

مدل سازی هندسی دوبعدی ناپیوستگی ها با نرم افزار MATLAB

اکبر اسمعیل زاده^۱؛ سعید کریمی نسب^{۲*}؛ حمید منصوری^۳

۱- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه شهید باهنر کرمان esmailzadeh.tr@gmail.com

۲- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان kariminasab@uk.ac.ir

۳- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان hmansouri@uk.ac.ir

(دریافت ۱۰ اسفند ۱۳۹۰، پذیرش ۸ بهمن ۱۳۹۱)

چکیده

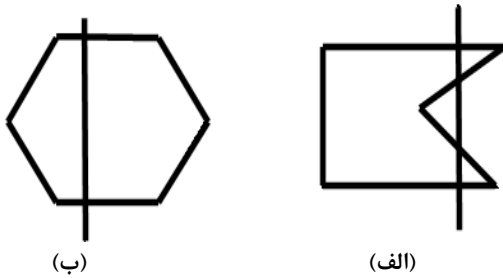
به طور کلی، مدل سازی سیستم های ناپیوستگی توده سنگ مبتنی بر سه روش اصلی: هندسی، مکانیکی و احتمالاتی است. در این مقاله به مدل سازی هندسی سیستم های ناپیوستگی توده سنگ پرداخته شده است. در روش های مدل سازی هندسی، ناپیوستگی ها می توانند به صورت تداوم محدود و یا تداوم نامحدود مدل شوند. با توجه به محدودیت های کاربری مدل سازی هندسی شبکه ناپیوستگی ها به صورت تداوم نامحدود، در این تحقیق، مدل سازی هندسی ناپیوستگی ها به صورت تداوم محدود مورد توجه قرار گرفته است. در مدل سازی ناپیوستگی ها با تداوم محدود، فرایند مدل کردن ناپیوستگی ها بسیار مشکل می شود ولی در عوض، این روش قادر به مدل کردن ناپیوستگی هایی است که به لحاظ هندسی شباهت بیشتری با شکل واقعی ناپیوستگی داشته و نتایج مدل سازی با این فرم از آنجایی که نزدیک به واقعیت است، قابل اعتمادتر خواهد بود. بدین منظور با بهره گیری از محیط نرم افزار MATLAB به شناسایی بلوک های حاصل از تقاطع ناپیوستگی ها پرداخته شد. سرانجام بر اساس مدل دیسکی ناپیوستگی های "بیچر" همراه با الگوریتم ارائه شده توسط "لین" مدل سازی دوبعدی ناپیوستگی ها محقق شد.

کلمات کلیدی

مدل سازی هندسی دوبعدی ناپیوستگی، بلوک، دیسک، الگوریتم لین، MATLAB

۱- مقدمه

آن‌ها خطی عبور داده شود، آن خط، مرزهای بلوک را فقط دو بار قطع خواهد کرد (شکل ۱).



شکل ۱) انواع بلوک‌ها: الف) بلوک مقعر، ب) بلوک محدب.

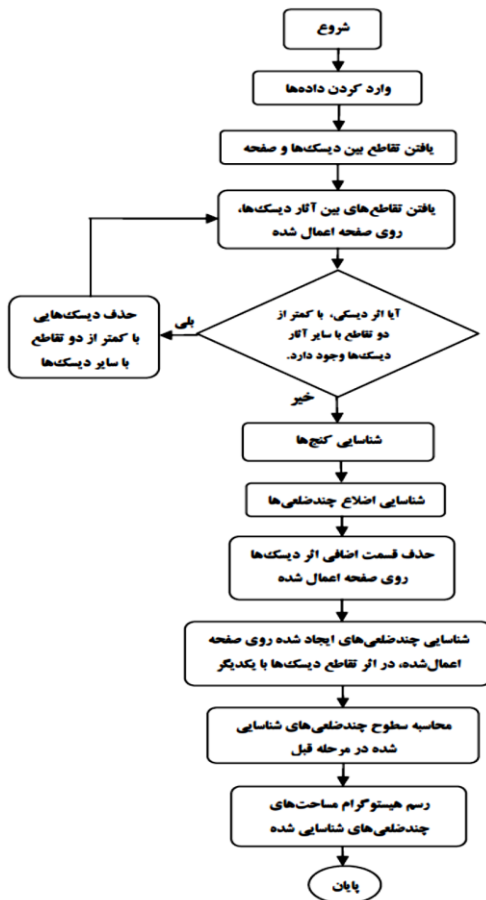
الگوریتم BGL^{۱۱} هلیوت^{۱۲} [۱۲] نیز فقط محدود به شناسایی بلوک‌های مقعر بود. روش هلیوت برای کدنویسی از پیچیدگی کمتری برخوردار است. با در نظر گرفتن مدل با تداوم نامحدود برای ناپیوستگی‌ها، تاثیر آن‌ها به طور کلی بزرگ‌نمایی می‌شود و تحلیل‌هایی که بر این اساس در مورد ساختارهای سنگی می‌شود، بعضاً جواب‌های کاملاً متفاوت با واقعیت می‌دهند. به عبارت دیگر، با در نظر گرفتن مدلی با تداوم محدود برای ناپیوستگی‌ها، جوابی که از سیستم‌های تحلیلی گرفته می‌شود، می‌تواند کاملاً با جواب‌هایی که با نامحدود در نظر گرفتن تداوم ناپیوستگی‌ها به دست می‌آید، متفاوت باشد. لین^{۱۴} و همکارانش الگوریتمی برای شناسایی بلوک‌ها ارائه کردند که براساس مفاهیم ریخت‌شناختی استوار بود [۱۳]. مفاهیم ریخت‌شناختی توسط جینگ^{۱۵} - استافنسون^{۱۶} [۲] و استافنسون - جینگ [۱۴] نیز برای شناسایی و مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی ناپیوستگی‌ها استفاده شد. البته جینگ از مدل ریخت‌شناختی مرکب برای شناسایی بلوک‌ها استفاده کرده است. در روش ریخت‌شناختی مرکب، ناپیوستگی‌ها به صورت صفحه‌ای و با تداوم محدود در نظر گرفته می‌شوند. هادسون و ایکی‌گاوا^{۱۷} نیز مدلی بر مبنای محدود گرفتن تداوم ناپیوستگی‌ها ارائه کردند. روش آن‌ها نیز مبتنی بر مبانی مفاهیم ریخت‌شناختی بود. چنین روش‌هایی توسط اونیشی^{۱۸} و همکاران [۱۶-۱۵] و لو^{۱۹} [۱۷] به کار گرفته شده است. در روش‌های بالا تمامی ناپیوستگی‌ها، چه آن‌ها که در تشکیل بلوک‌ها شرکت دارند و چه آن‌ها که در تشکیل بلوک‌ها شرکت ندارند، مورد تحلیل قرار می‌گیرند. این تفاوتی است که بین الگوریتم BGL و روش‌های بالا وجود دارد.

در روش برنامه تولید بلوک (BGL)، تنها ناپیوستگی‌هایی مورد توجه قرار می‌گیرند که حتماً در تشکیل بلوک‌ها شرکت دارند.

ناپیوستگی‌ها به‌عنوان سطوح ضعف در توده سنگ شناخته شده‌اند. رفتارهای مکانیکی، دینامیکی و هیدرولیکی یک توده سنگ درزه‌دار متأثر از شبکه ناپیوستگی‌ها است. محققین زیادی در مورد مدل‌سازی سیستم‌های ناپیوستگی توده‌سنگ مطالعه کرده‌اند. به‌طور کلی، این قبیل مدل‌ها مبتنی بر سه روش اصلی هندسی، مکانیکی و احتمالاتی است.

