

در بسیاری از مناطق تاریخی مهم ایران، فرسایش سنگها بطور جدی و ممتدی ادامه دارد و تاکنون زیانهای قابل ملاحظه‌ای در زمینه‌های فرهنگی و هنری وارد آورده است و چنانچه سریعاً اقدام موثری صورت نگیرد، در سالهای آینده خسارات وسیع غیر قابل جبرانی بار خواهد آورد. فرسایش سنگ و خشت خام، قبلاً نیز توسط محققانی مورد مطالعه قرار گرفته، مسئله‌ای است که هنوز هم در انتظار راه‌حلهای دیگری میباشد.

علت این فرسایش، در مناطق متعدد، به دلایلی نسبت داده شده از قبیل:

- ۱- در حومه شهرها و مناطق صنعتی، مواد آلوده کننده هوا نقش مهمی در تاثیر گذاشتن بر روی سنگ بازی میکنند.
- ۲- نزدیک محیط‌های دریایی، آبهای زمینی نمکدار و ترشح نمک - عامل اصلی از بین رفتن سنگ و مصالح سنگی است.
- ۳- در مناطق بادخیز و خشک، اثر سایشی دانه‌های ماسه که بوسیله باد جابجا میشوند، سطوح سنگ و آجر را فرسوده میکند.
- ۴- تغییرات حادی که در دمای سطح سنگ روبرو با بخاطر اختلاف حرارتی که بین یک نیمروز درخشان و شبی سرد پیش می‌آید، ممکن است که در بعضی مناطق و بر روی بعضی از انواع سنگها اثرات خرابی و فساد داشته باشد.
- ۵- عوامل بیولوژیکی مانند باکتری‌ها و جلبک‌ها، میتوانند در مناطق گرم و مرطوب صدمات مهمی به سنگ وارد آورند.
- ۶- آب مایع بخاطر خاصیت حلالیت مستقیم خود باعث فرسایش بعضی از انواع سنگ میگردد.
- ۷- آبی که در شکافها و خلل و فرج سنگها منجمد میشود باعث شکستگی و خرد شدن ساختمان آنها میگردد.

ما چندین منطقه اصلی تاریخی ایران را مطالعه کرده و بر روی نمونه‌های سنگهای آنها کار وسیع آزمایشگاهی انجام داده ایم تا بتوانیم علل فرسوده شدن سنگهای این مناطق را دریابیم. جاهایی را که بررسی و نمونه‌برداری کردیم عبارتند از:

۳۲۵۴ - ۳۵۶۱

محافظت از سنگهای باستانی

و

خشت خام در ایران

از: اس. زد. لوین و ا. ی. چارولا (۱)

ترجمه: احمد هرمزی

تخت جمشید ، نقش رستم ، پاسارگاد ، بیشاپور ، طاقستان
بیستون و گنج نامه . در هرنمایی که مدارک و شواهد قابل رویت
و مهمی درباره از بین رفتن سنگها ثبت شده ، نمونه های سنگی
شاخصی از مواد اصلی آن جمع آوری گردید . نمونه ها طوری
انتخاب شدند که دربرگیرنده نمونه های هوانزده ، نیمه پوسیده
و بسیار پوسیده بودند . سپس از نمونه ها تحت آزمایشات زیر
قرار گرفتند :

الف - تجزیه شیمیائی

ب - تشخیص اجزاء بلورین اصلی با استفاده از انکسار اشعه ایکس
ج - تشخیص کانی های موجود و بافت آنها با استفاده از روشهای

سنگ شناسی

د - استفاده از میکروسکوپ الکترونی

مکانیسم پوسیدگی

اطلاعات ما نشان میدهد که اساساً هر نوع خرابی و فساد
سنگها که در تخت جمشید ، پاسارگاد و نقش رستم بوجود آمده
و هم اکنون نیز ادامه دارد ، بخاطر پدیده " حل شدن جزء به
جزء کلسیت " در اثر نفوذ آب است . سپس ، همچنانکه آب در
سطح و در میان سنگ جریان مییابد کلسیت بلورین آن رسوب شده
و آب آن از سطوح روباز سنگ تخییر میشود . همین مکانیسم هم
اگر تنها عامل نباشد عامل مهمی در پوسیدگی دیوارهای مناطق
بالاست که از جنس خشت خام میباشد ، منتهی در این مورد
کانی های رسی مشخصی را هم شامل میشود . تجزیه های شیمیائی
پتروگرافیک ، و انکسار اشعه ایکس نشان میدهد که تمام سنگهای
که هخامنشیان بکار گرفته اند ، سنگ آهک سخت و فشرده ای است
که شامل حداقل ۹۹% کلسیت خالص است و سنگهایی که در زمان
حاضر برای تعمیرات مورد استفاده قرار میگیرند نیز از همین نوع
هستند . کیفیات این نوع سنگ را میتوان در جزئیات به بهترین
وجه از طریق بررسی و آزمایش بر روی سطحی که بتازگی شکست
خورده باشد مورد ارزیابی قرار داد .

وقتیکه سنگی می شکند ، این شکست از میان رخ (به فتح ر)
کریستالهای آن سنگ ، یا در مرز حدایی دانه های کریستال از
یکدیگر ، یا در طول خلل و فرج و ترک هایی که از پیش وجود
داشته اتفاق می افتد از این رو ، آزمایش مناسب میکروسکوپی
از یک سطح بتازگی شکسته شده ، نشان دهنده اندازه ها ، شکلها
خلل و فرج ، آرایش بسته بندی ، اتصال بین دانه ای و ترتیب
شیارها و ترک های دانه های بلوری است که سنگ را میسازند .

نتیجتاً " ، سختی سنگ ، وسعت پوسیدگی ، ماهیت بلورنگاری
و بافت سنگ بطور وضوح آشکار میشوند . وسیله مطلوب برای این

نوع آزمایش و بررسی ، میکروسکوپ الکترونی Scanning (با

SEM) میباشد زیرا میدان وسیعی از بزرگ نمایی ها (از ۲۰

تا ۴۰۰۰۰ برابر) همراه با عمق وضوحی بیش از هر نوع میکروسکوپ

دیگر بدست میدهد (و اجازه میدهد که از نمونه های ضخیم

استفاده گردد) . همچنین برای کار مناسب با این میکروسکوپ

سطح وسیعی (حوزه دید یک سانتیمتر مربع) از نمونه سنگ کافی

میباشد . شکل ۱ مناظری از یک سنگ هوانزده متعلق به تخت جمشید

را نشان میدهد که سطح آن بتازگی شکست خورده و در بزرگ نمایی های

مختلف از ۲۰ تا ۵۰۰۰ برابر نشان داده شده اند . از این عکسها

طبیعت کلسیتی سنگ را خوبی میتوان دریافت . دانه های کلسیت

دارای ابعادی در حدود ۵۰۲-۵۰۱ میلیمتر بوده و بطور مطلوبی

تشکیل شده اند . بر روی سطوح شکسته شده کریستالها میتوان

پلکان های رخ را با نمونه های بطور کلسیت مشاهده نمود ، که

مطابق با رخ در طول و حوه (۱۰۰) (۲) سلول واحد لوزوجه میباشد .

الف - پوسیدگی سنگ ها بخاطر اثر مستقیم فرسایشی آب

هنگامیکه این نوع سنگ برای نشان دادن از بین رفتن قطعی

آن ، برای مدت معینی در معرض هوا زدگی قرار میگیرد ، ترکها

و شیاریهایی در آن بوجود میآید که بطور عمودی در امتداد طول

قطعه سنگ پائین میروند . این نوع پوسیدگی ، بطور گسترده ای

در تخت جمشید و پاسارگاد دیده میشود و وسیله مثالهای شکل

۲ نشان داده شده است. مطالعه یک سطح شکسته شده که از قسمت درونی چنین سنگی جدا شده است، ساختمان بسیار خلل و فرج داری را نشان میدهد که دارای مجراها و سوراخهای مشخصی در طول جهتی عمود بر زمین است. بدان معنی که، سوراخها، ترکها و مجراها در جهتی قرار میگیرند که آب باران در طول آن جهت در سنگ جریان پیدا کرده و این کار تحت اثر نیروی ثقل زمین انجام یافته است. شکل ۳ عکس A و B سطوح شکست خورده چنین سنگی را در تخت جمشید نشان میدهد و شکل ۴ عکسهای میکروسکوپی یک نمونه از سنگ هوازده در پاسارگاد است. بطوریکه از این عکسهای میکروسکوپی مشخص میشود، وضع و حالت دانههای کانی در سنگ هوا زده نسبت به آنچه در سنگ منشاء (قبل از هوازگی) بوده بطور موثر تغییر کرده است. این مسئله، بدان دلیل است که وقتی آب در سراسر قسمت اعظم سنگ بطرف پائین جریان یافته، بر روی دانه های کلسیت اثر گذاشته و شمار زیادی مجرا و خلل و فرج در میان آنها ایجاد کرده است که بیشتر این مجراها دارای قطرهای فوق العاده کوچک هستند، و قتیکه استرس، روی سنگ عمل کند باعث بوجود آمدن شکست در طول خط استرس شده که بین یک سوراخ میکروسکوپی تا سوراخ میکروسکوپی دیگر گسترش می یابد. از این رو، سطح شکسته بطور نمونه نشان دهنده بافت صفحه مانندی است، زیرا دانه های کلسیت، بصورت صفحات نامنظم و بسیار کوچکی شکسته شده اند. این خود توضیح میدهد که چرا سنگ هوا زده، نیز ترک خورده و شیار بر میدارد، و نیز چرا تظاهر خارجی اش مانند سنگ لوح یا میکا بصورت لایه لایه در می آید. البته به استثناء اینکه جهت ترکها و سطوح جدایی داخلی سنگ همیشه عمود بر زمین بوده و از هیچ نوع طبقه بندی خاصی در سنگ تبعیت نمی نمایند.

