانی بعدی شروع شده است (سومین فاز فورانی اصلی)، که دارای چند انفجار مجزا است (ستون f در شکل ۶). بر اساس اطلاعات موجود، مدل رخساره‌ای آتشفشان بیدخوان در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

۷- نتیجه‌گیری

مطالعات رخساره‌شناسی بیدخوان نشان داد که:

۱- اولین فوران در بیدخوان، بسیار انفجاری و با دخالت آب همراه بوده است. به گونه‌ای که واکنش آب و ماگمای اسیدی در زیر سطح زمین، سبب انفجارهای عظیم فراتوماگماتیک شده و قطعاتی از سنگ‌های میزبان، به همراه خاکستر آتشفشانی و پامیس به هوا پرتاب و اولین محصولات بیدخوان را ساخته‌اند. تشخیص این فاز فورانی، فقط با مطالعه رخساره متوسط امکان‌پذیر است، زیرا نهشته‌های آذرآواری خیزایی قاعده‌ای که حاصل این فوران بوده‌اند، در این رخساره بهترین رخنمون‌ها را دارند. سپس فوران متوقف شده و عوامل فرسایشی باعث ایجاد گودی‌هایی در سطح نهشته‌های خیزایی شده‌اند. این عوارض در رخساره متوسط قابل دیدن هستند. وقایع فورانی بعدی که مقدار بسیار زیادی نهشته‌های آذرآواری جریانی را ایجاد کرده‌اند، با صعود مکرر ماگماهای آندزیتی و داسیتی، فوران‌های پی‌درپی، تشکیل گنبد‌های گدازه‌ای و فروریزش گنبد‌ها و گاه با خروج گدازه همراه بوده است. آثار این وقایع در رخساره‌های نزدیک و متوسط قابل مشاهده است. بعد از این، کالدرای بیدخوان فرو می‌ریزد و فاز بعدی شامل فوران‌های همزمان و پس از تشکیل کالدرای بوده و با ایجاد آخرین نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌ها همراه بوده است. آثار این فاز را در رخساره‌های مرکزی، نزدیک و متوسط می‌توان دید.

۲- رخساره مرکزی بیدخوان در محل کالدرای واقع شده و پس از توقف فعالیت‌های ماگمایی، دگرسانی گرمایی گسترده و فرسایش شدیدی را تحمل کرده است. دگرسانی گرمایی، بیشترین تأثیر را در توده نفوذی نیمه آتشفشانی داشته و سبب شده که این توده کاملاً دگرسان و مجموعه‌ای از کانی‌های ثانوی در آن ایجاد شود. پدیده‌های فرسایشی نیز توده نفوذی مورد نظر را، که فقط در محل رخساره مرکزی قرار دارد، در سطح زمین نمایان کرده‌اند. توده نیمه آتشفشانی و رخساره مرکزی بیدخوان مکان مناسبی برای پی‌جویی ذخایر مس و مولیبدن پورفیری هستند. این پی‌جویی‌ها فقط باید در رخساره مرکزی انجام گیرد.

توالی خاصی در این رخساره قابل تشخیص نیست و ستبرای آن نیز از دیگر رخساره‌ها کمتر بوده و به سختی به ۵۰ متر می‌رسد. کاهش ستبرای در این رخساره به صورت تدریجی بوده، تا آنجا که در نیمرخ، شکلی زبانه مانند پیدا می‌کند؛ که روی رسوبات انوسن قرار گرفته است. کاهش ستبرای در این رخساره همراه با نحوه شکل‌گیری آن سبب شده تا شدیداً تحت تأثیر توپوگرافی پیش از رسوبگذاری واقع شود.

تنوع ترکیب قطعات در این رخساره بسیار بالاست و از آنجا که حاصل فرسایش و حمل و نقل موادی است که از قبل وجود داشته‌اند، گردش‌گی و جورش‌گی بهتری را نشان می‌دهد؛ ولی جوش‌خوردگی وجود ندارد. تراکم دانه‌ها در این رخساره به نسبت بالا بوده و قطعات توسط زمینه‌ای گلی به هم پیوسته‌اند (شکل ۷- e). این رخساره از یک طرف با رخساره متوسط مرزی تدریجی دارد و از سوی دیگر و به سوی خارج از کالدرای ستبرایش کاهش یافته تا این که در انتها ناپدید می‌شود و همان گونه که قبلاً توضیح داده شد، شکلی گوه مانند به خود می‌گیرد.

