

تافونی ها (زایش، تکوین، پراکندگی محیطی آن)

مجتبی خلیلی زاده^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

چکیده:

سنگ در بسیاری از جنبه های فعالیت انسان اهمیت بنیادی دارد. چنانچه سنگها در شرایط متفاوتی نسبت به محیط فعلی تشکیل شده باشند، در معرض فرآیندهای طبیعی هوازدگی قرار می گیرند و اشکالی را ایجاد می کنند که موضوع بحث ژئومورفولوژیستها از نظر نحوه تشکیل و شرایط مؤثر در ایجاد و چگونگی توسعه آنها می باشد. در ژئومورفولوژی، تافونیهایی یکی از اشکال بسیار شگفت انگیز هوازدگی شیمیایی و نمکی هستند که بر روی رخنمونهای سنگی ایجاد می شوند. این اشکال غار مانند در ساختمانهای مختلفی چون ماسه سنگ، گرانیات، دولوریت، سنگ آهک، ریولیت و کنگولومراهای دگرگونی یافت می شوند. همچنین آنها در اقلیمهای مختلفی چون مناطق قطبی، نواحی ساحلی، مناطق نیمه خشک و حتی در مریخ نیز مشاهده شده اند. علی رغم گستردگی پراکنش تافونی، این مساله را باید در نظر گرفت که آنها عموماً در سنگهای بلورین و دانه ای یافت شده و از لحاظ محیطی نیز در محیطهای که مرطوب شور هستند، ایجاد می شوند. از آنجا که برخی از اشکال تافونی بسیار قدیمی هستند، بخصوص آنهایی که ابعاد بسیار بزرگ و گسترده ای دارند، معمولاً به عنوان شواهد اقلیمی دوره های گذشته مطرح هستند لذا با مطالعه آنها می توان به شرایط هوازدگی و اقلیمی آن دوران پی برد. با توجه به پراکنش این پدیده، هنوز نحوه تشکیل تافونیهایی و فرآیندهای مؤثر در آن مورد بحث می باشد و نظریات گوناگونی در رابطه با پیدایش آن مطرح شده است. از آنجا که این پدیده در تمامی اقلیمها مشاهده شده است، لذا در منابع بسیاری به آن اشاره شده است از جمله منابع ساحلی، بیابانی و... همچنین از آنجا که این پدیده یکی از اشکال هوازدگی است و بر روی سازه های دریایی و شهری مشاهده گردیده است، لذا در اینگونه آثار بعضاً بدون آنکه اشاره ای به نام تافونی شود، مورد مطالعه قرار گرفته اند. در ایران نیز این پدیده در مناطق بسیاری مشاهده گردیده است، از جمله ابتدای جاده ابیانه، منطقه لارستان، زاهدان، در مسیر جاده قم، کوههای بینالود، دامنه های جنوبی زاگرس و... که عموماً شامل نواحی سرد و مجاور یخچالی، ساحلی و بیابانی می باشند. مطالعاتی که بر روی آنها صورت گرفته اکثراً بصورت موردی یا در غالب فرسایش در زمین شناسی و در آثار برخی از ژئومورفولوژیستها نظیر زمردیان و احمدی اشاره مختصری به نحوه تشکیل آنها شده است. در این مطالعه سعی گردیده تا ضمن بررسی ادبیات جهانی و ایران در رابطه با تشکیل تافونی، علل ایجاد و پراکندگی آن و نیز یافته های جدید در ارتباط با این پدیده، مورد بحث و بررسی قرار بگیرد.

واژه های کلیدی: تافونی، زایش، تکوین، پراکندگی محیطی، هوازدگی شیمیایی

^۱ * گروه فنی و مهندسی، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران، Mojtaba.Khalilizadeh@iau.ac.ir

مقدمه

تافونی در اصل اصطلاحی کرسی است که به معنای پنجره می باشد، اشکال فرسایشی غارمانندی هستند که به نام تافونی (مفرد آن تافون است) شناخته می شوند. این اشکال با آنکه در منطقه کرس زیاد هستند اما منحصر به چشم اندازهای مدیترانه ای نیستند و در بسیاری از نقاط جهان از جمله جزایر ساردینا، کرس و الب، توسکانی در ایتالیا، جنوب اسپانیا، آرژانتین، آمریکا و ... به خوبی گسترش یافته اند. تافونیه اشکالی هستند که بر روی تخته سنگها یا برون زدهای سنگی مشاهده شده اند. پیدایش و توسعه منطقه ای تافونیهها، سؤالات زیادی را برای ژئومورفولوژیستها ایجاد کرده است، چه فرایندهایی در تشکیل آنها نقش دارند؟ آیا تغییر کاربریها توسط انسان، نظیر جنگل زدائی، کشاورزی و فرسایش، نقشی در توسعه و یا جلوگیری از گسترش تافونیهها دارند؟ و نمونه هایی دیگری از این گونه سؤالات در آثار ژئومورفولوژیستها در دهه های گذشته مشاهده شده است.

از آنجایی که تافونیهها در اقلیمهای متفاوت و در سنگهای گوناگونی دیده شده اند، لذا در غالب آثار متفاوتی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند از آنجمله می توان به آثاری در رابطه با هوازدگی شیمیایی (۵ و ۶)، فرسایش نمکی (۹ و ۱۰)، پدیده سخت شدگی (۷ و ۸)، هوازدگی غار مانند (۷ و ۸)، ژئومورفولوژی بیابانی (۱۲ و ۱۳)، مسائل ساحلی (۲۰)، تافونی در سنگهای گرانیت (۲۳)، تافونی در ماسه سنگ (۱۶) اشاره کرد.

مطالعه تافونیهها از چند جهت برای

ژئومورفولوژیستها ضرورت دارد:

(۱) از آنجا که تافونیهها یکی از اشکال هوازدگی شیمیایی می باشد، نحوه عملکرد آنها و اینکه بیشتر بر روی چه سازندهایی توسعه می یابند، بسیار اهمیت دارد.

(۲) بسیاری از اشکال تافونی، بخصوص تافونیههای غول پیکر به عنوان شواهد اقلیمی گذشته مطرح هستند که با مطالعه آنها می توان به شرایط اقلیمی گذشته دست پیدا کرد.

(۳) در ادبیات جهانی، ژئومورفولوژیستها بین تافونیهها و لانه زنبوریهها تفاوت قائل شده اند، در حالیکه این دو از نظر فرآیندهای تشکیل و حتی شکل ظاهری نیز بسیار به هم شبیه هستند. داشتن اطلاعات کافی در مورد تافونیهها می تواند به شناسایی هر چه بیشتر این دو پدیده یاری رساند.

