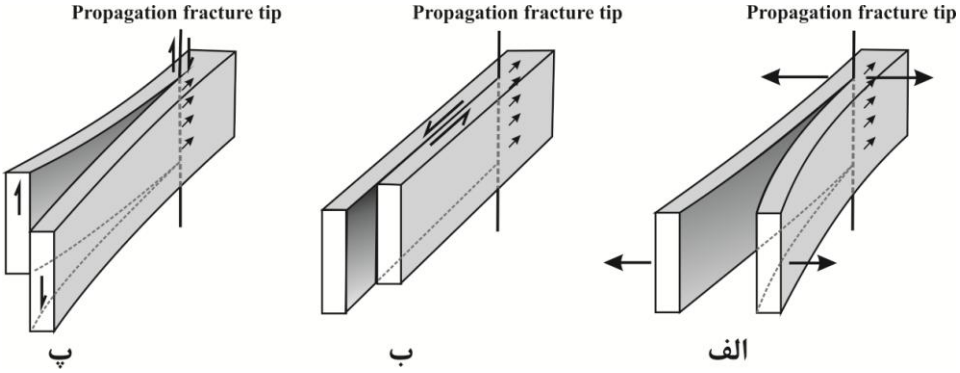
فصل نهم : شکستگی ها

مقدمه

شکستگی ها سطوحی هستند که سنگ ها یا کانی ها در طول آنها شکسته شده و دو سطح آزاد را در جائیکه که قبلا وجود نداشته اند می سازند.شکستگی ها سطوحی هستند که در در عرض آنها سنگ چسپندگی خود را از دست می دهد.

شکستگی ها معمولی ترین پدیده های زمین شناسی هستند.به سختی می توان رخنمون سنگی را یافت که شکستگی ها در آن حضور نداشته باشد.شکستگی هابه دو دلیل دارای اهمیت هستند.یکی بواسطه تحلیل وقایع تکتونیکی که در طی آنها شکستگی ها شکل گرفته است و دوم تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ که در آن رخ داده اند.شکستگی ها برای مثال در تعیین نفوذ پذیری سنگ در جریان سالات و خصوصیات نگه داری سیالات که می تواند در ارزیابی خصوصیات سفره های آب زیرزمینی مهاجرت نفت و گازمورد استفاده قرارگیرد اهمیت دارند.شکستگی ها بطور شدید خصوصیات مکانیکی سنگ را تحت تاثیر قرار می دهد ، که این خصوصیات در طراحی ساختار های سد و تونل ها اهمیت دارد.به دلیل اینکه مقیاس رخنمون برای مشاهده آسان می باشد و مبنای کار زمین شناسی صحرایی نیز است توصیف خصوصیات شکستگی ها در مقیاس رخنمون توصیه می شود.مطالعات شکستگی ها در سنگ ها نشان داده که شکستگی ها هندسه همانند سازی[1] دارند.بدین معنی که شکستگی ها هندسه و توزیع فضایی یکسانی دارند حتی اگر در مقیاس میکروسکوپی یا در مقیاس رخنمون یا در مقیاس ناحیه ای باشند.این خصوصیت برای دانستن اینکه چگونه شکستگی ها خصوصیات فیزیکی سنگ را تحت تاثیر قرار می دهند مهم می باشد.

بر مبنای حرکت نسبی در عرض سطح شکستگی دو تیپ اصلی از شکستگی ها تعریف شده است.۱- شکستگی های کششی و ۲- شکستگی های برشی . در شکستگی های کششی حرکت نسبی عمود بر دیوار های شکستگی انتشار می یابد که به عنوان مدل I انتشار تعریف می شود.(شکل۱-۲ الف). در شکستگی های برشی حرکت نسبی در طول زمان انتشار بصورت موازی با سطح شکستگی ها انجام می شود. دو الگو برای انتشار شکستگی های برشی تعریف شده است.۱) مدل II که حرکت لغزشی عمود بر خط یا لبه انتشار[2] یا لبه شکستگی می باشد و ۲) مدل II که حرکت لغزشی موازی با لبه انتشار می باشد.(شکل ۱-۸-پ). بنابراین شکستگی برشی می تواند هر دوی الگوی انتشار را در ارتباط با جهت گیری محلی لبه شکستگی نسبت به جهت برش روی صفحه شکستگی در بر بگیرد. یک شکستگی که مولفه هایی از جابجایی هم بصورت عمود و موازی صفحه شکستگی دارد به عنوان شکستگی های کششی مایل[3] می باشد.



شکل ۱-۸-تفکیک تیپ های اصلی از شکستگی ها بر مبنای حرکت نسبی مواد(سنگ) روی لبه های مخالف شکستگی .فلش ها بر روی لبه شکستگی جهت انتشار شکستگی را نشان می دهد. فلش های دو طرفه حرکت نسبی در عرض صفحه شکستگی را نشان می دهند . الف. شکستگی کششی . انتشار بر مبنای مدلI است . جابجایی نسبی عمود بر شکستگی است. ب . شکستگی برشی. انتشار بر مبنای مدل II است . جابجایی بصورت لغزش موازی یا شکستگی یا عمود بر لبه شکستگی است. پ . شکستگی برشی . انتشار بر مبنای مدلIII است . حرکت نسبی بصورت لغزش موازی شکستگی و موازی لبه شکستگی است .

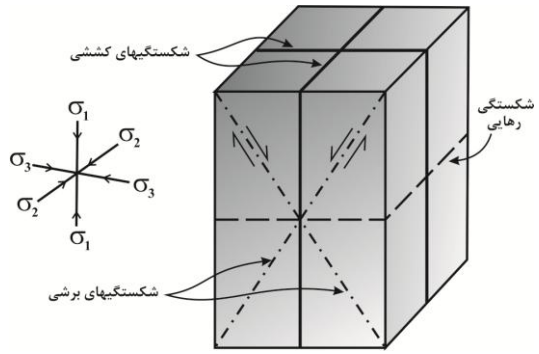
مدل فرض شده از انتشار در بعضی مواقع به عنوان یک مبنا برای کلاسه بندی شکستگی ها استفاده شده است، اما برای دانستن تشکیل و اهمیت شکستگی ها یک کلاسه بندی توصیفی بر مبنای حرکت نسبی در عرض صفحه شکستگی از کلاسه بندی ژنتیکی که بر مبنای توصیف چگونگی تشکیل شکستگی ها می باشد مفید تر است.

معیار توصیفی استفاده شده برای کلاسه بندی شکستگی شامل جهت گیری، حرکت نسبی بر روی صفحه شکستگی و هندسه شکستگی شامل جهت گیری ، گسترش شکستگی های منفرد و الگو های مشخص شکل گرفته بوسیله اجتماع شکستگی ها می باشد. واژه شناسی استفاده شده برای

۱-Self-similar
۲-propagation tip
۳- oblique extension fractures

شکستگی ها یک بازشناسی از مجموعه خصوصیات صحرایی را منعکس می کند اما نمی تواند یک کاربرد سیستماتیک از معیار های تعیین سیستم های کلاسه بندی را منعکس کند.بنابراین کلاسه بندی سیستماتیک شکستگی ها مشکل می باشد.

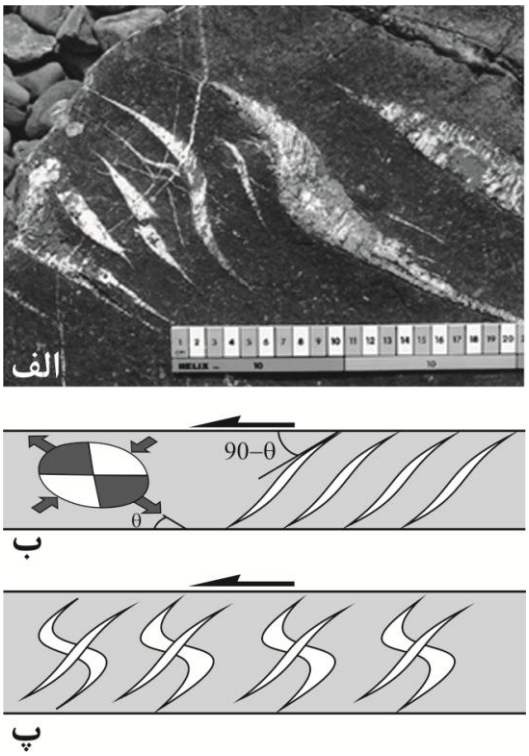
برطبق الگوهای مکانیکی می توان ایجاد شکستگی های کششی و برشی را در آزمایشگاه باز سازی نمود (شکل ۲-۸). اگر نمونه مکعب مستطیلی از سنگی را تحت تنش تراکمی قرار دهیم با شروع اعمال تنش و عبور سنگ از رفتار الاستیک شکستگی ها در سنگ ظاهر می شوند.در صورتیکه سنگ در الگوی فشارش تک محوره قرار گیرد گسیختگی های طولی[۱] ایجاد می شوند و این شکستگی ها به موازات محور بلند نمونه منتشر می شوند. در این نوع شکستگی ها که از نوع کششی هستند . با بر داشته شدن تنش سنگ تحت فرایند آزاد شدگی تنش قرار گرفته و شکستگی های رهایی[۲] توسعه می یابند. شکستگی های رهایی در توده های نفوذی گرانیتی و همچنین در سنگ های رسوبی ضخیم لایه یا توده ای شکل دیده می شوند و یک ساختار ریخت شناسی تحت عنوان فرسایش پوست پیازی[۳] ایجاد می کند . در شرایط تنش همه جانبه شکستگی های برشی مزدوج تشکیل می شوند (شکل) . نقطه تلاقی این شکستگی ها محور تنشی σ_2 است و محور تنش حداکثر σ_1 نیمساز زاویه حاده بین دو شکستگی مزدوج را نشان می دهد (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۸- الگوی تنشی و جهت گیری سطوح شکستگی ها در یک نمونه مکعب مستطیل از سنگ .

دخالت مولفه برش موجب چرخیدن شکاف اولیه ایجاد شده و نهایتا موجب شکل گرفتن شکستگی های زیگموئیدال خواهد شد (شکل ۳-۸) . در یک سیستم برش ساده راستگرد در شرایط شکننده-شکل پذیر ابتدا یک شکستگی کششی که قطب آن موقعیت محور σ_3 است ، تشکیل می شود. در طول دگرشکلی پیشرونده در حالی که شکستگی همزمان باز می شود وگسترش می یابد ، به دلیل عملکرد مولفه برش ، چرخشی بصورت چپگرد یا راستگرد صورت می پذیرد و شکل لنزی اولیه به شکل حروف Z یا S دچار تغییر می گردد که بنام شکستگی های زیگموئیدال[۴] یا شکستگی های باز- چرخشی[۵] نامیده شده اند.در بعضی رخنمون ها می توان نسل جدید از شکستگی های لنزی شکل را که شکستگی های زیگموئیدال قبلی را قطع کرده اند مشاهده کرد. تشخیص دقیق شکل این شکستگی ها می تواند به عنوان یک معیار در تعیین سوی برش مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۳-۸) .