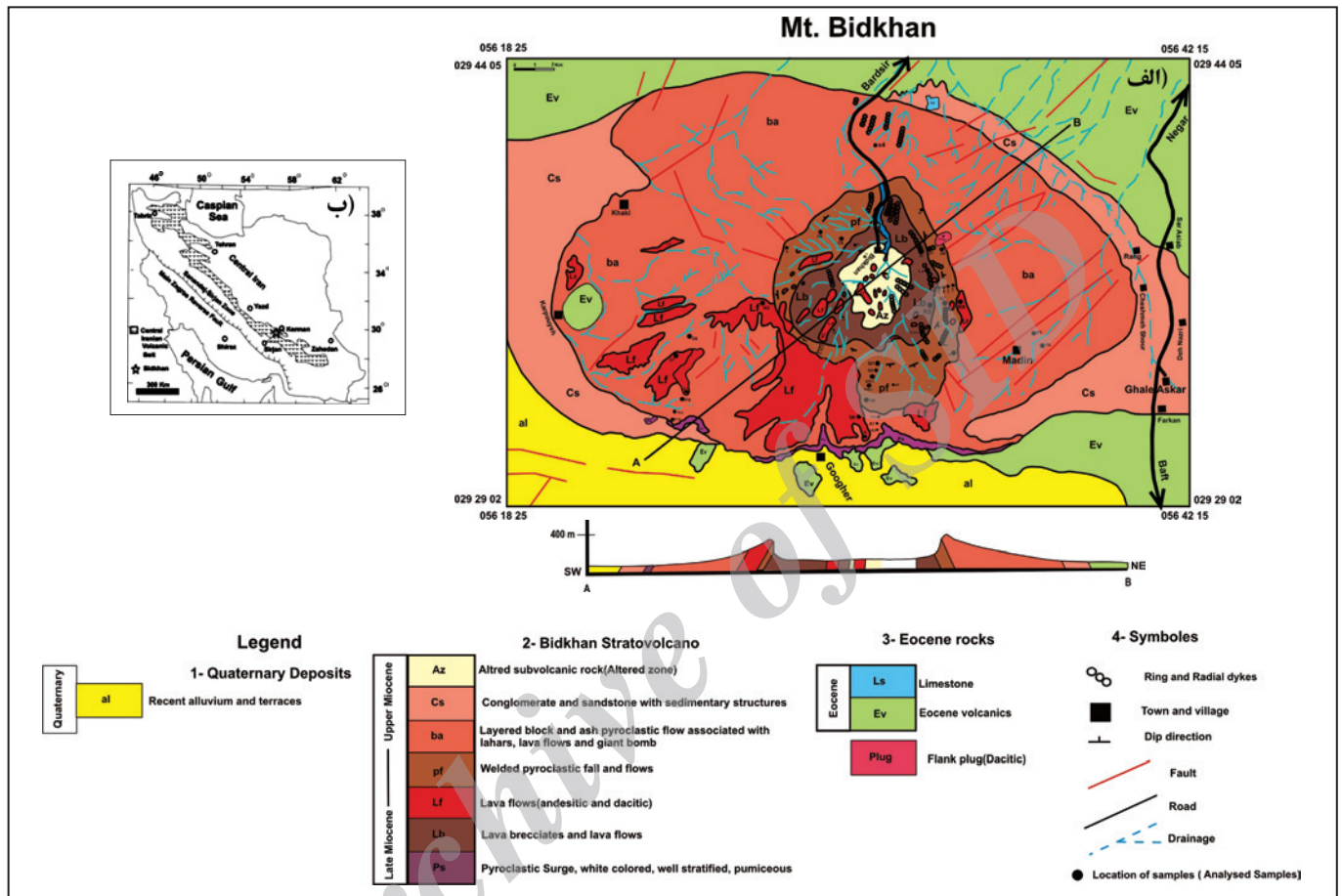
با توجه به اطلاعات فوق به نظر می‌رسد که باید این محصولات را رسوبی دانست تا آتشفشانی؛ اما از آنجا که منشأ آتشفشانی دارند و در ارتباط تنگاتنگ با دیگر رخساره‌های تشکیل شده هستند، به عنوان جزئی از رخساره‌های موجود در این آتشفشان به‌شمار می‌آیند؛ هرچند که فرایندهای تشکیل دهنده این نهشته‌ها به گونه‌ای است که باید آنها را اپی‌کلاستیک نامید (Karaoglu & Helvacı, 2012). به عنوان نمونه یک ستون چینه‌نگاری از رخساره دور بیدخوان در ستون e شکل ۷ نمایش داده شده است. این ستون در نقطه‌ای با مختصات $N 029^{\circ} 38' 11''$ و $E 056^{\circ} 20' 07''$ قرار دارد. محصولات موجود در این رخساره رسوبات مختلطی به ستبرای حداقل ۵۰ متر است.