(۴) از آنجا که میکرو کلیما نقش بسیار مهمی در توسعه تافونیهها دارد، با دقت به تفاوتیهای میکروکلیمایی می توان مناطق مستعد جهت ایجاد تافونیهها را شناسایی کرد.

(۵) سازه های شهری یکی از مناطق حساس در برابر فرسایش شیمیایی هستند. بارشهای اسیدی ناشی از آلودگی هوا، اکثر سازه های شهری را تهدید می کند. دانستن فرآیند تشکیل تافونی و نیز سازه هایی که بیشتر در معرض خطر می باشند نظیر ماسه سنگها، می تواند مهندسین و برنامه ریزان شهری را در راستای برنامه ریزی بهتر در جهت حفظ آنها یاری رساند.

انواع تافونی و گستردگی جهانی آنها

شماری از تخته سنگها دارای حفرات بزرگتر و برخی از آنها حفرات کوچکتری دارند. برخی از این حفره ها که اندازه ای کوچکتر از توپ فوتبال دارند تافونیهای مینیاتوری نامیده می شوند. موقعی که آنها بر روی تخته سنگها یا برون زدگیهای سنگی عمودی و تقریباً عمودی رخ می دهند، تافونی کناره ای نامیده می شوند (شکل ۱) و آنهایی که در سطح زیرین تخته سنگها و بر سطح زمین تشکیل می شوند به نام تافونی پایه شناخته می شوند.

به حفره هایی که بر روی دیواره های نزدیک یا پیرامون حفره های دیگر ایجاد می شوند تافونی فرعی گفته می شود. تعدادی از حفره ها توسط انحلال زنولیتها یا سایر مواد قابل انحلال شکل می گیرند که اصطلاحاً شبه تافونی نامیده می شوند.

بعد از فرآیند برهنه سازی، ویرانه های تافونی بصورت اشکال شگفت انگیزی نشان داده می شوند که معمولاً با اصطلاحات مجمله مرده، سر سگ، سر غول، سر فیل یا خوک دریایی یالدار توصیف می شوند. زمانی که درون حفره ها با گلسنگ یا سایر گیاهان پوشیده شود، این اشکال ممکن است بقایای تافونی یا تافونی مرده نیز نامیده شوند.

در این مقاله سعی گردیده است تا ضمن تعریف تافونی و عوامل مؤثر در پیدایش آنکه به بررسی تفاوت تافونی و لانه زنبوریهها پرداخته شود و تقسیمات نوین ژئومورفولوژیستها در مورد تافونی مورد بررسی قرار بگیرد.

تافونی چیست؟

تافونی ها اشکال هوازگی غارمانندی هستند که دارای حجمی به ابعاد چندین متر مکعب، دهانه قوسی شکل، دیواره درونی مقعر، حاشیه های پیش آمده (شبه لبه پیش آمده کلاه) می باشند و گاهی با آوارهایی همراه است که بتدریج سطح دشت را می پوشانند. آنها معمولاً بصورت گروهی ایجاد می شوند و شکلی که بر روی رخ نمونهای سنگی ایجاد می کنند، شبیه پنیر سوئیسی است.

تافونی ها در اقلیمهای مختلفی دیده می شوند، آنها در مناطق قطبی هم ایجاد می شوند، ولی در مناطق ساحلی و بیابانی توسعه چشمگیری دارند. تافونیها در بیابانهای متعددی توصیف شده اند که شامل موجاوا (۱۴)، بیابان سونوران (۵)، فلات کلورادو (۱۷) و (۱۸)، قطب جنوب (۷)، بیابان آتاکاما (۱۳)، صحرا (۱۰ و ۲۱)، عربستان سعودی (۹) و جنوب استرالیا (۱۱) می باشد.



شکل (۱)، تافونی کناره ای (چاپمن ۱۹۸۰)

اسپانیا، منطقه کوردوفان در سودان، منطقه Tregastel در در امتداد سواحل جنوبی شبه جزیره Bretagne در فرانسه، کالیفرنیا، آریزونا و تگزاس در آمریکا، منطقه لار زاهدان در ایران و غیره. از نظر ارتفاع نیز پراکندگی تافونیها در پهنه نسبتاً وسیعی است که دامنه آن از مناطق نزدیک به سطح دریا تا ارتفاعات ۲۱۰۰ متری در شبه جزیره کرس و ۲۲۰۰ متری در جنوب آمریکا را در بر می گیرد. آنها در سواحل بخوبی درون خشکی ها ایجاد می شوند. بنظر می رسد که مناطق ساحلی محیط مناسبتری جهت توسعه این اشکال باشد.

بررسی تافونی در جهان

چندین نتیجه کلی در مورد پیدایش تافونیها گرفته شده: نخست اینکه، آنها در سنگهای مختلفی ایجاد می شوند (به عنوان مثال در سنگ سماق، سنگ آرگیلیت، گرانیت (شکل ۲)، ریولیت، کنگولومرا، لاوا، سنگ آهک، ماسه سنگ (شکل ۳)، گنیس و گرانیت. دوماً، شکل گیری آنها حداقل شامل دو مرحله است: تجزیه دیواره ها و از بین رفتن خرده سنگها در سطح زمین، سوماً، در موقع تشکیل آنها، هوا و سطح

از نظر سطح پراکندگی، اشکال تافونی در پهنه نسبتاً وسیعی در مناطق حاره، معتدل و همچنین در قطب شمال و قطب جنوب یافت می شود. اما بطور قابل توجهی در مناطق خشک و نیمه خشکی که حداقل دارای یک فصل خشک (کوتاه یا بلند) باشند مشاهده می شود. بعنوان مثال: سواحل شرقی دریاچه Balangida در شرق آفریقا، منطقه آتشفشانی Ahaggar در شرق آفریقا، منطقه نامیب در جنوب آفریقا، دره ویکتوریا در قطب جنوب، منطقه کوردوبای غربی در غرب آرژانتین، جزایر آروبا در هند شرقی، مناطق جنوبی و غربی استرالیا، شمال شرقی برزیل، منطقه Bohemia در اسلواکی، جزیره Caprera در منطقه مدیترانه، آند و ارتفاعات Cordillera در شیلی، پیشان در چین، جزایر کرس در مدیترانه، منطقه بیابانی مصر، جزیره الب در مدیترانه، جنوب غربی Dorset در انگلستان، جزایر قناری، گرینلند، هنگ کنگ، ایسلند، منطقه pukhansan در نزدیکی سئول در کره، منطقه برش های آتشفشانی در نیوزلند، بیابان ساحلی پرو، شمال پرتقال، جزایر ساردینا در مدیترانه، شمال شرقی

یا فعال باشد. چنانچه قدیمی باشد ممکن است با پوششی از ورنیش های بیابانی، قشری از گرد و خاک یا ژپس و سخت شدگی حفاظت شود. با از تجزیه و تخریب حفره های کنده کاری شده و یا از بین رفتن سطح ورنیش، ممکن است تافونی دوباره فعال شود. بیشتر آثار توصیفی منتشر شده درباره تافونیهای فعال است، اگرچه گرینر (۱۹۶۸) تافونیهای مرده را در شیلی ثبت کرده و اشکال مشابهی را در قلب صحرا ذکر کرده است.

