طراحي و ساخت دستگاه زبري‌سنجي سه‌بعدي ليزري

مصطفی شریف زاده [۱] *؛ صدیقه سیرائی [۲]

چکیده

رفتار یک توده سنگ به خواص سنگ بکر و ناپیوستگی آن بستگی دارد. از طرف دیگر رفتار هیدرومکانیکی درزه‌ها به وضعیت زبری سطح آن وابسته است. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری زبری سطح درزه‌ها وجود دارد که خروجی آنها به صورت دو بعدی یا سه بعدی است. به علت فناوری بسیار بالای مورد استفاده در روش‌هایی با خروجی سه بعدی، دقت به مراتب بالاتر و در نتیجه هزینه‌های مربوط به آنها بالاتر است. ازاین رو بیشتر اندازه‌گیری‌ها از روش‌های دو بعدی انجام می‌شود. بدین منظور برای اولین بار در ایران دستگاهی طراحی و ساخته شد که با صرف هزینه‌ی بسیار پایین با استفاده از آن می‌توان زبری سطح درزه را تعیین نمود. دستگاه زبری‌سنجی شامل دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. در بخش سخت‌افزاری، یک لیزر خطی برای برداشت از سطح نمونه و یک دوربین رقمی برای ثبت اطلاعات بر روی یک میز صلیبی نصب شد و در بخش نرم‌افزاری، برای پردازش داده‌ها برنامه‌ای مورد استفاده قرار گرفت که خروجی آن به‌صورت سه بعدی است. با استفاده از این دستگاه، علاوه بر غیر مخرب بودن روش نوری، بدون نیاز به صرف هزینه‌های بالا، امکان دسترسی به داده‌های سه بعدی با دقت بالا فراهم می‌شود. به این صورت که مقاطعی با فاصله‌ی ۱ میلی‌متر تهیه شده و در هر مقطع نقاط نقطه به نقطه بررسی شده و مختصات نقاط محاسبه می‌شود. در این مقاله نحوه‌ی ساخت و عملکرد دستگاه تشریح، و نتایج اندازه‌گیری‌ها آورده می‌شود.

کلمات کلیدي

درزه، زبری، لیزر، زبری‌سنجی، پردازش تصویر

Design and Development of Three-Dimensional laser Roughness Measurement Apparatus

M. Sharifzadeh and S. Siraei

ABSTRACT

Rock mass behavior is closely depends on rock joints characteristics, rock joint behavior is depends on its surfaces roughness. There are several methods to measure joint surfaces roughness by two or three dimensional. Three dimensional methods are expensive and advanced technology, thus to obtain high precision roughness of joint surfaces a new apparatus is designed and developed for first time in Iran. Using the designed apparatus the joint surfaces measurement with high precision is possible with low expenses. The apparatus is made up of two parts consisting hardware and software. Hardware consists of: laser head, cross table, and digital camera. The measured data is processed in software to obtain three dimensional surfaces roughness. As an advantageous of the developed apparatus it is possible to determine surface roughness using non-destructive method and same sample could be used for mechanical laboratory testing. To verify the apparatus performance a rock joint specimen roughness profiles is measured with 1mm intervals and the surface topography of joint surface is obtained with 1mm*1mm cell size. In this paper the apparatus assembly and its application along with the results are illustrated.

KEYWORDS

Joint, Roughness, Laser, Rough measurement, Image processing

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۸۹/۲/۶

تاریخ اصلاحات مقاله:۱۳۹۰/۹/۱۶

*[۱] نویسنده مسئول و استادیار دانشگاه صنعتی امیر کبیر sharifzadeh@aut.ac.ir

[۲] دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، s_siraei@yahoo.com

۱- مقدمه

با توجه به توسعه روزافزون فعالیت‌های معدنی و ساخت سازه‌های عمرانی در کشور و برای طراحی و اجرای بهینه و اقتصادی ونیز تامین ایمنی اینگونه فضاها، شناخت رفتار مکانیکی و هیدورلیکی توده سنگ دربرگیرنده این حفریات لازم است. از آنجا که در سنگ‌های شکسته، رفتار تغییرشکل‌پذیری و پایداری فضاهای زیرزمینی به وضعیت ناپیوستگی‌های موجود بستگی دارد و رفتار ناپیوستگی‌ها بشدت تحت اثر خواص سطح آنها است [۲]؛ به همین دلیل می‌توان از درزه‌ها به عنوان عامل کلیدی هدایت رفتار مکانیکی و هیدورلیکی توده سنگ نام برد.

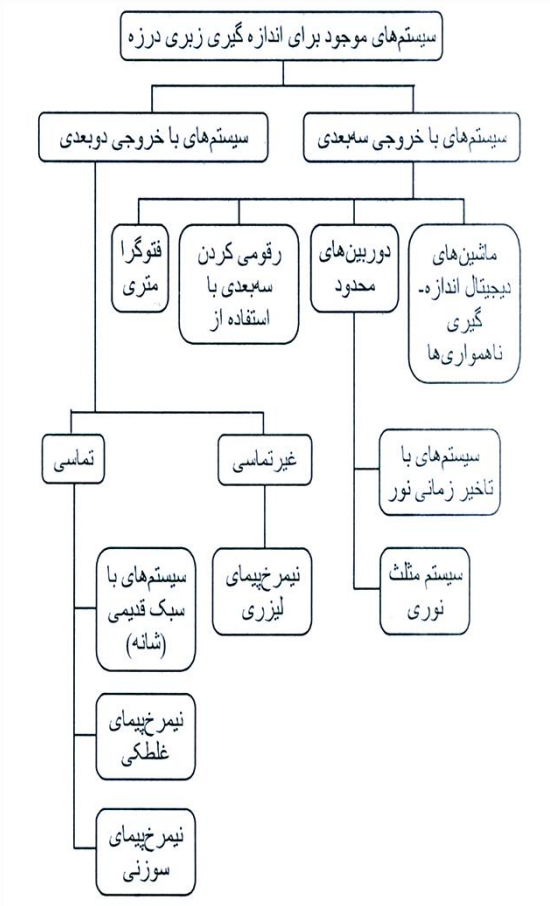
یکی از ویژگی‌های مهم درزه زبری آن است. بنابراین توصیف دقیق زبری سطح درزه موضوع مهمی برای ارزیابی تغییرشکل و نفوذپذیری توده‌سنگ است [۲] و تاکنون روش‌ها و پارامترهای زیادی برای ویژگی‌سنجی زبری سطح درزه‌ها آورده شده است. در این راستا، برای بهبود تحلیل هندسه درزه و کاهش هزینه‌ها دستگاهی طراحی شد که با استفاده از لیزر و تکنیک تحلیل تصاویر داده‌های سه بعدی از سطح درزه را می‌توان اندازه‌گیری و تعیین نمود.