۵- ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشان بیدخوان

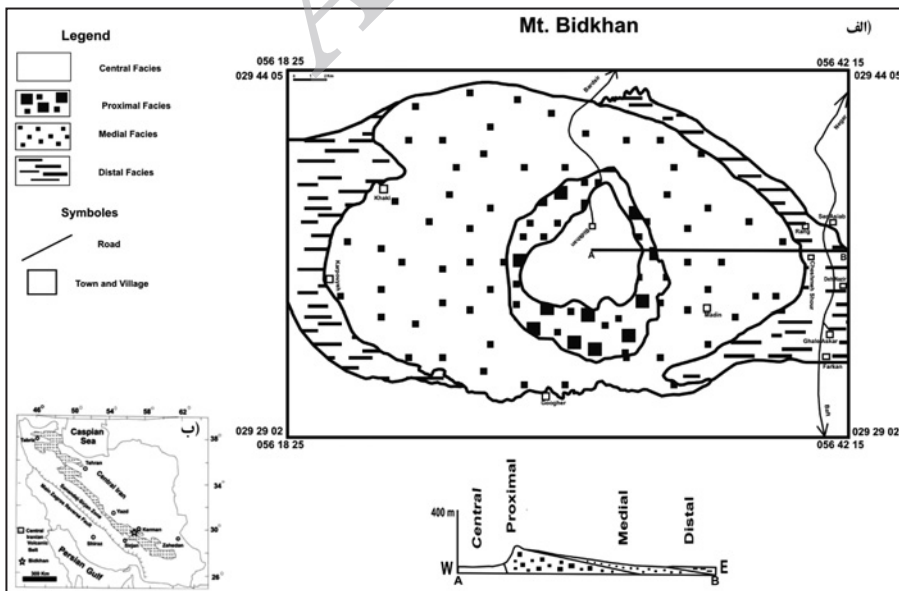
از آنجایی که بررسی ترکیب شیمیایی سنگ‌ها جزئی از مطالعات رخساره‌شناسی است، در این بخش شیمی برخی از گدازه‌های بیدخوان به طور مختصر بررسی می‌شود. برای این بررسی دو ستون از رخساره نزدیک که بیشترین تعداد گدازه را دارند انتخاب شد (ستون‌های c و f از شکل ۶). ستون c که در شمال خاور کالدرای بیدخوان قرار گرفته، دارای شش واحد گدازه‌ای است. این گدازه‌ها در جدول ۱ با علائم R8, B3, H3, R7, B13, R8, Q8 نشان داده شده‌اند. واحد R8 بالاترین گدازه را می‌سازند. ستون f در جنوب باختر کالدرای واقع شده و پنج واحد گدازه‌ای دارد که در جدول ۱ با علائم D9, G7, N, V4, V8 مشخص شده‌اند. در این ستون نیز واحد D9 پایین‌ترین و واحد V8 بالاترین گدازه هستند. تمامی گدازه‌های مورد نظر در شکل ۸ در محدوده آندزیتی‌ها و داسیتی‌ها قرار می‌گیرند. پیوستگی داده‌ها در این نمودار، می‌تواند نشان‌دهنده خوشخوانی گروه‌های سنگی بیدخوان بوده و ترکیب حدواسط تا اسیدی آنها، استعداد ماگماهای سازنده را برای ایجاد فوران‌های انفجاری مکرر و تشکیل یک ساختار گسترده استراتوولکان با رخساره‌های مختلف به نمایش می‌گذارد (خلیلی مبرهن، ۱۳۹۰). با نگاهی به جدول ۱ در می‌یابیم که ترکیب شیمیایی گدازه‌ها در هر ستون، از پایین به بالا تغییرات معنی‌داری نشان می‌دهد. در هر دو ستون، گدازه‌های پایینی ترکیب داسیتی دارند و به سوی بالا به طرف آندزیت متمایل می‌شوند. مثلاً در ستون c درصد وزنی SiO_2 از پایین ستون به بالا، از ۶۵/۵۲ تا ۵۹/۵۴ تغییر می‌کند. در ستون f نیز مقدار این اکسید از پایین به بالا، از ۶۵/۲۲ درصد تا ۵۹/۹۷ درصد در تغییر است. چنین وضعیتی در مورد اکسیدهای MgO و CaO نیز صادق است. این تغییرات ترکیبی در گدازه‌های بیدخوان، نشان‌دهنده تغییراتی است که ماگماهای سازنده، در مخازن ماگمایی تحمل کرده‌اند و حاصل آن، تفاوت آشکار در شیوه فورانی فازهای مراحل مختلف فوران آتشفشان بیدخوان است، به طوری که در اولین فوران‌ها، ماگمای اسیدی‌تر درگیر

- در مجموع، فوران‌های آتشفشانی بیدخون بیشتر انفجاری بوده‌اند تا آرام و به همین دلیل مقدار نهشته‌های آذرآواری خیلی بیش از گدازه است.
 - در رخساره‌های مرکزی، نزدیک و متوسط بیدخون آثاری از فعالیت‌های گرمایی جدید یافت نمی‌شود و فقط در رخساره دور، چشمه آبگرم لاله‌زار وجود دارد که برای اثبات ارتباط این چشمه با بیدخون، به مطالعات بیشتری نیاز است.

- هر چند که در فوران‌های آتشفشانی بیدخون، آب دخالت داشته است ولی هیچک از رخساره‌ها در آب نهشته نشده‌اند، زیرا ویژگی‌هایی چون جوش خوردگی شدید و رنگ اغلب نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌ها نشان می‌دهد که دمای بالایی داشته و در خشکی تشکیل شده‌اند (Cas & Wright, 1991; Barley et al., 2008)