حفره های واقع در سایه، غالباً سردتر و مرطوبتر بوده و دامنه دما و رطوبت نسبی، نسبت به محیط بیرون آن کمتر می باشد، بطوریکه در محل حفره ها ممکن است نرخ هوازدگی نسبتاً سرعت بیشتری داشته باشد. چهارماً، دیواره حفره ها عموماً نرم، پفکی و ترد و شکننده است. آنها اغلب بوسیله پوسته پوسته شدن یا تخریب دانه ای تجزیه می شوند و سطح زمین معمولاً اشباع از نمک است. نهایتاً، تافونی ممکن است فسیل شده و



شکل (۲)، تافونی ایجاد شده در زیر یک تخته سنگ گرانیتی در Castle Rocks State Park (دورکمپ، ۱۹۸۰)

تافونیهای توسعه یافته در قسمتهای زیرین سنگها و تخته سنگها یعنی تافونیهای پایه ای و آنهایی که بر روی دامنه های عریان برون زدگیهای سنگی است یعنی تافونیهای کناره ای تمایز وجود دارد (۲۱). دراگوویچ (۱۹۶۹) در جنوب استرالیا، ثابت کرد که بین تافونیهای پایه و سطح زمین ارتباط وجود دارد. وی اظهار کرد که توسعه حفره ها با هوازدگی سطح زمین همراه است که در اینجا بین سرعت تجزیه و تخریب در سطح بالا و پائین اختلاف وجود دارد. هوازدگی در سطوح بالا سرعت بیشتری داشته زیرا که تغییرات دما و رطوبت

علت پیدایش تافونیها هنوز مورد بحث است. اغلب این اشکال در امتداد درز و شکافهایی قدیمی، شکستگیها، لایه بندی ها و نیز سایر ساختمانهای سنگی بوجود آمده اند. پراکندگی تصادفی حفره ها در نتیجه سست بودن کانی های معدنی است، خصوصاً در جایی که آب بصورت طبیعی تجمع یافته باشد. اسکاتنر (۱۹۶۱) با مطالعه بر روی تعدادی از تافونیها بر روی سنگهای گرانیتی در بیابان سینا بیان کرده که امکان دارد شروع آنها از بخش مرکزی تخته سنگها صورت گرفته باشد. شماری از پژوهشگران بیان کرده اند که بین

بیشتری باشد. این مسئله خصوصاً در مورد قسمت‌های پائین تخته سنگ‌ها و برون زدگی‌های سنگی صدق می‌کند. گسترش تافونیه‌ها بر روی سطح زمین ممکن است ناشی از رطوبت چشمه‌ها یا هوازدگی ناشی از خاصیت موئینگی قسمت خارجی در بالای سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی باشد (۱۹).

بسیاری از پژوهشگران اشاره نموده‌اند که پیشروی دیواره تافونیه‌ها توسط پوسته پوسته شدن و تجزیه و تخریب دانه‌ای صورت می‌گیرد. اما برخی دیگر معتقدند که کار اصلی بوسیله هوازدگی ناشی از آبدار شدن کانیهای سنگ صورت می‌گیرد، از قبیل فلدسپات‌ها که احتمالاً رطوبت نسبی محیط باعث خورده شدن و ایجاد حفره می‌شود. فرآیندهای دیگری که در این خصوص نقش دارند شامل: صیقلی شدن بر اثر فعالیت باد^۱، هوازدگی ناشی از تشعشع آفتاب^۲، خشک و مرطوب شدن، عامل یخبندان، حفاری حیوانات، انحلال سیمانهای آهکی^۳ در ماسه سنگها، سخت‌شدگی و هوازدگی نمکی. تمامی اینها، فرآیندهای مربوط به روی زمین^۴ هستند. همچنین امکان دارد که شماری از تافونیه‌ها یا حفره‌های هوازدگی مشابه که در گذشته ایجاد شده‌اند با تغییرات اقلیمی در زیر زمین دفن شوند و متعاقباً با تغییر شرایط از خاک بیرون آیند (۲۳). این فرآیند چه به تنهایی و چه با ترکیب با عوامل دیگر می‌تواند پاسخی باشند برای تافونیهایی که در شرایط

محیطی خاصی هستند. عدم وجود خرده سنگها بر سطح زمین در محل تافونیه‌ها می‌تواند ناشی از باد، خزش خاک، شستشو توسط آب باران یا مجاری آب سطحی باشد.

تافونیه‌ها عمدتاً در برون زدگی‌هایی یافت می‌شوند که دارای سطح سخت شده‌ای هستند که توسط هیدروکسید آهن یا سایر عناصری که بر اثر رطوبت هوا در طی هوازدگی از داخل سنگ، مشتق می‌شوند. عملیات سیمانی شدن این اکسیدها یک پوسته محافظی را ایجاد می‌کند. از آنجا که تشکیل این پوسته‌ها نیازمند رطوبت است، می‌توان توضیح داد که چرا در محیط‌های بسیار خشک هیچوقت تافونی دیده نشده و اینکه چرا این پدیده در حاشیه بیابانها بسیار بیشتر از مراکز مناطق خشک است (۲۰).