در بخش ابتدایی مقاله تاریخچه مختصری از انواع دستگاه‌های زبری‌سنجی آورده شده است. در ادامه مشخصات دستگاه ساخته شده و نمونه زبری‌های اندازه‌گیری شده شرح داده شد و در پایان به بررسی نتایج پرداخته شده است.

۲- روش‌هاي معمول براي اندازه‌گيري زبري درزه

زبری معرف ناصافی و موج‌دار بودن سطح درزه نسبت به صفحه اصلی آن است [۱]. تعیین زبری سطح درزه در برآورد مقاومت برشی ناپیوستگی و انبساط ناشی از جابه‌جایی، معرفی و مشخص نمودن رفتار هیدرولیکی سطح درزه، در تخمین عامل‌های K_n و K_s و همچنین در تعیین نحوه‌ی انتشار امواج از درزه امری مهم است.

روش معمول در مطالعه زبری ناپیوستگی‌ها، برداشت ارتفاع زبری‌ها نسبت به یک صفحه مرجع است. برداشت در کل سطح مورد مطالعه باید یکسان باشد. از آنجا که زبری یک خاصیت ناهمسانگرد است، اندازه‌گیری زبری در یک جهت به‌طور کامل بیانگر زبری کل سطح در مطالعه رفتار سنگ نخواهد بود. برای مطالعه دقیق زبری، اندازه‌گیری باید به‌صورت سه بعدی انجام شود، با این وجود بسیاری از محققان با تعمیم دادن نیمرخ‌های دو بعدی از سطح درزه، از آن در ویژگی‌سنجی کل سطح درزه استفاده می‌نمایند [۳].



شکل ۱- سامانه‌های موجود برای اندازه‌گیری زبری درزه بر اساس داده‌های خروجی

به طور کلی می‌توان روش‌های اندازه‌گیری زبری درزه را بر اساس داده‌های خروجی دسته‌بندی نمود (شکل ۱). روش‌های بالا را به دو گروه تحلیلی و آزمایشگاهی تقسیم می‌کنند. در ادامه به بررسی این روش‌ها پرداخته شده است.

۲-۱- روش‌هاي تحليلي براي تعيين زبري درزه

روش اندازه‌گیری ضریب زبری سطح[۱] (JRC) از مهم‌ترین شیوه‌های این روش است.

۲-۱-۱- اندازه‌گيري ضريب زبري سطح

درجه زبری عبارت از اندازه ناهمواری‌های سطح نسبت به صفحه اصلی آن است.

بارتون[۲] روش ضریب زبری سطح (JRC) را برای کمی نمودن زبری به‌صورت یک بعدی آورده کرد که مقداری بین صفر تا ۲۰ را دارد. درز صاف مقدار زبری صفر و درز زبر مقدار ۲۰ را دارد. این شاخص در مقاطع یک بعدی روی درزه بدست می‌آید و یا بطور غیر مستقیم و به کمک آزمایش سطح

شیبدار به همراه آزمایش چکش اشمیت تعیین می‌شود.

۲-۲- روش‌هاي آزمايشگاهي اندازه‌گيري زبري درزه

برای بدست آوردن زبری مقطع های دوبعدی به صورت برداشت نیمرخ، می‌توان از روش های مکانیکی و یا نوری استفاده نمود.

۲-۲-۱-روش‌هاي مكانيكي

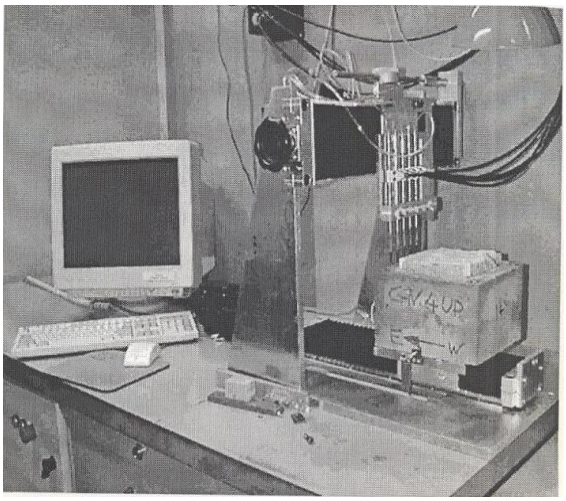
الف- ماشين رقمي اندازه‌گيري ناهمواري ها[۳]

برای به دست آوردن نیمرخ سطح، می‌توان سطح را با استفاده از ماشین رقمی اندازه‌گیری ناهمواری‌ها (CMM) برداشت نمود. این ماشین دارای یک دسته میله لمس‌کننده رنیشاو[۴] و یک ریزپردازنده است. چارچوب اصلی ماشین بر یک میز گرانیتی سوار می‌شود. این ماشین در شرایط عادی با دقت ۹۵ درصد بوده و می‌تواند نقاط ریز تا ۱ میکرون را برداشت نماید [۴].