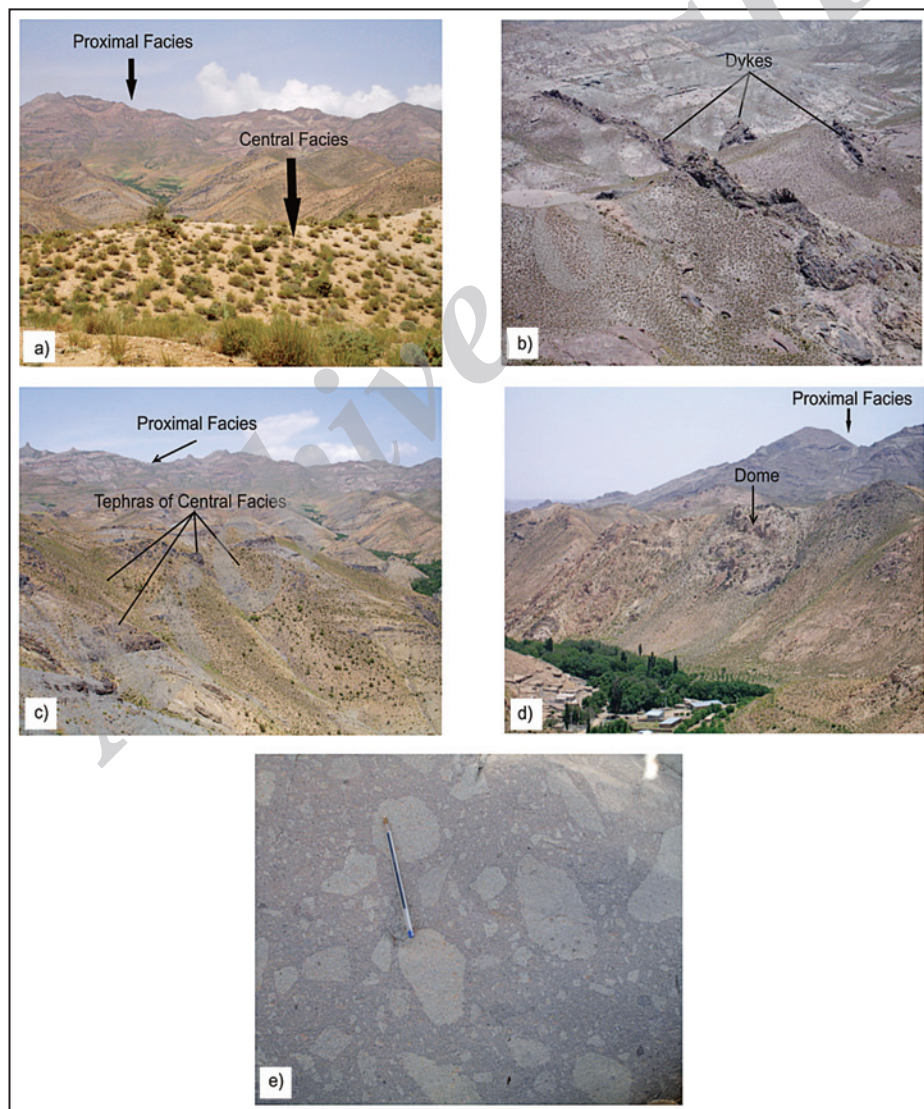
شکل ۱- الف) نقشه زمین‌شناسی آتشفشان بیدخون؛ ب) کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی و موقعیت آتشفشان بیدخون در آن (اقتباس از Shahabpour, 2005 & 2007).



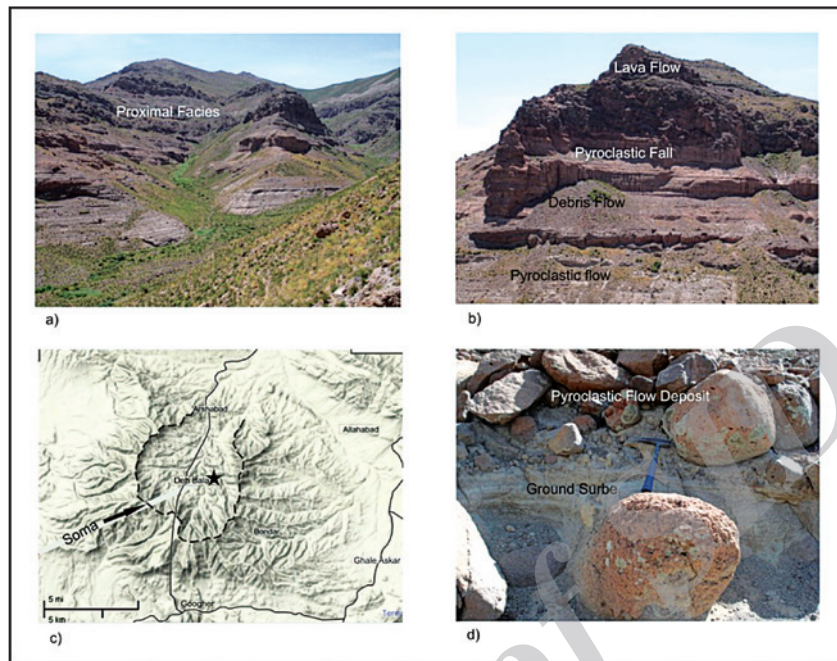
شکل ۲- الف) نقشه رخساره‌شناسی آتشفشان بیدخون بر اساس عکس‌های هوایی (۱:۵۰,۰۰۰؛ ب) کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی و موقعیت آتشفشان بیدخون در آن (اقتباس از Shahabpour, 2005 & 2007).