از تمام فرآیندهای شکل دهنده تافونی، هوازدگی نمکی نقش پررنگتری دارد. برای مثال، در امتداد ساحل مه‌آلود بیابان آتاکاما، جایی که نمک در ژاله‌های ناشی از مه موجود می‌باشد، هوازدگی نمکی به طور قابل توجهی خودش را نشان می‌دهد. منابع تأمین نمک متنوع هستند که تقریباً این منابع شامل: پاشیده شدن آب دریا، آب دریا، باقی مانده آب دریا، گازهای آتشفشانی و هوازدگی سنگها می‌باشد. راگنر (۱۹۸۷) تبلور نمک را به عنوان عامل اصلی تشکیل تافونی در اسرائیل توصیف کرده است. چنانچه برادلی (۱۹۸۷) با بررسی پوسته پوسته شدن سطح تافونیه‌های گرانیتی فعال در جنوب استرالیا در مقیاسی کوچک، ارتباط آن‌را با غلظت نمک و ژئوپس که احتمالاً از سنگهای همانجا مشتق شده بود را نشان

^۱ - wind scouring

^۲ - insolation weathering

^۳ - calcareous cements

^۴ - subaerial

که در این میان نقش نمک ثانویه یا ناچیز است. پژوهش‌های بعدی نشان داد که در بسیاری از نقاط تافونی ها بدون پوسته سخت تشکیل شده‌اند، لذا پوسته سخت پیش نیاز تشکیل تافونی نمی باشد.



شکل شماره (۳)، تافونی ایجاد شده بر روی ماسه سنگ در Larrabee State Park , واشنگتن (شوارتز، ۲۰۰۵).

شوند و توسط انحلال سیلیس توسعه می یابد، نمک موجود در منطقه سبب تسریع این فرآیند می شود.

سطح بیرونی تافونی، خصوصاً لبه پیش آمده آن ممکن است به خاطر عامل سخت شدن باشد. این سخت شدگی از سطح خارجی محافظت می کند ، هنگامیکه دیواره حفره ها بطور پیشرونده ای توسعه می یابند و اشکال متنوعی را ایجاد می کند. این سخت شدگی ممکن است برای مثال وارنیش های بیابانی یکدست قرمز یا سیمانی شدن بوسیله سیلیس، کلسیت، ژیپس، هیدراته شدن کربنات کلسیم یا سایر نمکها باشد. اما دراگوچی (۱۹۶۹) ثابت کرد که عامل سخت شدگی لازمه تشکیل تافونی است. همچنین بعضی مواقع سطح داخلی تافونیا با پوسته ای پوشانیده شده است مثلاً با ژیپس (۱۷).

داد. این تفسیر توسط وینکلر (۱۹۷۹) به چالش کشیده شد، وی استدلال کرد که حرکت رو به بیرون رطوبت با حل کردن کانیها، ماده در حال سخت شدن را به سطح منتقل می کند و باعث ضعیف شدن اتصال کانیهای زیرین می شود، این عامل اولیه تشکیل تافونی است،

موستو (۱۹۸۳) با بررسی کپیتول ریف در یوتا اظهار کرد که تافونی عمدتاً در مکانهایی رخ می دهد که در آنجا نمک تجمع یافته باشد. (۱۳)

اکثر پژوهشگران اثر رشد کریستالها یا فشار آبدار شدن را توصیف می کنند. ولی یانگ (۱۹۸۷) پیشنهاد دیگری داد ، اساس بررسیهای وی بر روی تافونیهای ماسه سنگهای کوارتز داری بود که آنها را در محیط های مختلف خشک جنوب استرالیا مورد مطالعه قرار داده بود. او دریافت که هیچ شاهدهی برای هوازدگی ناشی از فشار تبلور شدگی وجود ندارد، در عوض شواهد قوی از انحلال دانه های کوارتز به وی اجازه داد تا نتیجه بگیرد که حفره ها به وسیله رها شدن دانه های کوارتز از خلل و فرج ، بزرگ می

متمرکز شده موجب فرسایش خرده سنگها شده و دامنه ها را در معرض فرسایش قرار می دهند.

گونه ای دیگر از تافونیهها در حاشیه اینسلبرها (شکل ۴) و در محل اتصال آنها به پدیمنت تشکیل می شوند، جایی که آبهای سطحی



شکل شماره (۴)، نمونه ای از تافونی ایجاد شده در اینسلبرگ واقع در غرب استرالیا (موستو ۱۹۸۳).

اشکال لانه زنبوری

هوازدگی لانه زنبوری^۱ نوعی از هوازدگی غارمانند است. اصطلاح لانه زنبوری، شبکه سنگی^۲، سنگ توری^۳ و هوازدگی سوراخ سوراخ^۴ همگی به عنوان واژگان هم معنی این پدیده بکار رفته است. این حفره های ریز قطرشان بین ۵ سانتیمتر تا ۵۰ سانتیمتر است، که ظاهراً بصورت خوشه ای در سنگهای همگن رخ می دهند و اشکال لانه زنبوری را ایجاد می کنند. مورفولوژی این حفره ها شبیه تافونیههای کوچک است و بعضی اوقات این دو شکل در کنار هم ایجاد می شوند، اگرچه دلیل بر این نمی شود که منشاء مشترکی داشته باشند (۱۸). این سوراخها دارای بسیاری از ویژگیهای متداول تافونیهها هستند از آنجمله آنها در اقلیمهای متفاوتی ایجاد می شوند، در مناطق ساحلی مشترک هستند، در بسیاری از انواع سنگ مختلف سنگ ایجاد می شوند و

اعتقاد بر این است که حفره های غار مانند تافونی تا حد زیادی در نتیجه پوسته پوسته شدن و تجزیه دانه ای است که توسط طیفی از عوامل هوازدگی شیمیایی و همچنین متبلور شدن بوسیله انحلال نمک ایجاد گردیده است. تعدادی از کسانی که در این زمینه کار کرده اند دلایل واضحی از فرسایش نمک یافته اند، در صورتی که برخی به چنین نتیجه ای نرسیده اند. نقش پوسته در حال سخت شدن به تشکیلاتشان بستگی دارد و این کمک می کند تا شکل پیش آمدگی کلاه مانند آن را توضیح دهیم. برای رشد یک حفره نیاز به مکانیزمهایی جهت از بین بردن پوسته پوسته شدگیها و ورقه ورقه شدگیها داریم. ممکن است باد تا حدودی نقش داشته باشد، چنانکه ممکن است ارگانیزمهای طبیعی از قبیل فعالیت موشها و گلسنگها نیز مؤثر باشد. گذشته از اینکه تافونیهها چگونه شکل می گیرند، مشخص است که آنها در بیش از دهها و هزاران سال رشد می کنند. (۱۲)

۱- Honeycomb weathering
۲ - stone lattice
۳- stone lace
۴- alveolar weathering

انحلال سطحی در سنگهای حاوی کربنات کلسیم و سازندهای تبخیری نظیر نمک، گچ و ژپس و غیره یا سنگهای گرانیتی، کنگلومرای ، ماسه سنگی و امسال آن غلبه یافته و پدیده هایی نظیر تافونی و حفره های لانه زنبوری و تاقچه ای شکل ، با ابعاد حدوداً ۱ متر و گاهاً به ارتفاع ۳ تا ۴ متر را بوجود آورده اند. وی احتمال وقوع این پدیده در سطوح شیبدار و دامنه های در سایه بیشتر دانسته و وجود شبنم یا ژاله شبانه ، گرم شدگی روزانه و نیز عمل خوردگی مهمترین علل پیدایش تافونی دانسته و بر نقش رطوبت و آب در پیدایش تافونیهها تاکید می کند.