یک سیستم سه‌بعدی توده سنگ، متشکل از تعداد زیادی بلوک‌های سنگی کوچکتر با شکل هندسی پیچیده است که توسط صفحات ساختاری زمین‌شناسی که در واقع فصل‌مشترک بین بلوک‌های سنگی است، از یکدیگر جدا شده و مشخصات هندسی آن‌ها به راحتی قابل انطباق با اشکال هندسی معمول نیست. تحلیل پیوسته مکانیک سنگی یک توده سنگ نیاز به اطلاعات کاملی از ساختار و همچنین شناسایی کامل بلوک‌های تشکیل دهنده‌ی توده سنگ دارد. به‌طور کلی، شناسایی بلوک‌ها در یک توده سنگ، به‌طور چشمی، کاری غیرممکن است. بنابراین، با به‌کارگیری روش‌های کامپیوتری برای شناسایی بلوک‌های سنگی، ابزار لازم برای تحلیل مکانیکی سیستم سنگی که شامل داده‌های پیچیده ریخت‌شناختی^۱ و هندسی باشد، در اختیار کاربر قرار می‌گیرد [۴-۱].

شبیه‌سازی و بررسی بلوک‌های سنگی، با اشکال هندسی چندوجهی‌های منظم توسط پرپارتا^۲ و شاموس^۳ مورد توجه قرار گرفته است [۵]. پس از آن توزیع پواسون حاکم بر صفحات تصادفی محدود ناپیوستگی‌ها، به‌طور وسیعی توسط میلز^۴ [۶] و بارلت^۵ [۷] مورد بررسی قرار گرفت. در کارهای بعدی، هادسون^۶ و پریست^۷ [۸-۹] و همچنین بیچر^۸ [۱۰]، با مطالعه نمایش استرونتی ناپیوستگی‌ها به مدلی با تداوم^۹ محدود^{۱۰}، مانند صفحات مربعی و دیسکی برای مدل کردن ناپیوستگی‌ها رسیدند. واربارتن^{۱۱} [۱۱] الگوریتمی برای شناسایی بلوک‌ها ارائه کرد که در آن ناپیوستگی‌ها را به صورت صفحات با گسترش بی‌نهایت در نظر گرفت. در این روش تاثیرات ناشی از محدود بودن تداوم ناپیوستگی‌ها مورد توجه قرار نمی‌گیرد. الگوریتم ساده واربارتن، قادر به تشخیص بلوک‌های مقعر نبود و فقط بلوک‌های محدب را شناسایی می‌کرد. بلوک‌های مقعر، بلوک‌هایی هستند که اگر خطی از آن‌ها عبور داده شود، آن خط، بلوک را در بیش از دو نقطه قطع خواهد کرد، ولی بلوک‌های محدب، بلوک‌هایی هستند که اگر از آن‌ها خطی



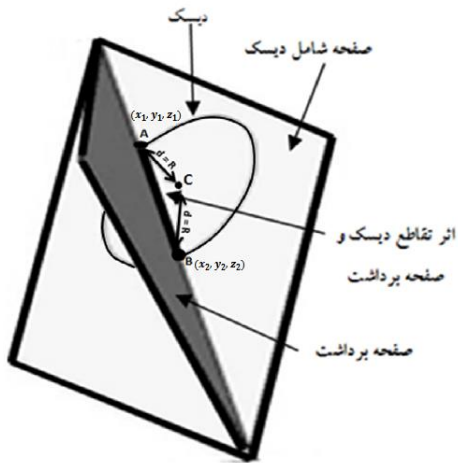
شکل ۲: روندنمایی برنامه

در فرایند مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های با تداوم محدود، از مدل با تداوم محدود بیچر استفاده شده است. با به کارگیری مدل با تداوم نامحدود، فرایند مدل‌سازی به سادگی امکان‌پذیر است، زیرا در این حالت هر ناپیوستگی به صورت یک صفحه مستوی با تداوم نامحدود در نظر گرفته می‌شود که کار با معادلات مربوط به آن، ساده است. ولی با استفاده از مدل‌های با تداوم نامحدود، فرایند مدل‌سازی قادر به مدل کردن ناپیوستگی‌هایی که مرزهای مدل را قطع نکرده‌اند، نیست. همچنین مدل کردن ناپیوستگی‌ها با مدل‌های با تداوم نامحدود به دور از واقعیت و شرایط طبیعی توده سنگ‌ها است.

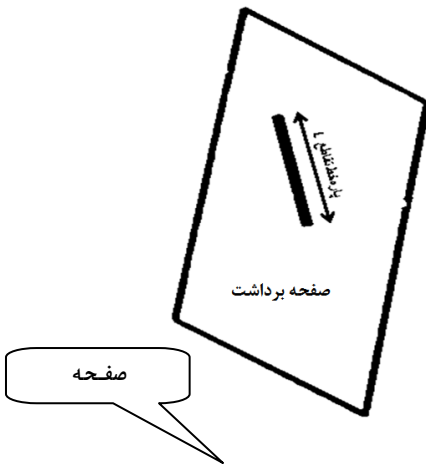
هر چند با بهره‌گیری از مدل‌های با تداوم محدود، فرایند مدل کردن ناپیوستگی‌ها بسیار مشکل می‌شود ولی در عوض، فرایند مدل‌سازی قادر به مدل کردن ناپیوستگی‌هایی است که با واقعیت توده سنگ تطابق بیشتری دارد. در مدل با تداوم محدود پیشنهادی توسط بیچر، ناپیوستگی‌ها به صورت دیسک‌هایی مدل می‌شوند. در این مقاله برای شناسایی بلوک‌های دوبعدی، از روش مبتنی بر مفاهیم ریخت‌شناختی پیشنهادی توسط لین و همکاران استفاده شده است [۱۳]. هدف این کار، ایجاد یک ابزار مدل‌سازی است تا قادر به شناسایی فصل مشترک تقاطع بلوک‌ها با صفحه‌ای دلخواه باشد و به عبارت دیگر در این مرحله به مدل‌سازی دوبعدی چندضلعی‌های بلوک‌ها که دارای ساختار پیچیده زمین‌شناسی و ریخت‌شناختی است، پرداخته می‌شود. پس از شناسایی چندضلعی‌های بلوک‌ها، سطوح چندضلعی‌ها محاسبه شده و در نهایت، هیستوگرام فراوانی سطوح چندضلعی‌ها ترسیم می‌شود. به منظور اجرای این الگوریتم، از نرم‌افزار MATLAB، استفاده شده است [۱۸]. از مهم‌ترین نقاط قوت کار انجام پذیرفته در این مقاله، مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها توسط مدل محدود دیسکی بوده که در این حالت شرایط مدل‌سازی انطباق بالایی با شرایط صحرایی پیدا کرده و در نتیجه فرایند مدل‌سازی قابل اعتمادتر از سایر مدل‌ها، خواهد بود. از سوی دیگر مهم‌ترین عامل منفی در این نوع مدل‌سازی، کار با روابط ریاضی بیشتر و پیچیده‌تر بوده که هم فرایند طراحی الگوریتم را سخت‌تر و هم زمان اجرای آن را بیشتر می‌کند.

۲- الگوریتم کلی برنامه

الگوریتمی که برای شناسایی چندضلعی‌های بلوکی و همچنین محاسبه مساحت‌های آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته، به ترتیب در ادامه آمده است. در شکل (۲)، فلوچارت کلی الگوریتم ارائه شده است.



شکل ۴: تقاطع صفحه شامل دیسک با صفحه برداشت



شکل ۵: پاره خط حاصل از تقاطع دیسک با صفحه برداشت

حال اگر در رابطه (۱)، جاگذاری‌های زیر انجام شود:

$$d = R \quad (2)$$

$$x_2 = x_0 + u_x * t \quad (3)$$

$$y_2 = y_0 + u_y * t \quad (4)$$

$$z_2 = z_0 + u_z * t \quad (5)$$

$$C = (x_1, y_1, z_1) \quad (6)$$

که در آن

R : شعاع دیسک

(x_2, y_2, z_2) : معادلات پارامتری خط تقاطع در فضا

C : مختصات مرکز دیسک

(u_x, u_y, u_z) : بردار فضایی موازی خط

در رابطه (۲)، فاصله ارائه شده در رابطه (۱)، برابر با شعاع دیسک، قرار داده می‌شود. روابط (۳) تا (۵)، معادله پارامتری خط است که در رابطه (۱) قرار داده می‌شود، زیرا نقطه‌ی دوم، نقطه‌ای است که بر روی خط حاصل از تقاطع صفحه شامل

طول و عرض صفحه‌ای است که می‌بایست با دیسک‌ها قطع داده شود.

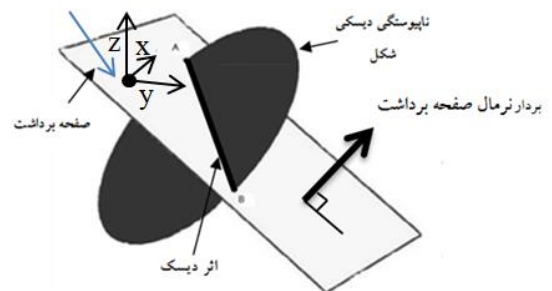
۲-۲- یافتن تقاطع‌های بین دیسک‌ها و صفحه

از تقاطع یک دیسک با یک صفحه، یک پاره‌خط تشکیل می‌شود (شکل ۳) و هر پاره‌خط نیز با مختصات ابتدایی و انتهایی خود مشخص می‌شود. بنابراین، در این برنامه ابتدا ماتریسی برای ذخیره کردن نقاط ابتدایی و انتهایی پاره‌خط‌ها در نظر گرفته می‌شود. این ماتریس به تعداد دیسک‌ها دارای سطر است. برای یافتن دو نقطه تشکیل دهنده پاره‌خط، از خصوصیات این دو نقطه که در ادامه آمده استفاده می‌شود:

(۱) این دو نقطه روی خط حاصل از تقاطع صفحه‌ی شامل دیسک با صفحه اعمال شده بر ناپیوستگی‌ها قرار دارد؛
(۲) فاصله‌ی این نقاط از مرکز دیسک، برابر با شعاع دیسک‌ها است.

نقطه فرضی $(0,0,0)$ که صفحه برداشت

می‌بایست با تعریف کاربرد از آن عبور نماید.



شکل ۳: تقاطع صفحه با دیسک در فضا (AB)، پاره‌خط ایجاد شده در اثر تقاطع).

برای شروع کار، به جای قطع دادن دیسک با صفحه، صفحه‌ای که دیسک شامل آن است، با صفحه قطع داده می‌شود (شکل ۴). بنابراین به جای یک پاره‌خط، یک خط به وجود خواهد آمد که پاره‌خط جزئی از آن است (شکل ۵). حال برای یافتن مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی طول اثر، به صورتی که در ادامه می‌آید، عمل می‌شود. رابطه تعیین فاصله دو نقطه در فضا به صورت رابطه (۱) است:

$$d = \sqrt{((x_2 - x_1)(y_2 - y_1)(z_2 - z_1))} \quad (1)$$

که در آن

d : فاصله فضایی نقاط از یکدیگر

(x_1, y_1, z_1) : مختصات نقطه اول

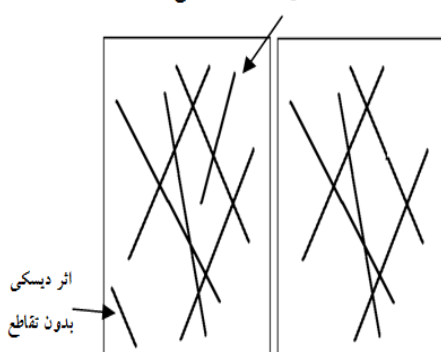
(x_2, y_2, z_2) : مختصات نقطه دوم

شکل ۶: حذف پاره خطی با کمتر از دو تقاطع روی صفحه برداشت

۲-۳- یافتن تقاطع‌های بین آثار دیسک‌ها روی صفحه

در این مرحله، ابتدا برنامه، ماتریسی را برای ذخیره نقاط تقاطع هر پاره‌خط با سایر پاره‌خط‌ها ایجاد می‌کند. تعداد سطرهای این ماتریس به تعداد دیسک‌ها است. در هر سطر از این ماتریس، پارامتر نقطه تقاطع پاره‌خط با سایر پاره‌خط‌ها، در هر ستون قرار می‌گیرد. این ماتریس، در واقع همان ماتریس کنج‌ها^{۲۰} است.

اثر دیسکی با کمتر از دو تقاطع



شکل ۷: حذف قسمت‌های اضافی پاره‌خط‌ها که در تشکیل

چندضلعی‌ها نقشی ندارند

برای یافتن نقاط تقاطع هر پاره‌خط با سایر پاره‌خط‌ها، هر پاره‌خط به صورت یک خط کامل در نظر گرفته می‌شود. بنابراین دو خط با هم قطع داده شده و پارامتر نقطه تقاطع به دست می‌آید. این مقدار پارامتر، با مقادیر پارامترهای مربوط به نقاط ابتدایی و انتهایی دو پاره‌خط قطع داده شده، مقایسه می‌شود و اگر بین آن‌ها قرار گیرد، به‌عنوان نقطه تقاطع بین دو پاره‌خط در نظر گرفته می‌شود. این روند برای تمامی پاره‌خط‌ها تکرار شده و در نهایت ماتریس کنج‌ها کامل می‌شود.

اگر معادله خط L_1 و L_2 به ترتیب با روابط (۱۳) و (۱۴) مشخص شود، آنگاه داریم:

$$\begin{cases} x_1 = x_{01} + a_1 t_1 \\ y_1 = y_{01} + b_1 t_1 \\ z_1 = z_{01} + c_1 t_1 \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} x_2 = x_{02} + a_2 t_2 \\ y_2 = y_{02} + b_2 t_2 \\ z_2 = z_{02} + c_2 t_2 \end{cases} \quad (14)$$

برای یافتن نقطه تقاطع بین دو خط، معادلات دو خط نظیر به نظیر با هم مساوی قرار داده می‌شود. در ادامه رابطه (۱۵) به دست می‌آید:

دیسک با صفحه برداشت است. رابطه (۶) نشان‌دهنده مختصات مرکز دیسک است. با جاگذاری روابط (۲) تا (۶) در رابطه (۱) و ساده‌سازی‌های انجام گرفته، رابطه (۷) به دست خواهد آمد که فرم عمومی معادله جبری درجه دو است.

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (7)$$

در رابطه (۷)، ضرایب به صورت روابط پایین تعریف می‌شوند:

$$a = u_x^2 + u_y^2 + u_z^2 \quad (8)$$

$$b = 2 \times (u \cdot D) \quad (9)$$

$$c = D^2 - R^2 \quad (10)$$

$$D = L - C \quad (11)$$

a در رابطه (۷)، مجذور بزرگی بردار موازی خط فصل‌مشترک تقاطع صفحه‌ی شامل دیسک (u)، با صفحه برداشت می‌باشد که در رابطه (۱۲) به صورت حاصل ضرب خارجی بردارهای نرمال دو صفحه پیش‌گفته، تعریف می‌شود:

$$u = N_1 \times N_2 \quad (12)$$

که در آن

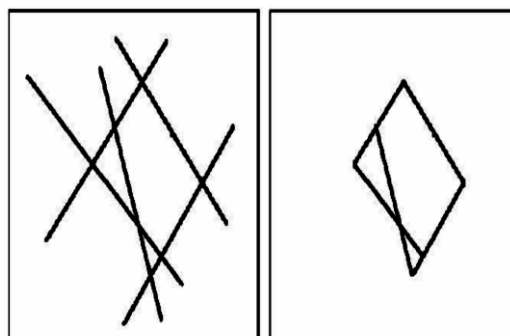
u : بردار موازی خط فصل‌مشترک تقاطع صفحه‌ی شامل

دیسک (u)، با صفحه برداشت

N_1 : بردار نرمال صفحه شامل دیسک

N_2 : بردار نرمال صفحه برداشت

ضریب b در رابطه (۹)، دو برابر حاصل ضرب داخلی بردار u و D می‌باشد. D ، به صورت تفاضل مختصات نقطه‌ای دلخواه روی خط تقاطع L و مختصات مرکز C ، به دست می‌آید (رابطه ۱۱). ضریب c ، به صورت تفاضل مجذور مقادیر اندازه بردار D و شعاع دیسک، تعریف می‌شود (رابطه ۱۰). با حل معادله (۷)، در صورت وجود تقاطع بین دیسک و صفحه، دو عدد به دست خواهد آمد. این اعداد در واقع، مقدار پارامترهای مربوط به نقاط ابتدا و انتهای پاره‌خط حاصل از تقاطع دیسک با صفحه می‌باشد. این روند برای کلیه دیسک‌ها تکرار می‌شود تا تمامی آثار دیسک‌ها با صفحه پیدا شده و در ماتریس پاره‌خط‌ها ذخیره شود.



شکل ۸: داده‌های ورودی به برنامه جهت ایجاد مدل

$$\begin{cases} x_{02} + a_2 t_2 = x_{01} + a_1 t_1 \\ y_{02} + b_2 t_2 = y_{01} + b_1 t_1 \\ z_{02} + c_2 t_2 = z_{01} + c_1 t_1 \end{cases} \quad (15)$$

با مرتب کردن رابطه (۱۵) دستگاه معادلاتی به صورت رابطه (۱۶) به دست می‌آید:

$$\begin{cases} a_2 t_2 - a_1 t_1 = (x_{01} - x_{02}) \\ b_2 t_2 - b_1 t_1 = (y_{01} - y_{02}) \\ c_2 t_2 - c_1 t_1 = (z_{01} - z_{02}) \end{cases} \quad (16)$$

با انتخاب هر جفت از معادلات بالا و حل دستگاه معادلات دو معادله و دو مجهول مقادیر t_1 و t_2 به دست می‌آید که در حقیقت همان پارامترهای نقطه تقاطع روی دو خط متقاطع است.

۲-۴- حذف پاره‌خط‌هایی با کمتر از دو تقاطع

پاره‌خط‌هایی که کمتر از دو تقاطع دارند، چون در تشکیل چندضلعی‌ها هیچ نقشی ندارند، می‌بایست در فرآیند شناسایی چندضلعی‌ها حذف شوند. برای این کار برنامه با شمردن تعداد تقاطعات هر پاره‌خط، در هر سطر، آن پاره‌خط‌هایی که کمتر از دو تقاطع دارند، شناسایی کرده و حذف می‌کند.

۲-۵- حذف قسمت‌های اضافی پاره‌خط‌ها

قسمتی از پاره‌خط‌ها که به‌عنوان اضلاع چندضلعی‌ها ایفای نقش نمی‌کنند نیز می‌بایست حذف شوند. برای این منظور ابتدا پارامترهای تقاطعات هر پاره‌خط، در هر سطر، به‌صورت صعودی مرتب شده و سپس هر پاره‌خط، در بین اولین و آخرین نقطه تقاطع خود، ترسیم می‌شود. با مرتب کردن پارامترهای نقاط تقاطع در هر سطر، در واقع، دو کنج متوالی که تشکیل یک ضلع را نیز می‌دهند مشخص می‌شود. به عبارت دیگر ماتریس کنج‌هایی که آرایه‌های آن در هر سطر مرتب شده، همان ماتریس اضلاع^{۲۱} نیز است.

شماره دیسک‌ها	شعاع	مرکز دیسک‌ها	نرمال دیسک‌ها			
1	22	1	1	0	0	1
2	25	4	4	0	0	1
3	24	7	7	0	0	1
4	28	10	10	0	0	1
5	32	14	14	0	0	1
6	22	1	1	0	1	0
7	25	4	4	0	1	0
8	24	7	7	0	1	0
9	28	10	10	0	1	0
10	32	14	14	0	1	0
11	22	1	1	1	1	1
12	25	4	4	1	1	1
13	24	7	7	1	1	1
14	28	10	10	1	1	1
15	32	14	14	1	1	1

۲-۶- شناسایی چندضلعی‌ها
برای شروع فرآیند شناسایی چندضلعی‌ها، ابتدا برنامه، اقدام به ایجاد دو ماتریس می‌کند. ماتریس اول، ماتریسی است که می‌بایست کنج‌های چند ضلعی‌های شناسایی شده، در آن ذخیره شود. ماتریس دوم ماتریسی است که تحت عنوان ماتریس جهت‌داری اضلاع نامیده می‌شود. درایه‌های این ماتریس، اعداد دو می‌باشند که به هر دو کنج متوالی در ماتریس کنج‌ها نسبت داده می‌شود. به عبارت دیگر به ازای هر ضلع شناسایی شده یک عدد دو در ماتریس اضلاع نسبت داده می‌شود. مفهوم عدد دو نسبت داده شده به هر ضلع این است که از هر ضلع می‌توان تنها دو بار استفاده کرد. یک بار از نقطه ابتدایی آن به نقطه‌ی انتهایی و بار دیگر از انتهای آن به ابتدا می‌توان استفاده کرد. اگر از ضلع، در جهت ابتدا به انتها، استفاده شود، عدد ۲ به (۱-) و در غیر این صورت به ۱ تبدیل می‌شود. در مرحله بعد این عدد به صفر تبدیل می‌شود.

ابتدا اولین درایه غیر صفر ماتریس جهت‌داری انتخاب می‌شود. سپس کنج‌هایی که این درایه به آن‌ها نسبت داده شده، به‌عنوان اولین ضلع شناسایی شده از اولین چندضلعی، در ماتریس چندضلعی‌ها قرار داده می‌شوند. در مرحله بعد کنج‌هایی که از آخرین کنج شناسایی شده برای چندضلعی، می‌توان به آن‌ها رفت، شناسایی می‌شود. سپس زاویه پادساعت‌گرد بین ضلع شناسایی شده چندضلعی با اضلاعی که می‌توانند به‌عنوان ضلع بعدی انتخاب شوند، یافت می‌شود. آنگاه ضلعی که بزرگترین زاویه را می‌سازد، به‌عنوان ضلع بعدی چندضلعی انتخاب می‌شود. این فرآیند تا شناسایی کلیه چندضلعی ادامه می‌یابد. چون زاویه ضلع بعدی نسبت به ضلع اولیه به صورت پادساعت‌گرد لحاظ شده با توجه به شکل زیر می‌توان دید که ضلع بعدی تشکیل دهنده‌ی چند ضلعی بزرگترین زاویه پادساعت‌گرد را با ضلع اولیه ایجاد می‌کند. (شکل ۹)

۱. نمودارها

۲. ماتریس ها

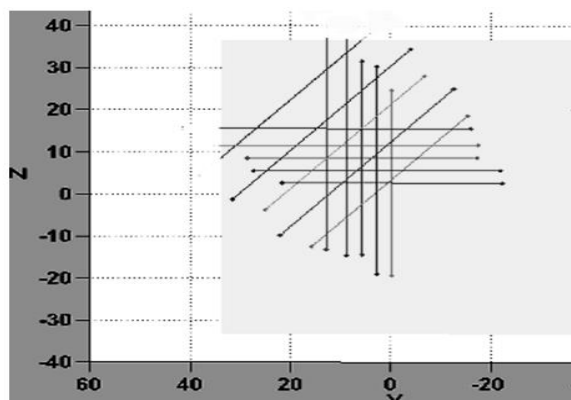
۲-۹-۱- نمودارها

برنامه، پلات های مختلفی را ارائه می کند که در ادامه، توضیح آن ها آمده است:

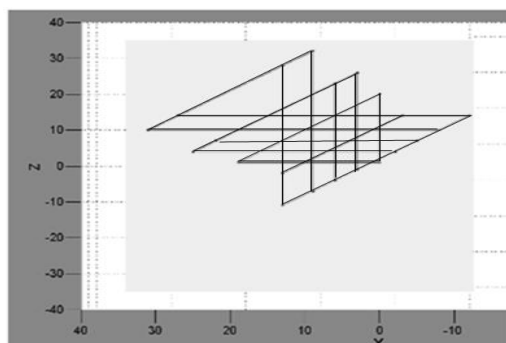
۱. ترسیم پاره خط های حاصل از تقاطع صفحه با دیسک ها (شکل ۱۰)؛

۲. ترسیم پاره خط ها بعد از حذف پاره خط هایی با کمتر از دو تقاطع؛

۳. ترسیم پاره خط ها بعد از حذف قسمت های اضافی پاره خط ها (شکل ۱۱).

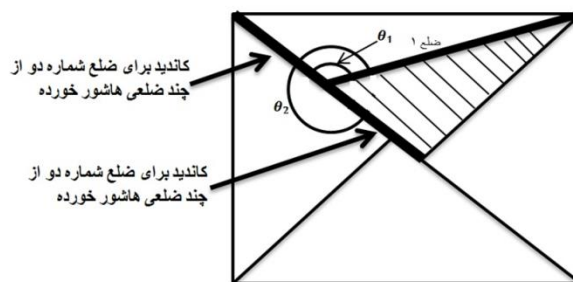


شکل ۱۰: ترسیم پاره خط های حاصل از تقاطع صفحه برداشت با دیسک ها



شکل ۹: ترسیم پاره خط ها بعد از حذف قسمت های اضافی

DIP	Dip Direction		
0	0	1	مقطع های دانه درزه اول
0	0	2	
0	0	3	
0	0	4	
0	0	5	
90	270	6	مقطع های دانه درزه دوم
90	270	7	
90	270	8	
90	270	9	
90	270	10	مقطع های دانه درزه سوم
45	45	11	
45	45	12	
45	45	13	
45	45	14	
45	45	15	



شکل ۹: فرایند شناسایی اضلاع متوالی در یک چندضلعی

همانطور که در شکل بالا مشاهده می شود برای شناسایی چندضلعی هاشور خورده، بعد از ضلع ۱، از کنج انتهایی آن دو می توان به دو سمت بالا و پایین حرکت کرد که اگر ملاک چرخش پادساعتگرد باشد می بایست ضلعی را انتخاب کرد که بزرگترین زاویه را می سازد. که البته با تغییر متناسب معیارهای شناسایی با عکس شرایط بالا نیز می توان به شناسایی چند ضلعی ها رسید.

۲-۷- محاسبه مساحت چند ضلعی ها

برای محاسبه مساحت چندضلعی ها از رابطه (۱۷) استفاده شده است [۱۹]:

$$A(\Omega) = \frac{nt}{2} \sum_{i=0}^{nt-1} (PV_i \times PV_{i+1}) \quad (17)$$

که در آن

nt : تعداد کنج های تشکیل دهنده ی چندضلعی

P : مختصات نقطه ای دلخواه خارج از صفحه ای که چندضلعی در آن قرار دارد.

V_i : مختصات کنج i ام

PV : بردار تفاضل بردار V از بردار P

۲-۸- ترسیم هیستوگرام

در آخرین مرحله از فرآیند، برنامه اقدام به رسم هیستوگرام مساحت های چندضلعی های ایجاد شده می کند. هیستوگرام به کاربر اجازه بررسی سریع نتایج کار را می دهد و کاربر در کمترین زمان ممکن به بیشترین اطلاعات مطلوب دسترسی پیدا می کند.

۲-۹- خروجی های برنامه

خروجی های برنامه را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

سه ستون اول، مربوط به مختصات نقطه‌ی ابتدایی پاره‌خط و سه ستون دوم، مربوط به مختصات نقطه‌ی انتهایی پاره‌خط می‌باشد. ستون آخر، شماره دیسک را نشان می‌دهد.

۲. ماتریس تقاطع‌های پاره‌خط‌ها با یکدیگر (ماتریس کنج‌ها).

درایه‌های ماتریس شکل (۱۵)، در هر سطر نشان‌دهنده‌ی پارامتر نقاط تقاطع روی هر پاره‌خط است. اعداد ده نشان داده شده، متعلق به زمینه ماتریس بوده و مربوط به نقاط تقاطع نیست. برای به دست آوردن مختصات نقاط تقاطع، کافی است پارامتر هر نقطه در معادله مربوط به هر پاره‌خط قرار گیرد.

ماتریس پارامترهای تقاطع تقاطع پاره‌خط‌ها						
پارامترهای نقطه تقاطع پاره‌خط اول با سایر پاره‌خط‌ها	-20	-14	-11	-10	-7	...
پارامترهای نقطه تقاطع پاره‌خط دوم با سایر پاره‌خط‌ها	-26	-17	-14	-10	-8	...
پارامترهای نقاط تقاطع پاره‌خط سوم با سایر پاره‌خط‌ها	-23	-14	-10	-7	-6	...
پارامترهای نقاط تقاطع پاره‌خط دوم با سایر پاره‌خط‌ها	-32	-20	-14	-11	-10	...
پارامترهای نقاط تقاطع پاره‌خط سوم با سایر پاره‌خط‌ها	-28	-16	-14	-10	-7	...
.	1	2	4	7	10	...
.	-1	1	4	7	8	...
.	-4	1	4	6	7	...
.	-7	1	2	4	7	...
.	-11	-2	1	4	7	...
.	-12.5	-8.5	-5.5	-2.5	-0.5	...
.	-8	-5	-4	-2	-1	...
.	-9.6	-6.6	-3.6	-0.6	0.6	...
.	-11	-8	-5	-1	1	...
.	-11	-7	7	0	0	...

شکل ۱۳: ماتریس تقاطع‌های پاره‌خط‌ها با یکدیگر.

۳. ماتریس چندضلعی‌ها: شامل کنج‌های تشکیل‌دهنده‌ی چندضلعی‌ها است.

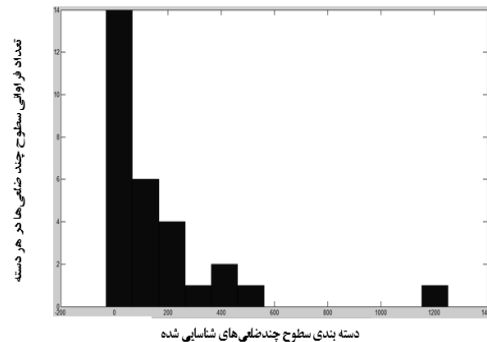
ماتریس چندضلعی‌ها در هر سطر شامل کنج‌های مربوط به چندضلعی‌های شناسایی شده است. کنج‌ها در هر سطر، با شماره‌هایی که با آن‌ها نام گذاری شده‌اند، مشخص می‌شوند.

۳- اعتبارسنجی نتایج

به منظور بررسی میزان صحت عملکرد الگوریتم پیشنهادی و نرم‌افزار تهیه شده بر اساس آن، نتایج الگوریتم با نتایج از دو نرم‌افزار مطرح در مطالعات مهندسی شامل Swedge و AutoCAD مقایسه شدند. هر چند که نرم‌افزار Swedge قادر به محاسبه مساحت نیست ولی می‌تواند وزن گوه را محاسبه کند. با محاسبه وزن گوه و معلوم بودن ارتفاع گوه و چگالی سنگ، مساحت سطح بالایی گوه محاسبه می‌شود. بدین منظور با توجه به مشخصات فرضی یک گوه به مقایسه نتایج آن با نرم‌افزار تهیه شده پرداخته شد.

۳-۱- اعتبارسنجی نتایج با استفاده از نرم‌افزار AutoCad

شکل ۱۰: جهت و اندازه شیب درزه‌های مدل شده شکل ۸. ترسیم هیستوگرام‌ها، برنامه بعد از محاسبه‌ی سطح چندضلعی‌ها، هیستوگرام مربوط به سطوح را ترسیم می‌کند. در این مرحله برنامه دو نوع هیستوگرام ترسیم می‌کند. در هیستوگرام نوع اول، محور قائم، تعداد فراوانی سطوح چندضلعی‌ها را نشان می‌دهد که در هر دسته قرار می‌گیرند (شکل ۱۳). در نوع هیستوگرام نوع دوم، محور قائم، نشان‌دهنده‌ی درصد فراوانی مربوط به هر دسته سطوح است.



شکل ۱۱: هیستوگرام تعداد فراوانی‌های داده‌های مربوط به مساحت‌های چندضلعی‌های شناسایی شده

۲-۹-۲- ماتریس‌ها

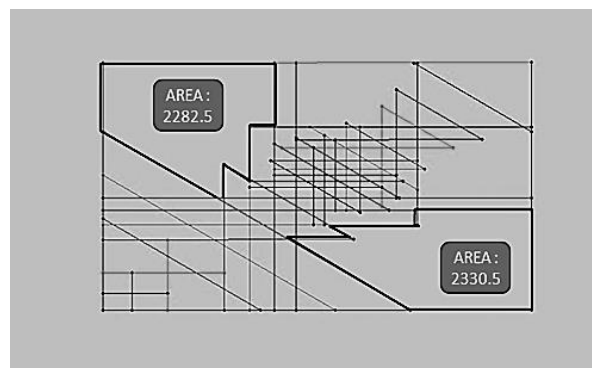
برنامه، خروجی‌هایی نیز به صورت ماتریس دارد. این ماتریس‌ها در مراحل مختلف در صفحه نمایش به تصویر کشیده می‌شوند. ۱. ماتریس پاره‌خط‌ها: شامل مختصات ابتدایی و انتهایی تشکیل‌دهنده‌ی پاره‌خط‌هایی که در اثر تقاطع دیسک‌ها با صفحه ایجاد می‌شود، است. این ماتریس، همان‌طوری که در شکل (۱۴) نشان داده شده، دارای هفت ستون و به تعداد دیسک‌ها، دارای سطر می‌باشد.

	مختصات نقطه شروع			مختصات نقطه انتهایی		
0	20	1	0	1	1	1
0	26	4	0	-1	4	2
0	23	7	0	-4	7	3
0	32	10	0	-7	10	4
0	28	14	0	-11	14	5
0	1	1	0	1	20	6
0	4	-1	0	4	26	7
0	7	-4	0	7	23	8
0	10	-7	0	10	32	9
0	14	-11	0	14	28	10
0	14	-11	0	-11	14	11
0	14	-2	0	-2	14	12
0	20	1	0	1	20	13
0	26	4	0	4	26	14
0	32	10	0	10	32	15

شکل ۱۲: ماتریس پاره‌خط‌ها.

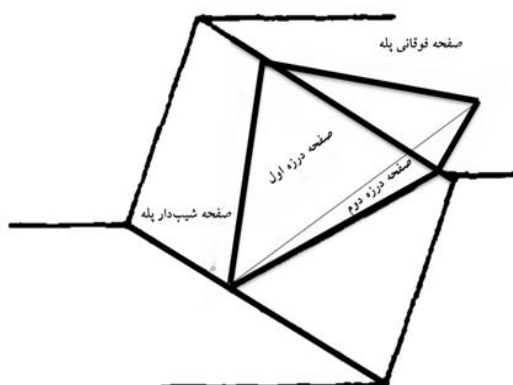
بصورت دستی اقدام به محاسبه سطوح آنها می‌گردد. این چندضلعی‌ها در اشکال ۱۵ و ۱۶ با پررنگ کردن اضلاعشان مشخص شده‌اند. بعد از اندازه‌گیری مساحت چندضلعی‌های ذکر شده، روی مدل باز تولید شده در اتوکد (شکل ۱۶)، مشاهده می‌شود که همان، مقادیری بدست می‌آید که توسط برنامه‌ی توسعه یافته، بدست آمده است. به عبارت دیگر مساحت‌های بدست آمده، به ترتیب برابر با 2282.5 و 2330.5 می‌باشد. بدین ترتیب، مشخص شد که مساحت‌های محاسبه شده توسط برنامه، دقت و صحت دارند.

برای این منظور، مدلی توسط برنامه طراحی شده، ایجاد می‌شود. این مدل مطابق شکل ۱۶، است.



شکل ۱۶: مدل ایجاد شده توسط برنامه توسعه یافته

۳-۲- اعتبارسنجی نتایج با استفاده از نرم‌افزار Swedge
برای انجام مقایسه، شیب و جهت شیب دو درزه که سطح پله‌ای را قطع کرده‌اند، به نرم‌افزار Swedge داده می‌شود. سپس با ورود اطلاعات مربوط به سطح شیب‌دار پله و سطح فوقانی پله و همچنین وزن مخصوص سنگ و ارتفاع گوه، نرم‌افزار Swedge اقدام به محاسبه وزن گوه می‌کند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸: شمای پله‌ای که داده‌های آن به نرم‌افزار Swedge داده شده است.

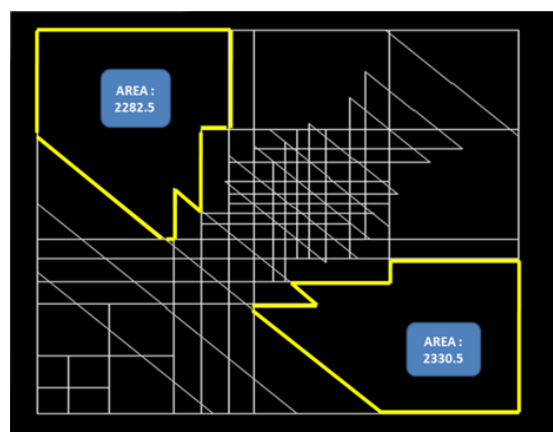
نرم‌افزار Swedge، قادر به محاسبه مساحت نیست ولی می‌تواند وزن گوه را محاسبه کند. برای این منظور، داده‌های ورودی به نرم‌افزار به صورت جدول (۲)، است.

جدول ۱: داده‌های ورودی به نرم‌افزار Swedge.

صفحات	شیب (درجه)	جهت شیب (درجه)
صفحه فوقانی پله	۰	۰
درزه اول	۴۵	۹۰
درزه دوم	۴۵	۱۸۰

همانطور که در شکل ۱۶، مشاهده می‌شود، به عنوان مثال، مساحت دو تا از بزرگترین چندضلعی‌های به وجود آمده و در شکل مرزهای آنها با رنگ مشکی مشخص شده، توسط برنامه محاسبه شده، روی شکل آورده شده است.

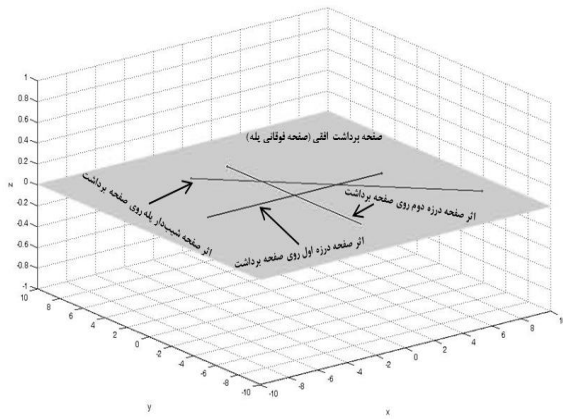
برنامه برای این دو چندضلعی، به ترتیب، مساحت‌های 2282.5 و 2330.5 را بدست آورده است. واحد این مساحت‌ها بستگی به واحد محورهای مختصات، دارد. در ادامه با توجه به اینکه مختصات دو انتهای پاره‌خط‌های شناسایی شده، توسط برنامه در اختیار کاربر قرار داده می‌شود، این مختصات وارد نرم‌افزار اتوکد شده و مدل تولیدی توسط برنامه در اتوکد باز تولید می‌شود که مشابه مدل تولید شده در برنامه توسعه یافته است (شکل ۱۷).



شکل ۱۷: مدل باز تولید شده در اتوکد

در ادامه از طریق نرم‌افزار اتوکد، برای مقایسه و اطمینان از صحت و دقت مساحت چندضلعی‌های شناسایی شده، برای نمونه دو عدد از چندضلعی‌ها به دلخواه انتخاب و با اتوکد

صفحه شیب دار پله	۴۵	۱۳۵
------------------	----	-----



شکل ۲۰: خروجی تصویری برنامه توسعه یافته برای داده‌های

ورودی جدول ۲.

مقایسه خروجی‌های دو نرم‌افزار پیش گفته، با مدل‌سازی انجام شده نشان داد که مساحت‌های چندضلعی‌های ایجاد شده حاصل از تقاطع ناپیوستگی‌ها، به‌طور کامل با هم برابرند. این مقایسه نشان داد که الگوریتم پیشنهادی قادر است ناپیوستگی‌های موجود در یک توده سنگ را مدل کرده و مساحت چندضلعی‌های حاصل از تقاطع آن‌ها را به درستی محاسبه کند.