این حقیقت که آب اثر حل کنندگی قاطعی روی این نوع سنگ آهک ایرانی میگذارد، بطور وضوح در بعضی از نقش برجسته های بیشاپور که منطقه باستانشناسی مهمی در ۱۳۰ کیلومتری جنوب

غرب شیراز است، هویدا است. در اینجا، آب یک کانال آبیاری که بطور مستمر جریان داشته و با یک قسمت از نقش برجسته ها در غرب رودشاپور در طول ۱۵۰ سال تماس داشته باعث گردیده است که دیواره سنگی به عمق ۴۰-۳۰ سانتیمتر گود شود. شکل ۵ کانال بزرگ مذکور را در میانه یکی از نقش برجسته ها نشان میدهد.

ما تجزیه هایی انجام دادیم که تعیین کنیم آیا عوامل شیمیایی فعال مانند اسیدها و نمک هایی که دارای منشاء خاکی (مثلاً) از طریق عوامل بیولوژیکی (و یا هوایی (مثلاً)، از طریق احتراق سوخت های فسیلی) می باشند، سبب ایجاد فرسایش رویت شده در سنگ هستند؟ نتایج نشان میدهند که هیچ عاملی هر قدر هم که مهم باشد، وجود ندارد که روی سنگ اثر بگذارد بغیر از آب، و یا محلول اسید کربنیک ضعیفی که خود از حل شدن مقداری از دی اکسید کربن موجود در باران و آبهای زمینی بدست می آید.

این نتیجه گیری زمانی بیشتر تأیید میشود که سنگ آهک کلسیتی درشت دانه تر نقش رستم را بوسیله میکروسکوپ مطالعه نمائیم.

در این مورد، مشاهده گردید که آب بر روی دانه های کلسیت پوشش دهنده سطح حفره های بزرگ واقع در نزدیکی سطح بصورت حفره های کوچک ناشی از اثر اسید ایجاد شده است. شکل ۶ ماهیت اثرات این نوع فرسایش را نشان میدهد. اینگونه حفره ها که شکل هرمی کامل دارند در دانه های مجزای کلسیت در حقیقت معرف عمل آهسته و طولانی حلالی خیلی ضعیف روی سطح بلور میباشند، چنانچه همین مطلب در مطالعه ای که لوین و بی بر روی کریستالهای منفرد کلسیت انجام داده اند، نشان داده شده است.

ب - پوسیدگی سنگها بدلیل بلور شدن مجدد

ضعیف شدن و فرسایش سنگ آهک ایرانی بدلیل نقش مستقیم

اصطلاحات

Aggressive chemical	عوامل شیمیایی فعال
Agents	
Archeology	باستانشناسی
Bas (Sculptured) Relief	نقش برجسته
Calcite	کلسیت
Channel	مجرا
Cleavage	رخ (به فتح ر)
Combustion	احتراق
Crack	ترک
Crystal	کریستال - بلور
Crystallography	بلورنگاری
Crumble	خرد شدن
Damage	صدمه - آسیب
Decay	پوسیده شدن - پوسیدگی
Deposit	نهشت
Deterioration	از بین رفتن
Dissolution	حل شدن
Erosion	فرسایش
Evaporate	تبخیر شدن
Excavate	از زیر خاک بیرون آوردن
Flake	ورقه ورقه شدن
Fossil Fuel	سوخت فسیلی
Fracture	شکست
Freshly Fractured	بتازگی شکسته شده
Granular	دانه‌ای
Gravity	نیروی ثقل زمین
Intensity	شدت
Intergranular Attachment	اتصال بین دانه‌ای

آب در حل کردن آن فقط یکی از دو مکانیسمی است که مشکلات اصلی پوسیدگی را بوجود آورده‌اند. مکانیسم دیگر شامل رشد بلورهای جدید کلسیت در ترکها و شکافهای سنگ است به این ترتیب: آبی که قبلاً "مقداری از کربنات کلسیم را بصورت محلول در آورده اکنون تخیر میشود و نتیجتاً آن مواد را بصورت یک نهشت مجدداً " بلور شده، نه نشین میکند.

ماهیت این فرایند، و وقوع شاخص آن در سنگ های تخت جمشید و پاسارگاد در شکل ۷ نشان داده شده است. همچنانکه کریستالهای جدید تشکیل شده و رشد می کنند، نیرویی بوجود می آید که باعث میشود شیارها و ترکها بزرگ و پهن گردند، و از آنجائیکه این مسئله در سطح و یا درست در زیر سطح در معرض هوای سنگ اتفاق می افتد باعث میشود که آن سطح از سنگ ور آمده و خرد گردد. شکل ۸ در جزئیات نشان میدهد که چگونه این نوع نهشت بلورین روی سطوح خارجی و داخلی پوسته‌ای از سنگ تشکیل شده و از تنه سنگ جدا گردیده است. این سنگ مربوط به یکی از ستونهای کاخ آپادانا در تخت جمشید است.

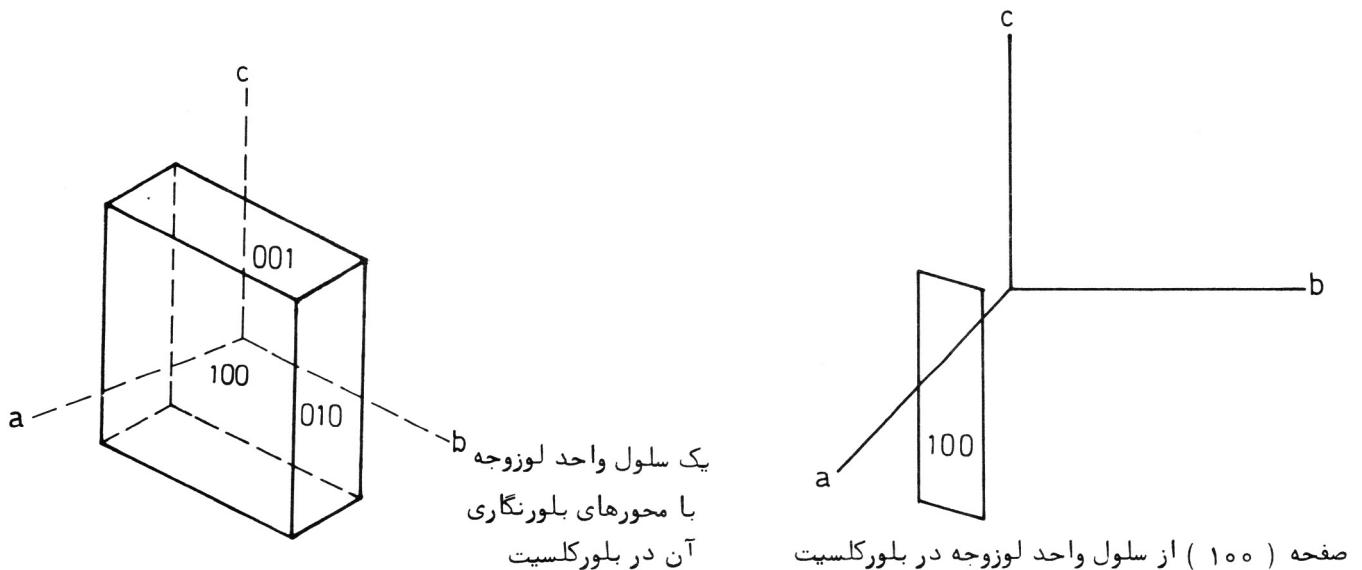
هر دو سطح خارجی و داخلی بوسیله کریستالهای جدید و توپیر پوشیده شده‌اند، و تشکیل این کریستالها در درون شکاف ابتدایی بطور وضوح علت شکستن نهایی آن بوده.

پدیده ورقه شدن سطح سنگ در تخت جمشید و پاسارگاد، مانند مناطق مهم دیگر در ایران، بسیار جدی و کاملاً "گسترده است (به شکلهای ۹، ۱۰ و ۱۱ توجه کنید). برای درک میزان فرسودگی جزئیات سطح سنگ در نقشهای برجسته دیوارها، میتوان مقایسه‌ای کرد بین وضع و حالت کنونی سطوح پلکان شرقی آپادانا با وضع و حالت آن در هنگام از زیر خاک بیرون آمدن که در سال ۱۹۳۳ توسط "هرتزفولد" انجام شده و در انتشارات "اریش اشمیت" ثبت گردیده است. این مقایسه را در شکل ۱۲ میتوان مشاهده کرد.

Slate	سنگ لوح	Joint	شکاف
Spall=Crevice	شیار	Magnification	بزرگ نمایی
Stress	استرس	Mica	میکا
Texture	بافت	Packing Arrangement	آرایش بسته بندی
Unit cell	سلول واحد	Phenomenon	پدیده
Unbaked Brick	خشت خام	Pore	خلل و فرج
Weathering	هوازدگی (۴)	Rhombic	لوزوجه
X-Ray Diffraction	انکسار اشعه ایکس	Recrystallization	تبلور (بلور شدن) مجدد
		Rupture	شکسته شدن

زیرنویس

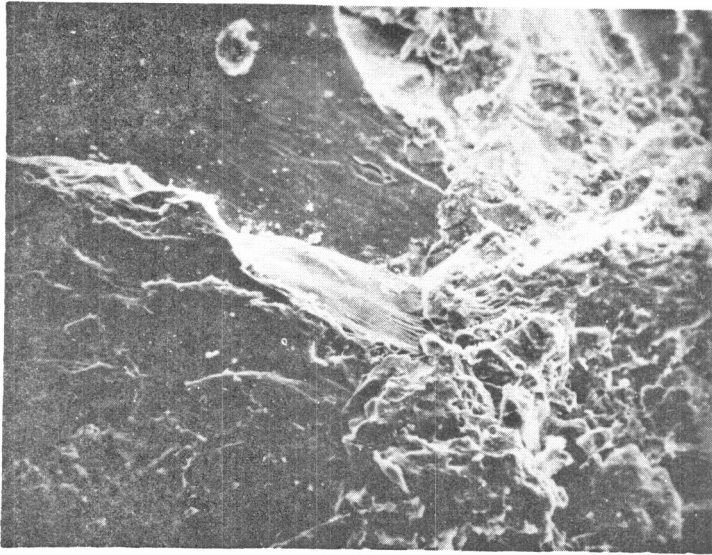
- ۱- بخش شیمی ، دانشگاه نیویورک ، نیویورک ، ان . وای . ۱۰۰۰۳ - آمریکا
- ۲- عدد داخل پرانتز یعنی (۱۰۰) را باید بصورت ۱ ، ۰ ، ۰ خواند و نشان دهنده وجهی از بلور است که فقط یک محور از سه محور بلورنگاری یعنی محور **a** را قطع میکند و با دو محور **b** و **c** موازی است . بشکل زیر توجه کنید :