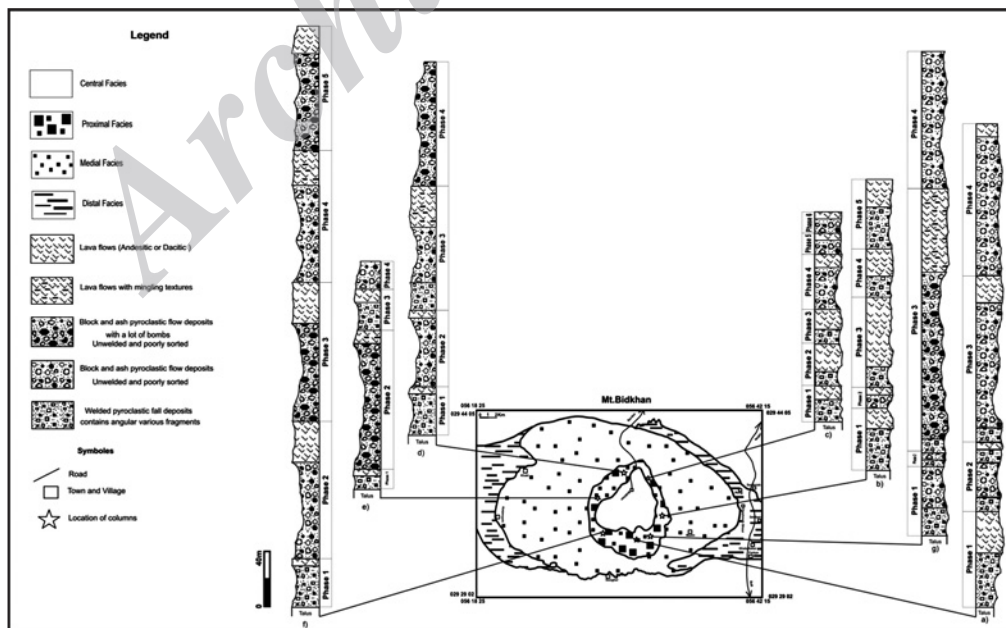
شکل ۳- تصویر پانوراما از رخساره‌های موجود در آتشفشان بیدخوان. این تصویر از روستای کیخسروی واقع در شمال بیدخوان گرفته شده و دید، رو به جنوب است و بدنه خاوری آتشفشان بیدخوان را از بیرون کالدرای نشان می‌دهد.



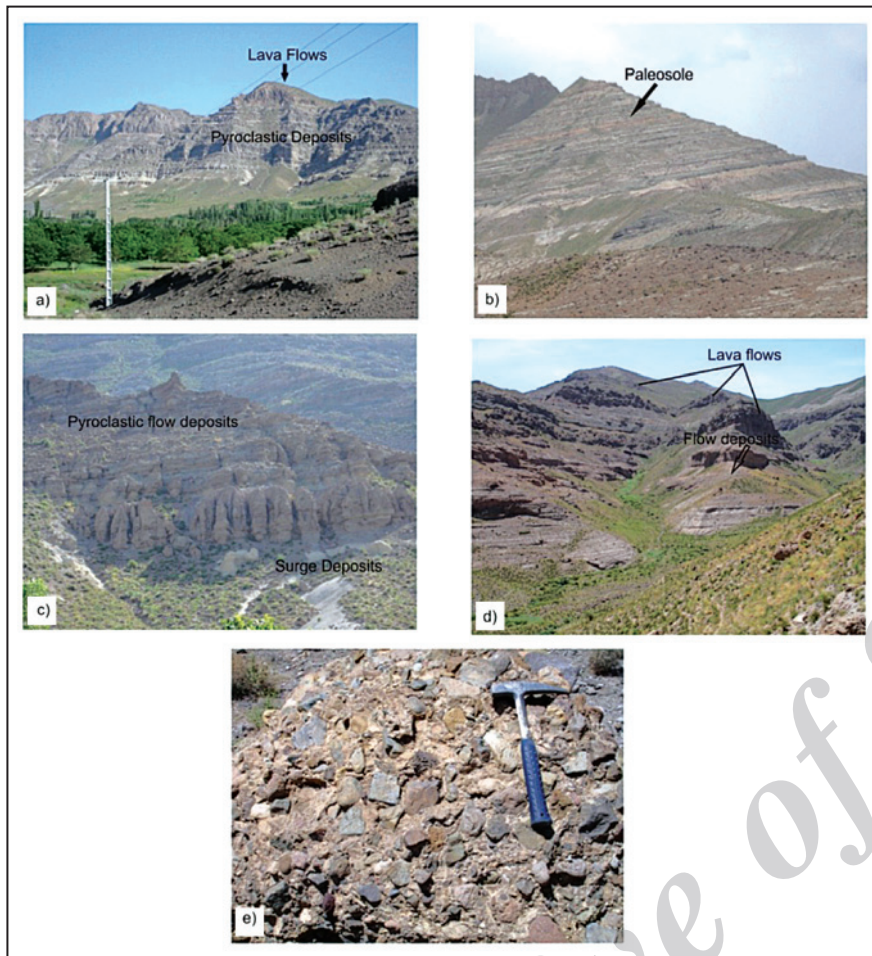
شکل ۴- محصولات فورانی و شکل‌های موجود در رخساره مرکزی آتشفشان بیدخوان؛ (a) بخشی از رخساره مرکزی با توپوگرافی تپه‌ماهوری که در اثر دگرسانی زرد رنگ شده است؛ (b) دایک‌های شعاعی با ترکیب داسیتی و آندزیتی موجود در رخساره مرکزی؛ (c) گدازه‌ها و آذرآواری‌های با ترکیب داسیتی و آندزیتی موجود در رخساره مرکزی؛ (d) گنبد داسیتی موجود در رخساره مرکزی؛ (e) برش‌های گدازه‌های موجود در رخساره مرکزی.



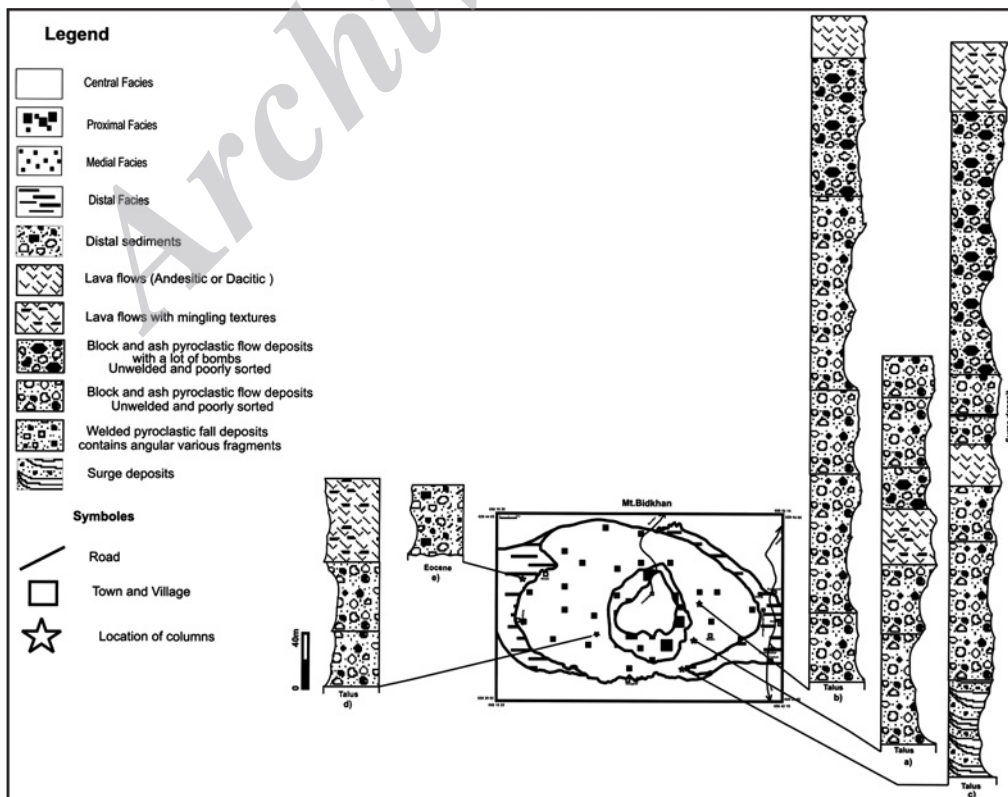
شکل ۵- محصولات فورانی و اشکال موجود در رخساره نزدیک (جنبی) آتشفشان بیدخوان؛ (a) نمای عمومی از رخساره نزدیک بیدخوان؛ (b) رخساره نزدیک بیدخوان از نمای نزدیک؛ (c) سومای آتشفشان بیدخوان؛ (d) آذرآواری‌های خیزیابی زمینی که به صورت میان لایه‌ای همراه با آذرآواری‌های جریانی بیدخوان قرار گرفته‌اند.



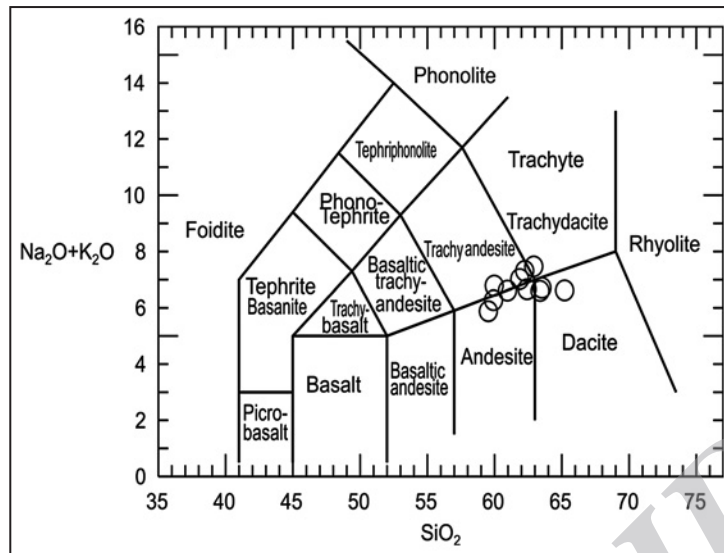
شکل ۶- تعدادی از ستون‌های ولکانو- استراتوگرافی محصولات فورانی آتشفشان بیدخوان واقع در رخساره نزدیک.



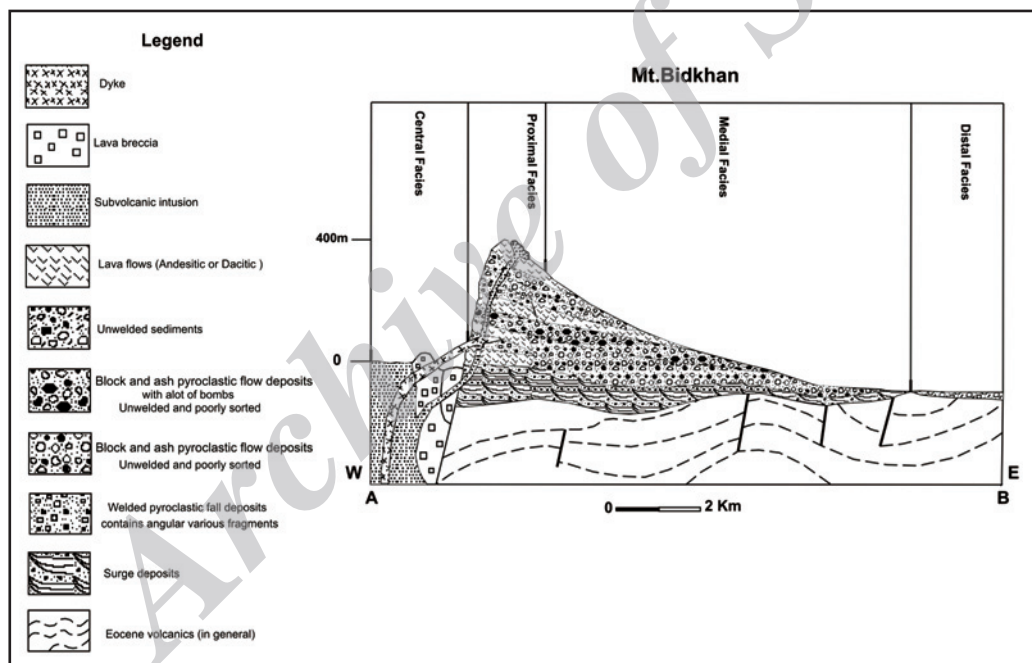
شکل ۷- شکل‌های حاصل از محصولات فورانی موجود در رخساره‌های متوسط و دور آتشفشان بیدخوان؛ (a) نمای عمومی از رخساره متوسط در بیدخوان؛ (b) حالت لایه‌بندی نسبتاً منظم موجود در رخساره متوسط بیدخوان؛ (c) خیزابی‌های موجود در پایین‌ترین بخش از رخساره متوسط؛ (d) حضور حداقل دو گدازه ستبر لایه در رخساره متوسط؛ (e) نمایی از رخساره دور بیدخوان که در آن نهشته‌ها شامل قطعات با جنس‌های متفاوت و یک زمینه از گل هستند.



شکل ۸- تعدادی از ستون‌های آتشفشانی - چینه‌نگاری محصولات فورانی آتشفشان بیدخوان واقع در رخساره متوسط و دور.



شکل ۹- موقعیت گدازه‌های فورانی آتشفشان بیدخوان در نمودار TAS (Le Bas et al., 1986).



شکل ۱۰- مدل رخساره‌ای آتشفشان بیدخوان بر اساس نقشه رخساره‌ای و ستون‌های رسم شده.

جدول ۱ - داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و فرعی در گدازه‌های انتخابی آتشفشان بیدخوان توسط دستگاه XRF و ICP-MS (داده‌ها برحسب درصد وزنی است).

Sample	R7	B13	Q8	R8	B3	D9	V4	G7	H3	V8	N
SiO ₂	59.54	60.96	63.52	59.92	62.42	65.21	61.87	63.38	62.91	59.97	62.24
TiO ₂	0.67	0.53	0.45	0.63	0.55	0.47	0.53	0.51	0.51	0.62	0.50
Al ₂ O ₃	17.09	16.25	15.84	16.80	17.18	16.63	17.35	16.60	16.73	17.42	17.04
Fe ₂ O ₃	3.59	3.97	3.45	5.09	3.66	2.29	3.95	4.39	4.42	4.89	4.13
FeO	2.33	1.09	1.42	0.59	1.09	1.16	0.92	0.38	0.68	1.02	0.60
MnO	0.11	0.10	0.10	0.06	0.07	0.06	0.06	0.08	0.10	0.08	0.10
MgO	2.81	2.23	1.89	2.80	2.02	1.33	1.19	1.57	1.55	1.87	1.58
CaO	6.01	5.53	4.94	5.74	4.91	4.14	4.96	4.37	4.44	5.76	4.60
Na ₂ O	4.64	3.59	3.89	4.20	4.34	4.20	4.41	3.85	4.15	4.24	4.24
K ₂ O	1.24	3.02	2.82	2.07	2.32	2.42	2.61	2.75	3.32	2.55	3.07
P ₂ O ₅	0.17	0.26	0.17	0.18	0.20	0.16	0.23	0.17	0.24	0.24	0.21
L.O.I.	1.81	2.46	1.51	1.91	1.22	1.94	1.90	1.95	0.95	1.33	1.69
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

کتابنگاری

- احمدی‌پور، ح.، ۱۳۷۲- بررسی دینامیزم فعالیت آتشفشانی کوه مزاحم (شهر بابک)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، ۳۶۶ صفحه.
- خلیلی مبرهن، ش.، ۱۳۹۰- آتشفشان‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان بیدخوان واقع در جنوب بردسیر- استان کرمان رساله دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، ۲۶۵ صفحه.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۳- آتشفشان‌ها و رخساره‌های آتشفشانی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۸۷ صفحه.