۱-Longitudinal splitting
۲-Released fractures
۳-Onion
٤-Sigmoidal fractures
٥- Open Gash



شکل ۳–۸– الف– نمایی از شکستگی های باز در ماسه سنگ که توسط کوارتز پر شده اند ب– تشکیل شکستگی های کششی باز با اشکال زیگموئیدال و الگوی تنشی مربوطه .در این شکل θ زاویه جهت گیری محورکشیدگی و همچنین جهت گیری لبه شکستگی نسبت به لبه برش می باشد . پ– توسعه نسل های جدید از شکستگی های کششی که نسل قبلی را قطع کرده است.

مطالعه شکستگی ها شامل چهار الگوی مشاهده ای عملی بصورت زیر می باشد . ۱ – توزیع و هندسه سیستم شکستگی ۲– سیماهای سطح شکستگی ۳– سن نسبی تشکیل شکستگی های مختلف و ۴– ارتباط هندسی شکستگی ها با هم

کلاسه بندی شکستگی های کششی

در این بخش در جهت آشنایی با مفهوم کلاسه بندی لازم است ابتدا مفاهیم مرتبط با کلاسه بندی شکستگی ها را فرا بگیریم.

الف– دسته [۱]: شکستگی های رخ داده در یک محدوده یکسان با جهت گیری و آرایش مشابه .

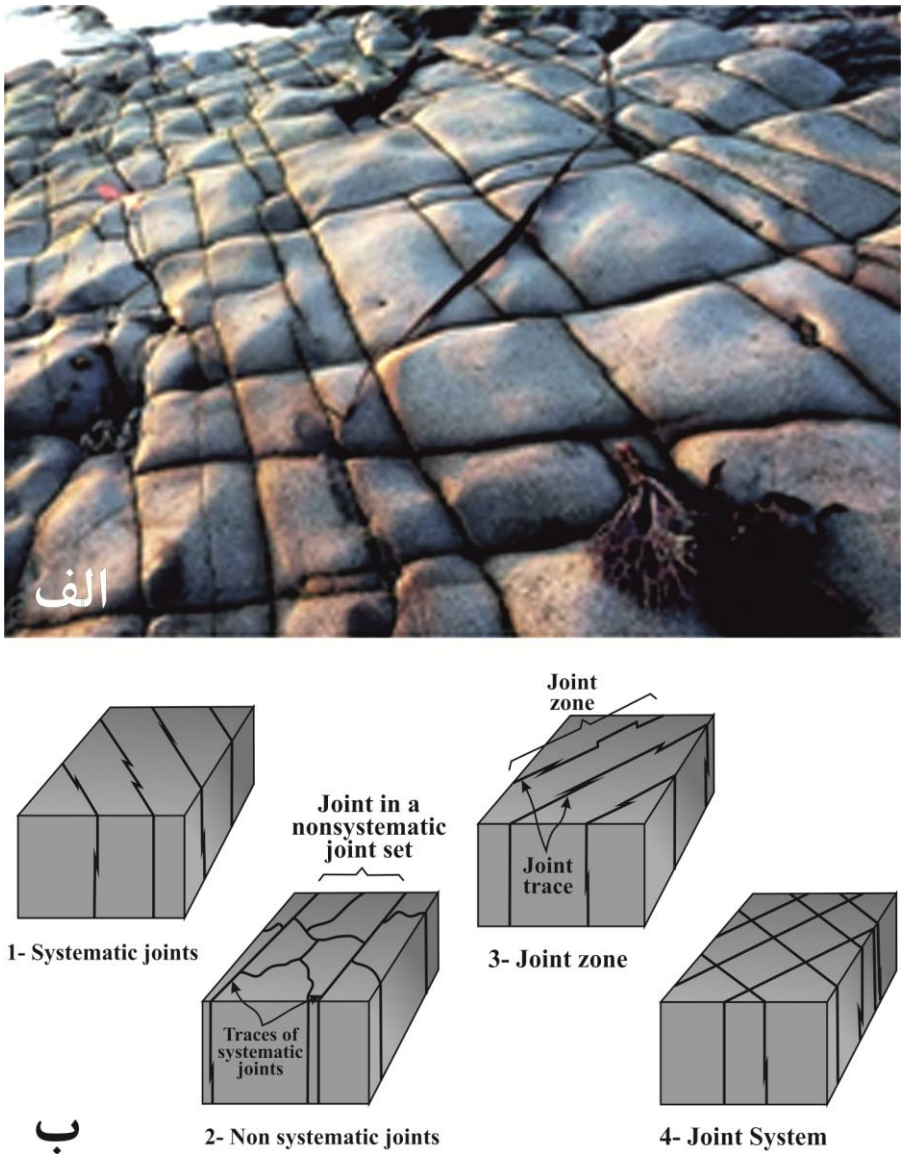
ب– درزه[۲]: شکستگی های کششی که جابجایی های خیلی کوچکی عمود بر سطح شکستگی نشان می دهند .به یک دسته از این شکستگی ها دسته درزه[۳] می گویند . شکستگی با جابجایی برشی کوچک می تواند یک شکستگی کششی باشد که جابجایی برشی بر روی آن پس از تشکیل اعمال شده است.

پ: درزه های سیستماتیک[۴]: درزه هایی که دارای سطوح نسبتا صاف وجهت گیری موازی و فاصله داری قاعده مندی[۵] می باشند (شکل۴–۸) .

ت : درزه های غیر سیستماتیک [۶] : درزه هایی که سطوح منحنی و هندسه نامشخص دارند . اگر چه ممکن است این درزه ها بصورت دسته های پیوسته ای دیده شوند و البته همیشه در تماس با دسته درزه های سیستماتیک قدیمی تر پایان پذیرفته اند . (شکل۴–۸) .

ج : پهنه درزه[۷]: یک محدوده تقریبا مداوم که از یک سری از شکستگی های موازی و تعداد زیادی شکستگی های منفرد را در بر گرفته است(شکل۴–۸) .

۱-Set
۲- Joint
۳-Joint set
٤-Systematic joints
٥- Regular spacing
٦- Non systematic joints
۷- Joint Zone



شکل ۴–۸ – الف : یک رخنمون که سه دسته درزه را بطور مشخص نشان می دهد ب : نمایش بلوک دیاگرامی از دسته درزه و سیستم درزه در بخش ۱ هندسه دسته درزه سیستماتیک در بخش ۲ الگوی شاخص از توسعه درزه های غیر سیستماتیک و پایان پذیری این شکستگی ها در مجاورت درزه های سیستماتیک در بخش ۳ تشکیل زون های درزه ای با حالت تقریبا پوششی بین درزه ها و در بخش ۴ دو دسته درزه متقاطع نشان داده شده است .

چ : سیستم درزه[۱] : دو یا چند دسته درزه که حجم مشخصی از سنگ را متاثر کرده اند (شکل۴–۸). در مقیاس رخنمون مفاهیم دسته و سیستم درزه ها تقریبا به یکدیگر نزدیک می باشند و می توانند در صدها تا هزاران کیلومتر مربع دیده شوند .هر دسته می تواند یک جهت یافتگی ثابت یا تدریجا " متغیر داشته باشد . چنین سیستم هایی می توانند پدیده های خطی[۲] یا خطواره ها[۳] را نشان دهند (شکل۵–۸) .

۱- Joint system
۲- Linear features
۳- Lineament

شکل ۵-۸- مشاهده شکستگی ها در مقیاس بسیار بزرگ در منطقه ساردوییه (شمال سبزواران)در جنوب شرقی ایران

ح : درزه های ورقه ای ،ورقه شدگی ودرزه های متورق[۱] : شکستگی های کششی با سطوح منحنی که در مقیاس چند صد متری دیده می شوند.این درزه ها بصورت نیمه موازی با سطح توپوگرافی می باشند و سطوح فرسایشی گرد شده ای را ایجاد می کنند.درزه های ورقه ای در بسیاری از انواع سنگ ها یافت شده اند اما در رخنمون های توده های نفوذی بهترین حالت را نشان می دهند. در این رخنمون ها درزه ها سنگ را شبیه به ورقه های پوست پیاز قطع می کنند (شکل ۶-۸) .

خ : درزه های ستونی[۲] : شکستگی های کششی که مشخصا" در توده های آتشفشانی ، دایک ها یا سیل ها و یا در جریانات خروجی ضخیم ایجاد می شوند.این شکستگی ها حجم سنگ را بصورت ستون های پنج یا شش گوش در می آورند و اغلب این سطوح بصورت عمود بر سطح تماس توده آذرین با سنگ های اطراف جهت گیری می کنند(شکل ۶- ۸) .

شکل ۶-۸- الف : درزه های ورقه ای در گرانیت نوادا در کالیفرنیا ب : برش عرضی شماتیک از نحوه تشکیل شکستگی های منشوری پ : ستون های منشوری شکل گرفته در بازالت ها در نتیجه توسعه شکستگی در عمق لایه بازالت

۱- Sheeting joint , sheeting or exfoliation joints
۲-Columnar joints

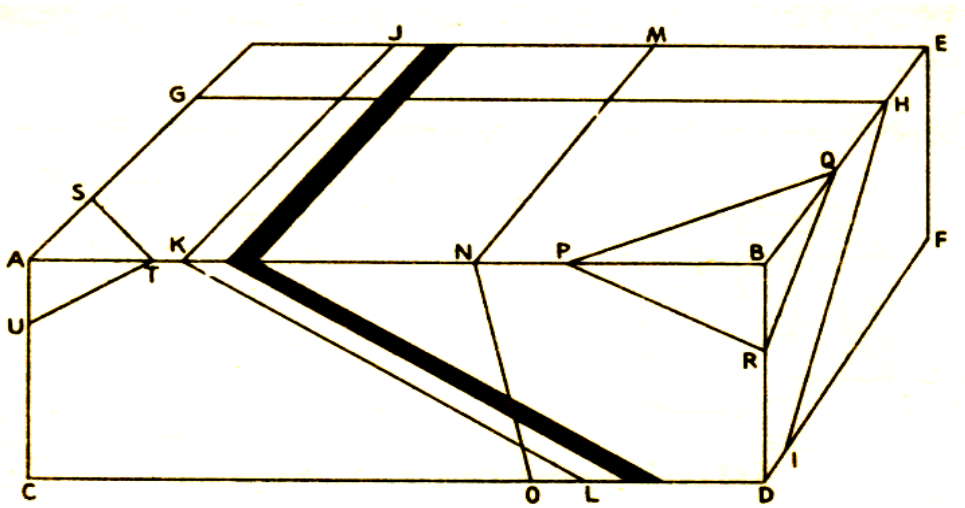
یکسری واژ ه های متنوع در خصوص ویژگی های درزه ها از قبیل ارتباط انها با سایر ساختار ها تعریف شده است. این خصوصیات در تعیین اختلافات بین دسه های درزه ها مفید می باشند اما بطور کلی نمی توانند در توصیف خصوصویات ضروری برای سیستم کلاسه بندی که می تواند در ارتباط با مکانیسم ایجاد درزه ها باشد مورد استفاده قرار گیرند. این واژه ها عبارتند از

د : درزه های امتدادی [۱] و درزه های شیبی [۲] : این درزه ها موازی امتداد لایه بندی و موازی جهت شیب لایه بندی می باشند .