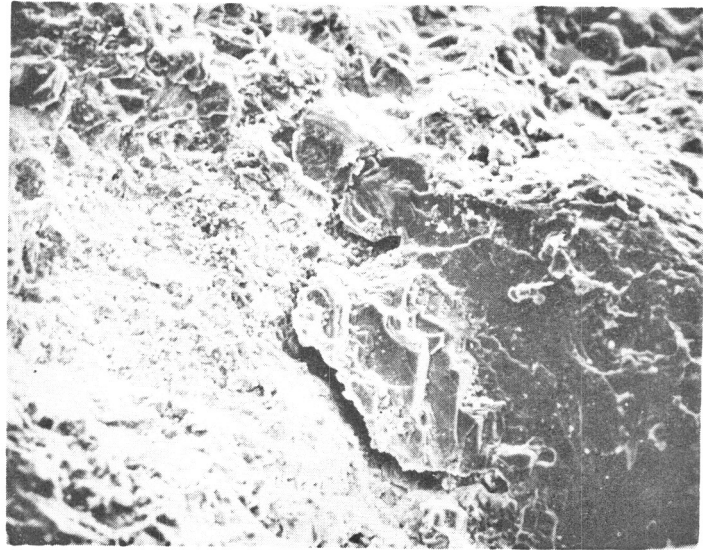
- ۳- مراجعه کنید به :

Festschrift, 5° Jahre Wild Heerbrugg, "pp.11-17, 1971

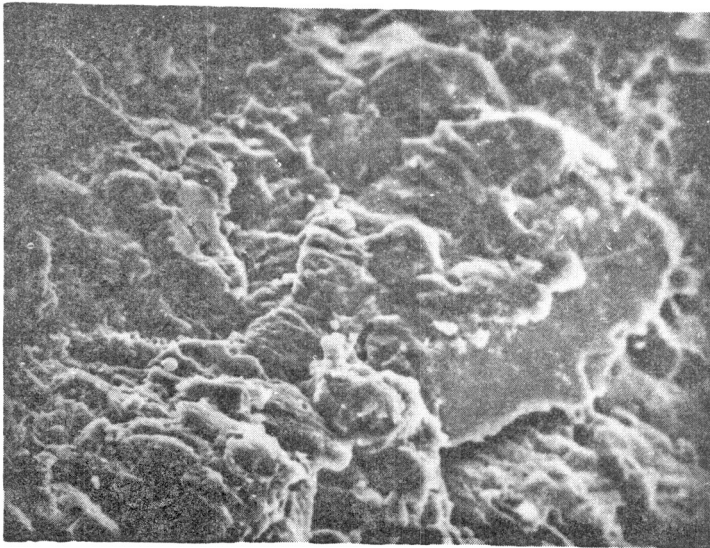
- ۴- بجای این کلمه از واژه تخریب هم در بعضی نوشته ها استفاده شده اما هوا زدگی بهتر مفهوم علمی را میرساند . چون منظور از **Weathering** در زمین شناسی ، در حقیقت نوع تخریبی است که در معرض و با دخالت هوا انجام میپذیرد .



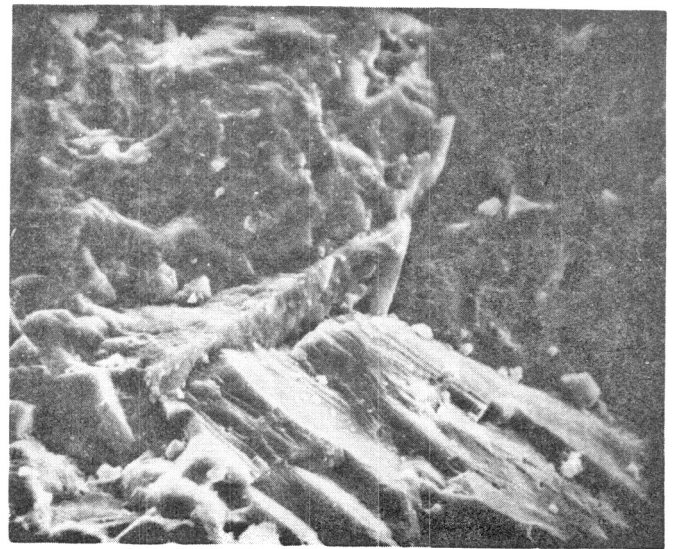
A. 200X



B. 200X

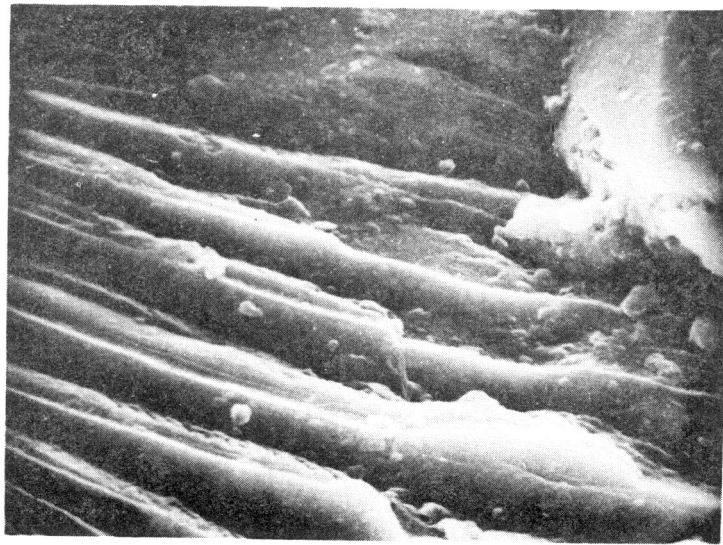
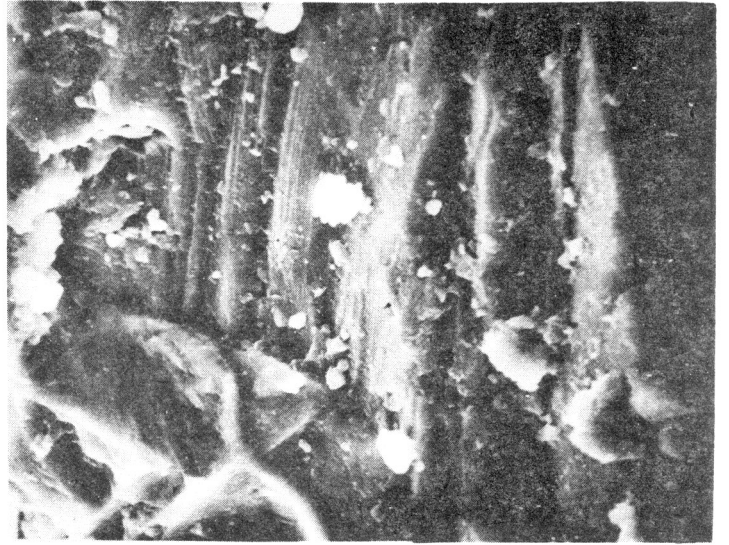
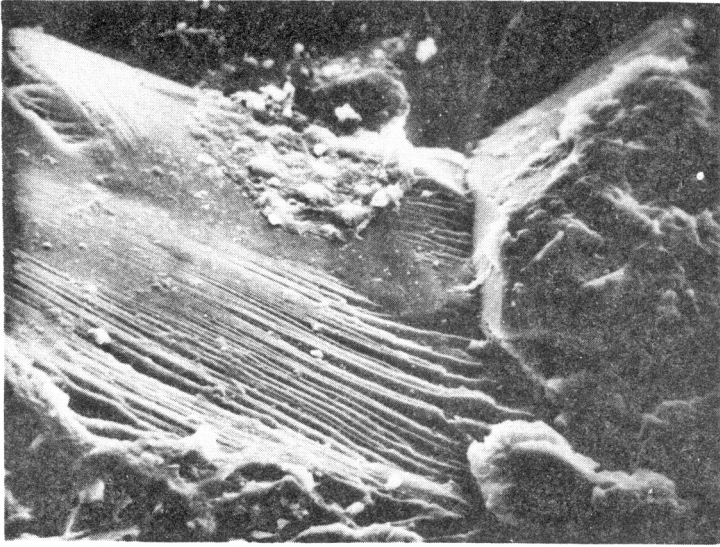


C. 500X



D. 1000X

شماره ۱- سنگ هوا نژده در تخت جمشید . عکس میکروسکوپی از مقطعی که بتازگی شکسته شده است .



G. 5000X

شماره ۱- (بقیه) - سنگ هوا نزده در تخت جمشید .

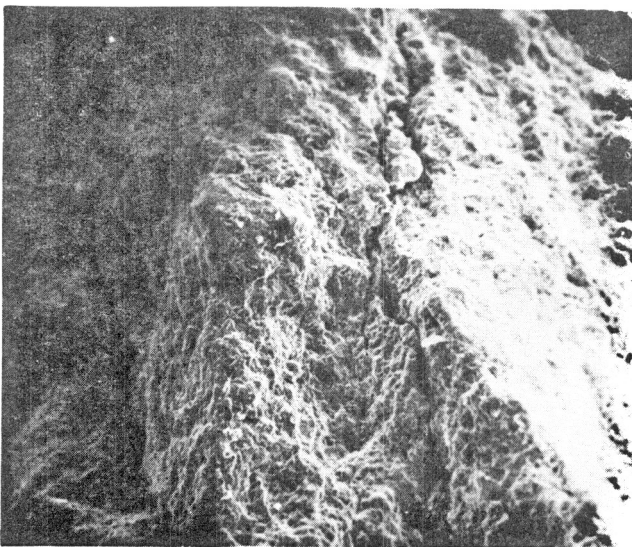


A.