References

- Barley, M. E., Brown, S. J. A., Krapez, B. & Kositcin, N., 2008- Physical volcanology and geochemistry of a late Archaean volcanic arc: Kurnalpi and Gindalbie Terranes, Eastern Goldfields Superterrane, Western Australia. *Precambrian Research*. 161. 53-76.
- Best, M. G., 1982- *Igneous and metamorphic petrology*. W. H. Freeman and Co Ltd. 630p.
- Bogie, I. & Mackenzie., K. M., 1998- The Application of a Volcanic Facies Model to an Andesitic Stratovolcano Hosted Geothermal , System at Wayang Windu, Java, Indonesia. *Proceeding 20th NZ Geothermal Workshop*. 265-270.
- Cas, R. A. F. & Wright, J. V., 1988- *Volcanic successions: modern and ancient*. Unwin Hyman Ltd., London. 524pp.
- Cas, R. A. F. & Wright, J. V., 1991- Subaqueous pyroclastic flows and ignimbrites: an assessment. *Bull Volcanol*. 53, 357-380.
- Dimitrijivic, M. D., 1973- *Geology of Kerman region*, Geological Survey of Iran. Rep. No yu/52: 334p.
- Dogan, A. M., Peate. D. W., Dogan, M., Yesilyurt-Yenice, F. I. & Unsal, O., 2013- Petrogenesis of mafic-silicic lavas at Mt. Erciyes, central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 256, 16-28.
- Francis, P. W., Gradeweg, M., Ramirez, C. F. & Rothery. D. H., 1985- Catastrophic debris avalanche deposit of Socompa volcano, Northern Chile. *Geology*, 13, 600-603.
- Karaoğlu, O. & Helvacı, C., 2012- Growth, destruction and volcanic facies architecture of three volcanic centres in the Miocene Uşak-Güre basin, western Turkey: Subaqueous-subaerial volcanism in a lacustrine setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 245-246, 1-20.
- Khalili, Sh. & Ahmadipour, H., 2010 - Using Magma Mixing/Mingling Evidence for understanding Magmatic Evolution at Mount Bidkhan Stratovolcano (South-East Iran). *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*. 21(2), 137-153.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zannettin, B., 1986- A classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*. 27, 745-750
- Mc Phie, J., Doyle, M. & Allen, R., 1993- *Volcanic textures, a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. University of Tasmania. 196p.
- Pike, R. J. & Clow, G. D., 1981- Revised classification of terrestrial volcanoes of topographic dimensions with new results on edifice volcano. US geological survey. Open file report., of 81-1038.
- Santacroce, R., Cioni, R., Marianelli, P., Sbrana, A., Sulpizio, R., Zancheta, G., Donahue, D. J. & Joron, J. L., 2008- Age and whole rock-glass compositions of proximal pyroclastics from the major explosive eruptions of Summa-Vesuvius: A review as a tool for distal tephrostratigraphy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 177, 1-18.
- Shahabpour, J., 2005- Tectonic evolution of the orogenic belt located between Kerman and Neyriz. *Journal of Asian Earth Sciences*. 24, 405-417.
- Shahabpour, J., 2007- Island arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*. 30, 625- 665 .
- Siebert, L., 1984- Large volcanic debris avalanches: characteristics of source areas, deposits and associated eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 22, 163-197.
- Smith, G. A. & Lowe, D. R., 1991- Lahars: volcano-hydrologic events and deposition in the debris-flow-hyperconcentrated flow continuum In Fisher RV and Smith GA (eds) *Sedimentation in Volcanic Settings*. SEPM Spec. Pub., 45, 59-70.
- Thouret, J. C., 2005- The stratigraphy, depositional processes, and environment of the late Pleistocene Polallie-period deposits at Mount Hood Volcano, Oregon, USA. *Geomorphology*. 70. 12-32p.
- Vazquez, J. A. & Ort, M. H., 2006- Facies variation of eruption units produced by the passage of single pyroclastic surge currents, Hopi Buttes volcanic field, USA. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 154 (3-4), 222-236.
- Vessell, R. K. & Davis, D. K., 1981- Non- marine sedimentation in an active Fore-arc Basin. In: *Recent and ancient non- marine depositional environments: models for exploration*, F. G. Etheridge and R. M. Flores (Eds), SEPM Spec. Pubin., 31, 31-45.
- Williams, H. & Mc birney, A. R., 1979- *Volcanology*. Freeman Cooper and Co, San Francisco.