جدول ۲: داده‌های ورودی به برنامه توسعه یافته

نرمال صفحه برداشت	[0 0 1]
نقطه‌ای دلخواه از صفحه برداشت	[0 0 0]
تعداد دیسک‌ها	3
داده‌های مربوط به دیسک‌ها	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 1; \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 2; \\ 1 & 1 & 1 & 2/92 & 0 & 0 & 8 & 3 \end{bmatrix}$
اندازه صفحه برداشت	3

۴- بحث

مطابق الگوریتم پیشنهادی، ناپیوستگی‌های یک توده سنگ به‌صورت سه بعدی مدل‌سازی می‌شوند. این مدل‌سازی بر اساس رویکرد قطعی^{۲۲} به مسئله است، بدین معنی که بایستی تعداد، موقعیت فضائی ناپیوستگی‌ها (به‌عنوان مثال مختصات مرکز آن‌ها)، شیب، امتداد و تداوم ناپیوستگی‌ها از قبل مشخص باشند. با وارد کردن این اطلاعات، نرم‌افزار شبکه ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ را مدل‌سازی می‌کند. به عنوان مثال می‌توان در دیواره یک تونل، ناپیوستگی‌ها را برداشت کرد و مشخصات آن‌ها را به نرم‌افزار داد. نرم‌افزار دقیقاً

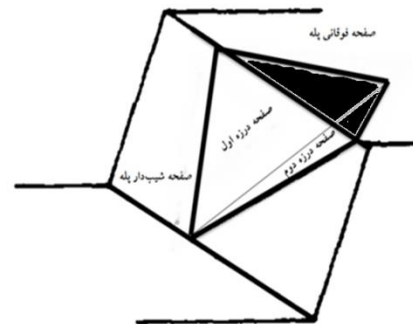
ارتفاع گوه و وزن مخصوص سنگ به ترتیب، ۵ متر و ۱ تن بر متر مکعب در نظر گرفته شده است. پس از وارد کردن داده‌ها و اجرای نرم افزار، وزن گوه به دست می‌آید. در این مثال، وزن محاسبه شده برابر با ۷/۱ تن، به دست می‌آید. برای به دست آوردن سطح گوه از وزن آن، ابتدا وزن آنرا بر وزن مخصوص تقسیم کرده، تا حجم آن به دست آید:

$$\text{حجم گوه} = \frac{\text{وزن گوه}}{\text{وزن مخصوص سنگ}} = \frac{7.1}{1} = 7.1$$

سپس با استفاده از رابطه زیر، مساحت قاعده گوه که با رنگ تیره در شکل ۱۹ نشان داده شده است، حساب می‌شود:

$$\text{مساحت گوه} = \frac{\text{حجم گوه} \times 3}{\text{ارتفاع گوه}} = \frac{3 \times 7.1}{5} = 4.26$$

مفهوم عدد بالا این است که مساحت قاعده گوه ایجاد شده در اثر تقاطع دو ناپیوستگی با یک پله مطابق شکل ۱۸ و ۱۹ برابر با ۴/۲۵ خواهد بود. حال در ادامه برای ایجاد چندضلعی مشخص شده در برنامه توسعه یافته، از داده‌های جدول ۲ استفاده می‌شود.



شکل ۱۹: مشخص کردن سطح قاعده گوه

با اجرای برنامه، شکل ۲۰ ایجاد شده و مساحتی که برای چندضلعی، به دست می‌دهد، برابر با عدد ۴/۲۶، خواهد بود که مطابقت کامل با نتیجه‌ای دارد که از طریق نرم‌افزار Swedge، به دست آمده است.

شکل ۲۲: ناپیوستگی‌ها در یک شیروانی سنگی.

همچنین با تعریف سطوح با جهت‌داری‌های مختلف در توده سنگ مدل‌سازی شده، درجه ناهمسانگردی توده سنگ را می‌توان به دست آورد. در معادن سنگ ساختمانی، برای تعیین جهت‌داری بهینه جبهه‌کار استخراجی (راستایی باید انتخاب شود که کمترین تقاطع با ناپیوستگی‌های طبیعی موجود در توده سنگ را داشته باشد) و به منظور تامین بیشترین بازدهی سنگ استخراجی، می‌توان از الگوریتم پیشنهادی استفاده کرد. در عوض برای تعیین بلوک‌بندی توده سنگ در مهندسی انفجار و همچنین مطالعات هیدرولیکی توده سنگ نمی‌توان از این روش استفاده کرد.

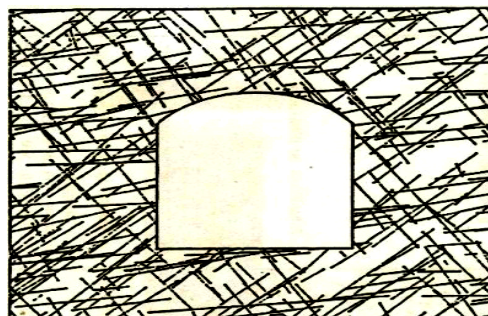
البته باید توجه نمود که در این کار اصل بر طراحی الگوریتم شناسایی بلوک‌ها بوده است و محیط پیاده‌سازی این الگوریتم می‌تواند هر محیط برنامه‌نویسی باشد. لذا با توجه به وسعت توابع و قابلیت‌های محاسباتی نرم‌افزار MATLAB، از محیط آن برای پیاده‌سازی الگوریتم استفاده شده است. ولی باید توجه شود که نرم‌افزار MATLAB در اصل به عنوان یک نرم‌افزار محاسباتی است و شاید نوشتن و تولید برنامه در محیط آن از وظایف ثانویه آن باشد که به همین دلیل امکاناتی که در دیگر نرم‌افزارها همانند مجموعه ویژوال استدیو می‌توان در دسترس داشت، در نرم‌افزار MATLAB نمی‌توان دید که بارزترین آن اجرای برنامه نوشته شده، در رایانه‌ای که برنامه MATLAB را نداشته باشد به سختی امکان پذیر است. ولی در حالت کلی با کنار گذاشتن محدودیت‌های تولید برنامه مستقل و قابل نصب در محیط MATLAB، قابلیت‌های محاسباتی و گرافیکی این نرم‌افزار، انجام و پیاده‌سازی الگوریتم فوق‌العاده پیچیده را در آن بسیار ساده نموده و استفاده از توابع از قبل تعریف شده پیشرفته ریاضی آن، تعداد خطوط کلی برنامه را بشدت کاهش می‌دهد که پیامد آن افزایش سرعت اجرای برنامه و کاهش فضای حافظه مصرفی و در نتیجه صرف زمان کوتاه‌تر برای حصول نتیجه نهایی، می‌باشد. از آنجایی که فرایند شناسایی چندضلعی‌ها فرایندی تکراری است، کم بودن تعداد خطوط برنامه تاثیر بسزایی در سرعت اجرا و زمان رسیدن به نتیجه نهایی دارد که از این حیث نرم‌افزار MATLAB به لحاظ پارامترهای بالا، کم نظیر است.

۵ - نتیجه‌گیری

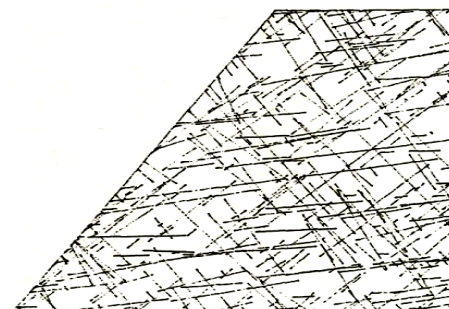
همان ناپیوستگی‌ها را با همان موقعیت فضایی مدل‌سازی می‌کند.

نکته‌ای که بایستی به آن توجه شود این است که قلمرو مدل‌سازی در الگوریتم پیشنهادی بایستی دوبعدی باشد، یعنی اینکه ناپیوستگی‌های مدل‌سازی شده در سه بعد، با یک صفحه، مانند یک سطح برداشت قطع داده شده و چندضلعی‌هایی که در اثر این تقاطع‌ها بر روی سطح برداشت به وجود می‌آیند، شناسایی و تعیین سطح می‌شوند. این درست همانند دیواره یک تونل است که توسط ناپیوستگی‌هایی قطع شده و تشکیل طول اثرها را می‌دهند و این طول اثرها ممکن است همدیگر را روی سطح دیواره تونل قطع کنند و چندضلعی‌هایی را به وجود بیاورند. محاسبه مساحت این گونه از چندضلعی‌ها، خروجی نرم‌افزار توسعه داده شده است.

با توجه به دوبعدی بودن قلمرو مدل‌سازی، الگوریتم توسعه یافته، قادر به شناسایی و محاسبه حجم بلوک‌های ناشی از تقاطع ناپیوستگی‌ها در سه بعد نیست. به‌طور قطع تعمیم و توسعه الگوریتم پیشنهادی برای حالت سه بعدی، کاربرد مدل‌سازی را به میزان زیادی بالا می‌برد. با این حال، مدل‌سازی دوبعدی نیز کاربردهای زیادی در مهندسی معدن و عمران دارد. در مسائل مربوط به پایداری تونل‌ها و شیروانی‌های سنگی و شناسایی بلوک‌های کلیدی، این مدل‌سازی می‌تواند کمک زیادی به تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری کند (شکل ۲۱ و ۲۲).



شکل ۲۱: ناپیوستگی‌های اطراف یک تونل.



نرم افزار توسعه داده شده که در محیط MATLAB تهیه شده است، ناپیوستگی‌های شبیه‌سازی شده را در قلمرو مدل‌سازی که از قبل مشخص شده است، رسم می‌کند و مساحت‌های چندضلعی‌های ایجاد شده را محاسبه و به صورت هیستوگرام به نمایش می‌گذارد؛

به منظور اطمینان از صحت الگوریتم پیشنهادی، دو دسته داده با نرم‌افزار تهیه شده، مورد پردازش قرار گرفتند و نتایج الگوریتم با نتایج حاصل از پردازش داده‌ها با نرم‌افزار Swedge و AutoCAD مورد مقایسه قرار گرفتند. مساحت‌های محاسبه شده توسط نرم‌افزار توسعه داده شده، به‌طور کامل با مساحت‌های به دست آمده از دو نرم‌افزار Swedge و AutoCAD یکسان است که نشان از اعتبار الگوریتم دارد؛

با توجه به دوبعدی بودن قلمرو مدل‌سازی، الگوریتم توسعه یافته، قادر به شناسایی و محاسبه حجم بلوک‌های ناشی از تقاطع ناپیوستگی‌ها در سه بعد نیست. با این وجود، مدل‌سازی دوبعدی نیز کاربردهای زیادی می‌تواند در مهندسی معدن و عمران داشته باشد. از جمله این کاربردها می‌توان به تحلیل پایداری تونل‌ها، شیروانی‌های سنگی، بهینه‌سازی استخراج سنگ‌های ساختمانی و تعیین ناهمسانگردی توده سنگ اشاره کرد.

[7] Bartlett M.S.; 1975; "The statistical analysis of spatial pattern" ; pp. 90, Chapman & Hall, London.

[8] Hudson J., Priest S.D.; 1979; "Discontinuities and rock mass geometry"; Int. J. Rock Mech Min Sci. & Geomech. Abstr; pp.:339-362.

[9] Priest S. D. and Hudson J. A.; 1976; "Discontinuity spacing in rock" ; Int. J. Rock Mech . Min. Sci. , 13, pp.: 135 – 148.

[10] Beacher G. B.; 1983; "Statistical Analysis of Rock Mass Fracturing. Mathematical Geology" ; Vol . 15 , No . 2.

[11] Warburton P.; 1989; "Application of a new computer model for reconstruction blocky block geometry analysis single block stability and identifying keystones" ; In: Proc 5th Int. Congress on Rock Mechanics, Melbourne, pp. 225-230.

[12] Heliot D.; 1988; "Generating a blocky rock mass"; Int. J. Rock Mech. Min. Sci.; pp. 127-138 .

[13] Lin D. & Fairhurst C. & Starfield A. M.; 1987; "Geometrical Identification of Three dimensional Rock Block Systems Using Topological Techniques"; Springer .

[14] Jing L.; 2000; "Block system construction for three-dimensional discrete element models of

در این تحقیق مراحل مختلف مدل‌سازی ناپیوستگی‌های موجود در یک توده سنگ شرح داده شده و بر اساس آن یک الگوریتم مدل‌سازی تهیه و ارائه شده است. فرضیات مدل‌سازی عبارتند از:

ناپیوستگی‌ها مسطح فرض می‌شوند؛

مدل‌سازی به صورت قطعی انجام می‌شود یعنی اینکه مختصات تمام ناپیوستگی‌ها بایستی از قبل تعیین شده باشد؛

هر ناپیوستگی با یک دیسک شامل مختصات مرکز، بردار نرمال و شعاع آن مدل می‌شود.

ویژگی‌های مدل‌سازی عبارتند از:

قلمرو مدل‌سازی دوبعدی است، بنابراین محاسبات در یک سطح انجام می‌شود؛

الگوریتم پیشنهادی توانایی شناسایی چندضلعی‌های محدب و مقعر را دارد؛

در الگوریتم توسعه داده شده، برحسب نیاز می‌توان ناپیوستگی‌هایی که شبکه کلی ناپیوستگی‌ها را قطع نمی‌کنند حذف کرد. این ویژگی در بعضی کاربردهای مهندسی مورد نیاز است. همچنین طول اثرهایی که در تشکیل چندضلعی‌ها هیچ نقشی ندارند قابل حذف می‌باشند. ممکن است قسمتی از یک ناپیوستگی در تشکیل یک چندضلعی نقش داشته باشد. در این صورت، قسمت‌های اضافی ناپیوستگی حذف خواهند شد؛

منابع

[1] Xu J. ; 1991; "Simulation statistique de discontinuités et évaluation de la blocometrie de massifs rocheux"; Ph.D. thesis; ENSMP.

[2] Jing L. , Stephansson O. ; 1994; "Topological identification of blocky assemblages for jointed rock masses"; Technical note. Int. J. Rock Mech & Geomech Abstr; vol. 31, No. 2, pp.:163-172.

[3] Dershowitz W., Einstein HH. ; 1988; "Characterizing rock joint geometry with system models" ; Rock Mech Rock Eng ; vol. 21, No. 1, pp. 21-51.

[4] Kulatilake P.S., Wangs S, Stephansson O. ; 1993; "Effect of finite-size joints on the deformability of jointed rock in 3-dimension"; Int. J. Rock Mech Min Sci and Geomech Abstr; vol. 30, No. 5, pp. 479-501.

[5] Preparata F. & Shomos M. I.; 1985; "Computational geometry: An introduction";, pp. 390, Springer-Verlag, Newyork.

[6] Miles R. E.; 1972; "The random division of space"; Adv. Appl. Probl. Suppl; pp. 243-266.

[17] Lu J.; 2002; "Systematic identification of polyhedral rock blocks with arbitrary joints and faults"; Computer and Geotechnics; vol. 29, pp. 49 – 72.
 [18] Hahn B. & Valentine D. T.; 2007; "Essential MATLAB For Engineers and Scientists" ; third edition , Elsevier .
 [19] Braden, B. ; 1986; "The Surveyor's Area Formula", The College Mathematics Journal, Vol 17, Number 4, pp.326–337.

fractured rock"; Int. J. Rock Mech & Geomech Abstr; vol. 37 , No. 4 , pp. 645-659.
 [15] Ohnishi Y, Yu Q.; 2001; "3D block analyses for fractured rock"; In Computer Methods and Advanced in geomechanics, Balkama: Rotterdam, pp. 577-580.
 [16] Yu Q., Ohnishi Y., Xue G., Chen D.; 2009; "A generalized procedure to identify three-dimensional rock blocks around complex excavation" ; Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. ; vol. 33, pp. 355-357.

پی‌نوشت

¹ Topology	۲
Preparata	۳
Shomos	۴
Miles	۵
Barlett	۶
Hudson	۷
Priest	۸
Beacher	۹
Persistence	۱۰
Bounded Development	۱۱
Warburton	۱۲
Block Generating Language	۱۳
Heliot	۱۴
Lin	۱۵
Jing	۱۶
Stephansson	۱۷
Ikikawa	۱۸
Ohnishi	۱۹
Lu	۲۰
vertices	۲۱
Edges	۲۲
Deterministic	