ذ : درزه های لایه بندی[۳] : بصورت موازی با سطوح لایه بندی دیده می شوند.

ر : درزه های مایل یا مورب[۴] : درزه هایی که جهت گیری خاصی نسبت به ساختار های خطی نشان نمی دهند (شکل ۷– ۸) .

ز : درزه های متقاطع[۵] : این درزه ها بصورت سیستماتیک از یک دسته درزه هستند که یا بطور مشخص در تماس با دسته دیگری پایان پذیرفته اند و یا یک چین یا بعضی از پدیده های خطی را طی یک زاویه بزرگ قطع کرده اند.



شکل۷–۸– ارتباط درزه ها با لایه بندی . درزه های امتدادی (MNO) ، درزه های شیبی (GHI) ،درزه های لایه بندی (JKL) ، مایل یا مورب (PQR , STU)

هندسه سیستم های شکستگی در فضای سه بعدی

در مطالعه شکستگی ها در سنگ ها اطلاعاتی در خصوص الگوی فضایی توزیع شکستگی ها جمع آوری می گردد.این اطلاعات شامل جهت گیری ،اندازه ،فاصله داری و ارتباط فاصله داری با جنس سنگ و ضخامت لایه بندی می باشند سیستم های شکستگی ها هندسه خود همانند دارند بدین معنی که هندسه سیستم شکستگی مقیاس یکسان دارد و این خصوصیت بدون در نظر گرفتن مقیاس مشاهده ارائه می شود.بنابراین اندازه واقعی درزه و فاصله داری در یک اندازه گیری وابسته به مقیاس و وضوح مشاهده در سیستم مشاهده شده می باشد.

الف– جهت یافتگی شکستگی ها

بیشتر شکستگی ها تمایل به توسعه در دسته های مشخص شده در یک جهت گیری خاص دارند. تعیین جهت بافتگی های ترجیحی از دسته شکستگی های مختلف در سنگ یکی از معمولی ترین مفاهیم در مطالعه سیستم های شکستگی ها می باشد (شکل۸–۸) .در این خصوص باید جهت گیری های تمام شکستگی های مشاهده شده در سطح یک رخنمون اندازه گیری شود که البته سطح برداشت شده در با فاصله بین درزه ها یک نسبت بزرگ را نشان می دهد . برای تعیین الگوی ناحیه ای باید اندازه گیری ها از رخنمون های متعددی از منطقه صورت پذیرد . انطباق شکستگی ها و بطور خاص درزه ها از یک رخنمون به رخنمون دیگر مشخص می کند که آیا جهت گیری شکستگی ها یکسان می باشد یا از یک

۳- Strike joints
٤-Dip joints
۵- Bedding joints
٦-Diagonal joints
۷-Cross joints

رخنمون به رخنمون دیگر تغییر کرده است . سایر معیار ها همچون شواهد سن نسبی و جهت انتشار شکستگی ها و محدود شدن شکستگی ها به یک لایه خاص می تواند در تعیین انطباق شکستگی ها مهم باشد(شکل ۸–۸) .

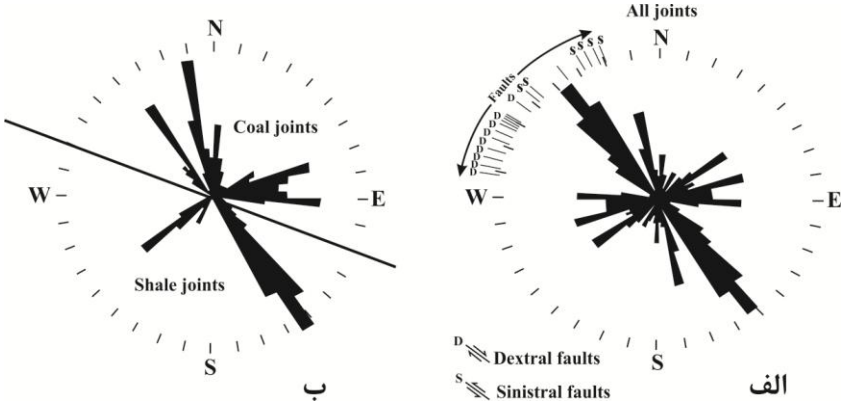
ارائه جهت گیری های اندازه گیری شده می تواند مشکلاتی را ایجاد نماید . بیشتر سطوح شکستگی یا انحنائ دارند یا بصورت پیچ خورده هستند که این ویژگی می تواند در نمایش جهت گیری ها و همچنین جهت گیری یک دسته خاص از شکستگی ها اشکالاتی را ایجاد نماید . در این خصوص زمین شناسان در جهت تعیین الگوی شکستگی ها نقشه های دقیقی از تمام شکستگی های رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه تعیین می کنند. این روش بهر حال صرفا یک الگوی دو بعدی از شکستگی ها ی منفرد و دسته های شکستگی ها ارائه می کند. نوع تحلیل انجام شده باید متناسب با کاربرد تعیین شده از اطلاعات باشد و زمین شناس باید به محدودیت ها و اشکالات بالقوه در استفاده از روش های مختلف توجه داشته باشد.

اگر چه داده جهت گیری شکستگی ها بسیار سودمند می باشد اما تفسیر هایی که به شدت بر روی جهت گیری ها ارائه شود می تواند گمراه کننده و ناقص باشند . برای مثال شکستگی های برشی معمولا" یکدیگر را طی زاویه تقریبا " ۶۰ درجه قطع می کنند و اما این فرض که تمام شکستگی هایی که در طی این زاویه یکدیگر را قطع کرده اند شکستگی برشی هستند اغلب درست نیست.

شبیه به این مورد نیز می توان گفت که شکستگی هایی که نسبت به سایر ساختار ها جهت گیری ثابتی نشان می دهند یک ارتباط ژنتیکی را تعریف می کنند ، اگرچه چنین تفسیر هایی نمی تواند نظریه های قبلی را رد کند اما غیر قابل اعتماد هستند مگر اینکه با سایر شواهد تایید شوند.

بیش از یک جهت شکستگی می تواند با یک واقعه شکنا همراه شود. شکستگی های ژنتیکی مرتبط می توانند در جهت گیری متفاوت باشند و این تفاوت می تواند نتیجه قطعه شدگی[۱] ، پیچ خوردگی ، انحنا یافتگی سطح شکستگی ،جهت گیری مجدد شکستگی به موازات یک سطح ضعف محلی در سنگ و یا منشعب شدن روند شکستگی به دو یا چندجهت باشد .

جهت گیری شکستگی های ژنتیکی(مربوط به یک رخداد گسیختگی) می تواند از یک رخنمون به رخنمون دیگر متفاوت باشد ضمن اینکه شکستگی ها در لایه های سنگی متفاوت می توانند نتیجه وقایع متفاوتی باشند . برای مثال شکل در بر گیرنده اطلاعات یکسانی می باشد اما در شکل دیاگرام گلسرخی جهت گیری درزه های موجود در لایه های شیل (بخش پایینی نمودار) را از درزه های موجود در لایه های ذغالی (بخش بالایی نمودار) را نسبت به شکل متفاوت نشان می دهد . نتیجه اینکه جدا کردن درزه ها بر اساس جنس سنگ شناسی می تواند در باز سازی یا رمز گشایی تاریخ تشکیل درزه ها مهم و مورد استفاده باشد(شکل ۸–۸) .



شکل ۸–۸– دیاگرام گلسرخی از امتداد درزه ها در لایه های شیل و ذغال سنگ .فاصله بندی آزیموت ۵ درجه است . بزرگترین روند در بر گیرنده ۴۰ درصد اندازه گیری ها است . الف : دیاگرام گلسرخی از تمام درزه ها . ب : یک رزدیاگرام دو بخشی مرکب از امتداد درزه ها در لایه های ذغالی در بخش بالایی نمودار و امتداد درزه ها در لایه های شیلی در بخش پایینی نمودار. باید به اختلاف در جهت گیری درزه ها در دو جنس سنگ شناسی توجه نماییم .

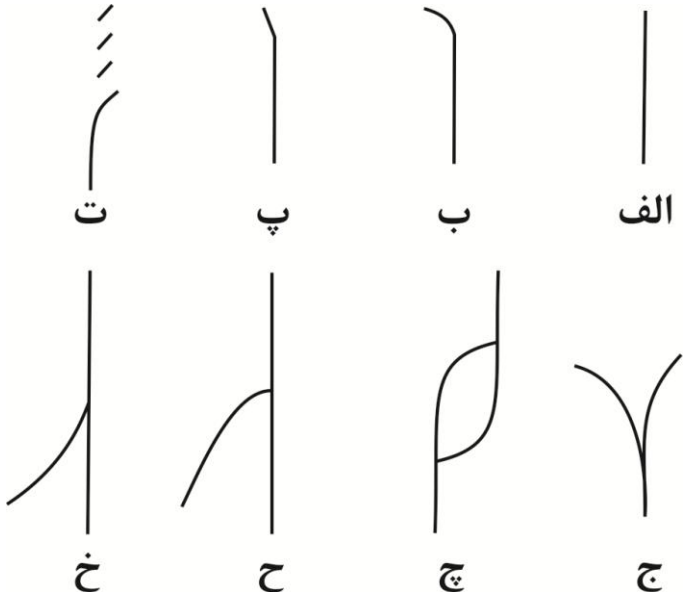
ب– مقیاس و شکل شکستگی ها

سطوح منفرد شکستگی ها در خطوط لبه[۲] پایان می پذیرند (شکل ۸–۸) . مشاهدات صحرایی نشان داده است که یک درزه می تواند بسادگی پایان پذیرد (شکل ۸–۸ الف) . پایان یافتگی شکستگی می تواندنتیجه انحنا یافتگی و اتمام سطح شکستگی (شکل شکل ۸–۸ ب) در نتیجه تا شدگی

۱- Segmentation
۲- Tip lines

(شکل شکل ۸–۸ پ) ، پیچ خوردگی ، قطعه شدگی با ایجاد قطعات پله ای ، انشعاب یافتن شکستگی اصلی (شکل ۸–۸ ت و ج) و یا انحنا یافتگی شکستگی به سمت درزه اولیه (شکل ۸–۸ چ، ح و خ) باشد .

قطع شدگی ها و منشعب شدن می تواند نتیجه ایجاد درزه ها در زمان های مختلف می باشد . در الگو های مرتبط با پایان پذیری شکستگی ها میزان جابجایی ها در عرض درزه و بطرف پایان آن کاهش می یابد . در دسته درزه یا در زون های درزه ای طول درز ه ها از چند سانتی متر تا چند متر متغییر است و حتی در درزه های اصلی[۱] به کیلومتر ها هم می رسد . شکستگی ها همچنین در مقیاس های میکروسکوپی نیز دیده می شوند که بنام ریز شکستگی ها[۲] نامیده شده اند . شکل درزه های منفرد بطور فزاینده ای وابسته به جنس سنگ شناسی و ساختار های آن دارد . در سنگ های همگن همچون گرانیت ، آرژیلیت و یا سنگ های نازک لایه با ترکیب ثابت محدوده سطح شکستگی ها به دایره ای یا بیضی شکل شدن تمایل پیدا می کند .درتوالی سنگ های رسوبی که در برگیرنده سنگ هایی همچون میان لایه های ماسه ای یا شیل ها که به لحاظ پارامتر های مکانیکی متنوع می باشند، معمولا یک سوی درزه ها بوسیله مرز های بالایی و پایینی لایه محدود می شود و درزه ها بیشتر از اینکه در عرض لایه ادامه یابند به گسترش به موازات مرز لایه بندی تمایل پیدا می کنند . اغلب در مرز تماس یک جنس سنگ شناسی منفرد با لایه های دیگر پایان می پذیرند، به عبارت دیگر مرز لایه بندی در واقع یک خط پایان برای تداوم درزه ها می باشد .



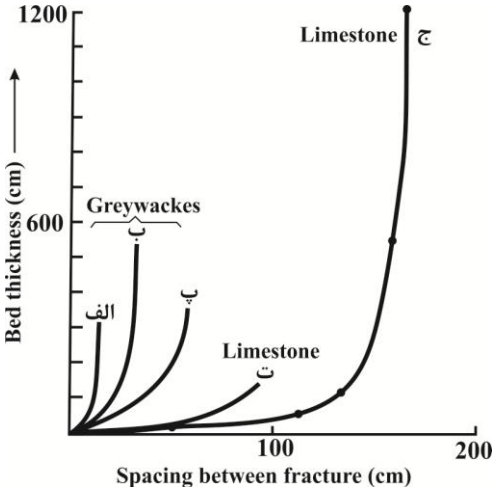
شکل ۸–۸– الگوهای پایان پذیری درزه های منفرد . الف : پایان پذیری یک درزه منفرد ب : خم شدگی و پایان پذیری یک درزه منفرد پ:تا شدگی و پایان پذیری یک درزه منفرد ت : پایان پذیری یک درزه منفرد به دلیل ایجاد یک سری شکستگی پله های ج : منشعب شدن درزه اولیه و پایان پذیری آن چ : خم شدگی در دو درزه منفرد به سمت هم و قطع شدگی آنها طی یک زاویه بزرگ ح : خم شدگی درزه ثانویه به سمت درزه اولیه و ایجاد یک زاویه تقاطع عمود خ : پایان پذیری یک درزه ثانویه با انحنائ یافتگی آن به سمت درزه اولیه و نهایتا موازی شدن با درزه اولیه .

پ– فاصله داری شکستگی ها

در دسته درزه های سیستماتیک، فاصله داری شکستگی ها می تواند بصورت میانگین فواصل عمود بین شکستگی ها و یا میانگین تعداد شکستگی های یافت شده در یک فاصله استاندارد قراردادی عمود بر سطوح شکستگی محاسبه گردد . اندازه گیری های مربوط به فاصله داری بین درزه ها باید برای درزه های با مقیاس مشابه انجام پذیرد زیرا که در بعضی سیستم ها فاصله داری وابسته به اندازه (طول) درزه ها می باشد . فاصله داری میانگین درزه ها در یک دسته درزه بطور خاص ثابت می باشد و این پارامتر بطور بخشی وابسته به جنس سنگ و ضخامت لایه ای که درزه در آن توسعه یافته می باشد (شکل ۱۰–۸) . در شکل نمودارهای الف تا پ اندازه گیری های انجام شده در لایه های ماسه ای از توالی های ماسه سنگی از نقاط متعدد با ضخامت های متفاوت را نشان می دهد .گروه داده های ت و ج در ارتباط با سنگ آهک های متفاوت است .دو موضوع در این نمودار ها با اهمیت دیده می شود . اول اینکه فاصله داری بین درزه های مجاور با افزایش ضخامت لایه افزایش پیدا می کند و البته بیشترین

۳-Master joints
۴-Micro fractures

مقدار فاصله داری بصورت وابسته به ضخامت دیده نمی شود . دوم اینکه ماکزیمم فاصله داری بیشتر در سنگ آهک ها نسبت به ماسه سنگ ها قابل ملاحظه است و این اختلاف عدم وابستگی نقش لیتولوژی به ضخامت را نشان می دهد.

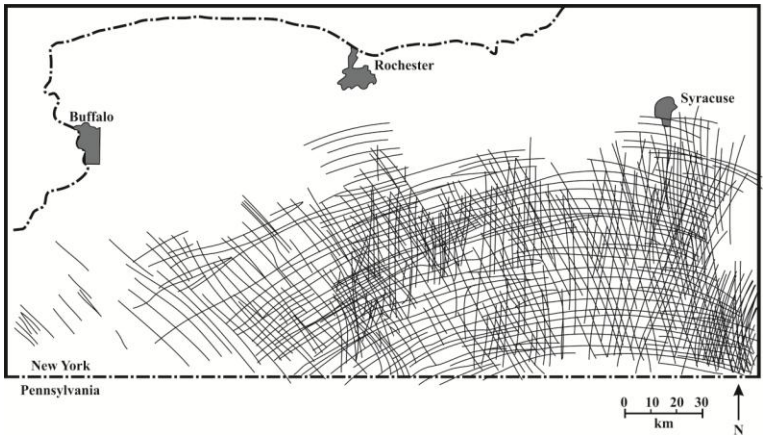


شکل ۱۰-۸ – ارتباط بین ضخامت لایه و فاصله داری اندازه گیری شده در لایه های ماسه ای در توالی ماسه سنگی(الف ، ب و پ) و سنگ اهک ها(ت و ج) . در داده های گروه A ضخامت میان لایه های شیلی کمتر از ۵ سانتی متر و برای داده های گروه ب و پ بیشتر از ۵ سانتی متر می باشد.

ت- الگوی توزیع سیستم های شکستگی ها

مفید ترین روش مطالعه الگو توزیع دسته های شکستگی ها تهیه نقشه محل و جهت گیری شکستگی ها می باشد . در نواحی با رخنمون های خوب توسعه یافته تهیه این نقشه برای درزه های مجزا ، مشخص کردن ارتباط درزه ها با یکدیگر ،تحلیل ناهمگنی درزه ها ،اتصال درزه ها و یا هندسه آنها امکان پذیر می باشد . در این نقشه ها امتداد و جهت شیب درزه ها ، ارتباط درزه ها با سایر ساختار های محلی و میزان یا مقدار و جهت برش روی سطح شکستگی قابل نمایش می باشد .

در بیشتر حالات نه رخنمون مناسب وجود دارد و نه زمان کافی برای تهیه یک نقشه دقیق در اختیار می باشد . معمولا اطلاعات جمع آوری شده از رخنمون ها در یک گستره وسیع بر روی نقشه پراکنده و پخش می شوند. بر اساس اطلاعات مربوط به دسته درزه های مجزا و همچنین بوسیله انطباق دسته درزه ها از یک رخنمون به رخنمون دیگر خطوط یا مسیر های عبور[۱] شکستگی ها در سایر رخنمون های منطقه باز سازی می شود (شکل۱۱-۸) .

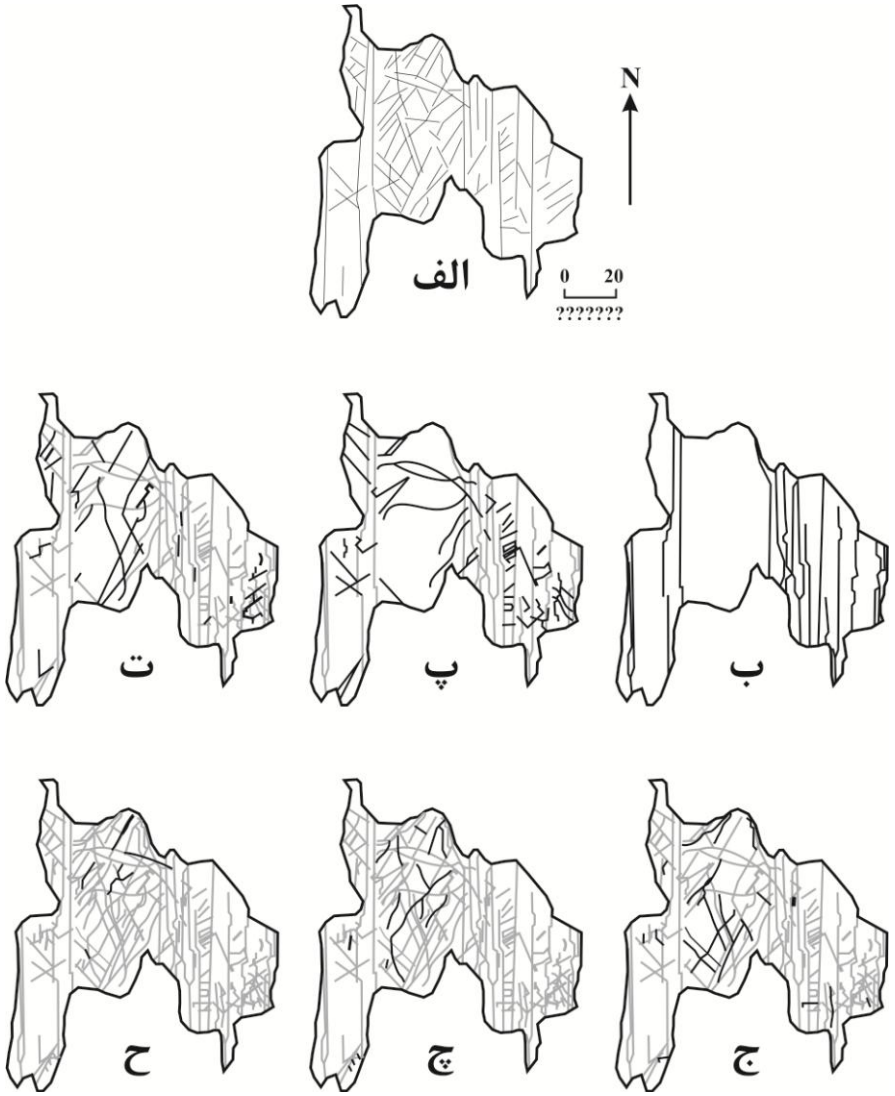


شکل ۱۱-۸- نقشه شکستگی ها در منطقه آپالاش در ایالت نیویورک . روند خطوط بازسازی شده موازی با انتداد غالب درزه های اندازه گیری شده در رخنمون های محلی در کل منطقه می باشد .

۱-Trajectories

سن سنجی تشکیل شکستگی ها

تفسیر توسعه دسته های شکستگی بر مبنای تعیین زمان تشکیل آنها نسبت به یکدیگر و نسبت به سایر ساختار ها می باشد . اگر چه این ارتباطات مخصوصا برای شکستگی های کششی اغلب مبهم و سخت می باشد ما می توانیم یک سازماندهی جزئی در این خصوص داشته باشیم . جاییکه بیشتر از یک دسته شکستگی توسعه یافته باشد شکستگی های جوانتر باید در مجاورت شکستگی قدیمی تر پایان یابند، بدین دلیل که یک شکستگی کششی نمی تواند در عرض سطح آزاد شکستگی دیگر که پر نشده است انتشار یابد. بسیاری از پایانه های شکستگی های جوانتر یک زاویه بزرگ را شکل می دهند و تقاطع های T شکل ساخته می شوند و شکستگی های کششی جوانتر جاییکه به شکستگی قدیمی تر نزدیک می شود به سمت زاویه بزرگ تقاطع، انحنائ پیدا می کنند . تقاطع های کم زاویه اغلب در بعضی از سیستم های شکستگی ها رخ می دهند . جاییکه دو شکستگی به سمت یک تقاطع با زاویه بزرگ نسبت به یکدیگر انحنا ئ پیدا کنند شکستگی ها باید همزمان باشند (شکل۸–۸) .



شکل ۱۲–۸– تعیین تاریخ تشکیل شکستگی ها با اختصاص دادن شکستگی ها به قدیمی ترین نسل احتمالی با فرض بر این که شکستگی های جوانتر در دخل محدوده شکستگی های قبلی واقع شده اند .الف : نقشه تمام الگوهای شکستگی (بعد فرکتال1.50) . ب تا چ : هر دیاگرام اضافه شدن جوانترین نسل شکستگی (خطوط سیاه پر رنگ) را نسبت به دسته شکستگی قبلی (خطوط خاکستری) نشان می دهد .بعد فرکتال از شکل ب به سمت شکل چ افزایش یافته است .

تحلیل ارتباطات مرزی شکستگی های کششی در الگوی شکستگی های پیچیده می تواند توالی توسعه شکستگی ها را در یک سیستم اثبات نماید.چنین ارزیابی در شکل ۸–۸ ارائه شده است. در نقشه تکمیلی از شکستگی ها (شکل ۱۲–۱۸ الف) ارتباطات مرزی برای تعیین هر یک از شکستگی ها نسبت به قدیمی ترین نسل ممکن مورد استفاده می باشد. توالی تعریف شده از توسعه شکستگی ها در شکل ۲۱–۸ ب تا ح نمایش

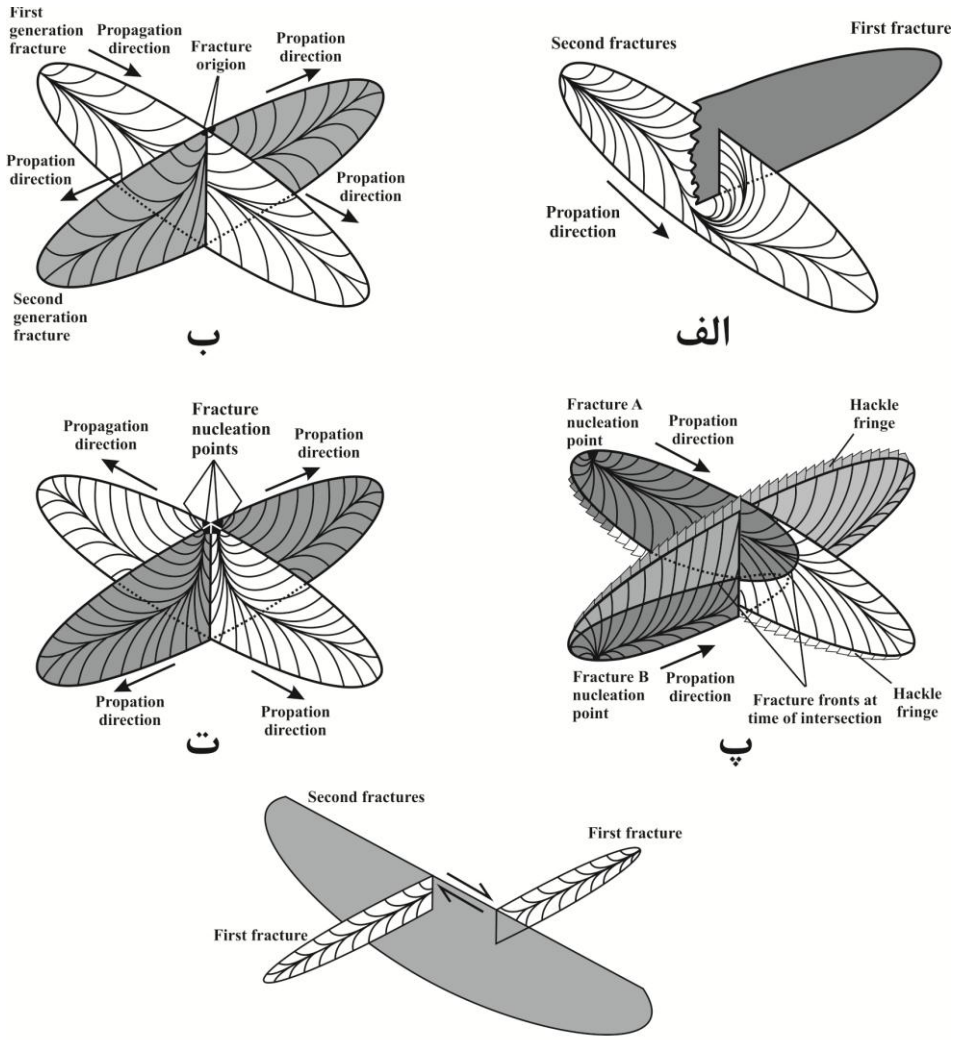
داده شده است. در هر شکل جدیدترین شکستگی شکل گرفته به رنگ سیاه و شکستگی قبلی به رنگ خاکستری دیده می شود.نکته اینکه اولین نسل شکستگی ها یک الگوی کاملا مشخص از شکستگی های سیستماتیک و بصورت موازی هم و با تقاطع های کم را نشان می دهد.(شکل ۱۲-۸ ب) . نسل های بعدی از شکستگی ها بصورت کوتاهتر و درجه سیستماتیک ضعیفتر و با تمایل به سمت شکستگی های قدیمی تر و ایجاد بلوک های چند ضلعی دیده می شوند.نسل های جوانتر شکستگی ها بطور فزاینده اتصال سیستم شکستگی های قبلی را توسعه می دهند.

این نوع تحلیل صرفا برای سیستم شکستگی های کششی در جائیکه شکستگی ها توسط ته نشست کانی ها پر نشده باشند کاربرد دارد. مقایسه شکسته شدن پیشرونده سنگ توسط اضافه شدن نسل های جدید از شکستگی ها و توسعه پیش رونده دسته ای متعدد از درزه های سیستماتیک نشان می دهد که در تشکیل شکستگی های بعدی پر شدن شکستگی های قبلی می تواند مهم باشد. در بسیاری حالات درزه ها یکدیگر را قطع می کنند. در این حالت ارتباط درزه ها نمی تواند در الگوی سن نسبی تشکیل شکستگی ها مورد تفسیر قرار گیرد چرا که این ارتباط می تواند بصورت های گوناگون و مختلف تفسیر شود.

اگر اولین درزه شکل گرفته بسته ، تحت یک فشار بالا قرار داشته باشد درزه بعدی قادر به انتشار در عرض درزه بسته شده قبلی می باشد و همچنین اگر درزه اول بوسیله ته نشست کانی ها سیمانی شده باشد سطح درزه نمی تواند به عنوان یک سطح آزاد عمل کند و درزه بعدی می تواند درزه قدیمی تر را قطع نماید. البته باید ذکر کرد که در بعضی از سیستم های شکستگی انحلال کانی های ته نشست شده یک ارتباط قطع شدگی مبهم ایجاد می نماید.

یک درزه اولیه کم عمق در لایه می تواند بوسیله یک درزه ثانویه عمیق که بطرف بالا بر روی یکی از لبه های درزه قدیمی تر منتشر شده است قطع گردد. درزه ثانویه می تواند در اطراف لبه درزه قدیمی تر ادامه داشته و در جهت های مخالف هم منتشر شود و تقاطعی از درزه ها را بوجود آورد که البته در این حالت تفسیر سن نسبی تشکیل شکستگی ها مبهم خواهد بود (شکل ۱۳-۸ الف) سن نسبی تنها می تواند در حالتی اعلام شود که شانه ها بر روی درزه جوانتر برای تعیین جهت انتشار پیشانی شکستگی مورد ارزیابی قرار گیرند. دو درزه با جهت گیری یکسان میتوانند اغلب از یک محل بر روی لبه های مخالف از یک شکستگی قدیمی تر نشات بگیرند (شکل۱۳-۸ ب) . این دو درزه بصورت درزه های مداوم ظاهر می شوند وتفسیر تقاطع آنها با شکستگی اولیه دارای ابهام می باشد.

دو دسته درزه می تواند اغلب در طول یک واقعه یکسان شکل بگیرند. برای مثال یک دسته از درزه ها می تواند در یک جهت در بالای لایه شکل بگیرد و به سمت پایین منتشر شود . درحالیکه دسته بعدی از درزه ها می تواند در جهت دیگر در کف لایه ایجاد شود و به سمت بالا منتشر گردد (شکل۱۳-۸ پ) . تقاطع اینها ارتباط سن نسبی متناقضی را نشان می دهد زیرا در نقاط مختلف در طول تقاطع ، خطوط شانه ای نشان می دهد که درزه های مختلف بصورت خیلی قدیمی شکل گرفته اند. یک ژئومتری مشابه می تواند طراحی شود اگر دو جفت از درزه های هم سطح در زمان یکسان و مکان یکسان ایجاد شوند (شکل ۱۳-۸ ت) . این الگو می تواند برای تعیین زمان های نشان داده شده در شکل های ۱۳-۸ ب و ت تنها بوسیله ارزیابی هندسه شانه ها برروی سطوح درزه مورد استفاده قرار گیرد . ارتباطات متناقص اغلب می تواند در زمانی که جابجایی برشی بر روی شکستگی بعدی رخ می دهد نتیجه بخش باشد. جابجایی درزه اول می تواند بصورت پایانه درزه جوانتر در مجاورت درزه دوم ظاهر شود (شکل ۱۳-۸ ج) .



شکل ۱۳–۸– منشائ تقاطع شکستگی ها . فلش های تیره رنگ جهت عمومی انتشار شکستگی را نشان می دهد . الف–یک شکستگی اولیه کم عمق (سطح خاکستری سایه دار) بوسیله یک شکستگی ثانویه عمیق تر قطع می شود .ارتباط قطع شدگی مبهم است . ب– دو شکستگی هم منشائ (سطح خاکستری سایه دار) در نقاط مجاور و بر روی لبه های مخالف از شکستگی اولیه با یک ارتباط مبهم شکل می گیرند . الگوهای شانه ای ابهام در تقاطع و منشائ شکستگی ها را حل می کند . پ– دو شکستگی متقاطع که در جهت های متفاوت در بالا و پایین لایه ایجاد شده اند . بخش های سایه دار از سطوح شکستگی و پیشانی های شکستگی ، هندسه انتشار شکستگی در زمانی که دو پیشانی شکستگی بهم برخورد می کنند را تعیین می کنند . الگوی شانه ها تعیین می کند که بالای شکستگی A و کف شکستگی B نسبت به نقطه تقاطع خیلی قدیمی تر هستند . ت – دو جفت درزه هم صفحه ایجاد شده در یک نقطه یکسان یک تقاطع غیر قابل تشخیص از حالت ب نشان می دهد . ج– جابجایی برشی شکستگی اولیه توسط شکستگی برشی ثانویه یک پایانه ظاهری را برای شکستگی قدیمی تر در مقابل شکستگی جوانتر نشان می دهد .

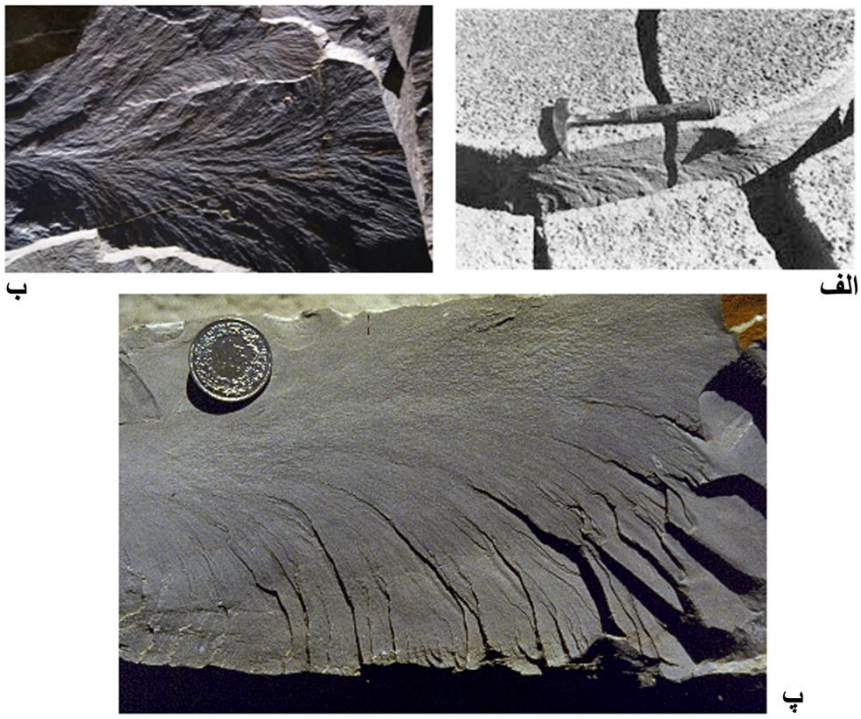
پدیده های سطح شکستگی ها

پدیده های شکل گرفته در سطح شکستگی ها می تواند اطلاعات مفیدی در جهت تفسیر منشائ شکستگی ها فراهم آورد . بیشتر درزه ها یک الگوی قاعده مند از پشته های ملایم[۱] و کنده شدگی ها[۲] بنام هاکل را نشان می دهند . این الگو بنام ساختار پر مانند[۳] (به دلیل شباهت به ساختار پر) یا ساختار هاکل معرفی شده است. این ساختار در سنگ های متفاوتی دیده می شود و البته در سنگ های همگن و دانه ریز بیشتر و واضح تر دیده می شود (شکل۱۴–۸) .

۱-Subtle ridges

۲- grooves

۳- Plumose structure or hackle plume

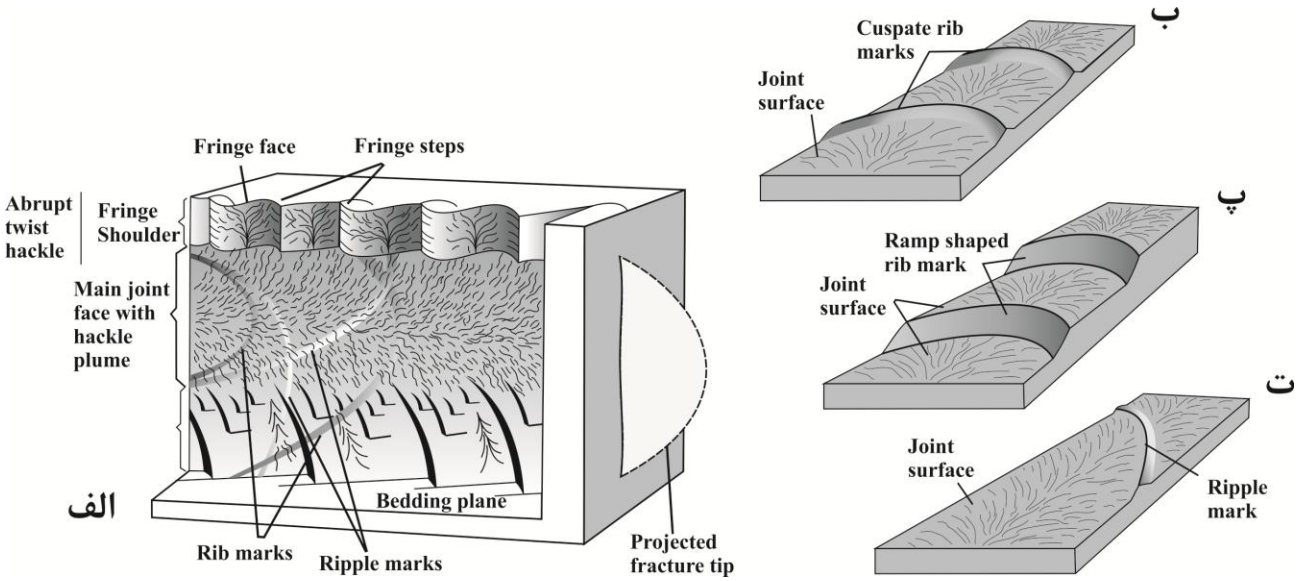


شکل ۱۴–۸– ساختار پر مانند در الف: گلسنگ ، ب : ماسه سنگ پ : سطح شکستگی پر مانند بهمراه سطوح هاکل

در شکل ۱۵–۸ پدیده های شاخص شکستگی های پر مانند نشان داده شده است . سطح اصلی شکستگی شانه های پر مانند را که نسبت به محور اصلی ساختار به حالت واگرا منشعب می شوند در بر می گیرد . سطح درزه ممکن است به صورت یک سری سطوحی که به حالت پیچ خورده نسبت به سطح اصلی قرار دارند تکه تکه شود. این قطعه شدگی سطح اصلی درزه می تواند به تدریج با دور شدن از محور اصلی صفحه شکستگی افزایش می یابد (شکل۱۴–۸) . نتیجه این قطعه شدگی ایجاد ساختار های شانه انگشتی[۱] یا سطوح انگشتی [۲] می باشد که بصورت شکستگی های پوششی در طول شکستگی اصلی دیده می شوند . در واقع سطوح انگشتی می توانند در نقش ساختار های شانه ای رده دو نسبت به ساختار شانه ای اصلی باشند . این سطوح انگشتی نباید با ساختار های پر مانند و شکستگی های باز شده اشتباه شوند . سطوح انگشتی در مقایسه با شکستگی های پر مانند یا شکستگی های باز معمولا طی یک زاویه کوچکتری با شکستگی اصلی قرار می گیرند . در مقیاس سه بعدی نیز این دو نوع شکستگی با هم متفاوت می باشند به گونه ای که درعمق سطوح انگشتی به سطح شکستگی اصلی محدود شده ولی شکستگی پر مانند و شکستگی های باز در داخل صفحه شکستگی اصلی رخ می دهد .

سطح شکستگی اصلی می تواند در بر گیرنده پدیده های منحنی شکلی تحت عنوان نشانه ای دنده ای و مواج[۳] باشد که محور اصلی ساختار شانه ای را قطع می کند . نشانه های دنده ای در برش عرضی هم بصورت برجسته [۴] و هم بصورت ترکیبی از سطوح صاف و سطوح شیبدار[۵] دیده می شوند (شکل۱۵–۸) . نشانه های مواج نسبت به محور شانه بصورت عمود بر خط شانه و نشانه های دنده ای بصورت مورب قرار می گیرند (شکل ۱۴–۸) . ساختار های پر مانند الگو های متنوعی را نشان می دهند که می تواند خصوصیات خاصی از درزه ها و اختلافات مهم در فرایند ایجاد شکستگی ها را اشکار سازد . هندسه شانه های پر مانندیک معیار مهم در تفسیر تاریخ ایجاد شکستگی ها و همچنین معیاری برای تفسیر الگوی تنشی می باشد. در ساختار پر مانند محور پر موقعیت محور تنش σ_1 و قطب شکستگی موقعیت محور تنشی σ_3 را نشان می دهد .

٤-Hackle fringe
٥-Fringe faces
١-Rib mark and ripple mark
٢-Cuspate
٣-Ramp



شکل ۱۵-۸- نمایش شماتیک بلوک دیاگرام درزه ای پر مانند .الف- پدیده های مرتبط با یک درزه سیستماتیک شامل شانه پر مانند ، نشانه های دنده ای ، نشانه های مواج و درزه های انگشتی . ب- نشانه های دنده ای برجسته پ- نشانه های دنده ای شیب دار و ت- نشانه های مواج

ارتباطات شکستگی ها با سایر ساختار ها

ساختار های متعددی وجود دارد که تعیین می کند شکستگی های کششی در رسوبات قبل از سخت شدگی در سنگ ایجاد شده اند .هنگامی که این چنین شکستگی هایی قبل از ته نشست رسوبات بالایی ایجاد می شوند، شکستگی های باز می توانند با رسوبات بعدی پر شوند.ترک های گلی یکی از این نمونه های قابل مشاهده می باشند.اگر یک شکستگی پر شیب در رسوبات سخت نشده شکل بگیرد و قبل از سخت شدگی با کانی پر شود، شکستگی پر شده با کانی می تواند یکسری از چین ها را در همزمانی با کوتاه شدگی همراه شده با تراکم ثانویه رسوبات شکل دهد.شکستگی های کششی در رسوبات سخت نشده در حضور فشار سیال بالا می تواند در ایجاد دایک های کلاستیک نتیجه بدهد . باز شدگی شکستگی می تواند یک ناحیه با فشار پایین را ایجاد کند که باعث حمل مواد سخت نشده از داخل سنگ خواهد شد. حضور چنین ساختار هایی تایید می کند که بعضی از دزه ها می توانند خیلی پیش تر از سنگ ها شکل بگیرند.

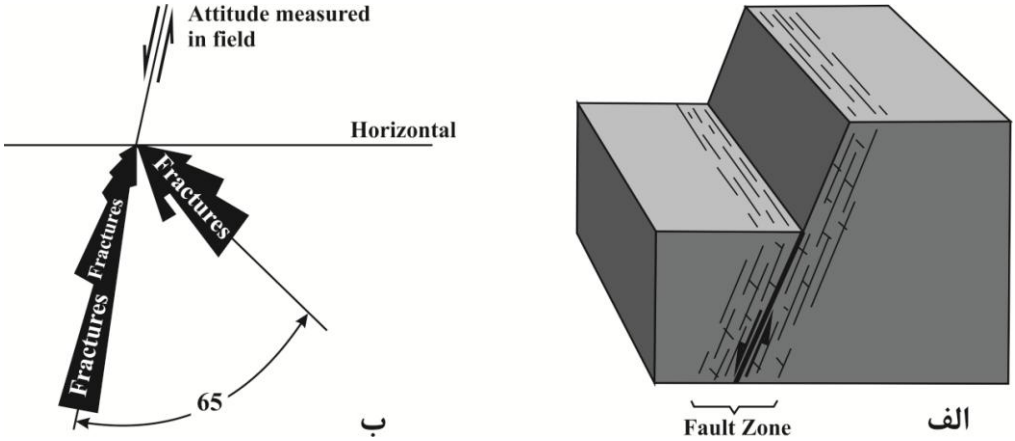
شکستگی هایی که مرز ها یا ساختار های زمین شناسی را قطع می کنند بوضوح بعد از تشکیل مرز یا ساختار ایجاد شده اند . برای مثال یک دسته درزه که توده نفوذی را قطع می کند جوانتر از واقعه نفوذی هستند و درزه هایی که جهت گیری یکسانی را در عرض لایه های چین خورده نشان می دهند باید بعد از چین خوردگی ایجاد شده باشند . شکستگی هایی که بوضوح بوسیله یک ساختار زمین شناسی متاثر شده اند نسبت به آن ساختار قدیمی تر هستند . یک دسته درزه که تغییرات جهت گیری را در یک چین نشان می دهد اما در همه جا ارتباط زاویه ای یکسانی ر ا با لایه بندی نشان می دهد می تواند هم بصورت قبل یا همزمان با چین خوردگی باشد اما احتمالا جوانتر از چین خوردگی نیست .

اگر یک دسته درزه مینرالیزه شده یا توده نفوذی در طول شکستگی تزریق شده باشد این درزه قدیمی تر از رخداد کانه زایی یا رخداد توده نفوذی است . اگر یک دسته درزه در یک سنگ خالی از کانه زایی یا توده های نفوذی باشد بنابراین این درزه احتمالا بعد از رخداد کانه زایی یا توده نفوذی تشکیل شده است .کاربرد این معیار ها بوضوح نشان می دهند درزه ها می توانند در هر زمانی از تاریخ سنگ تشکیل شوند چه زمان های اولیه هنگامی که رسوب هنوز سخت نشده یا در زمان های ثانویه هنگامی که درزه ها بعد از ساختار ها در سنگ ایجاد می شوند . این موضوع نشان می دهد که بیش از یک مکانیسم باعث ایجاد درزه ها می شود . در موضوع ارتباط شکستگی به سایر ساختار ها ارتباط شکستگی ها با دو ساختار اصلی گسل و چین مورد بحث قرار می گیرد .

۱- شکستگی های همراه با گسل ها و مناطق برشی

شکستگی ها اغلب بصورت سیما های فرعی فضایی مرتبط با سایر ساختار ها شکل می گیرند .اگر چنین ارتباطاتی ثابت شود شکستگی ها می توانند اطلاعاتی در خصوص منشائ ساختار های همراه ارائه نمایند.در بعضی حالت ها گسل ها بوسیله دو دسته از شکستگی های کوچک مقیاس همراهی می شوند که در یک زاویه تقریبا ۶۰ درجه نسبت بهم و در جهت خلاف سوی برش قرار می گیرند.این شکستگی ها بنام شکستگی های برشی مزدوج نامیده می شوند.شکل ۱۶-۸ اطلاعاتی برای یک سیستم مزدوج توسعه یافته در یک ناحیه نزدیک به یک گسل را نشان می

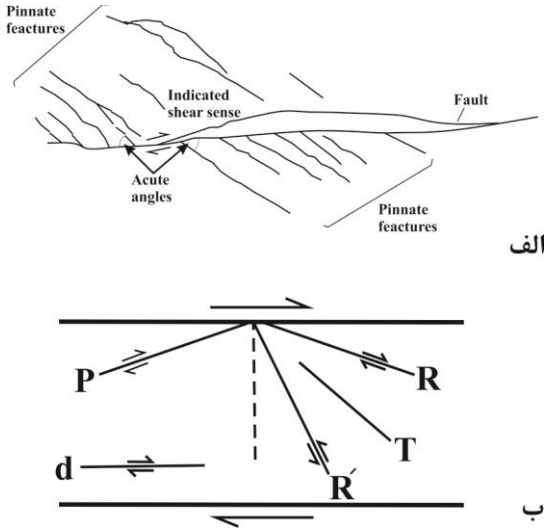
دهد.دیاگرام گلسرخی در شکل ۱۶–۸ ب در یک سطح قائم عمود بر امتداد گسل رسم شده است. در این شکل توزیع شیب شکستگی ها در زیر خط افقی نشان داده شده است. جهت گیری گسل بر روی شکل تعیین شده است. دسته اصلی شکستگی ها بوضوح موازی گسل می باشد و دسته دوم و دسته ای که کمتر توسعه یافته اند تحت زاویه تقریبا ۶۵ درجه نسبت به دسته اصلی قرار دارند.



شکل ۱۶–۸– شکستگی های برشی همراه شده با گسلش . الف –گسل نرمال با شکستگی ها ی برشی شاخص (خطوط بلند) و شکستگی های برشی فرعی مزدوج (خطوط کوتاه) ب–دیاگرام گلسرخی در صفحه قائم توزیع شیب دو دسته از شکستگی های ایجاد شده همراه با گسل نرمال را نشان می دهد .

شکستگی های کششی عموما در همراهی با پهنه های برشی در سنگ های دگریخت شده توسعه می یابند . شکستگی های پر مانند[۱] ، شکستگی های کششی هستند که بصورت پله ای در طول شکستگی برشی شکنا آرایش پیدا می کنند و اینکه بصورت موازی با هم و به حالت مورب نسبت به شکستگی اصلی قرار می گیرند . سوی چرخش زاویه حاده از شکستگی اصلی به سمت هر یک از شکستگی های کششی تعیین کننده سوی برش بر روی صفحه گسل می باشد . (شکل ۱۷-۸ الف) . بطور جامع تر می توان شکستگی های همراه شده با گسل های شکنا را مطابق شکل ۱۷-۸ ب معرفی نمود . همانطور که در شکل دیده می شود شکستگی های متنوعی در ارتباط با گسل های شکنا ایجاد می شود .شکستگی های T با زاویه ٤٥ درجه نسبت به پهنه برشی یک شکستگی کششی است . سایر شکستگی ها شامل P ,d ,R و R′ شکستگی های برشی هستند .شکستگی های d موازی لبه برش و شکستگی های R وP با زاویه φ/۲ نسبت به راستای برش قرار دارند. سه شکستگی یاد شده همسو[۲] با برش هستند .شکستگی R′ نسبت به خط عمود بر برش با زاویه φ/۲ تشکیل می شود که نسبت به جهت برش ناهمسو[۳] است .اگر منطقه برش را به عنوان شکستگی مرتبه اول در نظر بگیریم کلیه شکستگی ها در شکل ۱۷-۸ مرتبه دوم دوم خواهند بود .

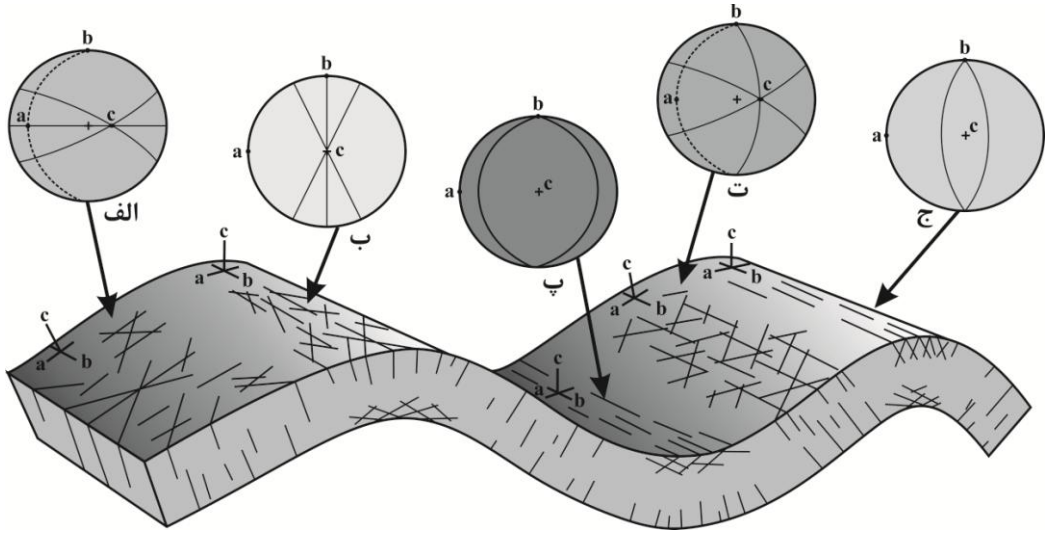
۱-pinnate or feather fractures
۲-Synthetic
۳-Antithetic



شکل ۱۷–۸– شکستگی های مرتبط با گسلش شکنا الف– شکستگی های پر مانند در یک آرایش پله ای در طول یک گسل شکنا . سوی چرخش داخل زاویه حاده از صفحه گسل به سمت سطوح شکستگی های پر مانند سوی برش بر روی صفحه گسل را تعیین می کند . ب–موقعیت شکستگی های سیستماتیک همراه شده با پهنه برشی راستگرد

۲– شکستگی های همراه با چین ها

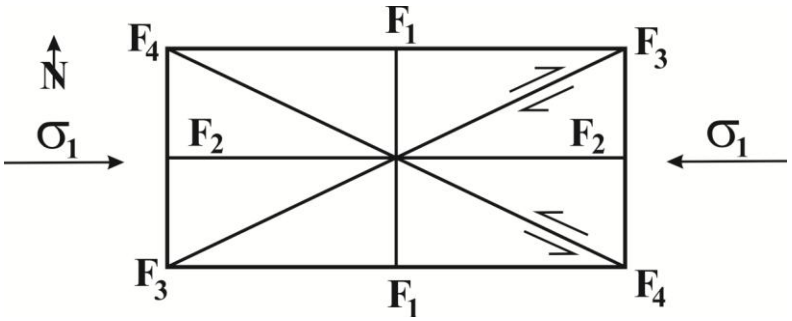
شکستگی ها در سنگ اغلب در همراهی با چین ها توسعه می یابند. تنوعی از جهت گیریها و تقارن نسبت به چین گزارش شده است.قراردادی برای اشاره به جهت گیری در یک سیتم اورتوگونال با مختصات a,bو c در ارتباط با هندسه چین و لایه بندی وجود دارد. محور b موازی با محور چین است ، خطی است که لایه در اطراف آن چین می خورد (شکل ۱۸–۸) . خط موازی با محورچین خط موازی با لایه بندی است صرفنظر از جائیکه برروی چین قرار دارد.بنابراین محور b یک جهت گیری یکسان برای تمام حالات محور های a ,b و c دارد.محور c در همه جا عمود بر لایه بندی است و محور a در صفحه لایه بندی و عمود بر محور چین (b) و محور c قرار دارد.



شکل ۱۸–۸– شکستگی های همراه شده با چین خوردگی .در شبکه استریوگرافیک جهت های سیستم مختصاتی مرجع (a,b,c) و لایه بندی غیر افقی (دوایر بزرگ خط چین) و شکستگی ها (دوایر بزرگ ضخیم) نشان داده شده است .

شکل ۱۸–۸ یک نمایش دیاگرامی از جهت گیری شکستگی های مرتبط با چین ها را نشان می دهد. شکستگی ها ی موازی با صفحه محورهای a و c و موازی با صفحه محور های b و c بنام شکستگی های ac وbc نامیده می شوند. شکستگی ها در دسته های الف وب و پ و ت در شکل ۱۸–۸ تماما عمود بر لایه بندی نشان داده شده اند. در دسته های الف و ب شکستگی ac یا bc نیمساز زاویه حاده بین دو دسته شکستگی است که بنام شکستگی های مایل نامیده می شوند.در دسته ت، شکستگی bc نیمساز زاویه منفرجه بین شکستگی های مایل می باشد . شکستگی های مایل در دسته پ و ج موازی با محور چین یا محور b می باشند.اینها در دسته پ یک زاویه کوچک و دردسته ج یک زاویه بزرگ با لایه بندی می سازند

.شکستگی ها در دسته های الف وت منحصرا در یال های چین دیده می شوند.دسته های ب و ج تمایل به همراهی با لبه های محدب چین دارند جائیکه انحنا بیشتر است.دسته پ بر روی لبه های مقعر شدیدا انحنائ یافته رخ می دهند. این احتمال وجود دارد که شکستگی ها در تمام این جهت گیری ها با چین همراه بشوند.شکستگی های ac و bc شکستگی های کششی هستند و شکستگی های مایل و شیب دار شکستگی های برشی هستند.این تفسیر همیشه مفید نیست و بطور ساده بر مبنای الگوی شکستگی و جهت گیری آنها است. چنین شکستگی هایی در بعضی حالات بصورت قبل از چین خوردگی و در بعضی حالات بصورت بعد از چین خوردگی تفسیر شده اند می توان با استفاده از روابط هندسی بین درزه ها و لایه بندی در شبکه استریوگرافیک به حل مسئله سن نسبی شکستگی ها نسبت به چین خوردگی پرداخت . بدین صورت که اگر فرض کنیم یک نمونه سنگ تحت تاثیر تنش σ_1 با موقعیت N80E,00 قرار گیرد دو دسته درزه کششی F_1 و F_2 و دو دسته درزه برشی F_3 (برشی راستگرد) و F_4 (برشی چپگرد)به صورت سیستماتیک شکل می گیرد . محل تلاقی شکستگی ها منطبق بر محور σ_2 است .اگر شرایط پلاستیک باشد چینی بوجود می آید که سطح محوری آن موازی F_1 است ،از این رو به آن شکستگی طولی می گویند.طبیعتا شکساگی F_2 که عمود بر F_1 است شکستگی عرضی نامیده می شود . اگر زاویه اصطکاک داخلی سنگ ۳۰ درجه در نظر گرفته شود زاویه بین σ_1 و شکستگی برشی نیز ۳۰ درجه خواهد بود . اگر این نمونه سنگ به عنوان یک لایه افقی در نظر گرفته شود محور چین دارای موقعیت N00E,00 خواهد بود که با قطب درزه کششی عرضی هم موقعیت خواهد بود (شکل ۱۸–۸) .

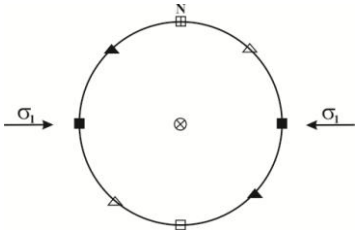


شکل ۱۸–۸– شکستگی های ایجاد شده در نتیجه تاثیر تنش بر روی یک لایه

به منظور تحلیل درزه ها قطب شکستگی ها را روی استریونت رسم می کنیم (شکل۲۰–۸) .برای سادگی قطب شکستگی ها را روی استریونت با نشانه های زیر نشان می دهیم :

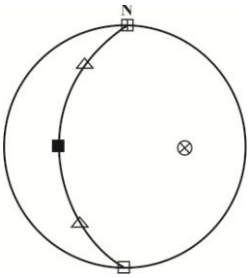
قطب شکستگی های کششی طولی ■ قطب شکستگی های برشی راستگرد ▲ قطب لایه بندی ○

عرضی □ چپگرد Δ قطب صفحه π ×



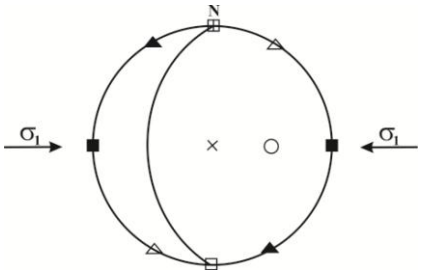
شکل ۲۰–۸ –توزیع استریوگرافیک قطب درزه ها ، لایه بندی و قطب صفحه π

در این شرایط صفحه π (دایره بزرگی که از قطب درزه ها می گذرد) افقی و منطبق برسطح لایه بندی است ، به عبارت دیگر قطب لایه بندی بر قطب صفحه π منطبق است . تمامی شکستگی ها با توجه به زاویه اصطکاک داخلی و موقعیت محورهای تنش قائم تشکیل می شوند . این موضوع را در نظر داشته باشید که شکستگی های سیستماتیک داخل لایه افقی قبل از چین خوردگی بوجود آمده اند . اگر به تدریج لایه چین بخورد با چرخش یال های چین حول محور چین خوردگی درزه ها نیز بصورت هماهنگ خواهند چرخید و در نتیجه قطب درزه ها روی دایره کوچک استریونت دوران خواهد کرد (شکل ۲۱–۸) . در این شکل فقط قطب درزه های واقع بر یال غربی چین برای سادگی به نمایش در آمده است . همانطور که شکل نشان می دهد صفحه π بر صفحه لایه بندی منطبق است یا به عبارت دیگر قطب صفحه π منطبق بر قطب لایه بندی است . قطب درزه عرضی که بر محور چین نیز منطبق است با موقعیت N00E,00 همواره در فضا ثابت باقی می ماند .



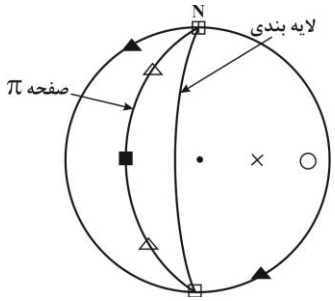
شکل ۲۱-۸ –توزیع قطب درزه های سیستماتیک قبل از چین خوردگی

واضح است که فاصله قطب درزه عرضی از قطب درزه طولی ۸۰ درجه و فاصله قطب درزه عرضی از قطب درزه برشی ۳۰ درجه و همواره ثابت باقی می ماند. پس اگر قطب لایه بندی در هر مرحله از چین خوردگی منطبق به قطب صفحه π باشد نشان می دهد که درزه ها قبل از چین خوردگی وجود داشته اند . حال شرایطی را در نظر بگیرید که یال غربی چین به طرف غرب شیب دارد و میدان تنش شیبه حالت قبل است . به بیان دیگر می خواهیم حالتی را مورد بحث قرار دهیم که درزه ها پس از چین خوردگی یا حین چین خوردگی تشکیل شوند . طبیعی است تشکیل درزه ها تابع میدان تنش بوده و هیچ ارتباطی با وضعیت لایه بندی ندارد . شکل ۲۲-۸ توزیع درزه ها در لحظه تشکیل و وضعیت لایه چین خورده را روی استریونت نشان می دهد .



شکل۲۲-۸- وضعیت قطب درزه های سیستماتیک و لایه چین خورده

درزه های سیستماتیک با شیب ۸۰ درجه تشکیل شده اند . قطب صفحه π در مرکز استریونت است و بر قطب لایه بندی منطبق نیست .واضح است که هر چه فاصله قطب لایه بندی و قطب صفحه π بیشتر باشد نشان می دهد که درزه ها در فاصله زمانی طولانی تری پس از آغاز چین خوردگی شکل گرفته اند . از لحظه ای که درزه ها شکل می گیرند همراه یال چین حول محور چین در دگریختی پیشرونده چرخش خواهد کرد . شکل۲۳-۸ ارتباط قطب لایه بندی و قطب صفحه π پس از ادامه چین خوردگی را نشان می دهد .



شکل ۲۳-۸- وضعیت قطب درزه های پس از چین خوردگی.

تمامی تصاویر استریوگرافیک که تا اینجا بررسی شد محور چین افقی در نظر گرفته شده بود .در صورتی که محور چین شیب داشته باشد تمامی روابط بین قطب درزه ها ،قطب صفحه π با قطب لایه بندی عینا" روی استریونت های مایل که شیب آنها معادل شیب محور چین باشد قابل بررسی خواهد بود .جابجایی برشی روی شکستگی ضرورتا معنای اینکه شکستگی بصورت برشی ایجاد شده است را نمی دهد . در جهت ایجاد یک تفسیر مناسب از سیستم شکستگی، توصیف تمامی خصوصیات شامل شناسایی، دلایل برای جابجایی های کششی و برشی ، توزیع فضایی شکستگی ها و دلایل پیشنهادی برای توالی سن نسبی تشکیل شکستگی ها در دسته های مختلف لازم می باشد .