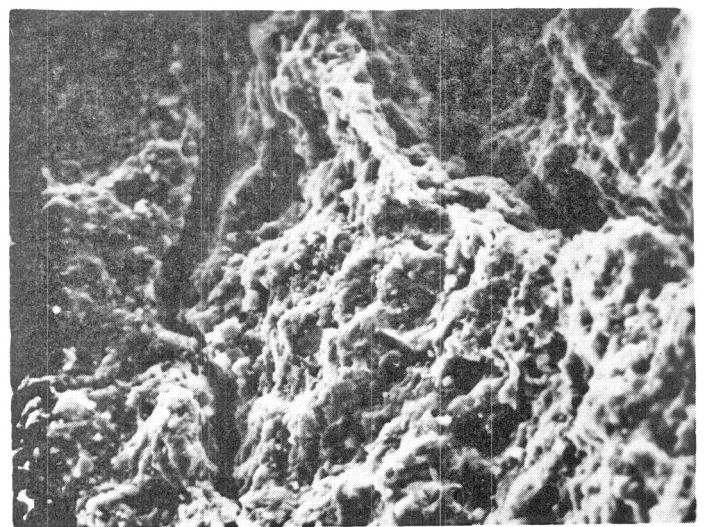


B.

شماره ۲- سنگ هوازده تخت جمشید که در مقیاسی بزرگ نشان دهنده ترکها و شیارهای موازی باهم و عمود بر زمین است .

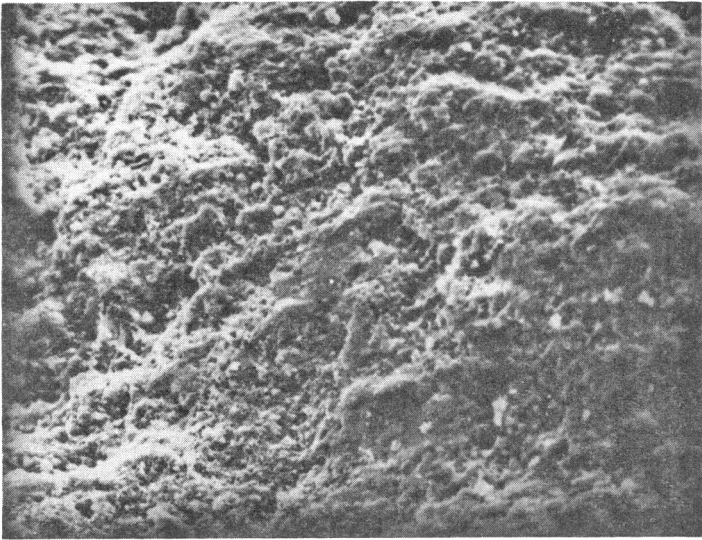


A. 5°X

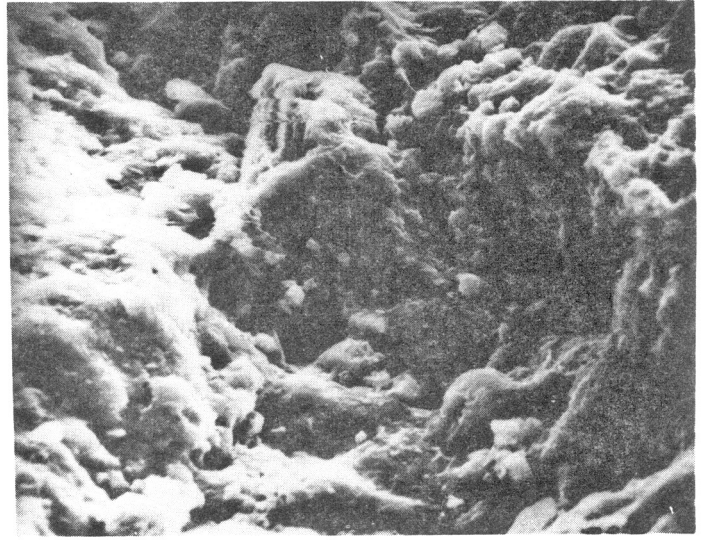


B. 500°X

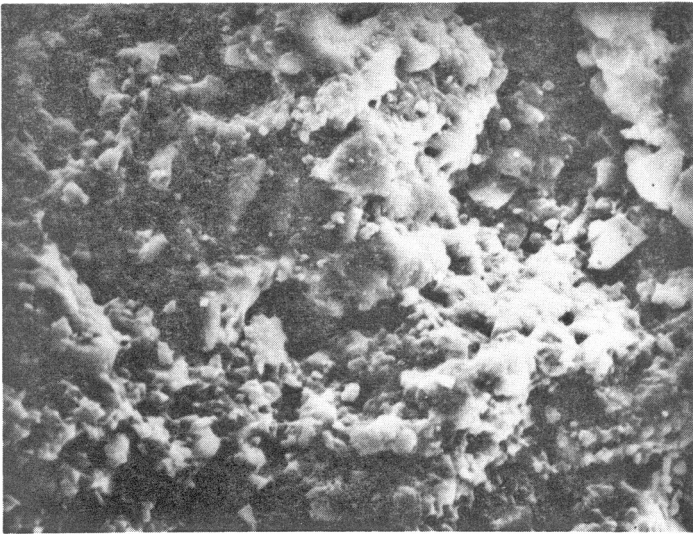
شماره ۳- سنگ هوازده تخت جمشید که نشان دهنده ترکهای عمودی است . سطح شکسته شده عمود بر ترکهای قابل رویت است : بدان معنی که ، موازی با سطح زمین است .



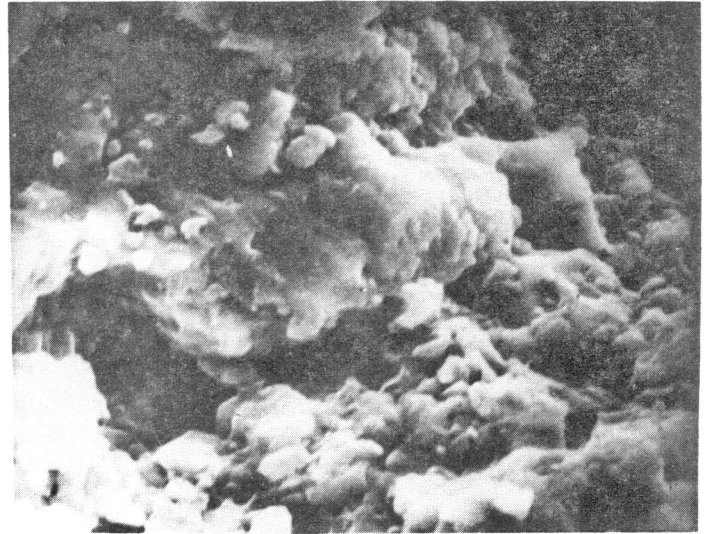
C. 500X



D. 2000X

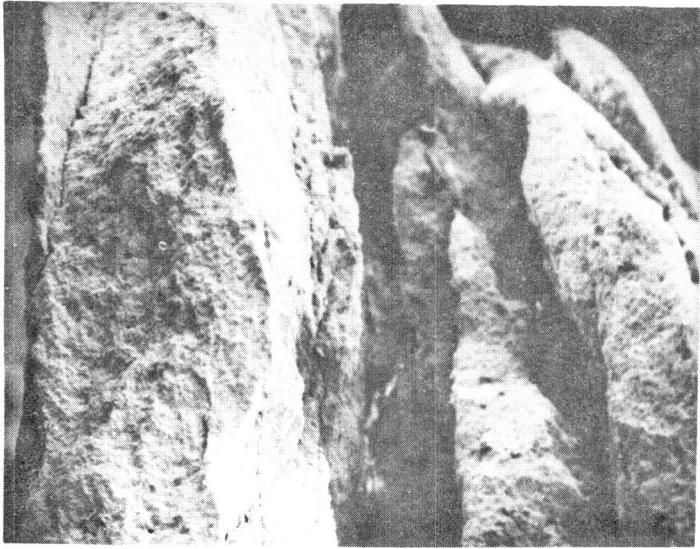


E. 2000X

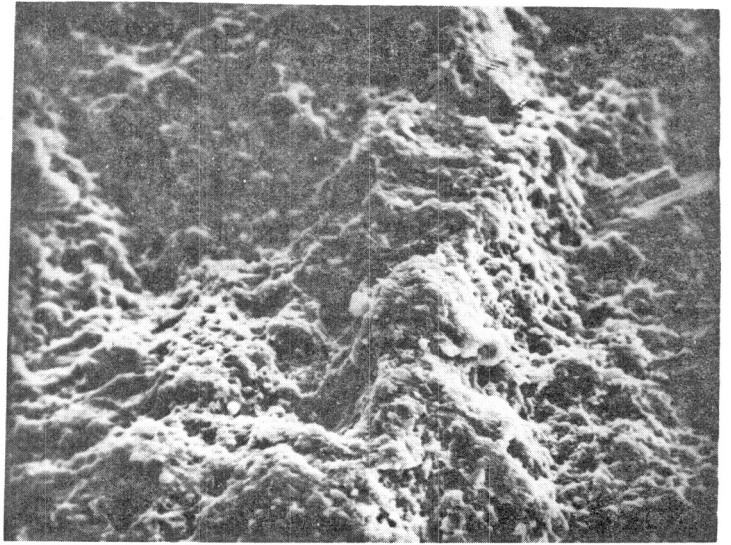


F. 5000X

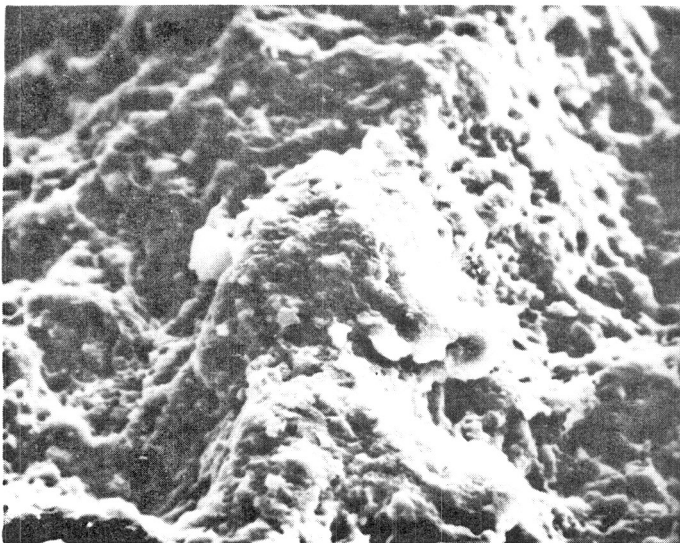
شماره ۳ - (بقیه) - سنگ هوازده تخت چمشید . سطح شکسته شده موازی با جهت ترکهای قابل رویت است یعنی : در جهتی است که آب باران در سنگ و بطرف پائین جریان می یابد .