ممکن است که جدیداً شکل گرفته و یا فسیل باشند. منشاء ایجاد لانه زنبوری یا به اصطلاح alveolar هم جای بحث بسیاری دارد اما در اینجا نیز محققین بر اهمیت نقش هوازدگی نمکی تأکید می کنند زیرا که موجب تجزیه اجزای کانیهها بدون دخالت هوازدگی شیمیایی می شود (۱۷). فرآیندهای دیگری که می توان آنها را در پیدایش اشکال سوراخ سوراخ مؤثر دانست شامل: فرسایش بادی، خرد شدن بر اثر یخبندان^۱، پوسته پوسته شدن^۲ و انحلال سیمان است.

محدوده مورد مطالعه تافونی در ایران ایران

در ایران مطالعات محدودی در رابطه با تافونیهها صورت گرفته است ، این مطالعات معمولاً در غالب زمین شناسی است. در برخی از کتابهای ژئومورفولوژی نیز اشاره اندکی به آنها گردیده است ضمن آنکه غالباً تفاوتی میان ژئومورفولوژی تافونی و لانه زنبوری قائل نشده اند. در بسیاری از نقاط مختلف کشور منجمله در ابتدای جاده ایبانه (شکل شماره ۶)، زاگرس ، ماسه سنگهای شمال بینالود ، گرانیت های جنوب و جنوب شرق مشهد ، زاهدان و بسیاری از مناطق ساحلی اشکال متنوعی از مورفولوژی تافونیهها و لانه زنبوریهها مشاهده گردیده است که برخی از آنها بسیار قدیمی بوده و جزء اشکال فسیل محسوب می شوند. زمریدیان (۱۳۸۱) در بررسی اشکال تافونی برای نقش اعمال شیمیایی نسبت به سایر اعمال ارزش بیشتری قائل است . وی معتقد است که

۱- frost shattering

۲- exfoliation



شکل شماره (۵)، نمونه ای از مورفولوژی alveolar (موستو ۱۹۸۲)



شکل شماره (۶)، تافونی های ایجاد شده بر روی دامنه های واقع در سایه (ابتدای جاده ایبانه - اصفهان) زمردیان (۱۳۸۱)

هیچ گونه نقشی ندارد، زیرا داخل حفره ها طوری است که باد نمی تواند از خود فعالیت نشان دهد، بنابراین حفره ها در اثر انحلال و یا تخریب شیمیایی خالی می گردند.

یافته ها

یافته های جدید ژئومورفولوژیکی از

تافونی

دامنه گسترده ای از شرایط ممکن است شکلزایی و توسعه تافونیه را کنترل کند که می توان آنها را در چهار دسته قرار داد:

مشخصات معدنی و ساختمانی سنگهای میزبان

احمدی(۱۳۷۸) تافونی را مخصوص منطق دارای آب و هوای خشک (در طول سال فاقد بارندگی و یا فصل خشکی طولانی) دانسته است که بیشتر در سنگهای گرانیتی ظاهر می گردد. محل تشکیل آنها بیشتر در روی شیبهای تند که فاقد پوشش گیاهی بوده و در دامنه های سایه بوجود می آیند. به عنوان مثال در رشته کوههای زاگرس و یا در مناطق مرکزی که حداقل یک فصل خشک وجود داشته باشد ، بمقدار زیاد مشاهده می گردد. وی معتقد است که در تشکیل تافونیهها باد

تافونیه‌ها در سنگهای سیلیسی زیر و خشن با بافت دانه‌ای، خصوصاً در گرانیتها، گرانودیوریتها، گنیسها و ماسه سنگها توسعه می‌یابند. همچنین تافونیه‌ها در سنگهای آتشفشانی با تخلخل زیاد (شکل ۷) مشاهده شده‌اند. فرآیندها و وضعیت‌های مختلفی را برای هوازدهی تافونی پیشنهاد کرده‌اند که شامل هیدراته شدن، فشار رشد نمکها و خصوصاً وضعیت میکروکلیم می‌باشد.



شکل (۷)، تافونی غول پیکر سنگهای متاولکانیک در جزیره تینوس، شمال Santorini (جزیره ای در دریای اژه)

شدت هوازدهی شیمیایی می‌بایست از پایه برون زدگیها بالا رفته و توسط خاصیت موئینگی آب از پایه و درون سنگ به سمت رویه خشک بیرونی حرکت می‌کند.

در سطح خارجی سنگ، تافونیه‌های در حال توسعه توسط پوسته در حال سخت شدن (شکل ۸ ب) اثر خود را نشان می‌دهد و متعاقباً از تجزیه و تخریب‌های بعدی محافظت می‌شود.

در مرحله رشد تافونی (شکل ۸ ج)، میکروکلیمای داخل حفره‌ها با اقلیم بیرون اختلاف بسیار زیادی دارد. اندازه‌گیریهای سیستماتیک هواشناسی وینگارتنر (۲۰۰۳) در طی تابستان مدیترانه‌ای نشان داد که تغییرات

عناصر توپوگرافیکی که مستقلاً تشکیل تافونی داده‌اند، یعنی دامنه‌های عریانی که در معرض فرسایش قرار گرفته‌اند و اشکال مرتفعی که از قبل وجود داشته‌اند مانند اینسلب‌رگها.

وضعیت کلی اقلیم مناطق

وضعیت میکروکلیم که خودش به تنهایی عامل مهمی در بوجود آمدن تافونیه‌ها می‌باشد. اکثر پژوهشگران به توافق رسیده‌اند که

مراحل مختلف توسعه تافونیه‌ها در مطالعات میدانی مشاهده شده است. در مرحله نخست (شکل ۸ الف) حفره‌ها غالباً در پایه برون زدگیهای سنگی یا در امتداد درز و ترکها با تخلخل زیاد و کاهش مقاومت سنگ ایجاد شده‌اند. در اقلیم مدیترانه‌ای، سطح سنگها بلافاصله بعد از بارش شروع به خشک شدن می‌کنند در حالیکه درون سنگ و خاک پای برون زدگیهای سنگی مدت طولانی تری مرطوب باقی می‌ماند. این وضعیت خصوصاً در طی بهار و پائیز اهمیت بیشتری می‌یابد، زمانیکه در آنجا باران کافی می‌بارد و دمای هوا نیز به حدی رسیده است که بتواند نقش مؤثری در هوازدهی شیمیایی داشته باشد. لذا،

در ژئومورفولوژی تافونیه‌ها یکی از اشکال شگفت‌انگیز محسوب می‌گردند که نحوه تشکیل و توسعه آنها سوالات بسیاری را برای ژئومورفولوژیست‌ها ایجاد کرده است. تافونیه‌ها اشکال هوازدگی غارمانندی هستند که در ماسه سنگ، گرانیت و دولوریت، سنگ آهک، توف ریولیت و کنگلومرا یافت می‌شود. همچنین آنها در رژیم‌های اقلیمی بسیار سرد، مرطوب، گرم و خشک ایجاد می‌شوند. بر این اساس، تافونیه‌ها در شرایط مختلف آب و هوایی و سنگ‌های گوناگون تشکیل می‌شوند.

سابقاً تافونیه‌ها را به عنوان اشکال خاص مناطق خشک می‌دانستند. آنها بیشتر در محیط‌های نمکی هستند و غالباً در بیابانها و نواحی ساحلی دیده شده‌اند. نمک روی یک سنگ می‌تواند به طور نامشهود شوره ایجاد کند، تبلور نمکها در منافذ و شکافها، شوره‌های پنهان، ممکن است موجب پوک شدگی، پوسته پوسته شدن و تاول گردد، در نتیجه احتمال دارد حمله اسید سبب تشکیل پوسته جلدی سخت شود.

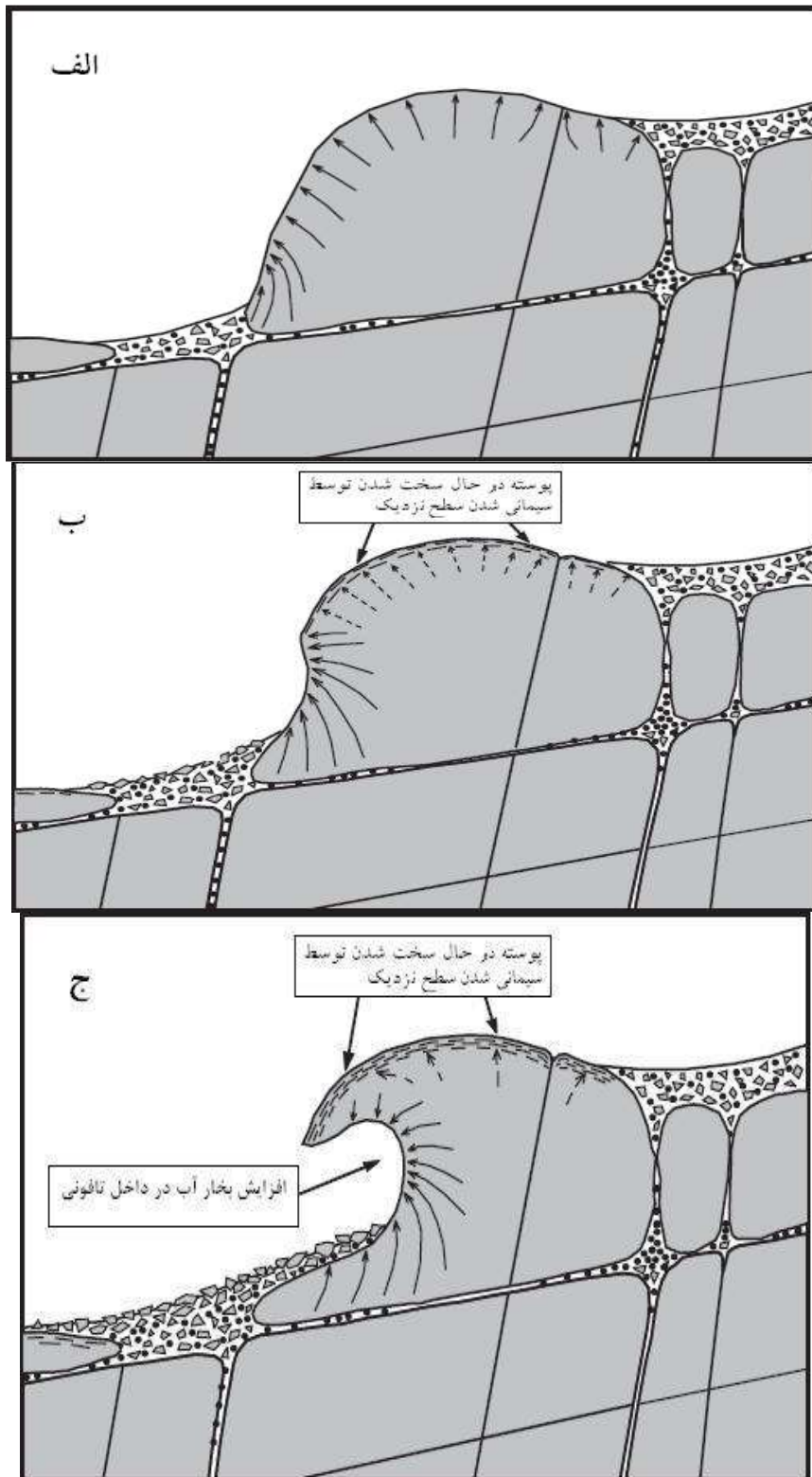
این موارد تبخیر سطحی را کاهش می‌دهد و به رسوب نمک‌های محلول در زیرشان را هدایت می‌کند و سبب متلاشی شدن زیرسطحی می‌گردد؛ همچنین امکان دارد خود متورق یا متورم شوند. سه فرآیند عمده با شوره زدن پنهان همراه هستند: انبساط حرارتی نمک‌های متبلور، رشد بلورهای نمک محلول در منافذ و هیدراته شدن نمک‌هایی که قابلیت آن را دارند.

روزانه دمای هوا و رطوبت نسبی در داخل حفره‌ها رسماً کمتر از بیرون آن بود. در طی شب، هوای داخل حفره‌ها گرمتر و خشکتر بود. این اندازه‌گیریها بر روی Naxoz و Thasos (که به ترتیب متعلق به Cyclades و شمال جزایر Aegean می‌شوند) که در طی آگوست و سپتامبر (مرداد و شهریور ماه) انجام شد. متأسفانه این کار برای فصول سرد انجام نشد.

ماتسوکورا و تاناکا (۲۰۰۳) در طی مطالعات خود بر روی تافونی‌های گرانیت‌های جنوب کره دریافتند که سطح سنگ در دیواره‌های داخلی و سقف، سخت‌شدگی کمتر و حاوی رطوبت بیشتری در مقایسه با سطح خارجی سنگ در تافونی می‌باشد. نتیجتاً هم نرخ تبخیر و هم جریان موئینگی موجب افزایش دیواره‌های درونی تافونی می‌شود. شوره زدگی نمک در دیواره‌ها آنها را از بارندگی، تجزیه و تخریب دانه‌ای و پوسته پوسته شدن دیواره‌های درونی و سقف محافظت می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

سنگ در بسیاری از جنبه‌های فعالیت انسان اهمیت بنیادی دارد. چنانچه تمامی سنگها در محیط متفاوتی نسبت به محیط فعلی تشکیل شده باشند، در معرض فرآیندهای طبیعی هوازدگی قرار می‌گیرند. ماهیت و مؤثر بودن هر فرآیند، یا گروهی از فرآیندهای هوازدگی به سه دسته متغیر مربوط می‌شود: محیط هوازدگی (که در آن شرایط آب و هوایی از همه مهمتر است)، طبیعت مواد و در جای خود ماهیت شرایط بیولوژیکی (۳).



شکل شماره (۸)، شمایی از نحوه توسعه تافونی. الف) مسیر حرکت جریان موئینه آب (فلشها) در درز و ترکهای سنگهای دانه ریز موقعی که پس از باران خشک شده است. ب) رطوبت موجود در پای تخته سنگ و پوسته در حال سخت شدن در نتیجه تمرکز جریانهای موئینه به سمت مکانی که نرخ هوازدگی در آنجا افزایش یافته است. ج) تافونی در مرحله رشد با شرایط میکروکلیمایی خاص در درون فرورفتگی. وینگارتنر (۲۰۰۳)

که توسط میکروکلیمای متفاوت بین حفره‌ها و سطح بدون پوشش سنگ ایجاد می‌شود. تفاوت میکروکلیمای در مناطق واقع در سایه، ممکن است هوازدگی تافونی را تسریع کند. از سوی دیگر برخی از تافونیها اشکالی هستند که تحت شرایط هوازدگی اقلیم گذشته به ارث رسیده‌اند که با مطالعه آنها می‌توان اطلاعاتی در مورد اقلیم دوره هولوسن، تغییرات استاتیک دریا در نواحی ساحلی و نیز تغییرات اقلیمی را بدست آورد.

نحوه عملکرد هوازدگی تافونی بر ساختمانها بسیار اهمیت دارد. بسیاری از ساختمانهایی که از هوازدگی آسیبهای جدی می‌بینند از سنگ آهک، مرمر، ماسه سنگ با سیمان آهکی و گرانیت ساخته شده‌اند. تأثیرات هوازدگی بسیار و گوناگون است.

با توجه به جنس سنگ و شرایط اقلیمی منطقه می‌تواند شامل پیدایش چاله‌های حاصل از حل مواد در مناطق چکه، لاپیه‌ها در مناطق جریان آب، فلس‌شدگی، خرد شدگی، متلاشی شدن دانه‌ای، جداره در حال سخت شدن، پوسته پوسته شدن، شوره زدگی و فساد سطحی گلسنگها و سایر میکروارگانیزمها می‌باشد.

در ادبیات جهانی معمولاً تافونیها و اشکال لانه زنبوری جزء هوازدگی غار مانند محسوب می‌شوند. اما ذکر این نکته ضرورت دارد که علی‌رغم تشابهاتی که این دو از نظر محیط تشکیل دارند ولی از نظر شکل، هوازدگی سوراخ سوراخ یا به عبارتی لانه زنبوری با تافونی کاملاً متفاوت بوده و معمولاً به سوراخهای ریزی گفته می‌شود که چند سانتیمتر عمق داشته و

در بسیاری از اراضی خشک، آب زیر زمینی و حاشیه موئین بالای آن در نزدیک سطح زمین قرار دارد، بویژه آنکه ممکن است توسط نمکهای کلراید و سولفات، آب زیر زمینی کاملاً شور شده باشد. این وضع بویژه در سبخاها و پلایاها یافت می‌شوند. گهگاه ممکن است سفره آب زیرزمینی و حاشیه موئین (که می‌تواند بیش از ۳ متر ضخامت داشته باشد) سطحش را قطع کند و موجب پیدایش شوره نمک و پدیده‌های زمین نقش دار گردد.

در گذشته تصور بر این بود که باد عامل اصلی بوجود آورنده تافونیهاست، اما امروزه اکثراً با این مسئله موافقت که رفت و روب بادی نقشی در ایجاد حفره‌های بیرون تخته سنگها و سوراخهای سطح سنگها ندارند. لذا علی‌الرغم گستردگی پراکنش تافونیها، توجه به این نکته ضروری است که آنها عموماً در سنگهای بلورین و دانه‌ای یافت شده و از لحاظ محیطی نیز بیشتر در محیطهای مرطوب ایجاد گردیده‌اند. شروع تشکیل تافونی‌ها اغلب در امتداد سطوح ضعف موجود در سنگ‌ها از قبیل لایه بندی‌ها، طبقه بندی‌های مورب و پشته‌ای و شکستگی‌ها می‌باشد.

هوازدگی شیمیایی نقش عمده‌ای در توسعه تافونیها در بعضی از شرایط دارد. مثلاً تافونی در ماسه سنگ تا حدی در نتیجه واکنش آب و اسیدهای ارگانیکی با آهن و سیلیس است، یا در سنگ آهک در نتیجه انحلال کلسیم و کربنات منیزیم است.

فرآیندهای شیمیایی که ممکن است در هوازدگی غار مانند نقش داشته باشند شامل انحلال، هیدرولیزه شدن و هیدراته شدن است

باشد، در مناطق بسیار خشک ایران مرکزی تا کنون هیچ موردی مبتنی بر مشاهده تافونی گزارش نگردیده است. البته جا دارد با توجه به تنوع و گستردگی این پدیده مطالعات بیشتری بر روی آن صورت بگیرد.

بسیار نزدیک به هم توسعه یافته و با یک دیواره بسیار نازک چند سانتیمتری از هم جدا می شوند.

در ایران با اینکه تافونیها در بسیاری از مناطق دیده شده اما از آنجا که ثابت گردیده که توسعه تافونی با منابع رطوبت در ارتباط می

منابع

- ۱- احمدی، حسن، ۱۳۷۸؛ ژئومورفولوژی کاربردی، جلد یک، فرسایش آبی، دانشگاه تهران.
- ۲- زمردیان، محمد جعفر، ۱۳۸۱؛ ژئومورفولوژی ایران فرآیندهای اقلیمی و دینامیک های بیرونی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- کوک و دورکمپ، ترجمه شاپور گودرزی نژاد، ۱۳۷۸؛ ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، جلد دوم، انتشارات سمت.
- ۴- Andre, m.f , Hall.k. (۲۰۰۵), Honeycomb development on Alexander Island, glacial history of George VI Sound and palaeoclimatic implications (Two Step Cliffs/Mars Oasis, W Antarctica), *geomorphology* ۶۵, ۱۱۷-۱۳۸.
- ۵- Berner, E.K. and Berner, R.A. (۱۹۹۶) *Global Environment: Water, Air, and Geochemical Cycles*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- ۶- Birkeland, P.W. (۱۹۹۹) *Soils and Geomorphology*, New York: Oxford University Press.
- ۷- Conca, J.L. and Rossman, G.R. (۱۹۸۲) Case hardening of sandstone, *Geology* ۱۰, ۵۲۰-۵۲۳.
- ۸- Conca, J.L. and Rossman, G.R. (۱۹۸۵) Core softening in cavernously weathered tonalite, *Journal of Geology* ۹۳, ۵۹-۷۳.
- ۹- Cooke, R.U. and Smalley, I.J. (۱۹۶۸) Salt weathering in deserts, *Nature* ۲۲۰, ۱،۲۲۶-۱،۲۲۷.
- ۱۰- Cooke, R.U., Warren, A. and Goudie, A.S. (۱۹۹۳) *Desert Geomorphology*, London: UCL Press.
- ۱۱- Dragovich, D. (۱۹۶۹) The origin of cavernous surfaces (tafoni) in granitic rocks of southern South Australia, *Zeitschrift fur Geomorphology NF* ۱۳, ۱۶۳-۱۸۱.
- ۱۲- Goudie, A.S. and Viles, H.A. (۱۹۹۷) *Salt Weathering Hazards*, Chichester: Wiley.
- ۱۳- Goudie, Andrew. (۲۰۰۴), *Encyclopedia of Geomorphology*. First published by Routledge.
- ۱۴- Hacker, Adrienne. (۲۰۰۳). *Controls of tafoni development in Castel Rocks , Idaho*. Carleton College, Northfield MN
- ۱۵- Heji, Ewald. (۲۰۰۵), A pictorial study of tafoni development from the ۲nd millennium BC , *Geomorphology*, ۶۴.p ۸۷-۹۵.
- ۱۶- Howard, A.D., Kochel, R.C. and Holt, H.E. (eds) (۱۹۸۸) *Sapping Features of the Colorado Plateau, A Comparative planetary Geology Field Guide*, Washington: NASA.
- ۱۷- Mustoe, G.E. (۱۹۸۲). The origin of honeycomb weathering , *Geological Society of America Bulletin* ۹۳، ۱۰۸-۱۱۵.
- ۱۸- Mustoe, G.E. (۱۹۸۲) The origin of honeycomb weathering, *Geological Society of America Bulletin* ۹۳، ۱۰۸-۱۱۵.
- ۱۹- Ritter, Dalle.F, R. Craig Kochel, Jerry , Rossel. (۱۹۶۰). *Process Geomorphology*, Fourth edition, McGraw-Hill education.
- ۲۰- Schwartz, I.M. (۲۰۰۶). *Encyclopedia of costal science*, Department of Geology Western Washington University, WA, USA.
- ۲۱- Smith, B.J. and McAlister, J.J. (۱۹۸۶) Observations on the occurrence and origins of salt weathering phenomena near Lake Magadi, Southern Kenya, *Zeitschrift für Geomorphologie NF* ۳۰, ۴۴۵-۴۶۰.
- ۲۲- Tschang, Hsi-Lin. (۱۹۹۲). *Geomorphological observation on the tafoni forms on Hong Kong*, *CHUNG CHI journal* ۲۶, ۴۳-۵۸.
- ۲۳- Twidale, C.R. (۱۹۹۳) The research frontier and beyond: granitic terrains, *Geomorphology* ۷, ۱۸۷-۲۲۳.
- ۲۴- Young, R.W. and Young, A.R.M. (۱۹۹۲) *Sandstone Landforms*, Berlin: Springer-Verlag

Tafony (Genesis, Evolution, and Distribution issues)

Mojtaba khalilizadeh^{۱*}

Abstract

Rock in many aspects of human activity has fundamental importance. If the rocks in different conditions than the current environment to be formed, are posses to natural weathering processes and forms shapes that are interesting subject to geomorphologists to be used effectively in creating the conditions and how they are developed. In geomorphology, Tafony has a surprising form by the chemical and salt weathering that are created on rocky outcrops. These quasi-cave shapes can be found in different structures such as sandstone, granite, dolomite, limestone, rhyolite and metamorphosed conglomerate. They also have been observed in different climates such as Polar Regions, coastal, semi-arid areas and even on Mars. Despite extensive distribution of Tafony, this issue must consider that they are generally found in rock crystal and grain and also, are created in terms of environmental in humid and salty environments. Since some forms of Tafony are very old, especially those that are very large and wide, often as evidence of past climatic periods are raised so they can study as the evidence of the weather and climatic conditions of that era. Considering the distribution of this phenomenon, how Tafony formed and their effective processes is still discussed and there are different opinions about its genesis. Since we can find this phenomenon in all climates, it is mentioned in many resources, including coastal, deserts texts, and since this phenomenon is one of the forms of weathering and could be seen on marine and urban structures, so in some of these works without reference to the name of Tafony, have been studied. In Iran, this phenomenon has been observed in many areas, including Abyaneh road, Larestan, alongside Qom road, Binaloud mountains, southern slopes of the Zagros and ... that generally includes sub glacial, cold, coastal and desert areas, amny studies have been done on them as often or in case of dominant erosion in geology and works of geomorphologists such as Zomorodian and Ahmadi with some brief reference to their formation. In this study we try to evaluate the Iranian and global literature in relation to Tafony genesis, its causes and distribution and new findings in relation to this phenomenon is discussed to be exposed.

Keywords: Tafony, Genesis, Evolution, Distribution issues, Chemical weathering

^۱-Department of Engineering, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran.