

## شرایط زمین‌شناسی و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

### تراورتن‌های تزئینی آذرشهر

نوشته: سید هادی حسینی\* و دکتر حمید آقابابایی\*\*

## Geological Surveying and Determining Physical and Chemical Specifications of Ornamental Travertine of Azarshahr

By: S.H. Hoseinie\* & Dr. H. Aghababaie\*\*

#### چکیده

استان آذربایجان شرقی به لحاظ موقعیت خاص جغرافیایی و زمین‌شناسی، دارای ذخایر عظیم مواد معدنی و بویژه سنگ‌های تزئینی و ساختمانی است. به علت قرارگیری این استان بر روی نوار داغ مرمر و تراورتن‌های چشمه‌ای ایران و نیز فعالیتهای گذشته کوه‌های سهند و سبلان سنگ‌های تزئینی این ناحیه از غنا و کیفیت بسیار مطلوب و شهرت جهانی برخوردارند. در مقاله حاضر وضعیت زمین‌شناسی، شرایط تشکیل ذخایر تراورتن ایران مورد مطالعه اجمالی قرار گرفته است. در ادامه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تراورتن‌های تزئینی منطقه آذرشهر به طور کمی و کیفی مطالعه و بررسی شده‌اند و نتایج مطالعات آزمایشگاهی و تجزیه شیمیایی آنها به صورت جدول‌های مختلف ارائه و درباره آن بحث شده است.

**کلید واژه‌ها:** تراورتن، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، ایران، آذرشهر

#### Abstract

Due to the topography and geological situation, East Azarbaijan province has massive deposits of ornamental and construction stones. As the province is located on "the hot spring marble and travertine belt of Iran" due to past activity of Sahand and Sabalan volcanoes, ornamental stones of this region are famous worldwide and have desirable quality.

In this article, geological conditions and formation of travertine deposits of Iran has been studied, followed by an investigation on the physical and chemical specifications of ornamental travertine of Azarshahr. In addition, results of laboratory studies and chemical analyses are presented and discussed in different tables.

**Key words:** Travertine, Physical and Chemical Specifications, Iran, Azarshahr

#### مقدمه

استان آذربایجان شرقی یکی از قطب‌های مهم معدنی کشور است که با وجود ذخایر سنگ تزئینی با بیش از ۱۳ میلیون تن ذخیره قطعی معادن عظیم مس، نفلین سینیت، آهک، گچ، کائولن و خاک‌های صنعتی یکی از مناطق مستعد معدنی کشور به شمار می‌آید. وجود ذخایر عظیم سنگ تزئینی و سرمایه‌گذاری مناسب بخش خصوصی و دولتی در زمینه‌های استخراج، فرآوری و صادرات، این استان را به قطب شناخته شده در صنعت سنگ ایران تبدیل کرده است.

عمده‌ترین ذخیره معدنی سنگ‌های تزئینی آذربایجان در منطقه آذرشهر و روستاهای اطراف آن واقع است. تعدد معادن تراورتن در این ناحیه و نیز فراوانی و تنوع محصولات تراورتن آذرشهر به این بخش از کشورمان، شهرت جهانی بخشیده است.

#### ۱- گسترش جغرافیایی و خاستگاه ذخایر تراورتن ایران

ذخایر عظیم مرمر و تراورتن ایران در طول یک نوار طولانی به طول ۳۰۰۰ کیلومتر و عرض متوسط ۱۰۰ کیلومتر با روندی بسیار آشکار از گوشه شمال باختری کشور (ماکو) تا مرز پاکستان کشیده شده است. این نوار به علت تعدد آتشفشانها و چشمه‌های آب گرم و فعالیتهای زمین‌ساختی جوان (پلیوسن تا حال حاضر) به نام «نوار داغ مرمر چشمه‌ای و تراورتن سراسری ایران» شهرت یافته است. بسیاری از دیگر ذخایر معدنی ایران از جمله معادن مس پورفیری کرمان در ارتباط با این نوار تشخیص داده شده‌اند. چشمه‌های آب گرم و آب معدنی در زنجان، گیلان، مازندران و شمال خراسان در طول رشته کوه البرز و مجموعه آتشفشانهای دماوند و چشمه‌های آب معدنی مربوط به آن به همراه فعالیتهای گرمابی و تراورتن‌ساز فریمان، طبس، فردوس،... سایر ذخایر بزرگ و کوچک از تراورتن ایران را به وجود



و نیز تحقیقات چند سال اخیر قدیرزاده (۱۳۸۱)، شرقی (۱۳۸۳) و فلاحت (۱۳۸۳) اشاره کرد.

نشانه‌های فعالیت گذشته چشمه‌های تراورتن ساز همچون چشمه‌های فعال کنونی مانند چشمه تاپ تاپان، یکی از مهم‌ترین عوارض زمین‌شناسی منطقه به‌شمار می‌آید. چشمه‌های آهک ساز قدیمی این منطقه در یک نوار پهن با امتداد متوسط ۱۲۵ درجه واقع است. رهبر و نبوی (۱۳۶۷)، قدیرزاده (۱۳۸۱)، شرقی (۱۳۸۳) و حسینی (۱۳۸۳) بر هم‌راستا بودن امتداد غالب شکستگیها و گسلهای منطقه با نوار چشمه‌های آهک ساز تأکید کرده‌اند.

در مورد سنگ بسترهای تراورتن منطقه، به اعتقاد رهبر و نبوی (۱۳۶۷) در ناحیه معدنی آذرشهر سنگهای آهکی کرتاسه و ژوراسیک گسترش وسیعی داشته و روی سنگهای یاد شده را فرآورده‌های آتشفشانی کوه سهند که در میوسن- پلیوسن فعالیت داشته، به صورت گدازه‌های آندزیتی، خاکستر آتشفشانی و توف پوشانده است. قدیرزاده (۱۳۸۱) نیز به وجود سنگهای آهکی کرتاسه، ژوراسیک و دیگر کربناتهای قدیمی در مسیر آبهای تراورتن ساز منطقه اشاره کرده و عملکرد آنها را در تشکیل تراورتهای منطقه مورد بحث قرار داده است.

سنگهای روباره تراورتهای ناحیه را با توجه به وضعیت سینه کارهای استخراجی معادن منطقه (شکل ۲)، می‌توان شامل لایه‌های متناوب تراورتن فرسایش یافته و خاکسترهای آتشفشانی دانست. رهبر و نبوی (۱۳۶۷) بر اساس مطالعات انجام شده، همزمان بودن فعالیت‌های پایانی آتشفشان سهند با تشکیل تراورتنها را علت اصلی وجود خاکسترهای آتشفشانی در روباره معرفی کرده‌اند.

#### ۴- عوامل تشکیل تراورتهای رنگی آذرشهر

برای تشکیل تراورتن در هر نقطه وجود سنگهای آهکی عاملی الزامی است. پس از آن آب و گاز کربنیک در شرایطی خاص باعث حل شدن سنگ آهک شده و آنگاه کربنات به صورت تراورتن رسوب می‌کند. در بیشتر ذخایر تراورتن کشور، سنگ معدن استخراجی به‌طور عموم فاقد رنگ متنوع بوده به صورت سفید شیری، کرمی و... دیده می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی تراورتهای آذرشهر رنگهای منحصربه‌فرد و چشم‌نواز این سنگهاست که در ایران بی‌نظیر و در جهان کم‌نظیر است. برای آن‌که تراورتهای یک ناحیه رنگین شود، وجود مقداری نمک آهن یا فلزهای دیگر الزامی است تا در آب چشمه‌های تراورتن حل شده، کربنات پایه سنگ را رنگین کنند. تجزیه شیمیایی سنگهای مختلف نشان‌دهنده این واقعیت است که برای رنگین شدن تراورتنها وجود مقدار کمی اکسید آهن کافی است (رهبر و نبوی، ۱۳۶۷). در مورد میزان و درصد اکسیدهای آهن و منیزیم انواع تراورتهای آذرشهر در ادامه بیشتر بحث خواهد شد.

می‌آورند. مشخصات کانسارهای اخیر و نحوه تشکیل آنها کم و بیش با مشخصات و نحوه تشکیل کانسارهای واقع بر نوار داغ یکسان است (مؤمن‌زاده و حیدری، ۱۳۶۷).

#### ۲- نحوه تشکیل کانسارهای تراورتن ایران

با توجه به ارزیابی کلی و روند گسترش ذخایر تراورتن ایران، در مورد عوامل مؤثر و نحوه تشکیل کانسارهای تراورتن به‌طور مناسبی می‌توان بحث کرد. فعالیتهای آتشفشانی و زنجیره طبیعی فعالیتهای زمین‌شناسی مرتبط با آنها را می‌توان عامل اصلی و کنترل‌کننده شکل‌گیری ذخایر واقع بر نوار داغ مرممر چشمه‌ای و تراورتن ایران به‌شمار آورد (مؤمن‌زاده و حیدری، ۱۳۶۷). چه در زمان فعالیتهای آتشفشانی و چه در فازهای قبل و پس از آن آبهای گرم و گازدار حاوی املاح مختلف معدنی مانند  $CO_2, SH_2, CL^-, K^+, Ca^{++}, Na^+Mg^{++}, Fe^{++}$  و عناصر فلزی و غیر فلزی مختلف در امتداد مناطق ضعیف و فضاهای قابل دسترسی به سطح زمین به صورت سلسله چشمه‌هایی خارج می‌شوند. دوائر افت فشار و دما و تغییرات فیزیکی شیمیایی مختلف مانند تغییرات pH و Eh، رسوبات تراورتن و مرممر چشمه‌ای، گوگرد و دیگر ذخایر با ارزش معدنی ایجاد و انباشته می‌شوند (مؤمن‌زاده، ۱۳۶۷ و شرقی، ۱۳۸۳).

نوسانات دوره‌ای فعالیتهای گرمایی زمین و اوج و فرود آتشفشانها، تغییرات سالانه، دوره‌ای و فصلی جو و نیز تنوع سنگهای مسیر آبهای گرم خروجی از جمله عوامل مؤثر در تنوع محصولات تراورتنی چشمه‌ها هستند. لایه‌بندیهای موجود، تغییرات تدریجی یا آبی در رنگ و ترکیب تراورتنها ناشی از تغییرات عوامل کنترلی اخیر است (مؤمن‌زاده، ۱۳۶۷).

#### ۳- شرایط زمین‌شناسی تراورتهای آذرشهر

منطقه معدنی آذر شهر در ۳۵ کیلومتری جنوب باختری تبریز در حاشیه خاوری دریاچه ارومیه و دامنه‌های باختری کوه سهند واقع است (شکل ۱). با توجه به ذخایر بدیع و کم‌نظیر تراورتن و مرمیت، این ناحیه در دهه‌های اخیر مورد توجه زمین‌شناسان و متخصصان معدن کشور قرار گرفته است. با دقت در نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده (قدیرزاده، ۱۳۸۱) و نیز مشاهدات صحرائی آشکار می‌شود که گستره تراورتن، ناحیه بسیار وسیعی افزون بر ۵۶ کیلومتر مربع را تشکیل می‌دهد. منطقه مذکور از شمال به گوگان، از خاور و جنوب خاوری به شهرستان آذرشهر و روستای نادینلو، از جنوب به روستای داشکسن و از باختر به سواحل دریاچه ارومیه محدود می‌باشد. تاکنون محققان مختلفی از کشورمان شرایط زمین‌شناسی و نحوه تشکیل تراورتهای آذر شهر را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده‌اند. از جمله اولین و جامع‌ترین مطالعات صورت گرفته می‌توان به مطالعات رهبر و نبوی (۱۳۶۷)