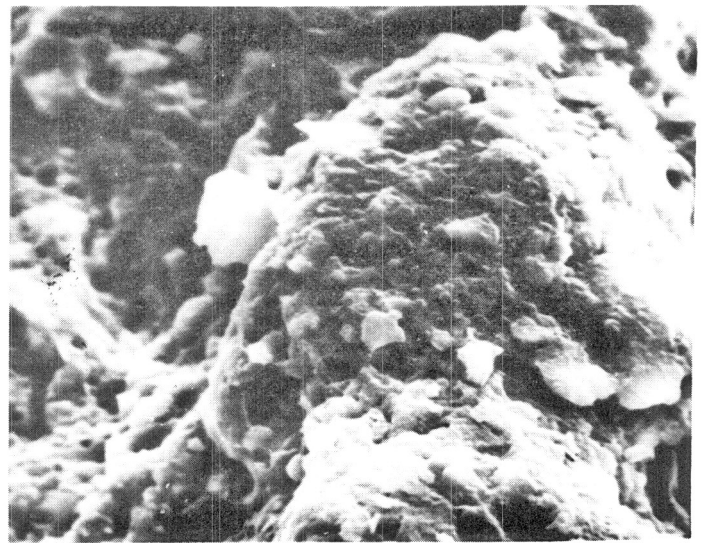
A. 20X



B. 500X

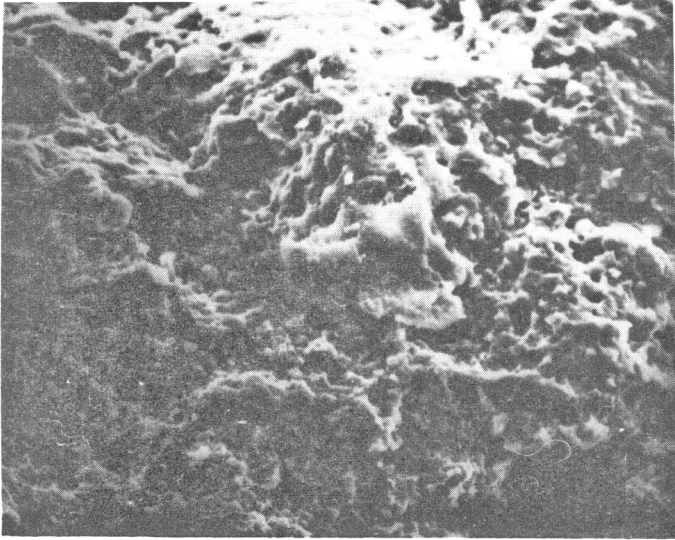


C. 1000X



D. 5000X

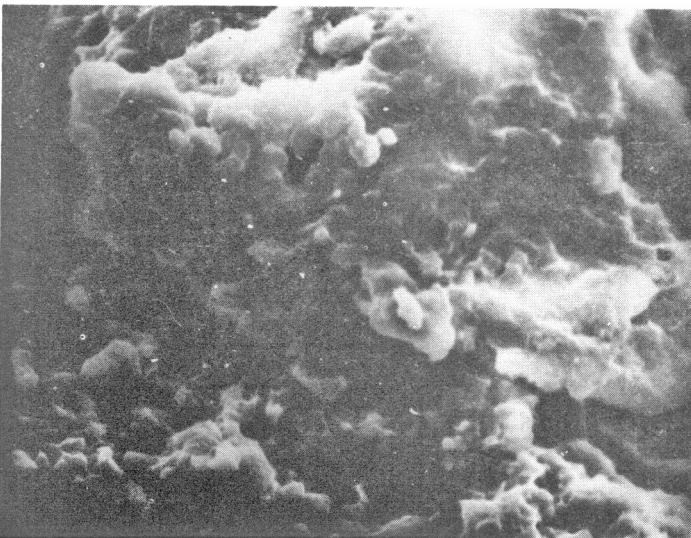
شماره ۴ - سنگ هوا زده پاسارگاد که نشان‌دهنده ترکهای عمودی است . سطح شکسته شده عمود بر ترکهای قابل رویت است یعنی : در صفحات موازی با زمین قرار دارد .



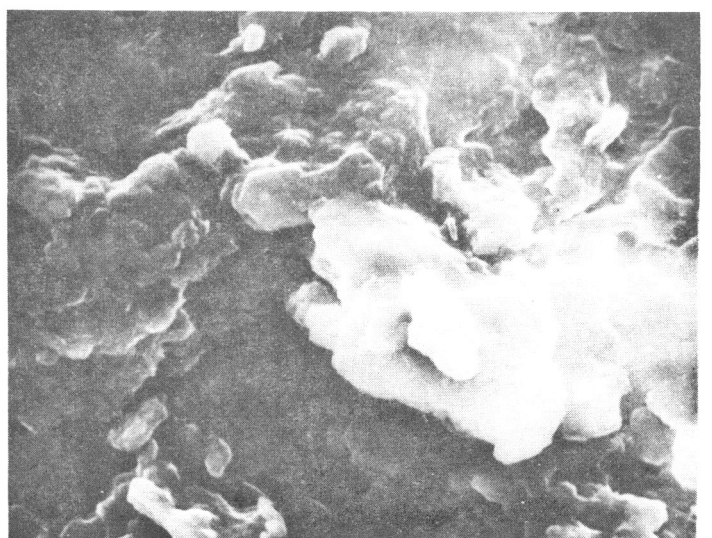
C. 500X



D. 1000X



E. 2000X



F. 5000X

شماره ۴ - (بقیه) - سنگ هوا زده پاسارگاد . سطح شکسته شده موازی با جهت ترکهای قابل رویت است یعنی : در جهتی است که آب باران به پائین سنگ جریان می یابد .

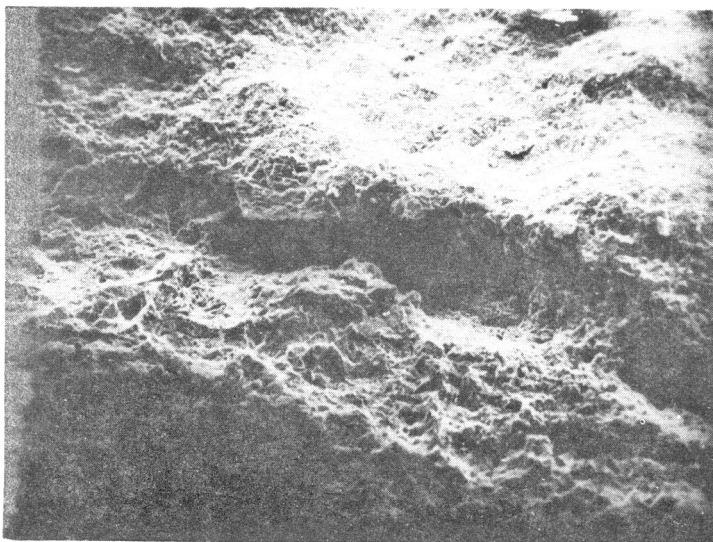
شماره ۴ (بقیه) - سنگ هوازده پارسارگاد . سطح شکسته
شده موازی با جهت ترکهای قابل رویت است .



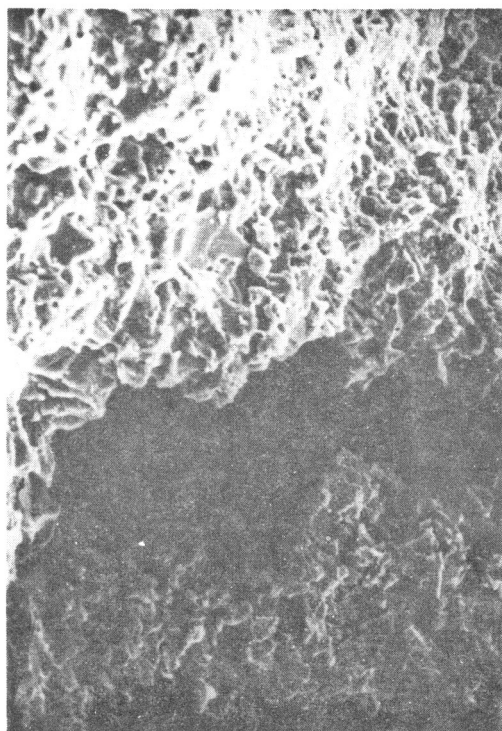
ب. ۵۰۰۰X



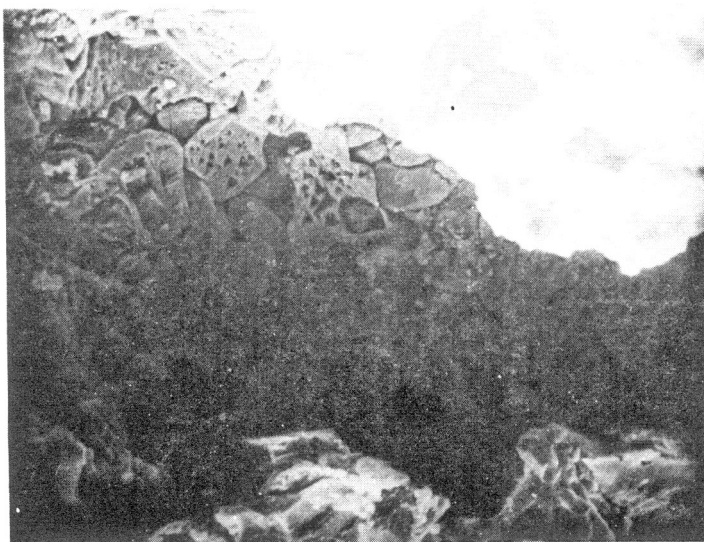
شماره ۵ - نقش برجسته‌ای در بیشابور که نشان می‌دهد
چگونه سطح سنگ آهک تا عمق ۴۰ - ۳۰ سانتیمتری
بوسیله یک کانال آبیاری در مدت فقط ۵۰ سال حل
شده و مجرای عمیقی ایجاد شده است .



A. 100X



B. 500X



C. 1000X

شماره ۶ - سنگ نقش رستم که بوسیله آب فرسایش یافته است . سطح شکسته شده موازی با جهت خلل و فرج بزرگ موجود در سطح هوا زده است .

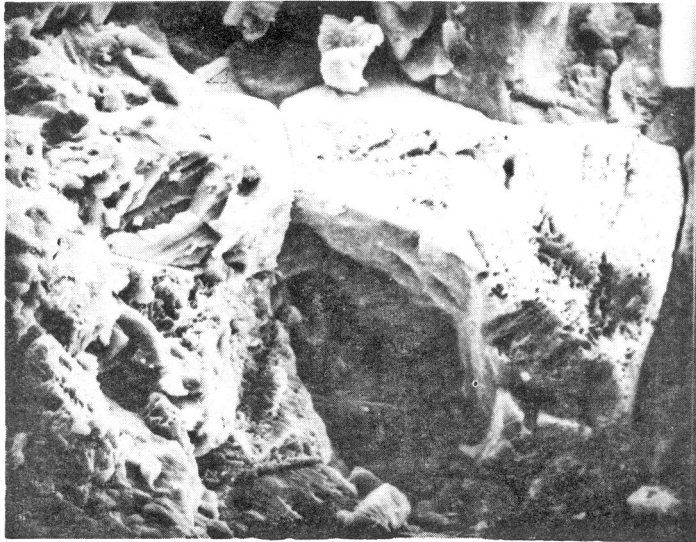


D. 2000X

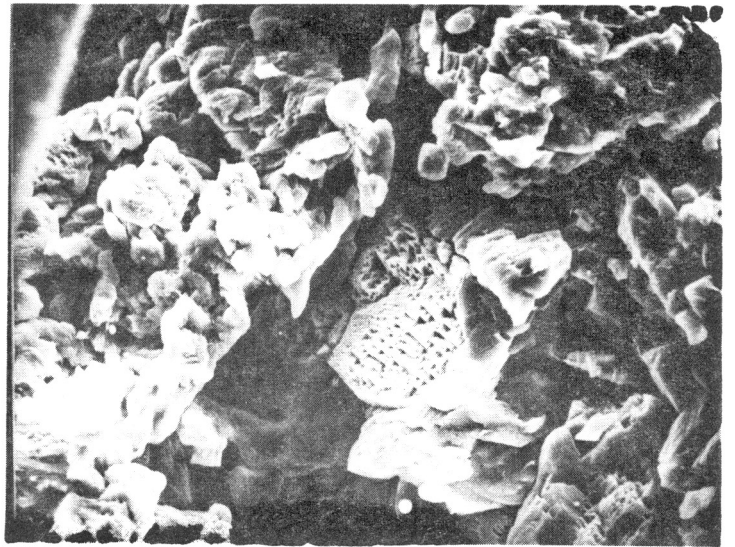


E. 5000X

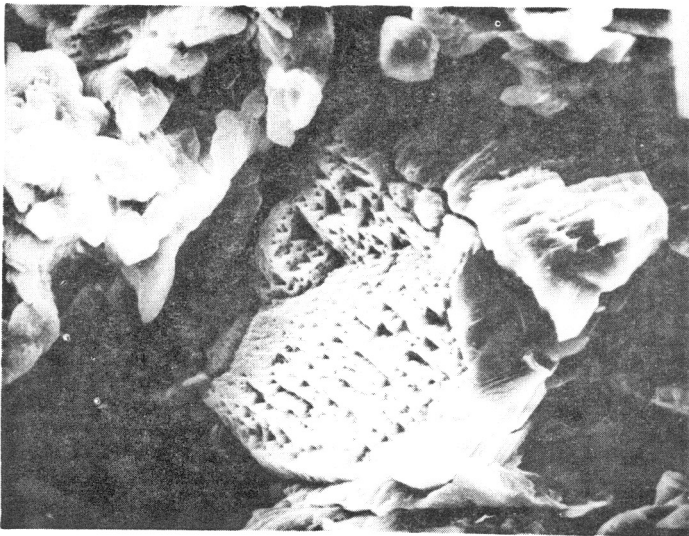
شماره ۶ (بقیه) - سنگ نقش رستم که بوسیله آب فرسایش یافته است. سطح شکسته شده موازی باخلل و فرجهای موجود است.



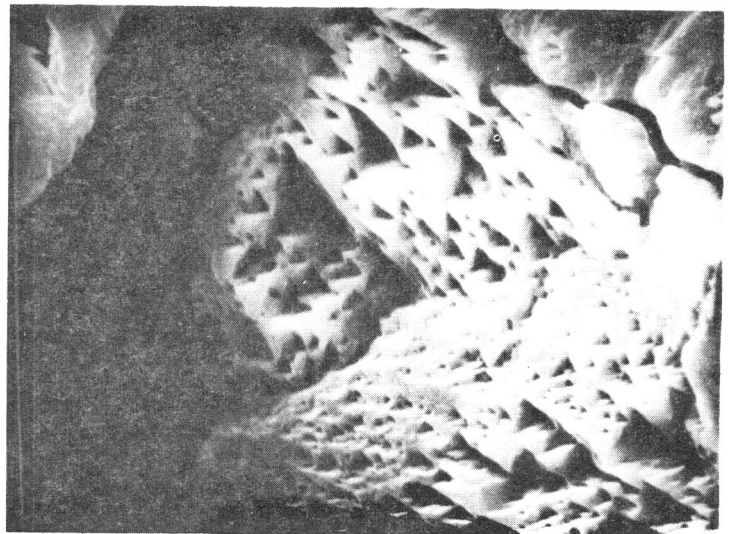
F. 1000X



G. 1000X

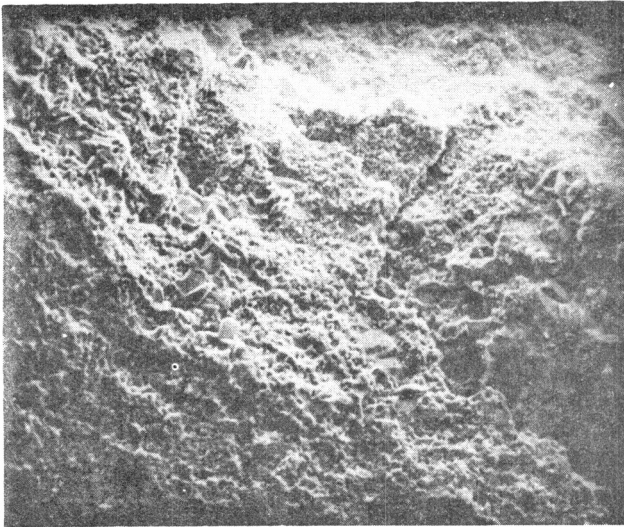


H. 2000X

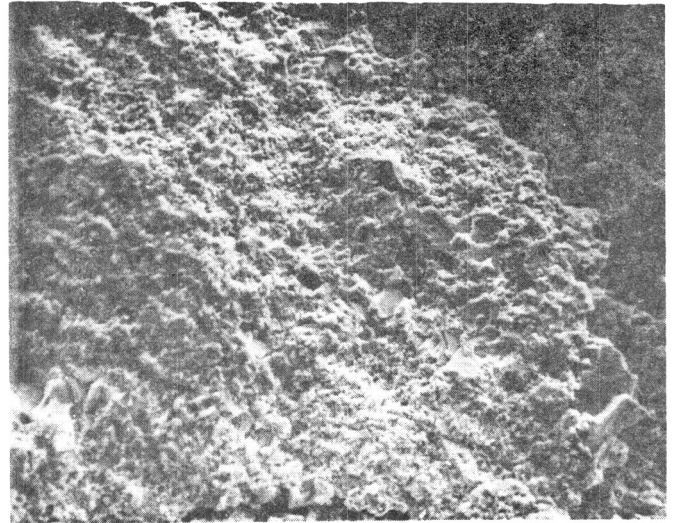


I. 5000X

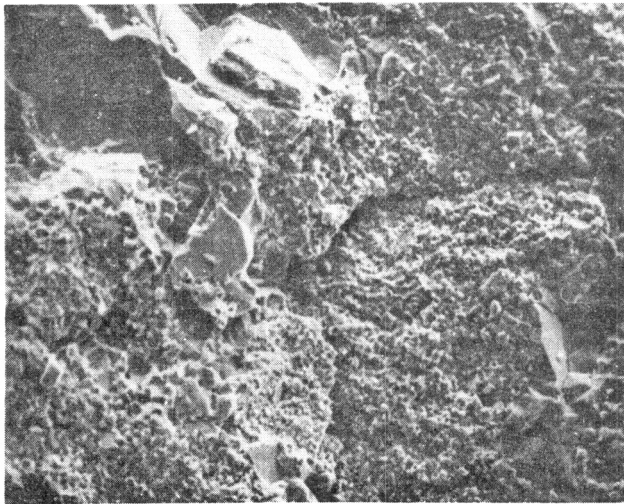
شماره ۶ (بقیه) - سنگ نقش رستم که بوسیله آب فرسایش یافته است . سطح شکسته شده عمود بر جهت ظهور خلل و فرج در سطح هوا زده است .