نمونه‌های مورد آزمایش باید بر روی میز گرانیتی قرار داده شوند. قبل از اینکه ناهمواری‌های نمونه برداشت شوند، باید یک سطح به عنوان مبنا در نظر گرفته شود تا اندازه‌گیری‌ها نسبت به آن سطح انجام شود. برای سادگی، سطح میز گرانیتی به عنوان سطح مبنا در نظر گرفته می‌شود.

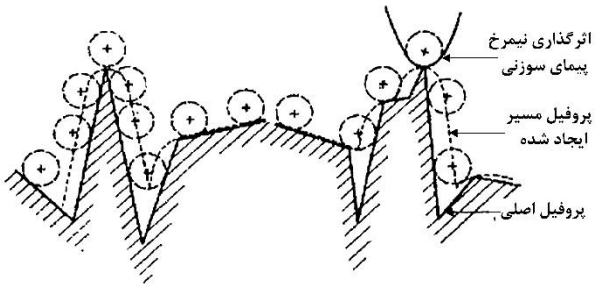
ب-نيمرخ پيماي سوزني ۵و غلطكي۶

این نیمرخ‌پیماها بر اساس عبور یک قلم به صورت الکتریکی یا مکانیکی از روی سطح زبر و اندازه‌گیری ارتفاع سطح در شبکه‌های مختلف کار می‌کنند (شکل۲). دقت عمودی نیمرخ-پیماهای فوق در حدود ۱۰ میکرومتر است.



شکل (۲) : تصویری از یک نیمرخ پیمای مکانیکی [۵]

در سامانه سوزنی، جداسازی و وضوح به شعاع سوزن بستگی دارد. اگر فرض کنیم که نقطه تماس کروی است، در نیمرخ به‌دست آمده (به علت وابستگی به شعاع انحنای سوزن) انحنای قله‌ها ودره‌ها ممکن است به‌درستی نشان داده نشود، چون دره-های زیادی با شعاع انحنای ۱۰ میکرومتر یا کمتر یا با شیب‌های بیشتر از ۴۵ درجه وجود دارد، بنابراین اندازه‌گیری‌های مورد نظر به خوبی انجام نمی‌شود (شکل۳). ناهمواری‌های روی سطح سبب جابجایی عرضی قلم شده که خود عامل برابر نبودن کامل نیمرخ اندازه‌گیری شده در یک جهت و نیمرخ به‌دست آمده در جهت مخالف است. خطای دیگری که در این روش وجود دارد، بر اثر فشار روی سطح تماس ایجاد می‌شود که ممکن است تغییرشکل موضعی رو به پایین یا ترک‌های شکننده روی سطح را ایجاد نماید. ساییدگی غلطک‌ها در طول اندازه‌گیری، از دقت مطلوب می‌کاهد.



شکل (۳) : اعوجاج نیمرخ اندازه‌گیری به‌علت ابعاد محدود سوزن در نیمرخ‌پیمای سوزنی [۹]

۲-۲-۲-روش‌هاي نوري

الف-نيمرخ پيماي ليزري

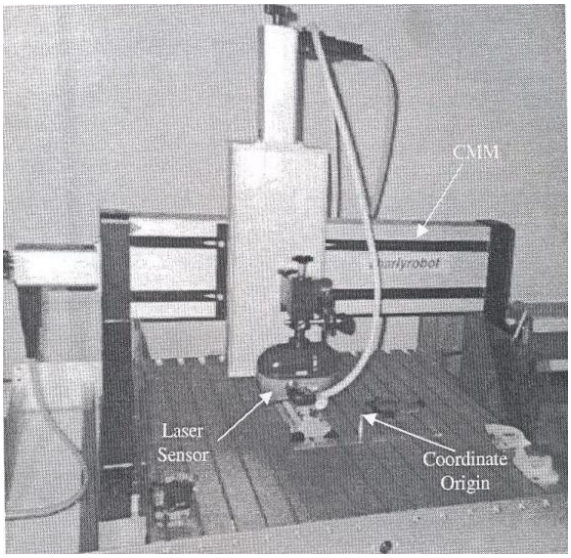
این نیمرخ‌پیما بر اساس عبور نور لیزر از روی سطح زبر و با استفاده از تداخل‌سنجی[۷] نور منعکس شده، ارتفاع سطح را اندازه‌گیری می‌نماید. از یک حس‌گر برای جابجایی لیزر و اندازه-گیری خطوط اسکن در سرتاسر سطح استفاده می‌شود. با شروع اندازه‌گیری، نور از سطح بازتاب نموده و به‌وسیله یک حس‌گر موقعیت ثبت می‌شود. ولتاژ خروجی از حسگر به‌طور مستقیم به فاصله اندازه‌گیری وابسته است. جداسازی و وضوح به قطر لیزر[۸] بستگی دارد که در حدود ۲ -۰/۳ میلی‌متر است.

سنگ‌های دارای کریستال‌های کوارتز یا کریستال‌هایی با خاصیت شکست نور ممکن است موجب کاهش دقت اندازه‌گیری شوند [۵].

ب-سامانه رقومي نمودن سه بعدي ليزري با استفاده از CMM

عملنمود این سامانه مشابه ماشین رقمی اندازه‌گیری ناهمواری‌ها، که در بخش روش‌های مکانیکی شرح داده شد، است. با این تفاوت که در این سامانه از یک رادار اسکنر سه بعدی استفاده شده و حس‌گر اسکنر از روش یافتن مثلث‌های مجاور به‌وسیله منبع نور و بازتابش پرتو نور از نمونه برای رقومی نمودن سطح استفاده می‌نماید (شکل ۴). لیزر به صورت باریکه‌ای

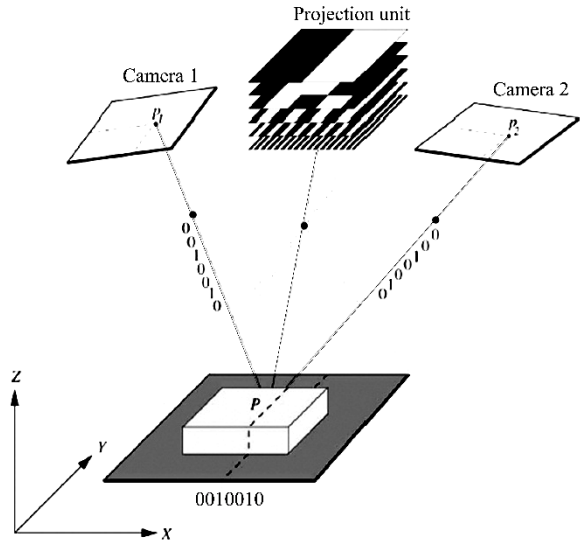
به عرض ۲۵ میلی‌متر به‌صورت عرضی روی سطح نمونه می‌تابد. باریکه‌های لیزر باید به‌گونه‌ای روی سطح تابیده شوند که فضای خالی بین نواحی اندازه‌گیری وجود نداشته باشد. برای این منظور باید بعضی از باریکه‌ها با باریکه‌های مجاور هم‌پوشانی داشته باشد، تا اطمینان حاصل شود که همه سطح به وسیله نور لیزر اسکن شده است. عکس‌برداری از نمونه به وسیله دو دوربین CCD[۹] انجام می‌شود و اسکنر، ۶۰۰ نقطه را در طول باریکه لیزر برداشت می‌نماید. تعداد نقاطی که اسکنر می‌تواند برداشت کند، به اندازه انتخاب شده به عنوان گام اسکن بستگی دارد. این سامانه می‌تواند نمونه‌هایی با ابعاد ۴۲۰×۱۰۴۰×۱۰۰ میلی‌متر را رقومی نماید. از آنجا که حسگر اسکنر لیزری همیشه با زاویه ۲۲/۵ درجه نسبت به محورهای متعامد قرار دارد، سطوح عمودی به راحتی اسکن می شود. برتری سامانه رقومی نمودن لیزری به‌صورت سه بعدی این است که می‌تواند کوچکترین جزئیات را هم رقومی نماید [۶].



شکل٤-تصویری از یک سامانه رقومی نمودن سه بعدی لیزری با استفاده از CMM [٦]

ج- فوتوگرامتري۱۰

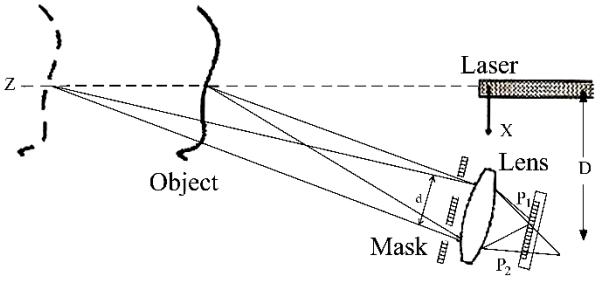
این سامانه برای بدست آوردن داده‌های ارتفاع، از روی هم قرار دادن نقاط مشابه در جفت عکس‌های استریوگرافی بهره می‌برد. در مطالعات جسل[۱۱] و همکارانش اشاره شده است که روش فوق، دقت قائمی در حدود ۰/۱ ± میکرومتر دارد. در شکل ۵ اساس این روش نشان داده شده است [۵].



شکل(۵) : طرح نمایی از روش فوتو گرامتری [۱۱]

د-دوربين‌هاي محدود۱۲

این روش شامل دو روش، مثلث نوری[۱۳] و سامانه‌های با تاخیر زمانی نور[۱۴] است. این دوربین‌ها بر اساس موارد مصرف خواسته شده، ساخته شده‌اند. تفاوت موجود در آنها ناشی از قوانین نوری است که در ساخت آنها به‌کار رفته است. روش کار این دوربین‌ها در شکل (۶) نشان داده شده است [۵].



شکل (٦) : اصول کار دوربین های محدود [۱۰]

۳- شرح دستگاه جدید اندازه‌گیري زبري

۳-۱- مقدمه

این روش الهام گرفته از نیم‌رخ‌پیمای لیزری است. با این تفاوت که به جای استفاده از لیزر نقطه‌ای، از یک لیزر خطی به قطر پرتو ۱ میلی‌متر و به جای حرکت لیزر در طول نمونه، از یک میز صلیبی برای جابجایی نمونه استفاده شده است. در نیم‌رخ‌پیمای لیزری از تجهیزات پیشرفته و دوربین‌های با کیفیت و مشخصات ویژه استفاده می‌شود. اما در دستگاه فوق از یک لیزر خطی ساده و یک دوربین رقمی معمولی استفاده شده و تعیین مختصات سه بعدی و طراحی سطح با استفاده از روش پردازش تصویر انجام شده است.

۳-۲- اجزاي اصلي تشكيل‌دهنده دستگاه

۱- میز صلیبی (X – Y) با اندازه حرکت ۲۰×۴۰ سانتی‌متر

برای جابجایی نمونه در راستای X یا Y از میز صلیبی استفاده شد. این میز قابلیت جابجایی ۴۰ سانتی‌متر در راستای X و ۲۰ سانتی‌متر در راستای Y را دارد. تصویر میز صلیبی در شکل (۷) نشان داده شده است.

شکل (۷) : میز صلیبی(X– Y)

۲- دوربین رقمی ۷/۱ مگاپیکسل

برای ثبت تصاویر از یک دوربین رقمی ۷/۱ مگانقطه معمولی استفاده شده است (شکل ۸). مشخصات دوربین در جدول ۱ آورده شده است.

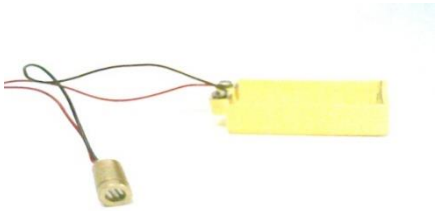
شکل (۸) : دوربین مورد استفاده

جدول (۱) : مشخصات اصلی دوربین CANON IXY DIGITAL 600

نام دوربین	CANON IXY DIGITAL 600
کیفیت تصویر	۷/۱ مگاپیکسل
تغییرات فاصله کانونی	۷/۷–۲۳ mm
نوع تصاویر آورده شده	JPEG
زوم اپتیکال	۳x

۳- ليزر خطي

این لیزر با استفاده از ولتاژ مستقیم کار می‌نماید و پرتویی با قطر ۱ میلی‌متر را به‌صورت خطی ایجاد می‌نماید (شکل ۹). مشخصات لیزر در جدول (۲) ارائه شده است.



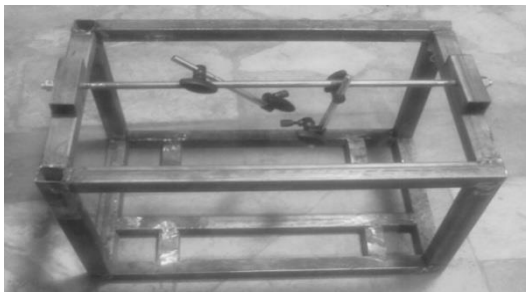
شکل (۹) : تصویر لیزر مورد استفاده

جدول (۲) : مشخصات اصلی لیزر مورد استفاده

نوع لیزر	خطی
ولتاژ مورد نیاز	حداکثر۵ ولت حداقل۳ ولت
توان مصرفی	۵ میلی وات

٤- چهارچوب دستگاه

برای ساخت چهارچوب از تعدادی میله قوطی شکل استفاده شد که طبق شکل (۱۰) بهم جوش داده شدند.



شکل(۱۰) : چهارچوب دستگاه

۵- گيره براي نگهداري ليزر و دوربين

با استفاده از پیچ‌های تعبیه شده بر روی میله، گیره قابلیت جابجایی و تغییر ارتفاع را در شرایط مختلف دارد (شکل ۱۱).

شکل (۱۱) : گیره برای نگهداری لیزر و دوربین

۶- رایانه

برای پردازش اطلاعات برداشت شده، یک رایانه مورد نیاز است.

۷- نمونه مورد استفاده

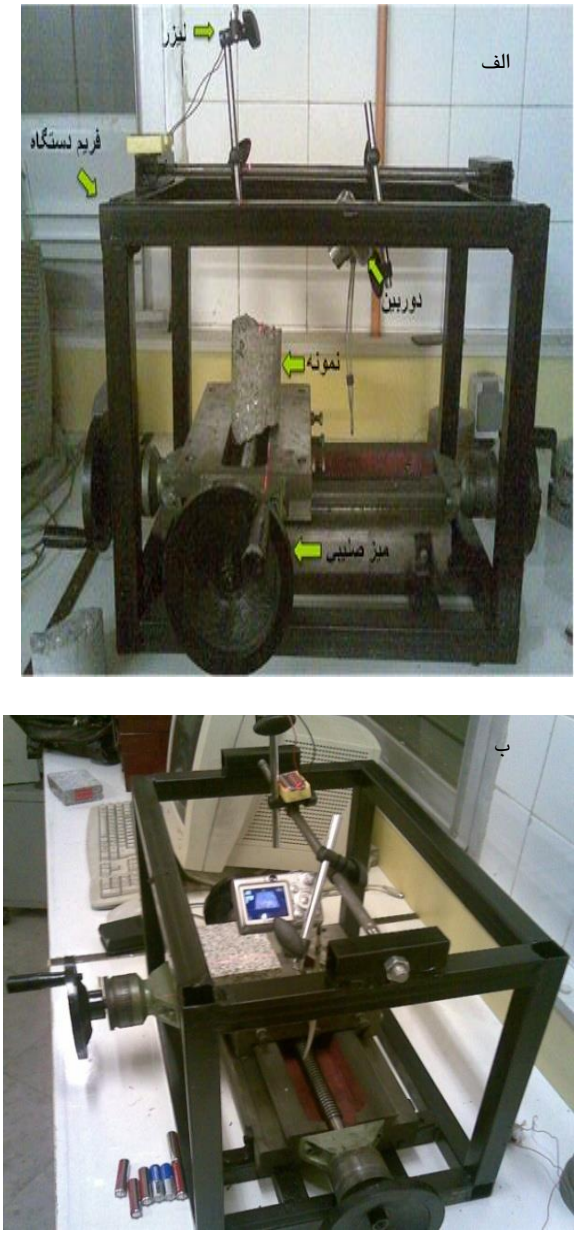
در این مطالعه از یک نمونه گرانیتی به ابعاد ۱۰۰× ۱۸۰ میلی-متر استفاده شده است.

۳-۳- چیدمان[15] دستگاه

چیدمان دستگاه به این صورت است که میز صلیبی با استفاده از جوش بر روی چهارچوب نصب شد تا از جابجایی میز نسبت به دوربین و لیزر جلوگیری شود. در بالای این چهارچوب میله‌ای تعبیه شده که محلی برای قرار دادن گیره برای نگهداری لیزر و دوربین است. با استفاده از پیچ‌هایی که روی گیره وجود دارد، دوربین و لیزر روی میله سوار می‌شوند. لیزر طوری نصب می‌شود که پرتوی آن به صورت عمود بر سطح بتابد. دوربین نیز با زاویه ٤٥ درجه نسبت به سطح روی میله قرار داده می‌شود.

۳-٤- روش اندازه‌گیري با دستگاه زبري سنجي

مراحل انجام کار به این صورت است که ابتدا لیزر به صورت عمود بر سطح تابیده و دوربین که با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح نصب شده است، از سطح تصویربرداری می‌نماید. سپس تصویر گرفته شده با استفاده از برنامه، بازخوانی شده و مختصات نقاط روی خط لیزر تشخیص داده می‌شود. در گام بعدی نمونه با استفاده از میز صلیبی به اندازه مورد نظر (درآزمایش انجام شده ۱ میلی‌متر) جابجا شده و عملیات فوق دوباره تکرار می‌شود، این فرآیند تا زمانی که کل سطح نمونه اندازه‌گیری شود، تکرار می‌شود. خروجی، به صورت منحنی-هایی است که نشان‌دهنده هندسه سطح درزه است. طرح کلی دستگاه در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

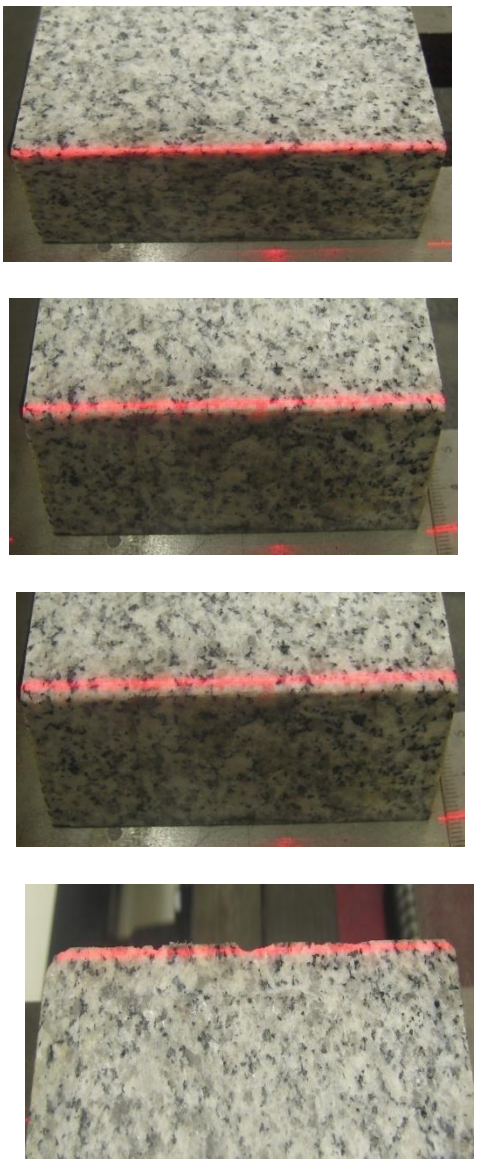


شکل (۱۲) : تصویر دستگاه زبری‌سنج ساخته شده

الف: دید از روبرو، ب:دید از پهلو

۳-۵-نتایج اندازه‌گیري‌ها

همان‌طور که در بخش پیش اشاره شد، برای تعیین نیم‌رخ سطح به فاصله ۱ میلی‌متر از نمونه تصویربرداری شد. به عنوان نمونه تصاویری از مراحل برداشت اطلاعات در شکل (۱۳) آورده شده است.



شکل (۱۳) : مراحل اسکن سطح به‌وسیله‌ی لیزر

۵-تحلیل تصویر

برای تعیین مختصات، از روش پردازش تصویر استفاده شده است. قبل از توضیح در مورد عملنمود برنامه لازم است مفاهیم اولیه درمورد تصاویر رقمی بررسی شود.

۵-۱- RGB[۱۶]

سه رنگ قرمز، سبز و آبی، رنگ‌های اصلی اولیه هستند که از ترکیب این سه رنگ با مقادیر مختلف تمام رنگ‌های قابل رؤیت در محدوده طیف بینایی انسان قابل دیدن است [۷].

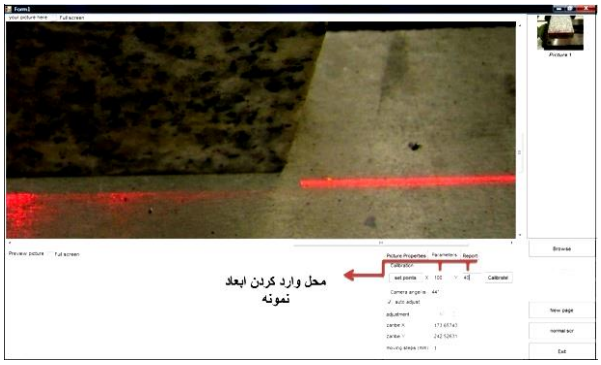
۵-۲-نقطه

نقطه[۱۷] کوچک‌ترین المان یک تصویر است. تصویری که با استفاده از نقطه ایجاد شود بیت مپ [۱۸]یا رستر[۱۹] گفته می‌شود. هرچه تعداد نقطه‌ها بیشتر باشد کیفیت تصویر بالاتر خواهد رفت. نقطه‌ها عرض و ارتفاع ندارند و فقط شامل یک سری اطلاعات هستند. یک تصویر رقمی شامل ۳ مقدار عددی RGB (قرمز، سبز و آبی) است که رنگ را مشخص می‌نماید. برای هر رنگ یک عدد از ۰ تا ۲۵۵ اختصاص می‌یابد [۷].

۵-۳-معرفي برنامه

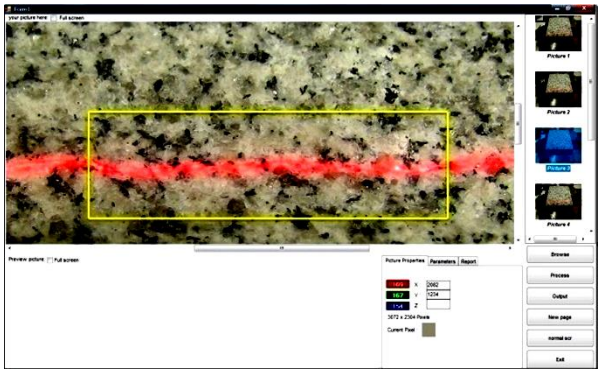
پس ازجمع‌آوری اطلاعات و ذخیره‌سازی آنها، این اطلاعات به‌عنوان ورودی یک برنامه رایانه‌ای استفاده می‌شود که خروجی آن هم به‌صورت اطلاعات نقاط و هم منحنی توپوگرافی سطح است.

در این برنامه ابتدا باید حد فاصل نمونه در راستای x و y را روی تصویر مشخص نمود. سپس مقادیر طول و عرض نمونه مورد آزمایش را در کادر مربوطه وارد نمود (شکل ۱۴).



شکل (۱٤) : وارد نمودن اندازه ابعاد نمونه در برنامه

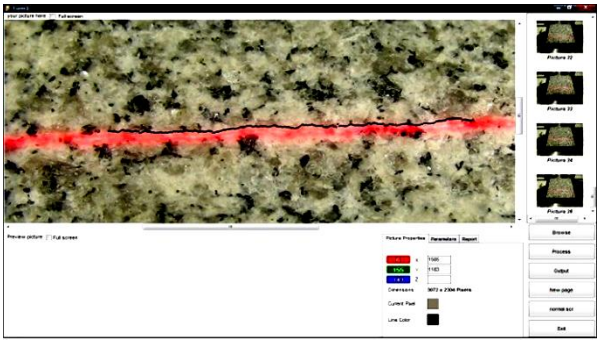
از آنجا که امکان دارد تصویر گرفته شده شامل جزئیات بیشتری از محدوده مدنظر باشد، بنابراین در گام بعد باید محدوده مورد نیاز برای پردازش تصویر مشخص شود (شکل ۱۵).



شکل (۱۵) : تعیین محدوده مورد نیاز برای پردازش

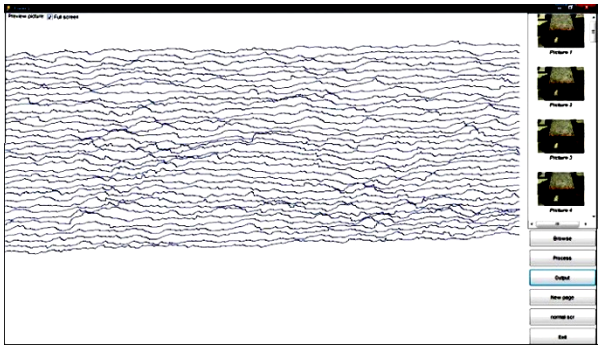
پس از انتخاب این محدوده، برنامه برای تشخیص نور لیزر از سطح نمونه، مقادیر دو رنگ قرمز و آبی در هر نقطه را مورد بررسی قرار می‌دهد. اگر اختلاف مقادیر دو رنگ قرمز وآبی برابر ۴۰ یا کمتر باشد برنامه نور لیزر را در آن نقطه تشخیص می‌دهد و مختصات طول و ارتفاع آن پیکسل را با احتساب ضرایبی که به علت قرارگیری دوربین با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح، اعمال می‌شود را مشخص می‌نماید. این کار در تمام

سطح تصویر تکرار می‌شود. به این ترتیب برنامه با دقت قابل قبولی خط لیزر را دنبال می‌نماید (شکل ۱۶).



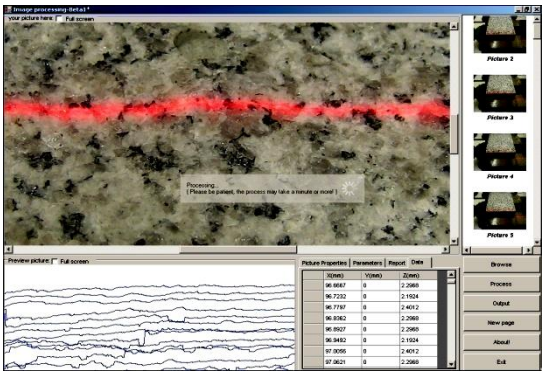
شکل (۱۶) : تصویری از خط لیزر تشخیص داده شده با استفاده از برنامه و نمودار رسم شده

خروجی برنامه در شکل (۱۷) آورده شده است.



شکل (۱۷) : منحنی‌های رسم شده با استفاده از برنامه

شمای کلی از عملنمود برنامه، در شکل (۱۸) نشان داده شده است (شکل ۱۸).



شکل (۱۸) : نمای کلی از عملنمود برنامه

۶-بحث و بررسي نتايج حاصل از برداشت ناهمواري سطح درزه

استفاده از سامانه غیرتماسی لیزری، از آسیب سطح نمونه جلوگیری نموده، سهولت اندازه‌گیری و قابلیت تکرارپذیری انجام آزمایش را موجب می‌شود. با توجه به سیستم دقیق میز صلیبی و دستگاه اندازه‌گیری میزان خطا پس ازتکرارهای مختلف در حد ۰/۰۰۰۱ بوده است استفاده از لیزر خطی در این روش، زمان لازم برای انجام آزمایش را کاهش می‌دهد. با توجه به اعوجاج نیم‌رخ سطح نمونه، چنانچه دوربین با زاویه ۴۵ درجه نتواند تمام سطح آن را پوشش دهد، امکان نصب دوربین با زوایای مختلف در این روش وجود دارد، که این امر قابلیت اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد. از آنجا که در این روش از میز صلیبی استفاده شده، دقت اندازه‌گیری در یک بعد با میزان جابجایی میز محدود می‌شود که در این آزمایش مقاطع به فاصله عرضی ۱ میلی‌متر و در هر مقطع مختصات پیکسل‌های تشکیل‌دهنده یک خط لیزر تعیین می‌شود. یعنی مختصات نقاط با دقت نقطه بررسی و تعیین می‌شود و برنامه، خط تشخیص داده شده را رسم می‌کند. نمونه مورد نظر در این روش قبلا توسط دکتر شریف زاده و همکاران (۲۰۰۶) با نیم‌رخ‌پیمای لیزری با دقت بسیار بالا مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج به‌دست آمده از این روش در حد قابل قبولی با اندازه‌گیری‌های قبلی تطابق دارد.

از آنجا که قطر پرتو لیزر ۱ میلی‌متر است و مختصات نقاط لیزر به صورت رقومی مشخص می‌شود و منحنی حاصل از این نقاط رسم می‌شود، اگر در نقطه‌ای به دلیل انعکاس پرتو لیزر از رنگ، جلا و فرم کانی‌ها، مختصات تشخیص داده شده، افت یا خیز قابل قبول و مطابق با روند مختصات را نداشته باشد، برنامه به صورت خودکار برای مختصات آن نقطه از میانگین مختصات نقاط همسایه استفاده می‌کند و نقطه مورد نظر را اصلاح می‌نماید.

گوشه‌های ۹۰ درجه در تصویر، اثر نور محیط بر کیفیت تصاویر و کاهش شدت نور لیزر با استفاده از باتری از جمله مشکلات حین اندازه‌گیری است. این دستگاه برای آزمایش روی نمونه‌های آزمایشگاهی طراحی و آزمایش شده است. برای افزایش کارایی دستگاه قصد داریم در مراحل بعد، نمونه‌هایی با زبری بالا به‌صورت مصنوعی ایجاد نموده و روی آن آزمایش انجام دهیم.

۷_ نتیجه‌گیري

بررسی تحقیقات انجام شده نشان‌دهنده این واقعیت است که سامانه اندازه‌گیری کاملی برای تعیین زبری درزه وجود ندارد. با توجه به اینکه ابزارهای اندازه‌گیری به صورت مداوم توسعه می‌یابند و هر کدام از این سامانه‌ها مزایا و معایبی دارند. بنابراین انتخاب سامانه اندازه‌گیری بسیار مهم است زیرا ثبت دقیق مشخصات سطح درزه، نقطه شروعی برای هر مطالعه تجربی است. انتخاب بهترین روش برای اندازه‌گیری هندسه سطح، وابسته به معیارهایی از قبیل ابعاد نمونه، دقت، قابلیت تکرار-پذیری آزمایش، سهولت اندازه‌گیری، زمان لازم برای اندازه‌گیری

و پردازش اطلاعات، کالیبراسیون آسان، هزینه و غیره است.

در این روش برخی از اشکالاتی که در نیم‌رخ‌پیمای مکانیکی وجود داشت آسان شده است. در روش مکانیکی جداسازی و وضوح به شعاع سوزن بستگی دارد که خود عاملی برای کاهش دقت اندازه‌گیری است. اما در این روش به‌علت استفاده از لیزر، اندازه‌گیری نیم‌رخ سطح با دقت بالاتری انجام می‌شود و از آسیب نمونه جلوگیری خواهد شد.

۸- تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانیم از آقایان حسن واحدیان، محمود رمضانی، و مهندس زهره وند، به پاس زحمات و تلاش‌های بی‌دریغشان صمیمانه تشکر نمائیم.

۹- مراجع

[۱] لادریان،اصغر. ”نقش ساختار های سنگی در ژئوتکنیک از دیدگاه مکانیک سنگ“. انتشارات مولف. ۱۳۷۸.

[۲] هادسون،جان. ”اصول مکانیک سنگ در عملیات مهندسی“. ترجمه فهیمی فر،احمد؛ فارونی نیک،مرتضی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر واحد تفرش ۱۳۷۹.

[۳] میرزائیان لرد کیوان، یوسف. ”مدلسازی رفتار تومان هیدرومکانیکی درز سنگی تحت تنش های قائم و برشی“. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک سنگ.دانشگاه صنعتی امیر کبیر ۱۳۸۷.

[۴] Indraratna,buddnima.Shear behaviour of rock joint.A.A.Balkema, 2000.

[۵] Grasselli,G Wirth,J;Egger,R. “Quantitative three-dimentional description of a rough surface and parameter evalution with shearing” Int J .Rock Mech. Sci, vol.39, pp:789-800, 2002.

[۶] Fardin,N.; Stephansson,O; jngl. “The scale dependence of rock joint surface roughness”.Int Rock Mech.min sci 2001;38:659-669.

[۷] R. W. G. Hunt). “The Reproduction of Colour”. Chichester UK: Wiley–IS&T Series in Imaging Science and Technology. 6th ed ISBN 0-470-02425-9 ,2004.

[۸] Sharifzadeh M., Mitani, Y., Esaki, T., “Rock joint surfaces measurement and analysis of aperture distribution under different normal loading and shear loading process using GIS”, Int J .Rock Mech and Rock Eng;Barla G. ed. Vol.41, No2, Pp.299-323, 2006.

[۹] Thomas,T. R. “In Rough Surface” (Ed, Press,I.c)London, Pp95-97,1999.

[۱۰] Beraldin,J., Blais,F., Cournoyr,L., Rioux,M., Bernier,F. & Harrison,N.. “PortableDigital 3D Imaging System For Remote Site” IEEE-ISCAS98 ,1998.

[۱۱] Bergmann,D., Galanulis,K.& Winter,D. “Advanced 3D Fringe Projection System” 1997.

۱۰- زیر نویس‌ها

[۱] Joint Roughness Coefficient
[2] Barton
[۳] Digital Coordinate Measuring Machine
[٤] Renishaw
[٥] Needle-tip Profilometer
[٦] Roller-tip Profilometer
[۷] Interferometer
[۸] Spot
[۹] Charge Coupled Device
[۱۰] Photogrametry
[۱۱] Jesselle et al
[۱۲] Range Cameras
[۱۳] Optical triangulation systems
[۱٤] Light time delay system
[۱٥] Assembling
[۱٦] Red-Green-Blue
[۱۷] Pixel
[۱۸] Bitmap
[۱۹] Raster