تحلیل وضعیت ناپیوستگی‌ها به روش مونت کارلو و مقایسه آن با محاسبات نرم افزار Dips (بررسی موردی: معادن سنگ سعیدی کرمان)

مجتبی ربیعی وزیری[۱]، شهرام شفیعی بافتی[*و۲] و وحید حسیبی[۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک سنگ ، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. استادیار زمین‌شناسی، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرند

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۰

چکیده

روش‌های آماری و احتمالاتی برای بررسی عدم اطمینان‌های موجود در داده‌ها و همچنین اعتبارسنجی جواب‌های به دست آمده از محاسبات به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه برای تعیین دقیق مختصات ناپیوستگی‌ها و اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از محاسبات نرم افزار Dips از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. دراین روش با در نظر گرفتن تمامی حالات ممکن برای متغیرها با تعیین تابع توزیع احتمالی و نمونه‌گیری از آن‌ها، تابع نهایی شبیه‌سازی شد. در این مطالعه از داده‌های مربوط به ناپیوستگی‌ها در معدن سنگ سعیدی استفاده گردید. در مرحله اول با استفاده از نرم افزار Dips دسته درزه‌های اصلی شناسایی شد وسپس برای محاسبه مختصات ناپیوستگی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای هر دسته درزه تعداد۵۰۰۰۰ داده تصادفی شیب و جهت شیب شبیه‌سازی گردید ودر مرحله نهایی با استفاده داده‌های شبیه‌سازی شده مشخصات آماری شیب و جهت شیب هر دسته درزه تعیین شد. نهایتاً نتایج شبیه‌سازی با نتایج حاصل از نرم افزار Dips مقایسه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان اطمینان به محاسبات نرم افزار Dips برای جهت شیب ناپیوستگی‌ها به طور متوسط ۹۹/۳۸% و برای مقدار شیب به طور متوسط ۹٤/۳٤% است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل احتمالاتی، تحلیل قطعی، روش شبیه‌سازی مونت کارلو، ناپیوستگی، نرم‌افزار Dips

مقدمه

در بسیاری از شاخه‌های علوم زمین مانند زمین‌شناسی ساختاری، زمین‌شناسی مهندسی و مکانیک‌سنگ، نمایش مختصات ناپیوستگی‌ها (درزه‌ها، گسل‌ها و سطوح لایه‌بندی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در اغلب موارد، برای نمایش اینگونه مشاهدات و تجزیه و تحلیل آن‌ها از شبکه‌های استریوگرافیک و شبکه‌های هم مساحت استفاده می‌شود. در این مطالعات وضعیت فضایی و شکل پراکندگی داده‌ها بر روی شبکه استریونت بررسی می‌گردد. در این راستا نرم افزارهای رایانه‌ای متعددی وجود دارد که برای مطالعات ساختاری طراحی شده‌اند، که می‌توان به رایج‌ترین آن‌ها مانند Dips, Ste-reonet و Spheristat اشاره نمود.

برای تحلیل بهتر ساختارها، روش‌های آماری مختلفی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها استفاده کرد. به عنوان مثال یکی از این روش‌ها که در نرم افزار Spheristat نیز وجود دارد روش آماری ویژه مقدار و ویژه بردارها می‌باشد.

* نویسنده مرتبط Shafiei_Shahram@uk.ac.ir

در این روش، با تحلیل آماری داده‌ها می‌توان به وضعیت و شکل پراکندگی داده‌ها پی برد. ویژه مقدارها و ویژه بردارها[1] می‌توانند جهت میانگین داده‌ها را نشان دهند و همچنین نقاط تجمع بیشینه و کمینه و حالت میانگین داده‌ها بر روی شبکه را می‌توان با ویژه مقدار و ویژه بردارها معادل دانست (Woodcock., 1977). اما این روش در مورد میزان اعتماد به داده‌ها اطلاعاتی را ارائه نمی‌دهد.

داده‌های پردازش شده در علم آمار، به صورت اعداد بررسی می‌شوند، در حالی که در زمین‌شناسی، تفسیر داده‌هایی که اغلب شامل شیب و امتداد ساختارهای صفحه‌ای می‌باشند، بر روی یک شبکه استریونت و به شکل گرافیکی صورت می‌گیرد. اکثر روش‌های مرسوم در زمین‌شناسی عدم قطعیت موجود در داده‌های برداشت شده را در نظر نمی‌گیرند و یا در مورد میزان اطمینان به داده‌های خروجی حاصل از پردازش اطلاعات ندارند. از این جهت همواره در استفاده از نتایج این روش‌ها زمینه‌هایی از عدم اطمینان وجود خواهد داشت.

مفهوم تحلیل احتمالاتی زمانی روشن تر می‌گردد که در مقابل تحلیل قطعی مطرح و مورد بحث قرار گیرد. در تحلیل قطعی، پارامترهای معین، بدون پراکندگی و خطا در نظر گرفته می‌شوند. وقتی خطا در اندازه‌گیری پارامترها به حدی باشد که میزان اعتبار محاسبات را کاهش دهد، استفاده از روش‌های تحلیل احتمالاتی برای اطمینان سنجی جواب‌های به دست آمده از محاسبات، راه حل مناسبی است (Baecher and Christian, 2003).

روش‌های ارائه شده برای تحلیل احتمالاتی مبتنی بر وجود خطا به علت نقص دانش بشری و همچنین اطلاعات ناکافی از خواص مصالح، شرایط زمین و وضعیت ناپیوستگی‌های موجود می‌باشند. امروزه می‌توان با روش‌های احتمالاتی، موارد نامطمئن (مجهولات) موجود در تجزیه و تحلیل توده‌های سنگی، به خصوص اطلاعات وضعیت هندسی توده‌سنگ و خواص مقاومتی و وضعیت ساختارهای موجود در توده‌سنگ را مورد بحث و بررسی قرار داد. مزیت این روش‌ها، تأکید بر موارد مجهول و ناشناخته‌ای است که در تحلیل‌ها وجود دارند (ربیعی وزیری، ۱۳۹۲؛ Baecher and Christian., 2003).

اگر چه روش‌های تحلیل استریوگرافیک روش‌های مناسبی جهت به دست آوردن بالقوه بودن حرکت بلوک‌های سنگی می‌باشند، اما این روش‌ها عواملی نظیر عدم قطعیت موجود در پارامترهای ورودی را در محاسبات خود لحاظ نمی‌کنند. و از میزان اطمینان به پردازش‌های اطلاعاتی توسط خود بیانی را ارائه نمی‌دهند. در نتیجه نیاز است که قبل از هر اقدام، عدم قطعیت موجود در پارامترهای ورودی و نیز میزان اطمینان به خروجی‌های روش مورد استفاده برای تحلیل تعیین شود. تا با دانستن این موارد خطای ناشی در تحلیل به حداقل برسد.

یکی از مهم‌ترین روش‌های بررسی عدم قطعیت روش شبیه‌سازی مونت کارلو[2] می‌باشد که در ادامه و بعد از بیان زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه معرفی می‌گردد.

زمین‌شناسی منطقه

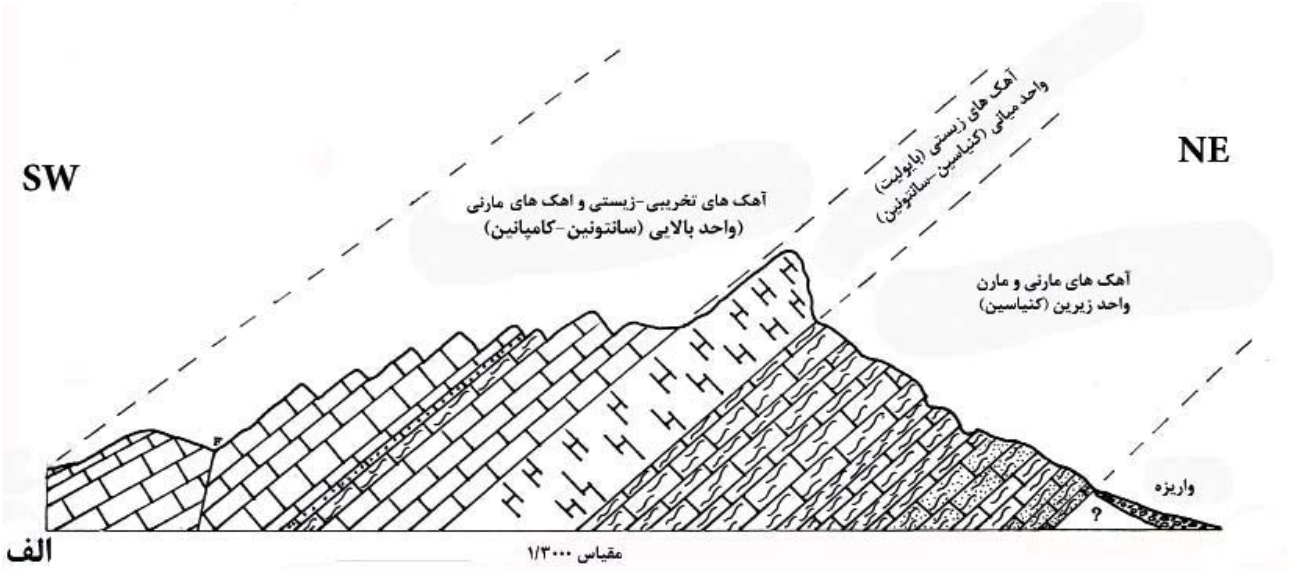
توالی سنگ‌شناسی در منطقه سعیدی متعلق به واحدهای کرتاسه می‌باشد. آهک‌های کرتاسه در اطراف شهر کرمان رخنمون گسترده‌ای دارند و معادن سنگ ساختمانی نیز در همین واحدهای سنگی مستقر می‌باشند. توالی کرتاسه در کوه علی‌آباد واقع در روستای زنگی‌آباد در شمال شهر کرمان شناسایی و مطالعه شده است (آنتیکی نژاد،۱۳۷۱و۱۳۸٦). توالی سنگ‌شناسی این مقطع شامل آهک‌های مارنی ماسه‌ای، آهک‌های مارنی، آهک‌های زیستی، آهک‌های آواری) زیستی و آهک‌های میکرایتی و مارن می‌باشد (شکل۱). در محدوده معادن سنگ سعیدی توالی کرتاسه با شباهت زیاد به توالی ارائه شده برای مقطع کوه علی آباد قابل مشاهده می‌باشد. در این محدوده نیز واحدهای نازک لایه و ضخیم لایه شبیه به نیمرخ ارائه شده در شکل۱ رخنمون دارند.

به استناد نقشه زمین‌شناسی کرمان (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۲) توالی کرتاسه در این محدوده در ساختار تاقدیس میل‌دار رخنمون یافته است. بخش‌های شمال غربی رخنمون کرتاسه در این محدوده به طور دگرشیب توسط کنگلومرای کرمان پوشیده شده است (شکل‌های ۲ و ۳). مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که گسلش در دو راستای شمال – شمال غربی و جنوب – جنوب شرقی (NNW)SSE) و شمال شرقی – جنوب غرب (NE–SW) توسعه پیدا کرده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کنگلومرای کرمان نیز تحت تأثیر فاز گسلش در این منطقه قرار گرفته است. می‌توان نتیجه گرفت که گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در توالی کرتاسه جوانتر از پالئوسن می‌باشند (شکل‌های ۲ و ۳).

در این محدوده گسلش در دو الگوی راستالغز و عادی عملکرد داشته است. گسلش راستالغز به لحاظ ریخت‌شناسی عوارض کاملاً واضحی را بر جای گذاشته است. یکی از عوارض زمین‌ریخت‌شناسی دره‌های گسلی فراوان در رخنمون سنگی محدوده مورد مطالعه می‌باشد. ایجاد این آبراهه‌ها بر بسترهای سنگی نتیجه خردشدگی سنگ در پهنه گسلش می‌باشد. شواهد صحرایی نشان می‌دهد که گسلش راستالغز تغییراتی در مؤلفه‌های جنبشی داشته است، به طوری که می‌توان در خصوص این گسل‌ها طیف جنبشی از حرکات راستالغز محض تا راستالغز با مؤلفه کج‌لغز را در سطوح گسلش مشاهده نمود (شکل٤). دگرشکلی سنگ در پهنه گسلش با توسعه برش یا سنگارد گسلی نمایان شده است. برش‌ها در پهنه‌های گسلی به صورت تجمعی از قطعات خرد شده از آهک‌های کرتاسه در زمینه‌ای رسی رخنمون دارند. با توجه به فرسایش پذیرتر بودن برش‌ها نسبت به سنگ آهک، پهنه گسلش و محدوده تجمع برش بر اثر فرسایش نسبت به دیوارهای اطراف عمیق تر گردیده و به صورت آبراهه در بستر سنگی رخنمون یافته است (شکل۵).

گسلش عادی نیز مشابه با گسلش راستالغز دارای عوارض و

1. Eigenvalue and 1Eigenvector
2. Monte Carlo Simulation



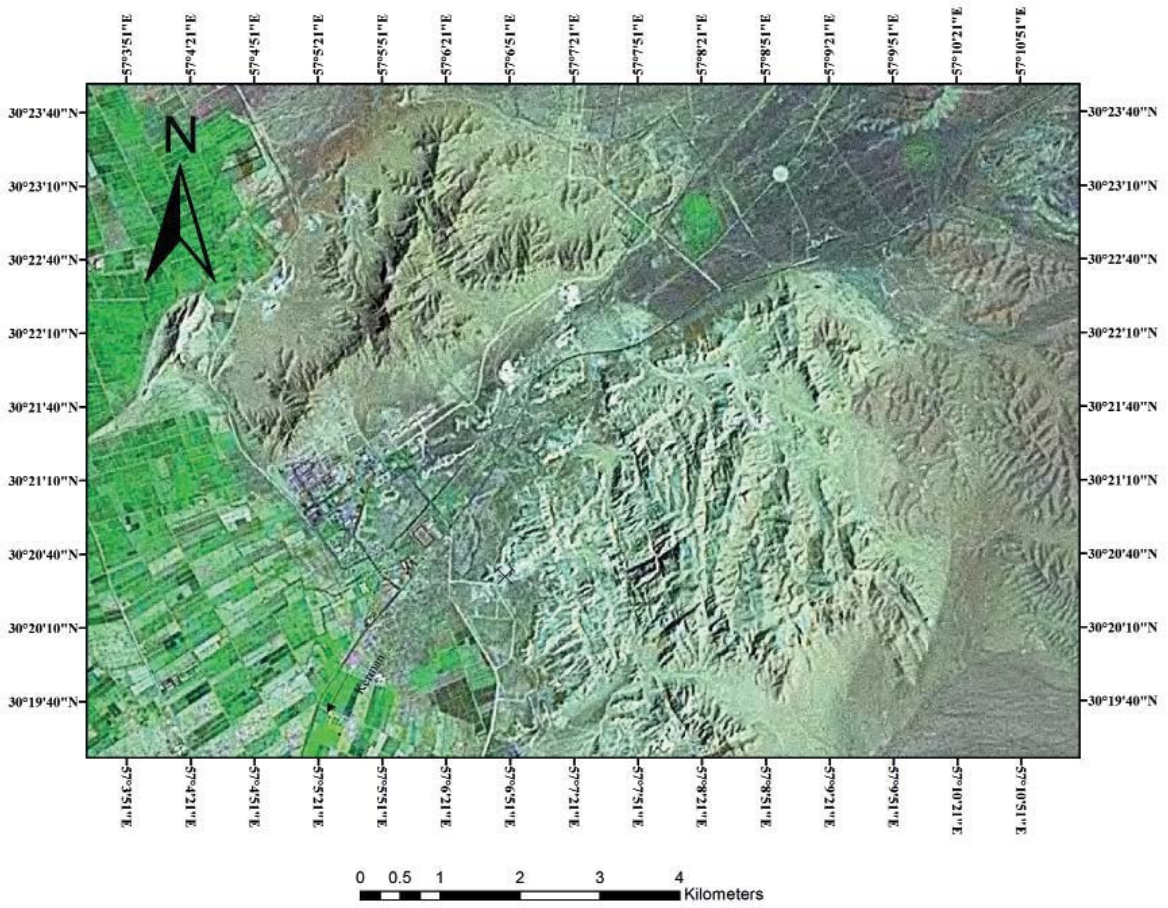
شکل۱. الف) مقطع زمین‌شناسی توالی کرتاسه در کوه علی آباد در روستای زنگی آباد (آنتیکی نژاد، ۱۳۷۱و۱۳۸٦). ب) نمایی از بخش‌های نازک لایه و ضخیم لایه در محدوده معادن سنگ سعیدی (شفیعی، ۱۳۸۸).

سیماهای ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی بارزی در محدوده معادن سنگ سعیدی می‌باشد. برداشت‌های صحرایی نشان می‌دهد که الگوی شاخص توسعه گسلش عادی از الگوی قاشقی یا الگوی قفسه کتابی[1] تبعیت می‌کند. دلایلی همچون پولکی بودن این گسل‌ها و همچنین جهت جابجایی غالب به سمت جنوب و جنوب شرق تأیید کننده این الگو می‌باشند. در بعضی از رخنمون‌ها این گسل‌ها با الگوی هم‌یوغ نمایان شده‌اند، که البته یکی از سطوح دارای جابجایی یا عملکرد وسیع تری بوده است (شکل٦). این گروه از گسل‌ها دارای پهنه برشی کاملاً مشخص همراه با توسعه برش‌های گسلی می‌باشد. معیارهای کینماتیکی دلالت بر جابجایی راست‌بُر در اکثر گسل‌های عادی دارد. شواهد ساختاری نشان می‌دهد که گسلش عادی در فاز بعد از گسلش راستالغز توسعه پیدا کرده است. از جمله این شواهد می‌توان به قطع شدگی و جابجایی گسل‌های راستالغز توسط گسل‌های عادی اشاره کرد (شکل٦) (شفیعی، ۱۳۸۸و ۱۳۹۲).

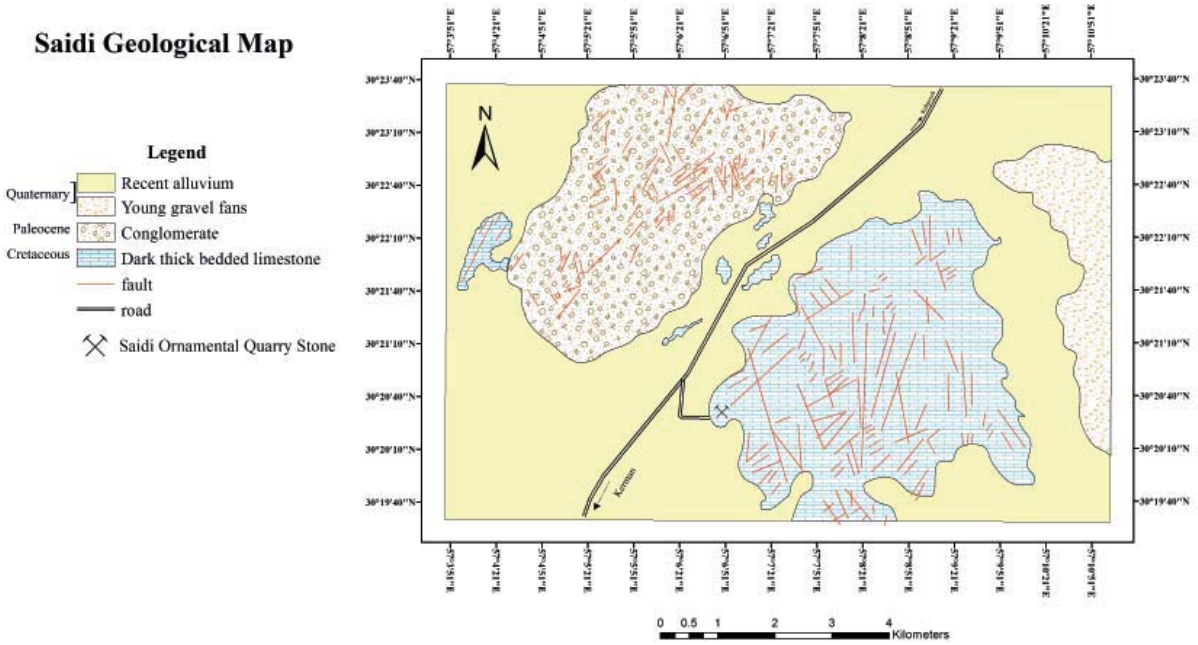
روش شبیه‌سازی مونت کارلو

اغلب پدیده‌هایی که در زندگی ما اتفاق می‌افتند، دارای عدم قطعیت‌هایی هستند که ما قادر به پیش بینی آن‌ها نمی‌باشیم. بدین صورت که پارامترهای مختلف در مکان و یا زمان‌های متفاوت دارای فراوانی‌های متفاوتی بوده و بنابراین خروجی‌های چندگانه و بدون هیچ الگوی مشخصی با عباراتی همچون شانس

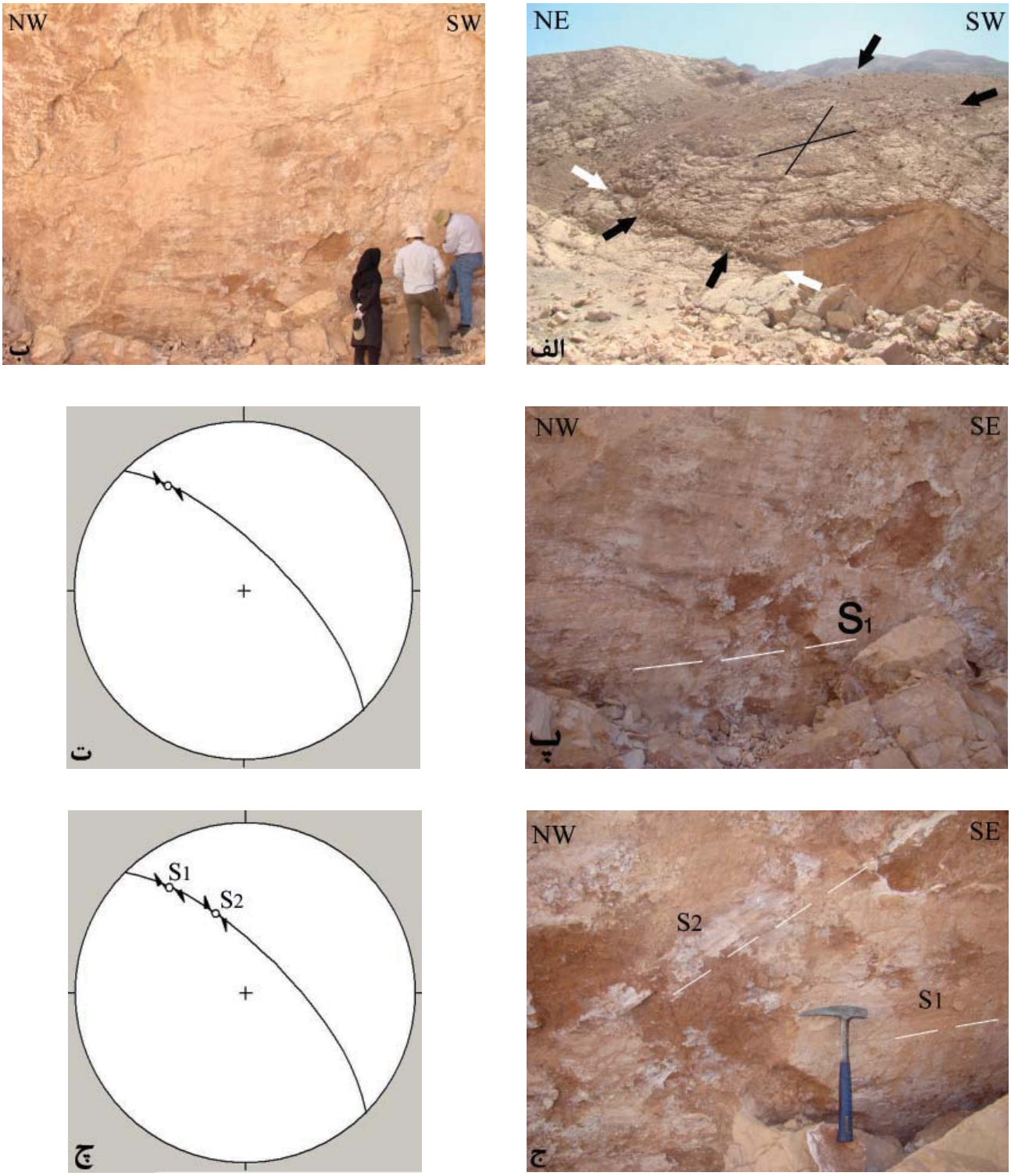
1. Booke shelf



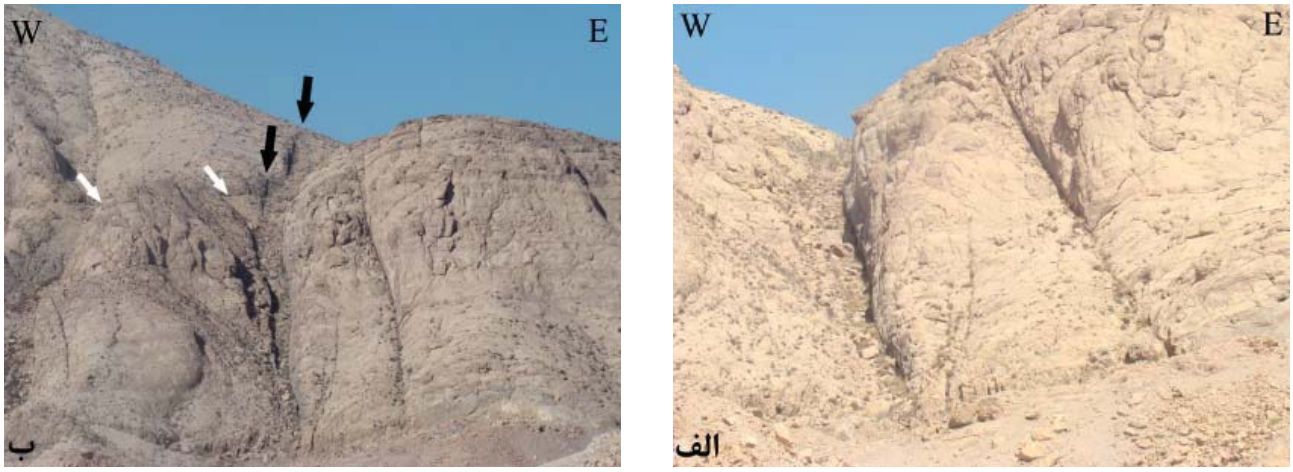
شکل۲. تصویر ماهواره‌ای رخنمون‌های کرتاسه (بخش‌های سفید رنگ) در محدوده معادن سنگ سعیدی.



شکل۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه سعیدی (شمال شرق شهر کرمان). با اقتباس از نقشه زمین‌شناسی کرمان با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۸۲).



شکل٤. الف) توسعه گسلش راستالغز (پیکان‌های سیاه) با الگوی هم‌یوغ. ب) نمایی از سطح گسلش راستالغز پ) نمایی نزدیکتر از سطح گسلش با خط‌خش‌های تقریباً افقی. ت) شبکه استریوگرافیک مربوط به شکل پ ج) تغییر مؤلفه جنبشی از راستالغز به کج‌لغز با حک شدن خط‌خش نسل دوم (S_2) بر روی خط‌خش نسل اول (S_1). چ) شبکه استریوگرافیک مربوط به شکل ج که موقعیت دو نسل خط‌خش را نشان می‌دهد (شفیعی، ۱۳۸۸و ۱۳۹۲).



شکل۵. الف و ب) نماهایی از آبراهه‌های ایجاد شده در راستای گسل‌های راستالغز. در شکل ب جابجایی مسیر آبراهه ایجاد شده در امتداد گسل‌های راستالغز (پیکان‌های سیاه) تحت تأثیر گسل‌های عادی (پیکان‌های سفید) نشان داده شده است.

و یا احتمال بیان می‌شوند. روش مقابله با این عدم اطمینان‌ها بهره‌گیری از تحلیل قابلیت اعتماد می‌باشد. بنابراین روش‌هایی در طراحی که مسئله عدم قطعیت‌ها و برآیند آن‌ها را در نظر بگیرند بسیار با ارزش هستند. این روش‌ها بنام روش‌های تعیین قابلیت اعتماد مشهور می‌باشند. در یک تقسیم بندی کلی، روش‌های بررسی قابلیت اعتماد به سه دسته تقسیم می‌شوند .دسته اول: روش‌های تحلیلی مانند روش ترکیب توزیع متغیرها[1] (Hoel et al.,1971)، دسته دوم: روش‌های تقریبی مانند برآورد نقطه‌ای[2] (Rosenblueth, 1975) و مرتبه اول ممان دوم[3] (Ang and Tang, 1984) و دسته سوم: روش‌های شبیه‌سازی مانند روش مونت کارلو می‌باشند (Metropolis and Ulam, 1949)، که در این میان روش مونت کارلو با توجه به سهولت در کاربری و دقت در جواب‌های به دست آمده بیش از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Tobutt., 1982; Baecher and Christian, 2003).

شبیه‌سازی در مسائلی که زمان نقش مهمی را بازی نمی‌کند کاربرد دارد بنابراین شبیه‌سازی مونت کارلو یک روش استاتیک است تا دینامیک. این روش به دلیل کاربرد ساده‌تر نسبت به روش‌های تحلیلی احتمالاتی دیگر، برای تحلیل احتمالاتی و بررسی قابلیت اعتماد مناسب‌تر است.

روش شبیه‌سازی مونت کارلو روشی است که با استفاده از یک سری اعداد تصادفی از توزیع احتمالی متغیرها، تابع نهایی را شبیه‌سازی می‌کند. این روش آماری و احتمالاتی برای اولین بار در طول جنگ جهانی دوم با توجه به خطرها و هزینه‌های مربوط به تکرار آزمایش‌های هسته‌ای برای شبیه‌سازی مسائل مربوط به ساخت بمب اتم به کار گرفته شد، و به دلیل طبقه‌بندی بودن اطلاعات مربوط به این آزمایش‌ها تحت عنوان روش شبیه‌سازی مونت کارلو در سایر علوم نیز مورد استفاده قرار گرفت. امروزه روش مونت کارلو در مسائل بسیار پیچیده که دارای ماهیتی غیر قطعی هستند کاربرد بسیاری دارد. شیوه نمونه‌گیری در روش مونت کارلو کاملاً تصادفی می‌باشد به این معنی که در زمان انجام نمونه‌گیری هر نمونه به شکل کاملاً تصادفی از بازه توزیع داده‌های ورودی انتخاب می‌شود (Robert and Casella, 2004; Baecher and Christian, 2003).

مراحل مختلف این روش به شرح زیر می‌باشند:

۱ – اخذ نمونه‌های محدودی از پارامترهای مورد نظر

۲ – تجزیه و تحلیل اطلاعات خام به دست آمده

۳ – برآورد و تعیین نوع توزیع آماری حاکم بر نمونه‌ها و به دست آوردن پارامترهای آماری آن

٤ – تولید مقادیر تصادفی برحسب نوع توزیع تطابق یافته و گرفتن پارامترهای جدید آماری توزیع مربوطه

۵– مقادیر تولید شده، به عنوان ورودی به کار برده می‌شوند و خروجی‌ها برآورد می‌گردند.

نتایج

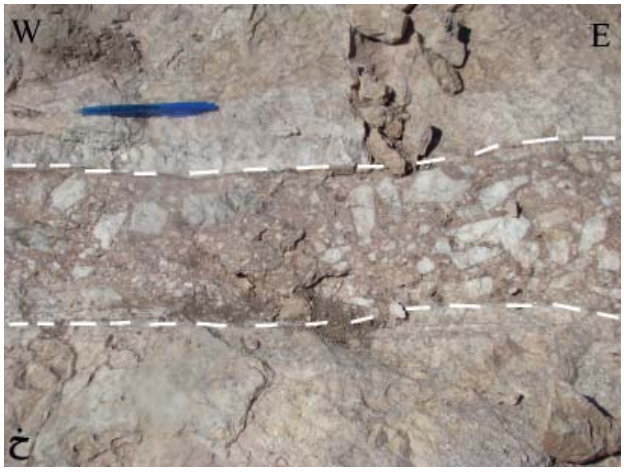
تحلیل وضعیت ناپیوستگی‌ها با استفاده از نرم افزار Dips

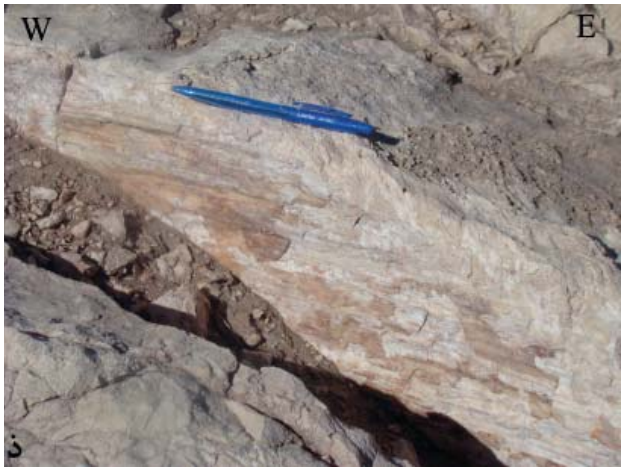
تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار Dips بدون در نظر گرفتن میزان قابلیت اعتماد به ورودی‌ها و خروجی‌های نرم افزار صورت می‌گیرد. در برداشت‌های انجام شده در معدن سنگ ساختمانی سعیدی، ۲٦۱ عدد داده شیب و جهت شیب برداشت شد. در مورد این برداشت‌ها باید به این نکته اشاره کرد که به علت وضعیت قرارگیری برخی از ناپیوستگی‌ها امکان قرائت میزان شیب آن‌ها وجود نداشت و تنها امتداد (جهت شیب) آن‌ها برداشت گردید در نتیجه زمینه‌هایی از عدم قطعیت در برداشت‌های انجام شده وجود داشت. داده‌های برداشت شده به طور مستقیم به عنوان ورودی‌های نرم افزار Dips وارد نرم افزار گردید.

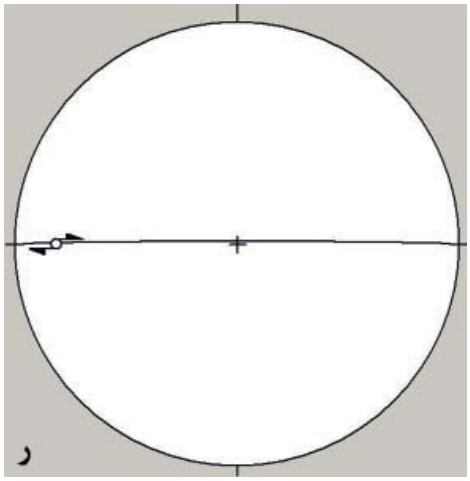
پردازش اطلاعات در نرم افزار Dips برای محاسبه قطب صفحه ناپیوستگی حاصل از یکسری درزه که متعلق به یک سامانه درزه

1. Joint distributed method
2. Point Estimate
3. First Order Second Moment

شکل٦ . الف و ب) توسعه گسلش عادی در الگوی پولکی یا قفسه کتابی. پ) گسلش عادی با ساختار هم‌یوغ، پیکان‌های سفید موقعیت گسلش را نشان می‌دهند. ت) رخنمون گسلش عادی در یکی از پیشانی کارهای معدن سعیدی. پیکان‌های سفید امتداد یافتگی گسلش را در پله‌های پیشانی کار نشان می‌دهد. جابجایی مرز لایه‌بندی توسط این گسل با موقعیت پیکان‌های سیاه رنگ نشان داده شده است. ج) نمایی نزدیکتر از گسلش عادی (شکل ت) با توسعه فضای برشی Z شکل و الگوی شماتیک آن (شکل چ) در پیشانی کار معدن سعیدی.







شکل ٦. ح و خ) توسعه پهنه برشی شکنا، که با توسعه برش و سنگارد گسلی همراه بوده است. د) جابجایی راست‌بُر گسل‌های راستالغز (پیکان‌های سیاه) توسط گسل‌های عادی(پیکان های سفید). ذ) آینه گسلی و خط‌خش بسیار واضح که نماینده جابجایی راست‌بُر می‌باشد. ر) شبکه استریوگرافیک داده‌های برداشت شده از گسل ارائه شده در شکل ذ (شفیعی، ۱۳۸۸و ۱۳۹۲).

می‌باشند با توجه به نحوه قرارگیری درزه‌های برداشت شده بر روی شبکه استریونت به دو صورت انجام می‌شود:

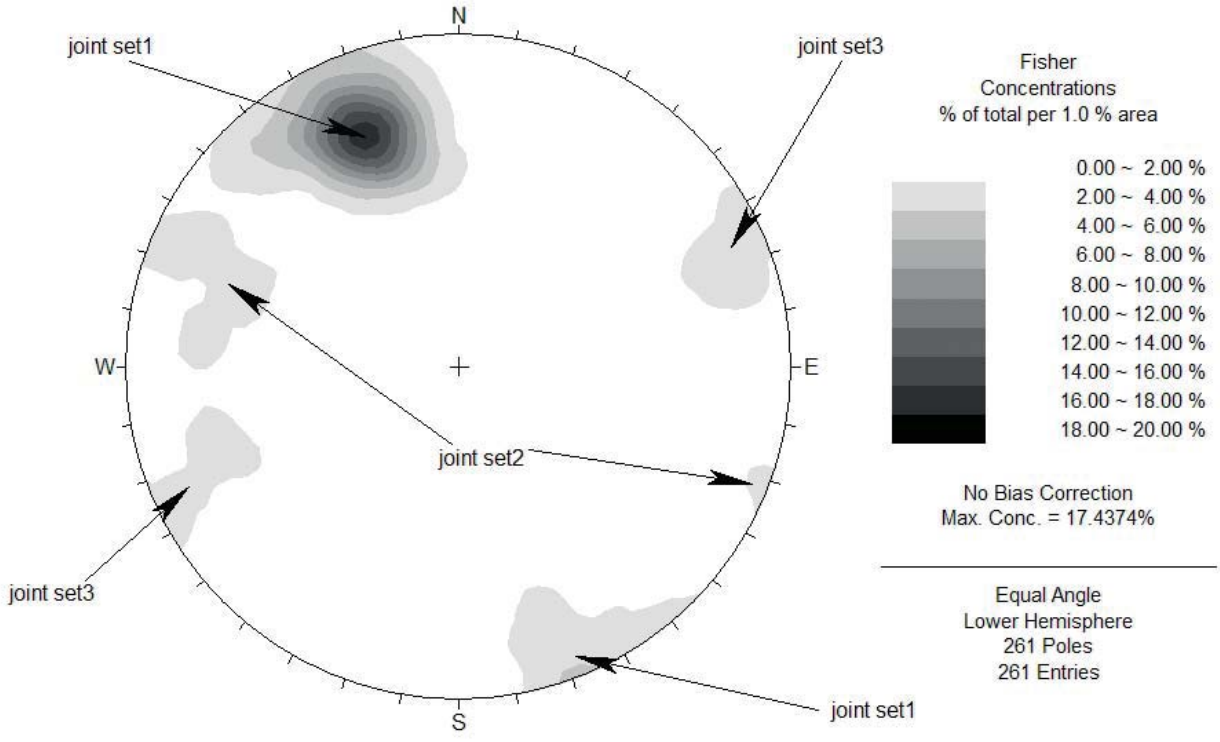
حالت اول زمانی است که قطب‌های درزه‌ها به طور مشخص در یک سوی صفحه قرار می‌گیرد در این حالت میانگین حسابی روند و میل[1] مربوط به قطب‌های درزه‌ها محاسبه شده و به عنوان قطب صفحه ناپیوستگی معرفی می‌شود، سپس صفحه مربوط به این قطب رسم می‌گردد.

حالت دوم زمانی است که تعدادی از درزه‌های متعلق به یک سامانه درزه به محیط استریونت نزدیک شده و از طرف دیگر صفحه وارد شبکه می‌گردند، در این مورد میانگین گیری به شیوه قبل غیر قابل کاربرد می‌باشد و حتی ممکن است قطب شناسایی شده خارج از تمرکز قطب‌های درزه‌ها قرار گیرد. در این مورد نرم افزار از روشی موسوم به قطب منفی[2] بهره می‌گیرد در این روش روند قطب‌های یک طرف به علاوه ۱۸۰ درجه شده و سپس با روند قطب‌های طرف دیگر مانند حالت اول میانگین گیری می‌شود. در مورد میل، میل‌های قطب‌های یک سو منفی شده و بعد از آن با میل‌های قطب‌های طرف دیگر میانگین گیری می‌شوند اگر حاصل مثبت شد مکان قطب همان طرفی است که قطب‌ها به آن طرف منتقل شده‌اند و مقدار محاسبه شده همان میل قطب صفحه ناپیوستگی می‌باشد. در غیر این صورت مکان قطب به طرف دیگر شبکه منتقل می‌گردد. بعد از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار یک دسته درزه اصلی و دو دسته درزه فرعی در منطقه شناسایی شد (شکل۷).

در گام بعد صفحات ناپیوستگی مربوط به این دسته درزه‌ها توسط نرم افزار ترسیم شد و شیب و جهت شیب آن‌ها تعیین گردید. که در نتیجه آن دسته درزه شماره۱ دارای شیب و جهت شیب ۷۷/۱۵۷ و دسته درزه شماره۲ دارای شیب و جهت شیب ۷۸/۱۰۷ و دسته درزه شماره۳ دارای شیب و جهت شیب ۸۸/۰۶۷ می‌باشد (شکل۸).

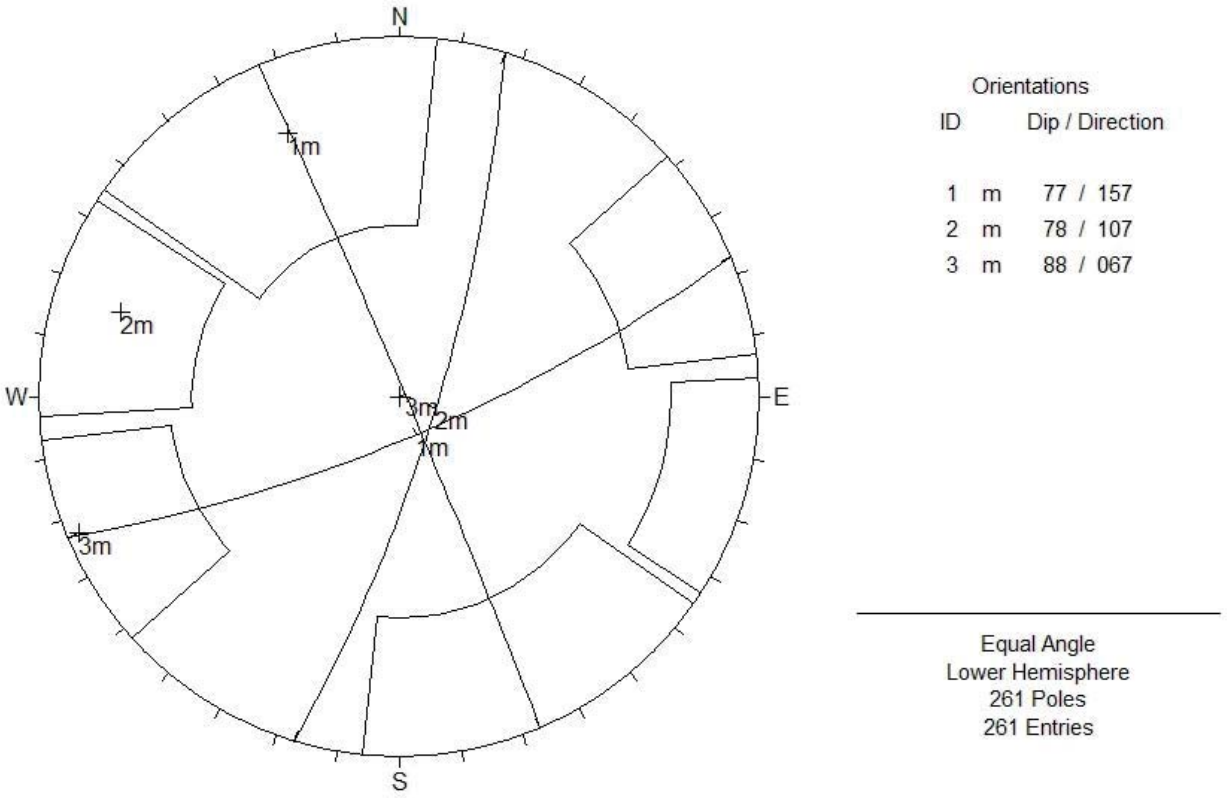
تحلیل وضعیت ناپیوستگی‌ها با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو

اولین گام در شبیه‌سازی وضعیت ناپیوستگی‌ها به روش مونت کارلو بدست آوردن نوع تابع توزیع منطبق شده بر هیستوگرام فراوانی داده‌ها است. بر اساس پردازش آماری اطلاعات که توسط نرم افزار Minitab16 صورت گرفت توزیع آماری حاکم بر شیب و جهت شیب سه دسته ناپیوستگی شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه عادی می‌باشد. توزیع عادی توزیع زنگی شکل است که اولین بار در قرن هجدهم مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. این توزیع به طور گسترده در علوم مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد چون از یک سو بسیاری از پدیده-های طبیعی از این توزیع پیروی می‌کنند و از سوی دیگر شکل حدی بسیاری از توزیع‌های دیگر نیز عادی است. تابع چگالی توزیع عادی به صورت رابطه ۱ است (زارعی، ۱۳۸۳):



شکل۷. دسته درزه‌های شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه

1. Trend and Plunge
2. Negative pole



شکل۸. صفحات ناپیوستگی مربوط به دسته درزه‌ها

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \qquad -\infty<x<+\infty \qquad (۱)$$

میانگین و واریانس توزیع عادی از روابط (۲) و(۳) محاسبه می‌شوند:

$$\text{Mean}=\mu \qquad (۲)$$

$$\text{Variance}=\sigma^2 \qquad (۳)$$

در روابط بالا x متغیر تصادفی پیوسته میانگین و σ انحراف معیار، می‌باشند.بعد از شناسایی نوع تابع توزیع حاکم بر داده‌های مربوط به مختصات ناپیوستگی‌ها و خصوصیات آماری مربوط به توزیع آن‌ها (جدول۱)، اقدام به شبیه‌سازی ۵۰۰۰۰ داده از تابع توزیع شناسایی شده توسط نرم افزار Minitab16 شد (شکل‌های۹ تا ١٤). لازم به ذکر است که تعداد شبیه‌سازی باید به مقداری باشد که ضمن حفظ دقت در محاسبات و پردازش داده‌ها، زمان پردازش اطلاعات نیز افزایش نیابد. به این منظور شبیه‌سازی با ۱۰۰۰ داده شروع و در هر مرحله نسبت به مرحله قبل به تعداد ۱۰۰۰ داده افزایش داده شد تا در حدود ۵۰۰۰۰ داده شبیه‌سازی شده، اختلاف نتایج با گام‌های قبل و بعد بسیار ناچیز شد ضمن اینکه سرعت پردازش اطلاعات نیز قابل قبول بود. بنابراین با توجه به بررسی‌های صورت گرفته تعداد۵۰۰۰۰ داده شبیه‌سازی شده مناسب ارزیابی گردید.

اطلاعات آماری مربوط به توزیع‌های شبیه‌سازی شده شیب و جهت شیب دسته درزه‌ها در شکل‌های ۹ تا ١٤ نشان داده شده است. در آنالیز آماری مربوط به جهت شیب درزه‌ها به دلیل اینکه در هر سه دسته درزه شناسایی شده برخی از قطب‌ها به محیط دایره نزدیک شده و از سوی دیگر وارد شبکه شده‌اند، جامعه آماری به دو گروه جدا تقسیم شد. در این مورد بعد از شناسایی خصوصیات مربوط به هر توزیع و با توجه به فرآوانی داده‌های متعلق به هر گروه اقدام به تبدیل جهت شیب گروهی با فرآوانی کمتر به جهت شیب گروهی با فرآوانی بیشتر گردید و بعد از متوسط گیری خروجی روش مونت کارلو برای جهت شیب به دست آمد (جدول‌های۲و۳).

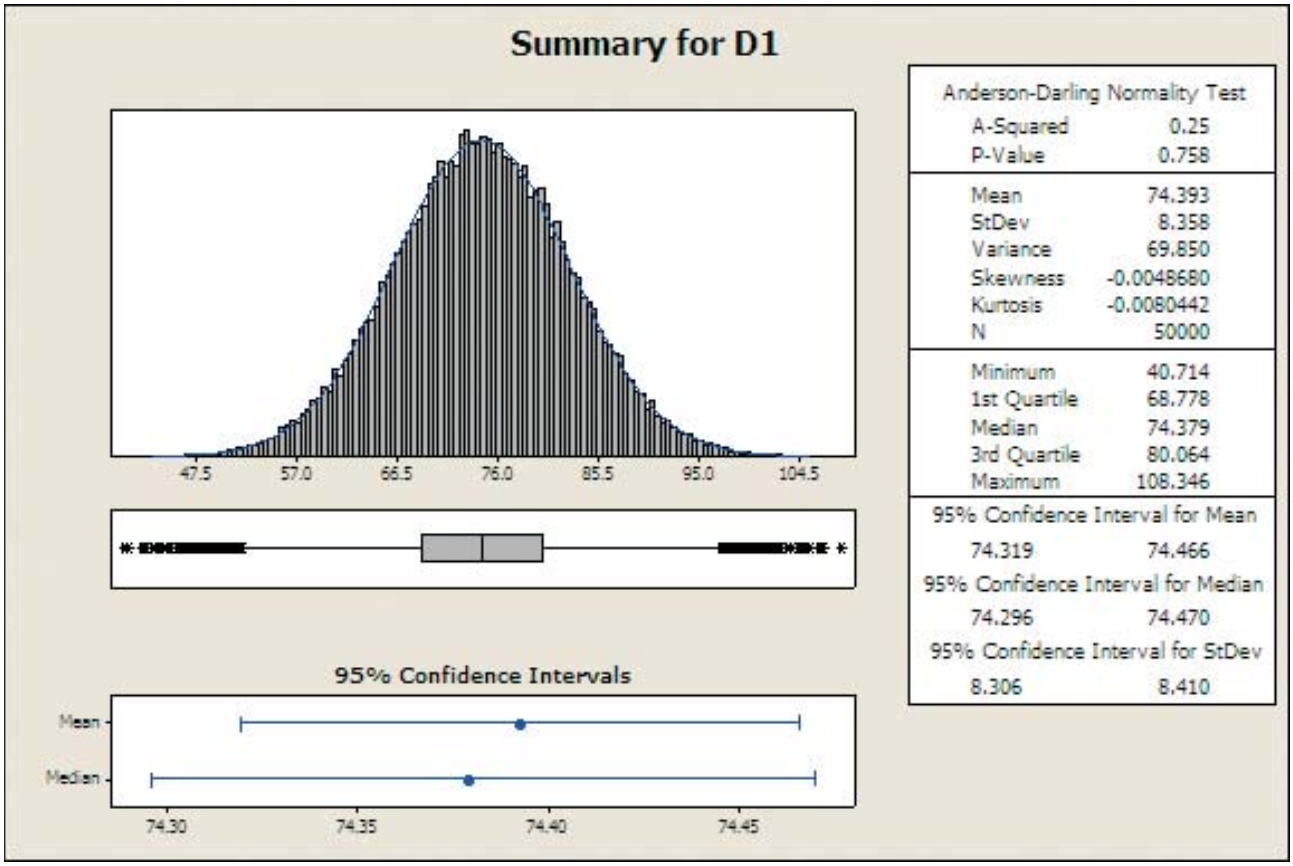
بحث

باتوجه به مطالب ذکر شده نرم افزار Dips اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی بدون در نظر گرفتن میزان اطمینان به داده‌های ورودی می‌کند ولی بیانی را از میزان اعتمادی که طراح می‌تواند به این نتایج داشته باشد ارائه نمی‌دهد. روش شبیه‌سازی مونت کارلو روشی مناسب برای سنجش میزان اعتبار خروجی‌های یک سامانه است، این سامانه می‌تواند محاسبات مربوط به یک رابطه و یا محاسبات مربوط به یک نرم افزار برای بدست آوردن خروجی‌های مورد نظر باشد. نتایج پردازش اطلاعات مختصات ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی سعیدی به روش مونت

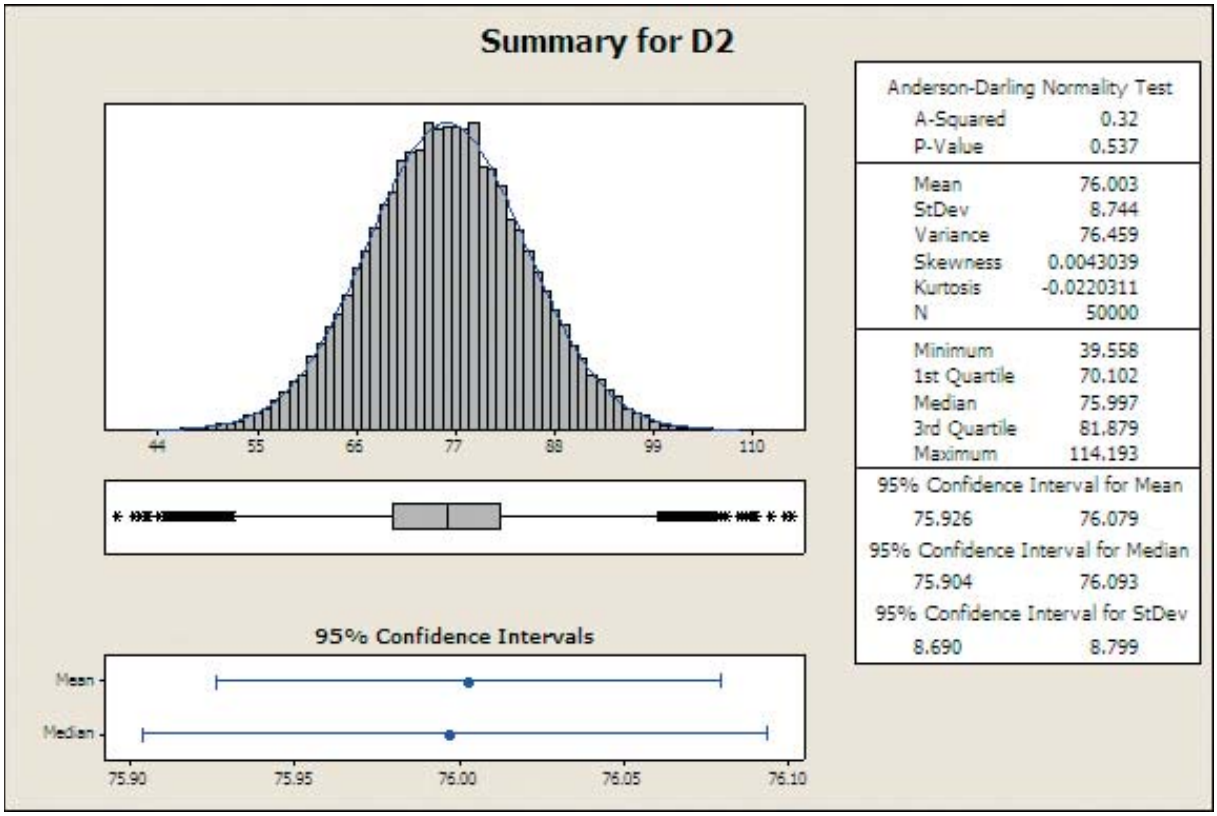
جدول۱. خصوصیات توزیع‌های آماری عادی منطبق شده بر داده‌های ورودی.

پارامتر مربوط به مختصات ناپیوستگی‌ها	دسته درزه		میانگین	انحراف معیار
شیب	۱		۷٤/۳۳	۸/۳٤
	۲		۷۵/۹۷	۸/۷۱
	۳		۷۸/۳۸	۷/۰۲
جهت شیب	۱	گروه۱	۱۵۷/۱٤	۱۱/۲۹
		گروه۲	۳۳۵/۱۷	۱۱/۵۳
	۲	گروه۱	۱۰٦/۹۰	۱۰/۵۲
		گروه۲	۲۸٦/۱٤	۹/۸۲
	۳	گروه۱	٦۷/۵۰	۷/۷۵
		گروه۲	۲٤۷/٤۷	۷/۵۸

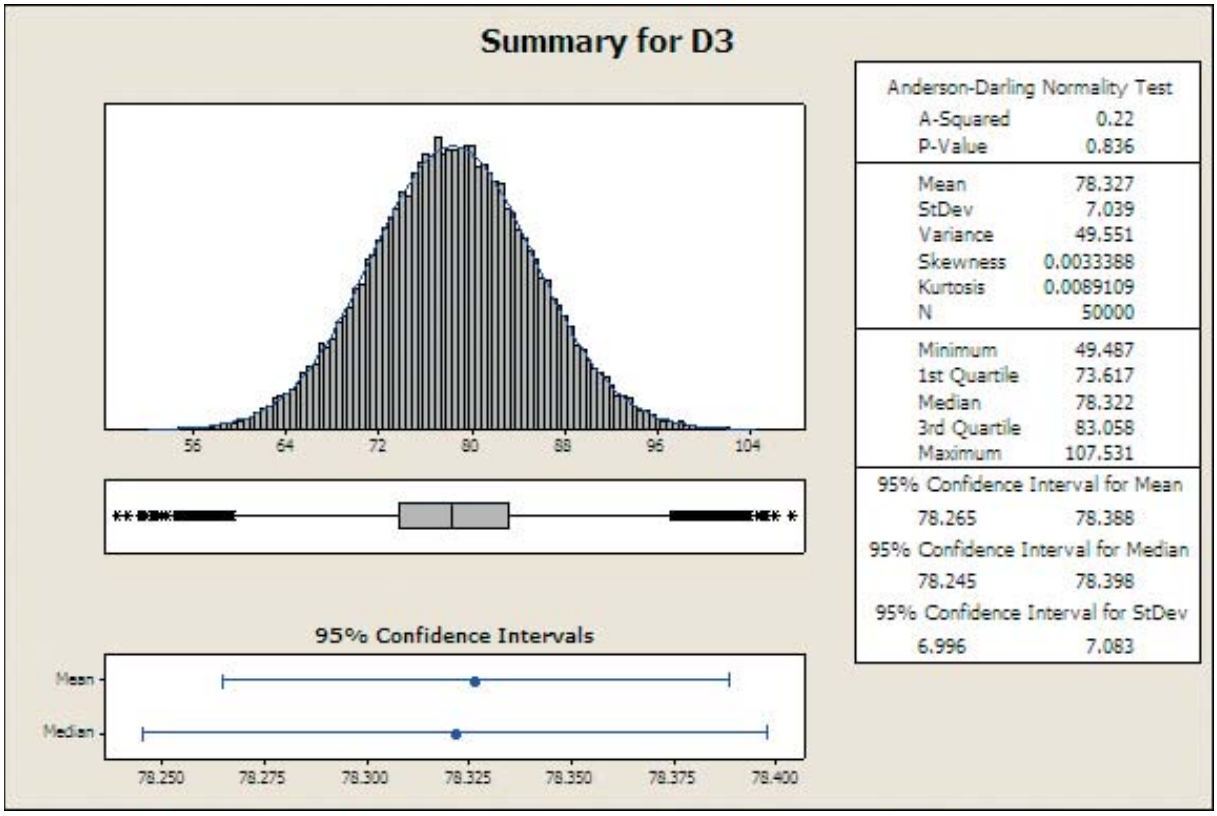
*گروه یک دارای فراوانی بیشتر و گروه دو دارای فراوانی کمتر می‌باشد.



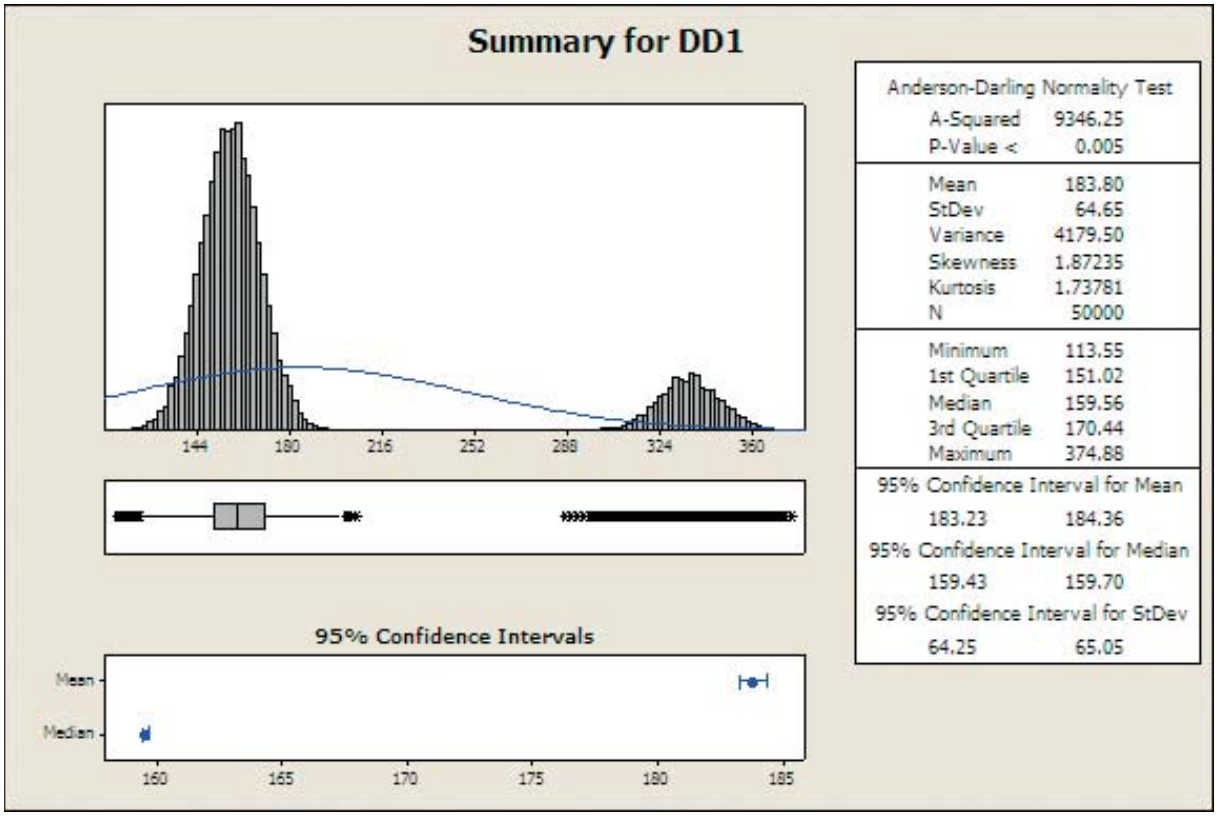
شکل۹. توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده مقدار شیب برای دسته درزه ۱



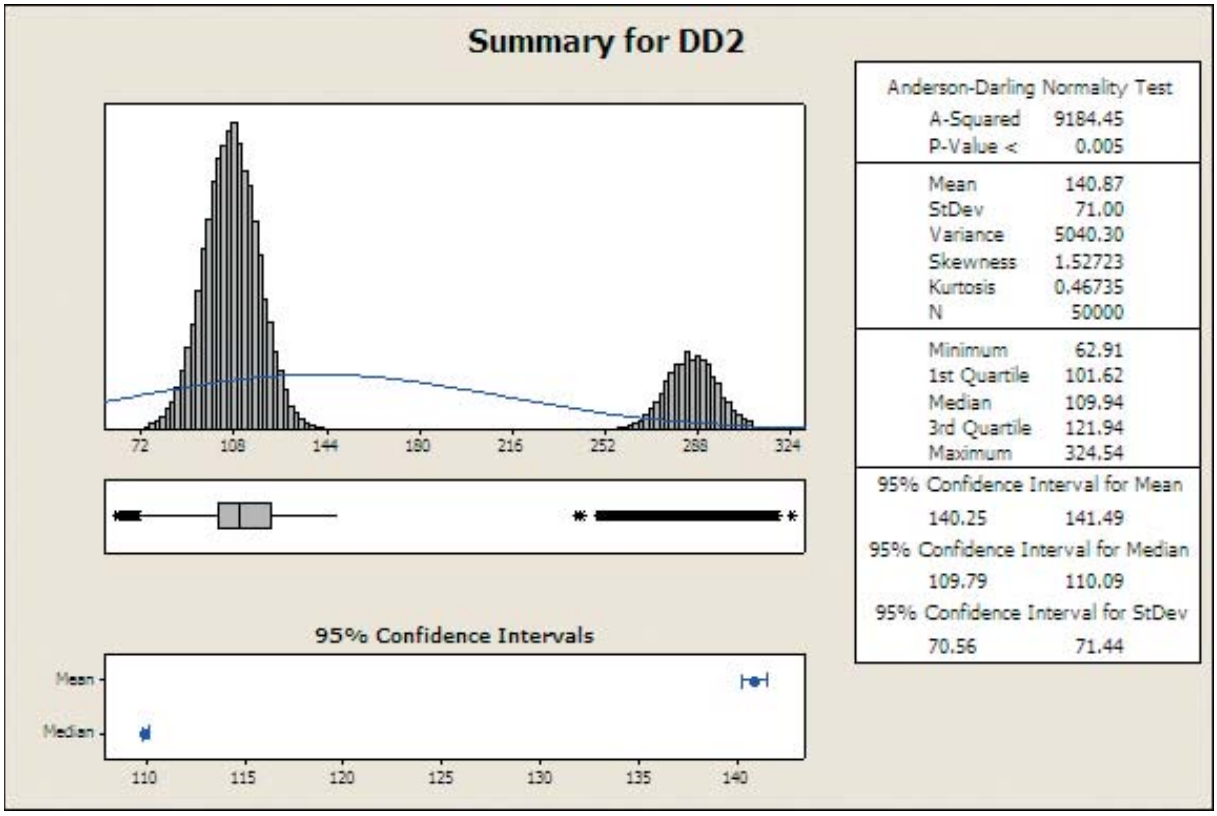
شکل۱۰. توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده مقدار شیب برای دسته درزه ۲



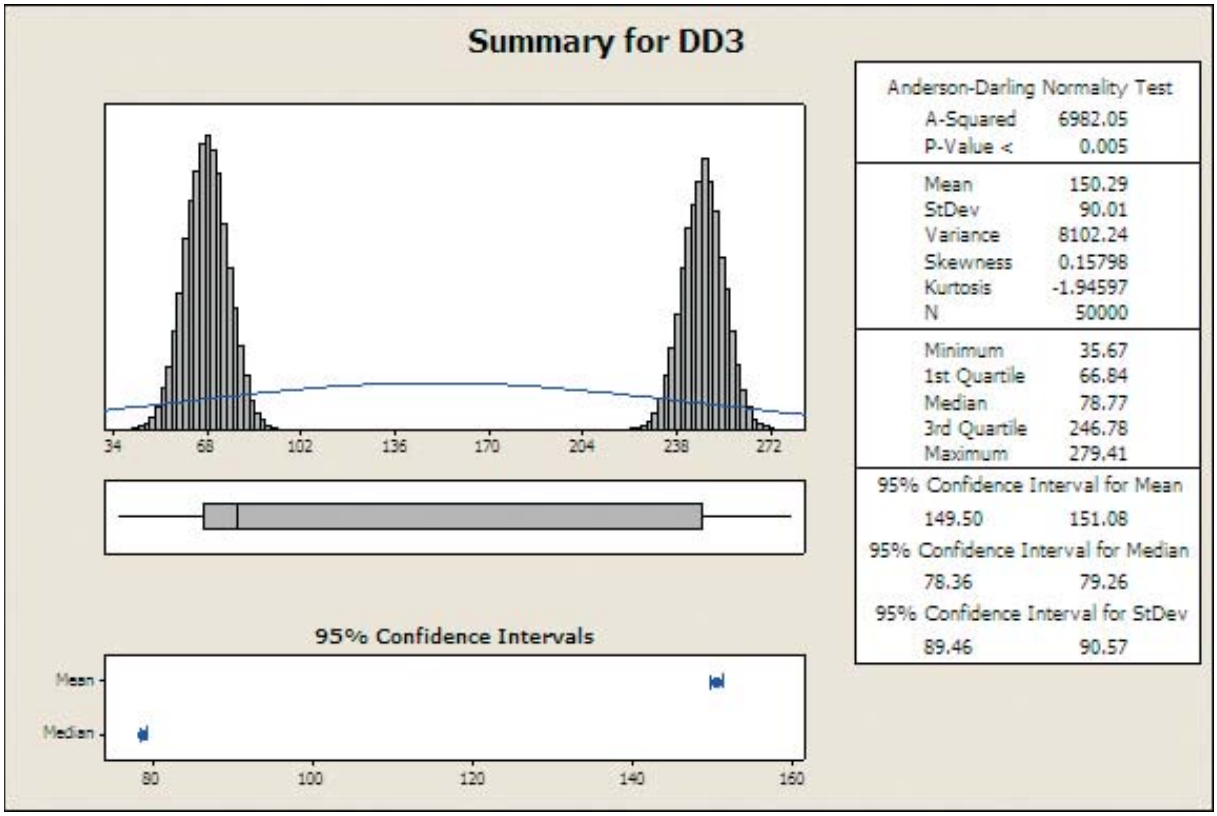
شکل۱۱. توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده مقدار شیب برای دسته درزه ۳



شکل۱۲. توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده جهت شیب برای دسته درزه ۱



شکل۱۳. توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده جهت شیب برای دسته درزه ۲



شکل۱٤. توزیع فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده جهت شیب برای دسته درزه ۳

جدول۲. اطلاعات مربوط به فرآوانی داده‌های پردازش شده

جهت شیب دسته درزه شماره۱			جهت شیب دسته درزه شماره۲			جهت شیب دسته درزه شماره۳		
گروه	فراوانی	درصد فراوانی	گروه	فراوانی	درصد فراوانی	گروه	فراوانی	درصد فراوانی
۱	۱۲۹	۸٤/۸۷	۱	۳۰	۸۱/۰۸	۱	۲۰	٥٤/۰٥
۲	۲۳	۱٥/۱۳	۲	۷	۱۸/۹۲	۲	۱۷	٤٥/۹٥

شیب دسته درزه شماره۱		شیب دسته درزه شماره۲		شیب دسته درزه شماره۳	
فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی
۱٥۲	۱۰۰	۳۷	۱۰۰	۳۷	۱۰۰

کارلو نشان داد که میزان اطمینان به محاسبات مربوط به جهت شیب دسته درزه‌ها توسط نرم افزار Dips به طور متوسط ۹۹/۳۸% می‌باشد که در مقایسه با محاسبات مربوط به مقدار شیب دسته درزه‌ها که به طور متوسط ۹٤/۳٤% بوده بیشتر است. همچنین انحراف معیار مربوط به درصد اطمینان بیان شده برای جهت شیب ۰/۰۹ بوده که در مقایسه با انحراف معیار مربوط به مقدار شیب که ٤/٦٤ است بسیار کمتر می‌باشد (جدول٤). در نتیجه در نرم افزار Dips محاسبات مربوط به جهت شیب نسبت به مقدار شیب از اطمینان بالاتری برخوردار هستند.

جدول۳. خلاصه نتایج حاصل از پردازش اطلاعات توسط نرم افزار Dips و روش مونت کارلو

روش تحلیل	دسته درزه۱			دسته درزه۲			دسته درزه۳		
	شیب	جهت شیب		شیب	جهت شیب		شیب	جهت شیب	
Dips software	۷۷	۱۵۷		۷۸	۱۰۷		۸۸	۰٦۷	
Monte Carlo Simulation	۷٤/۳۹۳	گروه۱	گروه۲	۷٦/۰۰۳	گروه۱	گروه۲	۷۸/۳۲۷	گروه۱	گروه۲
		۱۵۷/۰٦	۳۳۵/۳۱		۱۰٦/۸۵	۲۸۵/۸۸		٦۷/۵۱	۲٤۷/٤٦
		۱۵٦/۱۸			۱۰٦/۳٦			٦۷/٤۸	

جدول٤. درصد اطمینان به محاسبات مربوط به مختصات ناپیوستگی‌ها در نرم افزار Dips

پارامتر مورد نظر	دسته درزه۱	دسته درزه۲	دسته درزه ۳	میانگین	انحراف معیار
اطمینان به مقدار شیب	۹٦/٦۱	۹۷/٤۳	۸۹	۹٤/۳٤	٤/٦٤
اطمینان به جهت شیب	۹۹/٤۷	۹۹/٤۰	۹۹/۲۸	۹۹/۳۸	۰/۰۹

نتیجه‌گیری

اطلاعات موجود در جدول٤ نشان می دهد که محاسبات مربوط به مقدار شیب و جهت شیب در نرم افزار Dips از دقت بالایی برخوردار می باشند. تحلیل قابلیت اطمینان به روش شبیه‌سازی مونت کارلو بر روی داده‌ها می‌تواند دید بهتری را نسبت به اطلاعات موجود در اختیار طراحان قرار دهد و با افزایش اطمینان به پارامترهای مورد نیاز در طراحی از افزایش هزینه‌های یک پروژه که عمدتا به دلیل عدم اطمینان موجود به پارامترهای طراحی می باشد کاسته خواهد شد.

منابع

– آنتیکی‌نژاد، ح.،۱۳۸٦. میکروپالئونتولوژی و چینه‌شناسی سنگ آهک های کرتاسه بالایی کوه علی‌آباد شمال کرمان. یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.

– آنتیکی‌نژاد، ح.، ۱۳۷۱. میکرواستراتیگرافی نهشته‌های پریود کرتاسه، کوه زنگی‌آباد (شمال غرب کرمان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۱٤.

– ربیعی وزیری، م.،۱۳۹۲ . تحلیل احتمالاتی خواص توده سنگ. مورد مطالعه: معدن سنگ آهن شماره۱ گل گهر، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۳۱.

– زارعی، ا. ۱۳۸۳. آمار مهندسی. انتشارات دانش پرور، تهران، ٤٦٨-٤٦٦.

– شفیعی، ش.، ۱۳۸۸. تحلیل ساختاری شکستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: معادن سنگ ساختمانی سعیدی، شرق کرمان). طرح پژوهشی به شماره ۹۰۸/٤۱، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

– شفیعی، ش.، عبادی، م.، ترکاشوند، م.، ۱۳۹۲. تحلیل ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی و اهمیت آن در بهینه‌سازی استخراج (مورد مطالعه: معدن سنگ ساختمانی سعیدی، کرمان). فصلنامه علوم زمین. ۸٤. ۹۸-۸۹.

– نقشه زمین‌شناسی کرمان ۱۳۸۲ با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- Ang A.H.S and Tang W.H., 1984. Probability Concepts in Engineering Planning and Design. 2, Wiley, New York.

- Baecher G.B .and Christian J.T. 2003. Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. Great Britian by TJ International, Padstow, Comwall, 593.

- Hoel P.G., Port S.C and Stone C.J. 1971. Introduction to Probability Theory. Houghton Mifflin Company, 356.

- Metropolis N and Ulam S. 1949.The Monte Carlo method". Journal of the American Statistical Association. 44, 335-341.

- Robert C and Casella G. 2004. Monte Carlo Statistical Methods. 2nd eds. Springer-Verlag, New York, 580.

- Rosenblueth E. 1975. Point estimates for probability moments. Proceedings, National Academy of Science,

- Woodcock N.H. 1977. Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. Geological Society .of American . Bulletin. 88, 1231-1236.

72.10, 3812–3814.

- Tobutt D. 1982. Monte Carlo Simulation Methods for Slope Stability, Computers and Geosciences". 8, 199-208.