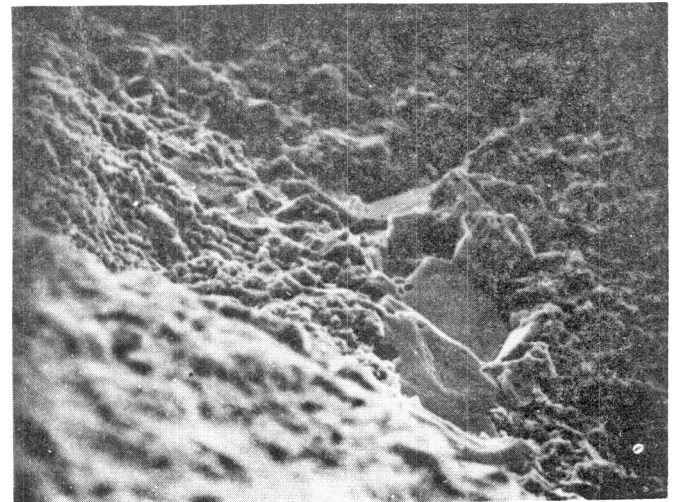
A. 200X



B. 200X

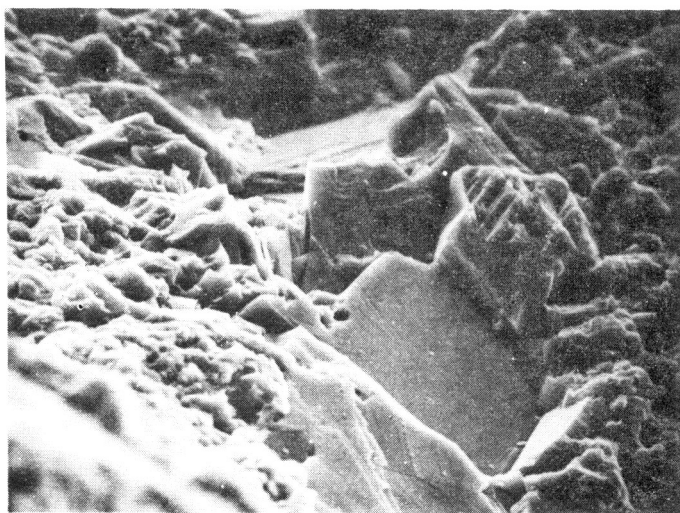


C. 200X



D. 500X

شماره ۷- سنگ تخت جمشید که نشان دهنده وجود بلورهای جدید کلسیت در ترکها و مجزاهاست . این بلورها بدلیل تبخیر آب و نتیجتاً تبلور مجدد تشکیل شدهاند .

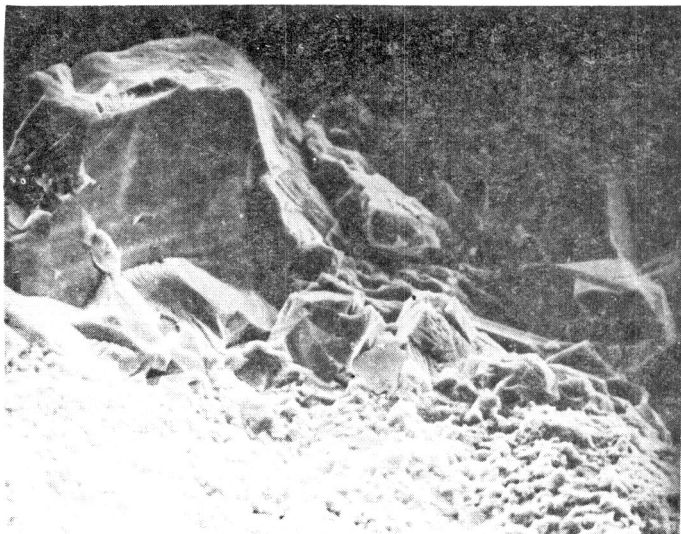


E. 1000X

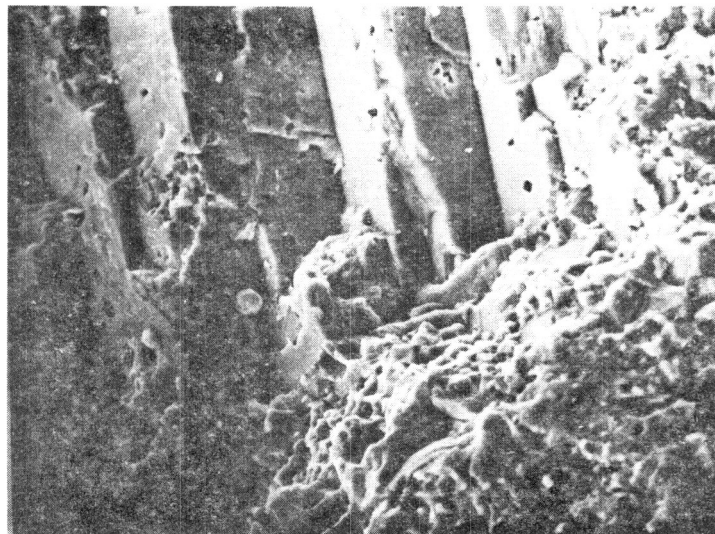


F. 2000X

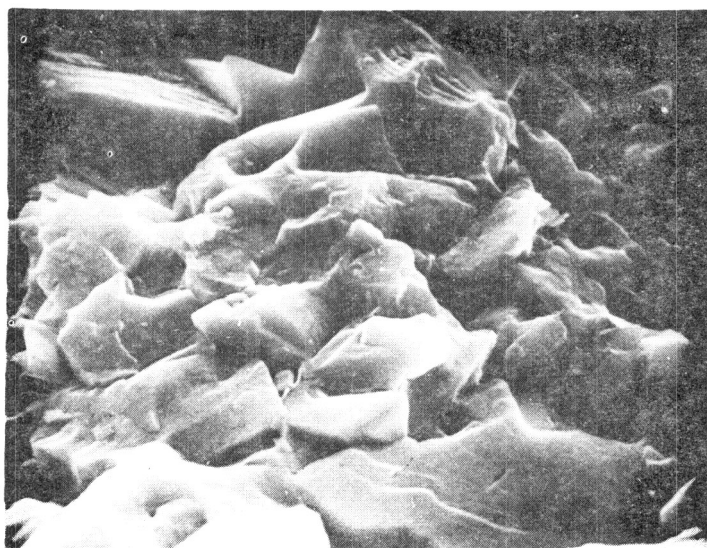
شماره ۷ (بقیه) - سنگ تخت جمشید که وجود بلورهای جدید کلسیت بخاطر تبلور مجدد را نشان میدهد .



G. 500X

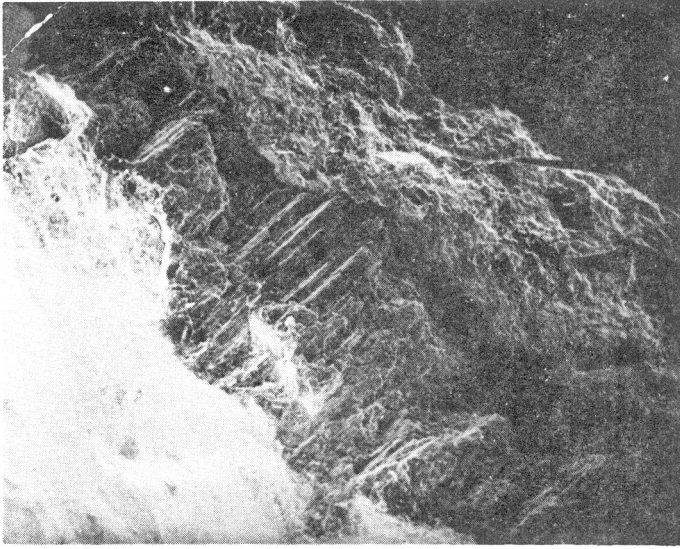


H. 500X

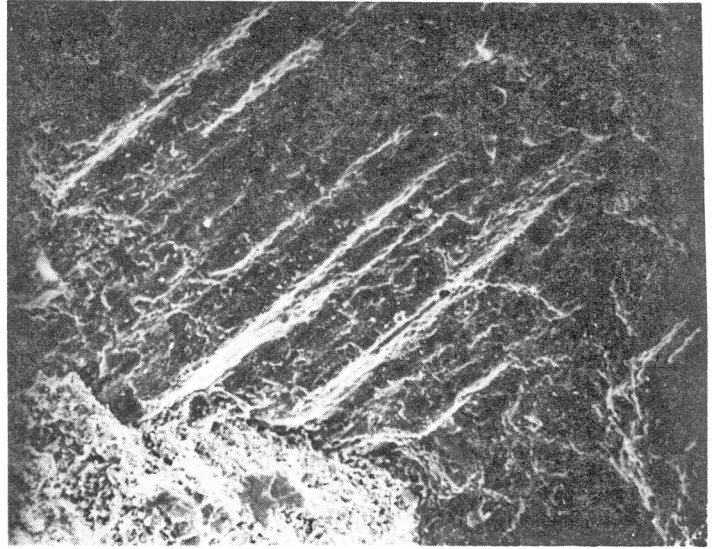


I. 5000X

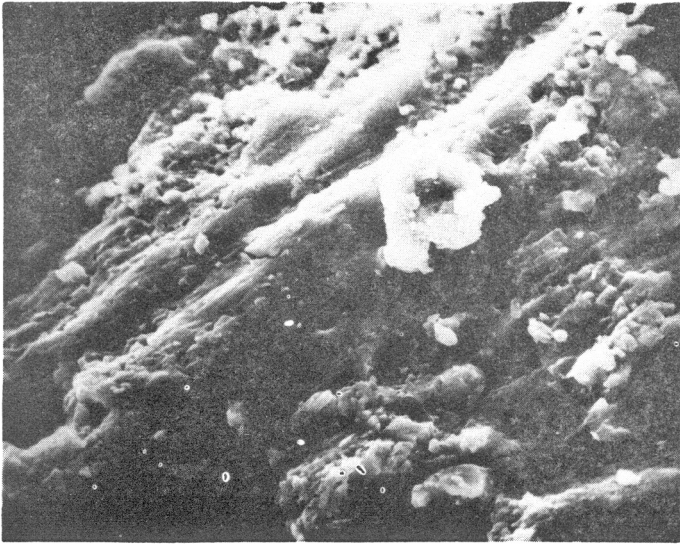
شماره ۷ (بقیه) - سنگ تخت جمشید که نشان دهنده رشد بلورهای جدید در سطح سنگ است که بدلیل خشک شدن آب جذب شده پوسله سنگ ایجاد شدهاند .



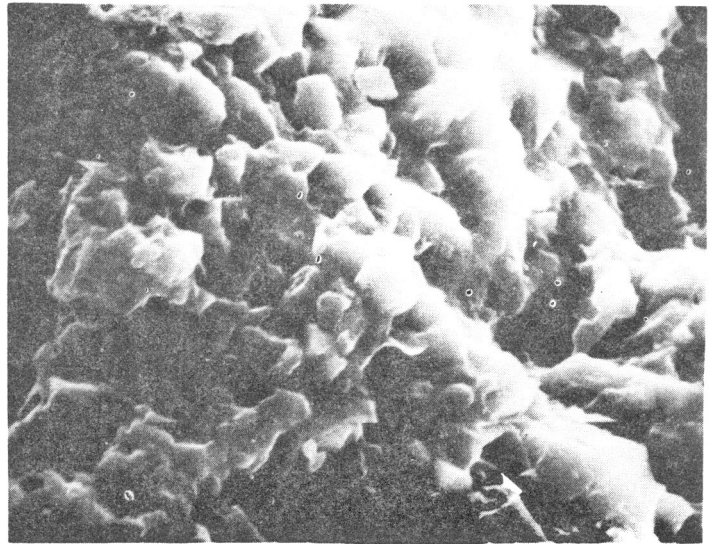
A. 5°X



B. 20°X

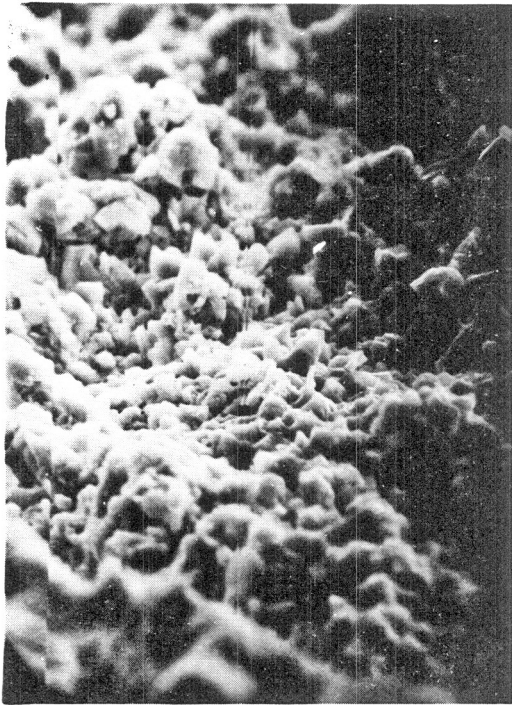


C. 200°X

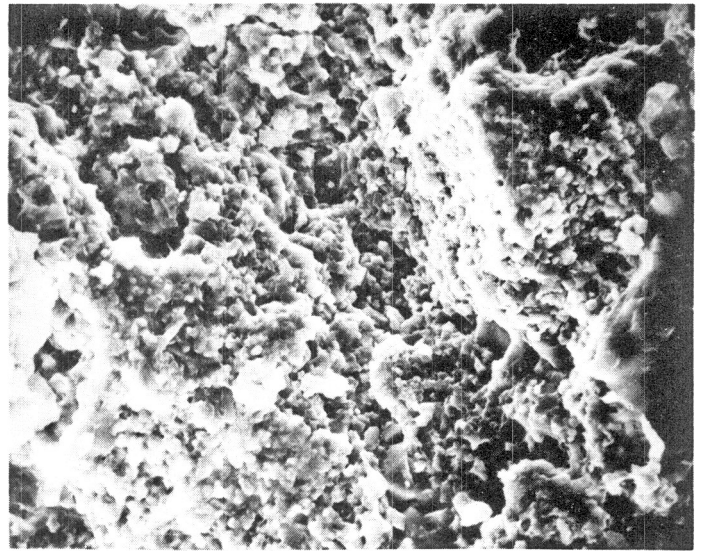


D. 500°X

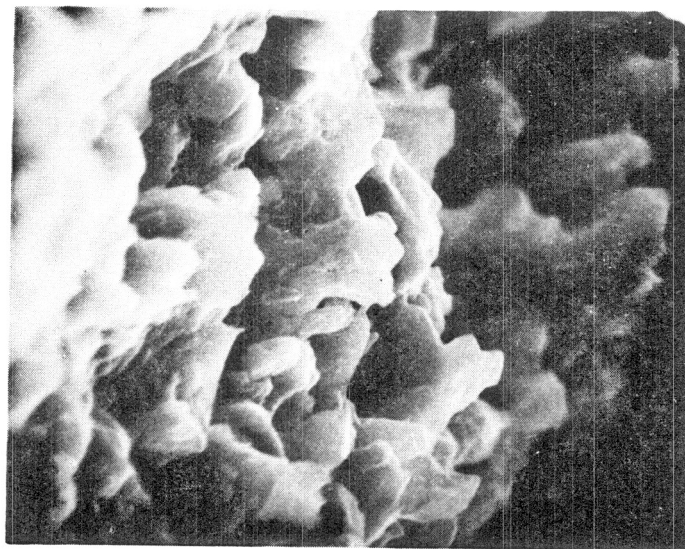
شماره ۸ - سطح خارجی ورقه‌ای که از ستون آپادانا در تخت جمشید جدا گردیده است .



E. 1000X



F. 1000X



G. 5000X

شماره ۸ (بقیه) - ورقه‌ای که از ستون آپادانا در تخت جمشید جدا گردیده است . این عکس نشان دهنده سطح درونی ورقه است یعنی جائیکه سنگ قسمتی از بقیه ستون را تشکیل می‌داده است .

شماره ۹- ورقه ورقه شدن سطح سنگ به دلیل تبلور مجدد - پلکان شرقی
آبادانا ، تخت جمشید .



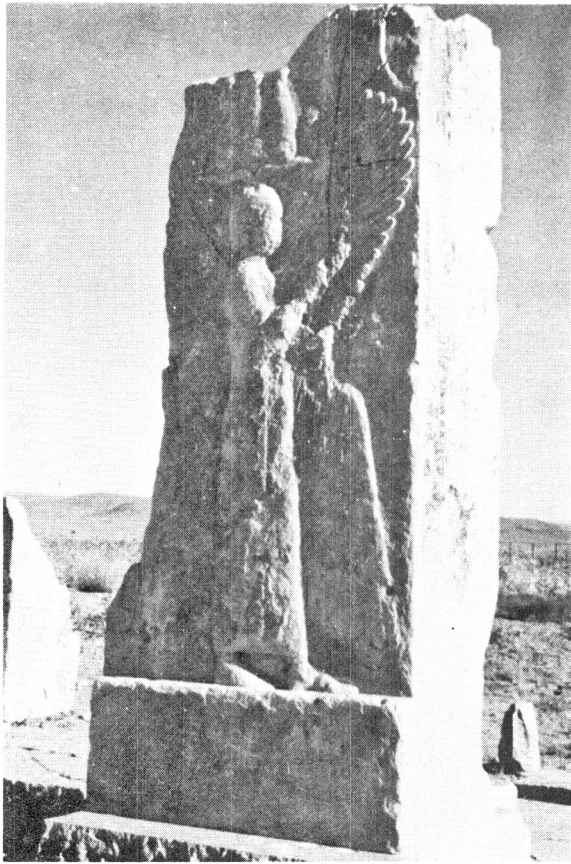
شماره ۱۰- ورقه ورقه شدن سطح سنگ بدلیل تبلور مجدد - مقبره
کوروش ، پاسارگاد .

A .

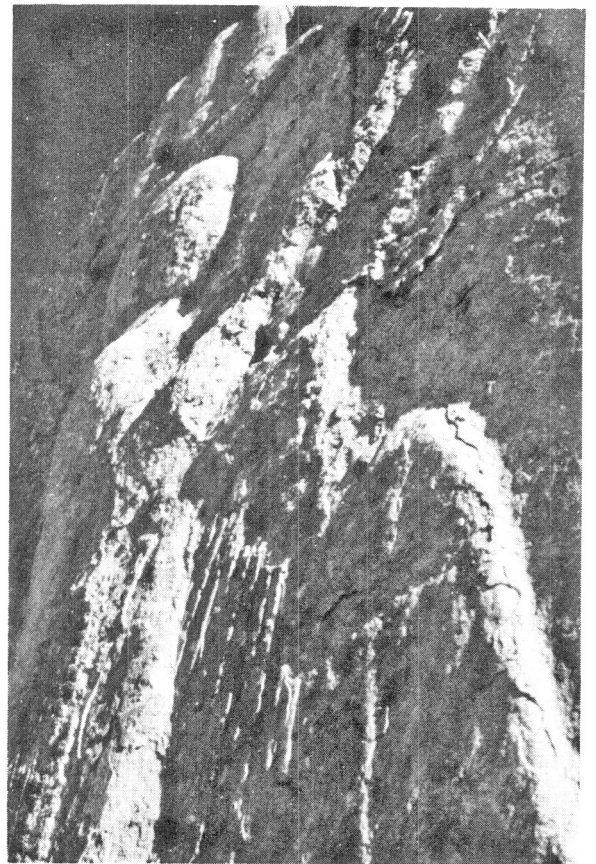


B .





A.



B.

شماره ۱۱- ورقه ورقه شدن سطح سد بدلیل تبلور مجدد - نقش برجسته
کورش ، پاسارگاد .

شماره ۱۲- مقایسه وضع و حالت سطوح سنگ در تخت جمشید در سال ۱۹۳۳
و ۱۹۷۶ .

A.

B.