(فهیمی فر، ۱۳۸۳) و تجزیه شیمیایی (XRF) قرار گرفتند. در مجموع برای تعیین مشخصات فیزیکی - شیمیایی تراورتهای آذرشهر از هر یک از معادن مورد مطالعه هشت نمونه شاخص (در مقاومت یخزدگی با توجه به استاندارد پنج نمونه مورد آزمایش قرار گرفته است) با توجه به شرایط ژئومکانیکی نقاط مختلف معدن برای انجام آزمایشهای مکانیک سنگ و تجزیه شیمیایی تهیه شد. به منظور دستیابی به نتایج کاربردی از آزمایشها، کلیه نمونه‌ها از سطح سینه کارهای استخراجی و بلوکهای استخراج شده موجود در معدن تهیه شده‌اند. میانگین عددی نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های موجود به عنوان نتیجه نهایی ارائه شده است.

در تحقیق حاضر، با توجه به استانداردهای ASTM و ISRM (فهیمی فر، ۱۳۸۳)، پارامترهای مکانیکی شامل درصد جذب آب، مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت یخزدگی و شاخص دوام وارفتگی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به شرایط خاص آب و هوایی استانهای شمال باختری کشور، مقاومت یخزدگی و شاخص دوام وارفتگی به عنوان دو پارامتر اساسی در بررسی مقاومت سنگها در برابر سرد و گرم شدنهای متناوب مورد توجه بوده‌اند.

انجام آزمایشهای درصد جذب آب، مقاومت فشاری تک محوری (با رطوبت معمولی سر زمین) و شاخص دوام وارفتگی، به طور کامل براساس استانداردهای مذکور صورت گرفته است، اما در تعیین مقاومت یخزدگی تراورتهای آذرشهر با توجه به شرایط آب و هوایی موجود در منطقه آذربایجان تغییراتی در آزمایش لحاظ شد.

مطابق استانداردهای موجود، پنج نمونه اشباع شده از هر نوع سنگ برای مدت شش ساعت در حالت یخبندان در دمای ۱۵- درجه سانتی گراد قرار داده می‌شوند و سپس برای مدت شش ساعت در آب ۲۰ درجه سانتی گراد قرار می‌گیرند. این چرخه پنج نوبت بر روی نمونه‌ها تکرار می‌شود. پس از انجام آزمایش یخبندان، نشانه‌های خرابی ظاهری از جمله ورقه ورقه شدن، ترک خوردگی و یا پریدگی رنگ در نمونه‌ها قابل مشاهده خواهد بود. در این تحقیق با توجه به این که در زمستان دمای برخی از شهرهای شمال باختری کشور (تبریز) به ۲۰- درجه سانتی گراد می‌رسد و همچنین به دلیل صادرات تراورتهای آذرشهر به کشورهای سردسیر همچون روسیه، به منظور دستیابی به یک ارزیابی واقعی از مقاومت یخزدگی سنگها و شبیه‌سازی نسبی شرایط جوی موجود در آزمایشگاه، نمونه‌ها در مرحله یخبندان طی هر چرخه در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد قرار گرفتند. پس از طی پنج مرحله یخبندان، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در هوای طبیعی خشک شده و سپس مقاومت فشاری آنها اندازه گیری شده و با مقاومت فشاری عادی (با رطوبت معمولی) مقایسه شد. در ادامه، خواص فیزیکی و شیمیایی تراورتهای معدن شاخص به طور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد.

در منطقه با توجه به مقایسه میزان آهن سنگ آهک کراتاسه و ژوراسیک بستر تراورتهای و تراورتهای رنگین معدن که توسط رهبر و نبوی (۱۳۶۷) انجام پذیرفته، مشخص شده است که مقدار اکسید آهن موجود در تراورتهای رنگی این ناحیه نمی‌تواند از سنگهای بستر ناشی شده باشد و لذا محتمل‌ترین سرچشمه آن، سنگهای آتشفشانی سهند است که بین تراورتهای و بستر آهکی زیرین قرار دارند. هم‌اکنون، هم‌زمان با افزایش سینه کارها و ژرفای معدن و نزدیک شدن به سنگ بستر صحت مطالب فوق آشکارتر می‌گردد.

## ۵- منشأ آبهای تراورتن ساز آذرشهر

چشمه‌های فعال منطقه مورد مطالعه همگی در بخشهای بالای تخته‌گاههای تراورتنی واقع شده و برخی تا ارتفاع بیش از ۷۵ متر از سطح آبراهها و گذرگاههای فصلی بالاترند. نبود چشمه‌های فعال در پایین دست تخته‌گاه و دره‌های اطراف و خروج آب از بلندیهای مشرف به تراورتن را به دو صورت زیر می‌توان تفسیر کرد (رهبر و نبوی، ۱۳۶۷ و شرقی، ۱۳۸۳):

الف) وجود درز و شکاف و گسلهای فعال کوچک در بستر تراورتن، فضای دسترسی مناسب برای آبهای جوی به زیر سطح فراهم می‌سازند. شکستگیهای مذکور علاوه بر هدایت آبهای سطحی به زیر سطح، برای آبهای ماگمایی نیز راه گریز مناسبی به وجود می‌آورند که به احتمال زیاد در گستره‌های تراورتنی آذرشهر، این پدیده بیشتر است.

ب) آبهای آهک‌ساز چشمه‌های فعال گستره تراورتن دارای منشأ ماگمایی و زیرسطحی است، از این رو به علت ظهور جدید در سطح زمین، جزو آبهای جوان محسوب می‌شوند. وجود گاز کربنیک که باعث ایجاد آفشانهای کوچک در درون حوضچه‌های رسوبگذاری می‌شود، اقبال این فرضیه را شدت می‌بخشد.

## ۶- بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی تراورتهای آذرشهر

گذشته از شرایط زمین‌شناسی و نحوه تشکیل ذخایر منحصراً به فرد آذرشهر، شناخت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی سنگهای معدن مختلف دید مناسبی از کاربردهای ساختمانی و مهندسی آنها به دست می‌دهد.

برای شناخت بیشتر تراورتهای منطقه آذرشهر در کنار مطالعات صحرایی و بازدید از معدن منطقه، از میان هفت معدن عمده فعال موجود در گستره تراورتنی آذرشهر، سه معدن شاخص از لحاظ حجم ذخیره و کیفیت سنگ به عنوان معدن هدف انتخاب شدند. از معدن شاخص موجود که مشخصات آنها در جدول ۱ درج شده، نمونه‌برداری برای مکانیک سنگ و تجزیه شیمیایی شده است. نمونه‌های برداشته شده از این معدن، پس از طی مراحل آماده‌سازی به ترتیب مورد آزمایشهای استاندارد مکانیک سنگ

### ۱-۶- تراورتن سرخ - سردارآباد

در ناحیه سردارآباد- کلاونق تختگاه بزرگی از تراورتن سرخ‌رنگ وجود دارد که بلندترین نقطه ناحیه نیز در این بخش واقع است. این واحد روی تراورتن عادی چند رنگ واقع گردیده و در آن چندین لایه مرمر کم‌ستبر و شکنده به چشم می‌خورد. در جنوب باختری کلاونق نیز تراورتن سرخ تشکیل شده که گسترش کمی دارد و روند آن شمالی- جنوبی است. جابه‌جایی محسوس لایه‌ها (حدود ۲/۵ متر) نشانه یک گسل فرعی دره‌مین راستا است که در کل تختگاه از سردارآباد تا کلاونق فعال است. ستبرای قابل تشخیص تراورتن در این معدن، نزدیک به ۶۵ متر می‌باشد. در جدولهای ۲ و ۳ نتایج تجزیه‌ها و آزمایشهای مکانیک سنگ تراورتن سرخ- سردارآباد آذرشهر ارائه شده است.

با توجه به مقطع شکل B-۳ تراورتن سرخ، بافت بسیار ریز دانه مشهودی دارد. وجود رنگ دانه‌های ریز نارنجی رنگ و لکه‌های مشکلی تجزیه‌های شیمیایی مبنی بر وجود آهن (ترکیبهای آهن دار که به طور عموم شامل اکسید آهن می‌شود) را در این سنگ تأیید می‌کند.

در بررسی نمونه‌هایی از تراورتن سرخ که بر روی آنها آزمایش یخزدگی انجام شد، به طور متوسط مقاومت فشاری ۸٪ و وزن نمونه‌ها ۰/۳۳٪ کاهش نشان می‌دهد. با این حال، هیچگونه نشانه‌ای از خرابیهای ظاهری همچون ورقه ورقه شدن، ترک خوردگی و یا پریدگی رنگ در نمونه‌ها مشاهده نشد.

### ۲-۶- تراورتن گردویی - نادینلو

گسترش اصلی تراورتن گردویی، در ناحیه نادینلو است. لایه‌های افقی تراورتن معدن از قسمت مرکزی تختگاه که بیشترین ستبر را دارد، به دو سوی شمال خاوری و جنوب باختری دارای رگه‌ها و موج نقشهای کمتری بوده، از حالت گردویی به طور ملایم تبدیل به تراورتن عادی می‌شود. ترانشه حفر شده در مرحله بهره‌برداری معدن نشان می‌دهد که لایه‌های تراورتن گردویی کم ستبر شده و در زیر تراورتن زرد رنگ قرار گرفته است. تراورتهای گردویی و لیمویی در حرکت قائم به طور تدریجی به هم می‌رسند ولی در جهت افقی ارتباط چندانی قابل تشخیص نیست. جدولهای ۴ و ۵ مشخصات فیزیکی و شیمیایی تراورتن گردویی را بیان می‌کنند.

با توجه به مقطع شکل B-۴ تراورتن گردویی نیز وجود بافت ریز دانه بسیار آشکار است. وجود رنگ دانه‌های سرخ رنگ در این سنگ نسبت به تراورتن سرخ، نمود بیشتری دارد. در این سنگ نیز لکه‌های تیره رنگ نتایج تجزیه‌های شیمیایی مبنی بر وجود آهن را تأیید می‌کند.

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش مقاومت یخزدگی تراورتن گردویی، به طور میانگین مقاومت فشاری ۱۵٪ و وزن نمونه‌ها ۰/۲۴٪ کاهش می‌یابد. در

تراورتن گردویی پدیده ترک خوردگی موضعی در مرز لایه‌های رنگی مختلف سنگ در اثر یخبندان به طور واضح، قابل تشخیص است. درصد کاهش مقاومت بیشتر تراورتن گردویی نسبت به تراورتن قرمز و لیمویی را می‌توان به طور منطقی ناشی از وجود ترک خوردگیهای ثانویه پس از یخزدگی و درصد جذب آب بیشتر نسبت به سایر تراورتنها دانست.

### ۳-۶- تراورتن لیمویی - کلاونق

درون تراورتن عادی و در کنار تراورتهای گردویی، لایه‌هایی از تراورتن لیمویی و زرد دیده می‌شود که به طور کلی به صورت گنبد گونه دیده می‌شود. مقدار اکسید آهن آبدار موجود در سنگ به اندازه‌ای است که تراورتن را به رنگ لیمویی خوش‌رنگ درآورده است. لایه‌های تراورتن لیمویی در بخشهای مرکزی معدن ۸ متر ستبر دارند که از هر سونازک تر شده و به سمت خارج معدن از میان می‌روند. جدولهای ۶ و ۷ مشخصات تراورتن لیمویی را بیان می‌کنند.

با توجه به مقطع شکل B-۵ تراورتن لیمویی به علت بافت بسیار ریز دانه دره‌م‌رفتگی و موج خاصی (بافت پورفیروتاپیک دانه‌ریز) به چشم می‌خورد. وجود رنگ دانه‌های سرخ رنگ در این سنگ نسبت به تراورتهای سرخ و گردویی کمتر است که رنگ روشن این سنگ متأثر از این موضوع است. در این سنگ نیز وجود لکه‌های تیره رنگ قابل توجه می‌باشد.

در بررسی نمونه‌هایی از تراورتن لیمویی که بر روی آنها آزمایش یخزدگی انجام شد، به طور متوسط، مقاومت فشاری ۳٪ و وزن نمونه‌ها ۰/۱۲٪ کاهش نشان می‌دهد. همچون تراورتن سرخ در این سنگ نیز هیچ گونه نشانه‌ای از خرابیهای ظاهری همچون ورقه ورقه شدن، ترک خوردگی و یا پریدگی رنگ در نمونه‌ها مشاهده نشد.

با توجه به نتایج حاصل، درصد کاهش مقاومت کمتر تراورتن لیمویی نسبت به تراورتن سرخ و گردویی را به احتمال بسیار قوی می‌توان ناشی از ترکیب شیمیایی تراورتن لیمویی دانست. با دقت در نتایج تجزیه شیمیایی به وضوح آشکار می‌شود که آلودگی به اکسیدهای رنگی در تراورتن لیمویی نسبت به تراورتن سرخ و گردویی کمتر بوده اما درصد  $\text{SiO}_2$  نسبت به دو نمونه دیگر بیشتر است. گذشته از دلیل رفتار پیچیده و متمایز تراورتن لیمویی نسبت به دو تراورتن دیگر، آنچه مسلم است این که، گرچه تراورتن لیمویی مقاومت عادی کمتری نسبت به دو مورد دیگر دارد، با این حال از مقاومت بالایی در مقابل یخزدگی برخوردار است.

### نتیجه‌گیری

با بررسیهای انجام یافته در سالهای گذشته و مطالعات صحرائی جامع در

نسبت به معدن تراورتن سرخ کمتر است، فشردگی ناشی از وزن لایه‌ها در لایه‌های استخراجی این معدن کم است. بنابراین، بر اساس نتایج به دست آمده، میزان تخلخل و درصد جذب آب نسبت به تراورتن سرخ افزایش یافته و در پی آن، وزن مخصوص و مقاومت فشاری تک محوری سنگ استخراجی کاهش می‌یابد.

(ج) در تراورتن لیمویی با وجود این که کاهش تخلخل (نسبت به تراورتن گردویی) و افزایش وزن مخصوص ارتباط منطقی با هم دارند، ولی نمی‌توان بین کاهش شدید مقاومت فشاری تک محوری با دیگر پارامترها رابطه معقوله به دست آورد. البته وجود اکسید آهن آبدار در ترکیب سنگ تراورتن لیمویی را می‌توان یکی از عوامل مهم کاهش مقاومت فشاری به شمار آورد. با این حال قضاوت نهایی در این مورد منوط به انجام حفاریهای اکتشافی و مغزه‌گیری از توده سنگهای ژرف معدن است.

بدیهی است با توجه به این که تراورتن همواره در سطح تشکیل می‌یابد، علت اصلی تغییرات مشخصات مهندسی تراورتهای آذرشهر را باید در فعالیت زمین‌ساختی، زمین‌شناسی و فرسایشی پس از تشکیل جستجو کرد.

به هر حال، هرگز نمی‌توان نقش غیر قابل انکار فرایندهای تشکیل تراورتهای از جمله ترکیب شیمیایی سنگهای زیرین و نیز تغییرات Eh و pH را در بروز این تغییرات نادیده گرفت. اعلام نظر قطعی در این مورد نیز مستلزم مغزه‌گیری از اعماق و بررسی سنگهای مسیر چشمه‌های تراورتن‌ساز از عمق تا سطح است، که البته این امر به لحاظ هزینه از توان تحقیقات دانشگاهی کشور خارج است.

با توجه به مقاومت فشاری حاصل از آزمایشهای به عمل آمده، سنگهای تراورتن سرخ و گردویی در سیستم رده‌بندی سنگهای ساختمانی شیستوپروف (۱۹۷۶) در رده بسیار مقاوم و تراورتن لیمویی در رده مقاوم قرار می‌گیرند. همچنین با در نظر گرفتن وزن مخصوص میانگین ۲/۵۷ برای سه نوع سنگ مورد مطالعه، تراورتهای آذرشهر در ردیف سنگهای ساختمانی سنگین قرار می‌گیرند. بنابراین، با توجه به استانداردهای موجود برای مصارف روکار و نما (با پوشش پلی‌استر) بسیار مناسب پیشنهاد می‌شوند. در این میان، با دقت در نتایج تحقیقات صورت گرفته، تراورتن لیمویی به علت تأثیرپذیری بسیار اندک در برابر یخزدگی، برای کاربردهای روکار و نما بر دو سنگ دیگر برتری دارد. از آنجا که درصد جذب آب در تراورتن گردویی نسبت به دو گونه دیگر اندکی بیشتر است، یخزدگی و کاهش استحکام در این سنگ در مناطق سردسیر شمال باختری کشور بیشتر بوده و این امر تا حدودی از ارزش مهندسی سنگ می‌کاهد.

در مجموع، وجود مقاومت مناسب، قابلیت صیقل‌دهی بالا، شفافیت و جلای خوب، قابلیت گیرایی مناسب با سیمان، رنگهای شاد و گرم، سنگهای

منطقه آذرشهر که شرح آن در متن مقاله آمد، مشخص می‌شود که به منظور کشف و پی‌جویی تراورتن، باید سه عامل مهم سازنده یعنی سنگ‌آهک، آب و CO<sub>2</sub> به طور جدی مطالعه شوند. وجود آتشفشانها، فعالیتهای زمین‌ساختی جوان، چشمه‌های آهک‌ساز و آتشفشانهای قدیمی موجود، به طور قطع ردیابهای بسیار شاخصی برای پی‌جویی وسیع تراورتن خواهند بود. مطالعه ساختارهای موجود در منطقه معدنی آذر شهر و شناسایی دقیق روند ناپیوستگیها و تطابق روند عمومی ناپیوستگیهای منطقه با امتداد گسترش تراورتنها گویای دخالت و عمل عمده ناپیوستگیها در کنترل چرخه هیدرولیکی آبهای بارور تراورتن‌ساز است.

بحث پیرامون نتایج تجزیه‌های شیمیایی و بررسی مقاطع میکروسکوپی تهیه شده و وجود رنگ دانه‌های نارنجی و سرخ رنگ و نیز لکه‌های تیره رنگ در مقاطع، وجود اکسید آهن به طور اخص و نمکهای فلزی دیگر به طور اعم را به عنوان عامل اصلی رنگین شدن تراورتهای آذرشهر به طور قطعی تأیید می‌کند. با دقت در نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها به روشنی آشکار می‌شود که با کاهش میزان Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> رنگ تراورتهای منطقه از سرخ خونی - گوشتی به زرد لیمویی روشن تبدیل می‌شود. همچنین درصد اکسید آلومینیم موجود از روند کاهش اکسید آهن پیروی کرده و رابطه مستقیم دارد، در حالی که میزان SiO<sub>2</sub> رابطه غیر مستقیم با اکسید آهن و آلومینیم نشان می‌دهد. بافت بسیار ریز و حالت ابری در هر سه نوع سنگ مورد مطالعه به چشم می‌خورد.

گرچه وجود جلبکها در تشکیل تراورتن اهمیت زیادی دارند و تحقیقات گذشته (رهبر و نبوی، ۱۳۶۷) در منطقه نیز به این موضوع اشاره دارد، با این حال، در ۹ مقطع میکروسکوپی تهیه شده و ۱۴ عکس گرفته شده از آنها، نشانه زیستی در تراورتهای آذرشهر مشاهده نشده است. اما برای مطالعه گسترده درباره این عامل مهم، پیشنهاد می‌گردد مقاطع متعددی از تراورتهای بسیار جوان حاشیه چشمه‌های فعال کنونی و تراورتهای با سن بیشتر تهیه و به صورت مقایسه‌ای و با توجه به روند سنی تراورتنها مورد ارزیابی و مطالعه خاص و هدفمند قرار گیرد.

در توجیه علت تفاوتیهای موجود در ویژگیهای مهندسی تراورتهای آذرشهر نکات زیر قابل توجه است:

الف) با توجه به سبب برای زیاد تراورتن سرخ و روباره در معدن سردار آباد نسبت به دو معدن دیگر، به علت تأثیر وزن روباره و لایه‌های سطحی تراورتن بر لایه‌های زیرین در حال استخراج، تخلخل سنگهای استخراجی کاهش و وزن مخصوص افزایش می‌یابد. در نتیجه ویژگیهای مهندسی سنگ بهبود یافته و بویژه مقاومت فشاری تک محوری افزایش می‌یابد.

ب) در معدن تراورتن گردویی با دقت در طبیعت لایه لایه (تا حدودی خطی) سنگ و با توجه به این که سبب برای روباره و لایه‌های سطحی تراورتن



معدن دانشگاه صنعتی سهند، آقایان مهندس عنایت الله خجسته، مهندس یاشار پوررحیمیان، مهندس رضا فلاحت، مهندس یوسف شرقی و نیز کارشناسان محترم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (واحد تبریز) و مسئولان محترم آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشکده مهندسی معدن آقایان کرباسی و محمدزاده تقدیر و تشکر نمایم.

تراورتنی آذرشهر را از لحاظ فنی، مهندسی و معماری در زمره بهترین سنگهای تزئینی ایران و جهان قرار داده است.

### تقدیر و تشکر

در پایان بر خود وظیفه می دانیم از زحمات مدیریت و پرسنل محترم معادن تراورتن منطقه آذرشهر و اعضای محترم هیئت علمی دانشکده مهندسی

جدول ۱ - موقعیت جغرافیایی و میزان ذخیره معادن شاخص

نام معدن	موقعیت جغرافیایی	ذخیره قطعی (میلیون تن)
تراورتن سرخ - سردارآباد	۱۴ کیلومتری جنوب باختری آذرشهر - روستای سردارآباد	۲/۳
تراورتن گردویی - نادینلو	۵ کیلومتری جنوب باختری آذرشهر - روستای نادینلو	۰/۷
تراورتن لیمویی - کلوانق	۱۳ کیلومتری جنوب باختری آذرشهر - روستای کلوانق	۰/۳۵

جدول ۲ - ویژگیهای شیمیایی تراورتن سرخ

MgO %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	تراورتن سرخ
---	۰/۱۸۷	۰/۰۶۱	۱/۷۶۲	۵۲/۳	

جدول ۳ - ویژگیهای فیزیکی تراورتن سرخ

شاخص دوام وارفنگی	مقاومت یخ زدگی (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	درصد جذب آب (%)	وزن مخصوص (g / cm <sup>3</sup> )	تراورتن سرخ
۰/۹۷	۴۸	۵۲/۵	۲/۵۴	۲/۶	

جدول ۴ - ویژگیهای شیمیایی تراورتن گردویی

MgO %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	تراورتن گردویی
---	۰/۴۹	۰/۰۵۶	۱/۶۵	۵۱/۸	

جدول ۵- ویژگیهای فیزیکی تراورتن گردویی

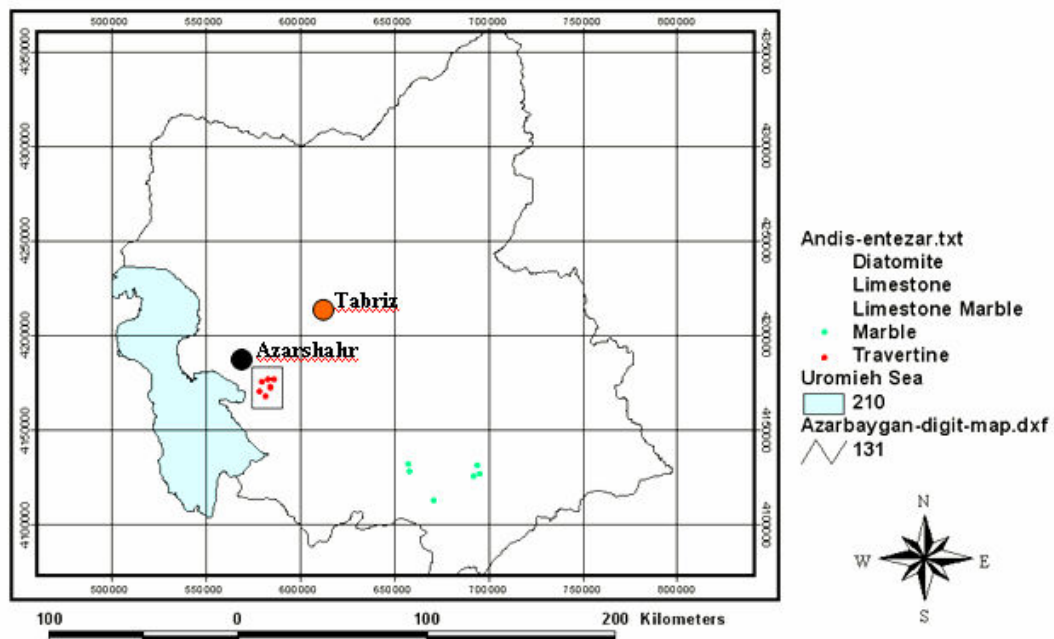
شاخص دوام وارفتگی	مقاومت یخزدگی (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	درصد جذب آب (%)	وزن مخصوص ( $g/cm^3$ )	تراورتن گردویی
۰/۹۷	۴۱	۴۸/۵	۲/۷۲	۲/۵۳	

جدول ۶- ویژگیهای شیمیایی تراورتن لیمویی

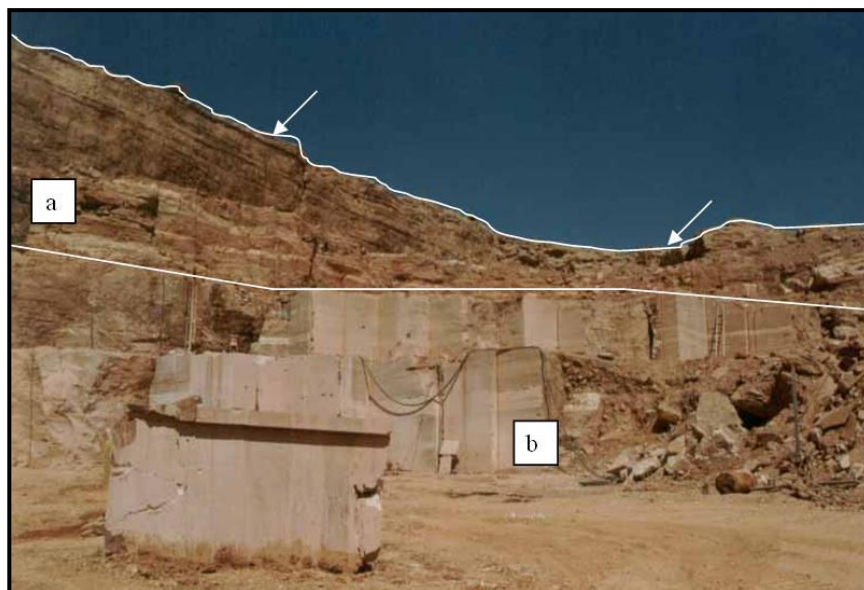
MgO %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	تراورتن لیمویی
---	۰/۵۱	۰/۰۰۵	۰/۳۵۱	۵۴/۶	

جدول ۷- ویژگیهای فیزیکی تراورتن لیمویی

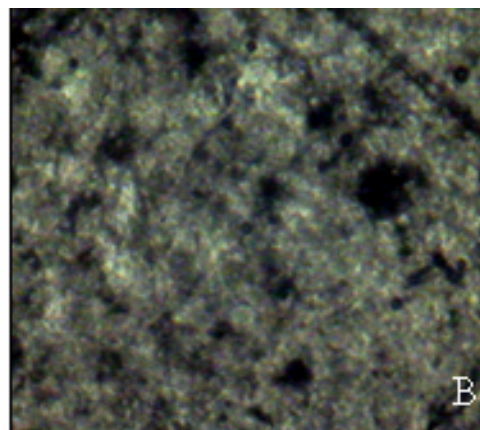
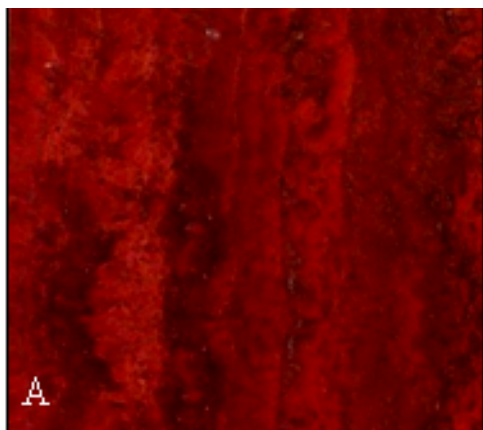
شاخص دوام وارفتگی	مقاومت یخزدگی (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	درصد جذب آب (%)	وزن مخصوص ( $g/cm^3$ )	تراورتن لیمویی
۰/۹۵	۳۲	۳۳	۲/۶۱	۲/۵۶	



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی معادن تراورتن آذر شهر (فلاحت، ۱۳۸۳)

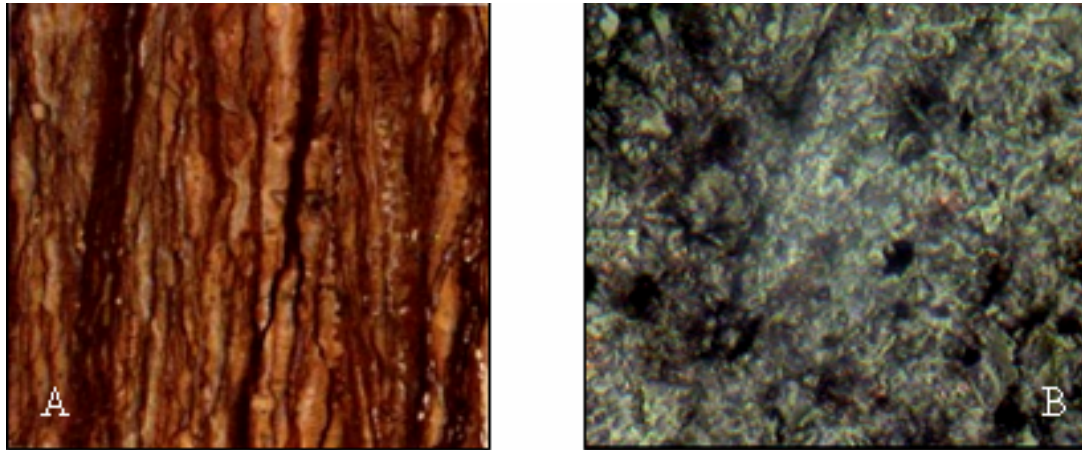


شکل ۲- نمایی از معدن تراورتن سرخ سردارآباد  
(a) لایه‌های متنوع روباره (b) سینه کارهای استخراج تراورتن

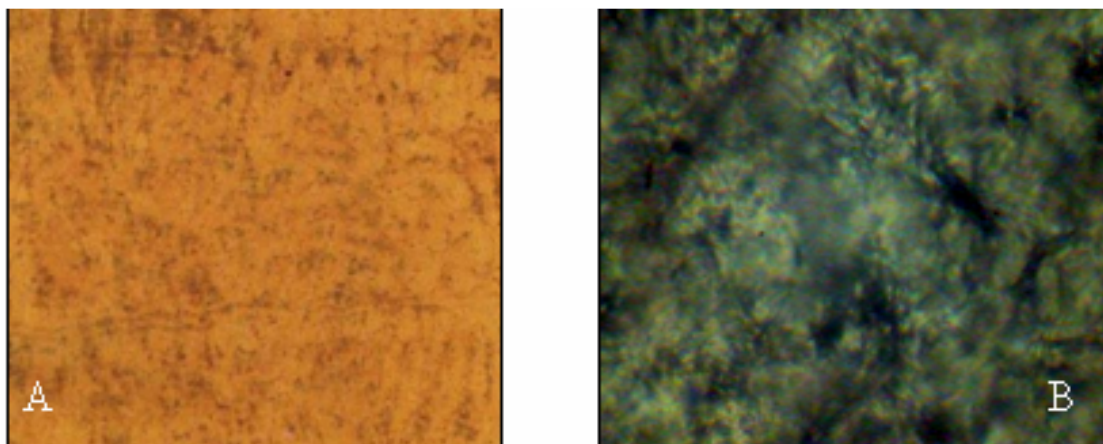


شکل ۳- (A) تراورتن سرخ آذرشهر (B) مقطع میکروسکوپی تراورتن سرخ آذرشهر (PPL)





شکل ۴- (A) تراورتن گردویی آذر شهر (B) مقطع میکروسکوپی تراورتن گردویی آذر شهر (PPL)



شکل ۵- (A) تراورتن لیمویی آذر شهر (B) مقطع میکروسکوپی تراورتن لیمویی آذر شهر (PPL)

### کتابنگاری

- اسناد بایگانی ( پروانه بهره برداری معادن سردارآباد ، کلوانق، نادینلو) سازمان صنایع و معادن آذربایجان شرقی  
حسینی، س.ه.، ۱۳۸۳- "گزارش تعیین خصوصیات مکانیک سنگی تراورتهای آذر شهر"- دانشکده مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی سهند  
رهر، ی.، نبوی، م. ح.، ۱۳۶۷- "ویژگیهایی از تراورتهای زینتی آذر شهر"- اولین سمینار سنگهای نما و تزئینی ایران  
شرقی، ی.، ۱۳۸۳- "مطالعات پتروگرافی، درزه نگاری و اکتشافی سنگهای فرم ( چینی، تراورتن، مرمر) و ارائه الگوی بهینه اکتشافی"- طرح پژوهشی- دانشگاه  
صنعتی سهند  
فلاح، ر.، ۱۳۸۳- "ارائه الگوی اکتشافی از روی تصاویر ماهواره ای لندست (TM) و طراحی سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور ارائه نقشه پتانسیل یابی  
سنگهای ساختمانی گروه آهکی آذربایجان شرقی"- چاپ نشده  
فهیمی فر، ا.، ۱۳۸۳- "آزمایشهای مکانیک سنگ"- انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
قدیرزاده، ا.، ۱۳۸۱- "ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ آذر شهر"- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران (واحد تبریز)  
مؤمن زاده، م.، حیدری، ا.، ۱۳۶۷- "گسترش جغرافیایی - استراتیگرافی سنگهای نما و تزئینی ایران"- اولین سمینار سنگهای نما و تزئینی ایران

\*دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

\*\*دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

\* Faculty of Mining Engineering & Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

\*\* Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran