

الحمد لله الذي  
خلقنا من  
الحمم



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوفیزیک-لرزه‌شناسی

# آشکارسازی گسل در داده‌های لرزه‌ای با استفاده از ترکیب نشانگرها و روش‌های لبه‌یابی

نگارنده:

جبار موسوی

اساتید راهنما:

دکتر محمد رداد

دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

استاد مشاور

دکتر امین روشندل کاهو

بهمن ۱۳۹۹

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تایید کند.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیز و مهربانم که در تمام مراحل زندگی پشتیبان و مشوقم بوده اند.

## تشکر و قدردانی

باسپاس و تقدیر ویژه از اساتید بزرگوار و ارجمندم جناب آقایان، دکتر محمدرداد، دکتر مهرداد سلیمانی منفرد و دکتر این

روشندل کا هو که بدون راهنمایی های آن هتاین این پایان نامه بسیار مشکل می نمود.

# تعمدنامه

اینجانب جبار موسوی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه شناسی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه آشکارسازی گسل در داده های لرزه ای با استفاده از ترکیب نشانگرها و روش های لبه یابی تحت راهنمایی دکتر محمد رداد متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

## تاریخ

## امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

یکی از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی که در مطالعات اکتشافی از اهمیت بالایی برخوردار است، گسل‌ها هستند. گسل‌ها با جابجایی لایه‌بندی و ایجاد تله‌های ساختاری باعث به دام افتادن هیدروکربن می‌شوند. از این‌رو مطالعه ساختارهای گسل خورده اهمیت پیدا می‌کند. گاهی به دلیل پیچیدگی ساختاری و وجود نوفه در داده‌های لرزه‌ای، شناسایی گسل در این داده‌ها، فرآیندی دشوار است و تعیین محل دقیق آن‌ها از روی داده لرزه‌ای ممکن نیست. نشانگرهای لرزه‌ای، ابزاری هستند که اطلاعات نهفته در داده‌های لرزه‌ای را آشکار می‌نمایند و امکان تفسیر کیفی و کمی را در اختیار مفسر لرزه‌نگاری قرار می‌دهد. با این‌همه، وجود نوفه و وابستگی نشانگرهای لرزه‌ای به پارامترهایی نظیر شیب و آزمون ساختارها، باعث می‌شود که گهگاه آشکارسازی الگوی گسلی تنها با استفاده از یک یا چند نشانگر امکان‌پذیر نباشد. در این پایان‌نامه با استفاده از ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای و روش‌های لبه‌یابی به شناسایی ساختارهای گسل خورده بر روی داده‌های لرزه‌ای پرداخته شده است. به علت اینکه اساس روش‌های لبه‌یابی، مشتق‌گیری است در نتیجه همراه با برجسته‌سازی ساختارهای گسل خورده نوفه تصویر را هم افزایش می‌دهند که برای جلوگیری از این عمل قبل از اعمال عملیات لبه‌یابی بر روی مکعب‌های نشانگر لرزه‌ای عملیات ریخت‌شناسی ریاضیاتی برای کاهش نوفه تصویر و برجسته‌سازی ساختارهای گسل خورده صورت می‌گیرد؛ و پس از آن عملگرهای لبه‌یابی بر روی مقاطع نشانگر اعمال می‌شوند. در پایان نتایج به دست آمده از هر مرحله از فرآیند توسط برانبارش رنگی باهم تلفیق شده و مورد بررسی و تفسیر قرار گرفتند. نتایج به دست آمده عملکرد مناسب استراتژی پیشنهادی را در شناسایی ساختارهای گسل خورده نشان می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** نشانگر لرزه‌ای، لبه‌یابی، ریخت‌شناسی ریاضیاتی، برانبارش رنگی RGB، گسل

# لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- موسوی، جبار و رداد، محمد و سلیمانی منفرد، مهرداد و روشندل کاهو، امین، ۱۳۹۸، شناسایی

گسلها با استفاده از ترکیب نشانگرهای لرزه ای و روش لبه یابی پرویت، اولین همایش ملی پردازش سیگنال

و تصویر در ژئوفیزیک، شاهرود،،،/https://civilica.com/doc/۹۷۰۴۶۱

# فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱ تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۲

۲-۱ پیشینه تحقیق ۳

۳-۱ هدف از انجام پایان نامه ۶

۴-۱ ساختار پایان نامه ۷

فصل ۲: نشانگرهای کاربردی در آشکارسازی گسل ۹

۱-۲ مقدمه ۱۰

۲-۲ نشانگر انحنا ۱۱

۳-۲ نشانگر همدوسی ۱۵

۴-۲ نشانگر شباهت ۱۷

۵-۲ نشانگر واریانس ۱۸

۶-۲ نشانگر آشفتگی ۲۰

### فصل ۳: روش تحقیق

۲۳

۳-۱ مقدمه ..... ۲۴

۳-۲ استراتژی پیشنهادی ..... ۲۴

۳-۳ روش‌های لبه‌یابی ..... ۲۷

۳-۴ تشخیص لبه با استفاده از مشتق اول، روش گرادیان ..... ۳۰

۳-۴-۱ عملگر پرویت ..... ۳۳

۳-۴-۲ عملگر سوبل ..... ۳۵

۳-۵ تشخیص لبه با استفاده از مشتق دوم، روش لاپلاسین ..... ۳۷

۳-۵-۱ روش لاپلاسین گوسی ..... ۳۸

۳-۶ مقایسه روش‌های لبه‌یابی ..... ۳۹

۳-۷ ریخت‌شناسی ریاضیاتی ..... ۴۱

۳-۷-۱ اتساع ..... ۴۲

۳-۷-۲ فرسایش ..... ۴۳

۳-۸ برانبارش رنگی RGB ..... ۴۵

### فصل ۴: اعمال روش بر روی داده‌های لرزه‌ای

۴۷

۴-۱ مقدمه ..... ۴۸

۴-۲ مشخصات داده لرزه‌ای ..... ۴۸

۴-۳ اعمال نشانگرهای لرزه‌ای بر روی داده لرزه‌ای ..... ۵۱

۴-۴ اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی بر روی مقاطع نشانگر ..... ۵۳

۴-۵ اعمال روش‌های لبه‌یابی ..... ۵۷

۴-۵-۱ اعمال روش لبه‌یابی پرویت ..... ۵۷

۴-۵-۲ اعمال روش لبه‌یابی سوئل ..... ۵۹

۴-۵-۳ اعمال روش لاپلاسین گوسی (log) ..... ۶۱

۴-۶ اعمال تلفیق رنگی RGB ..... ۶۲

۴-۷ مقایسه نتایج خروجی روش‌های لبه‌یابی ..... ۶۶

فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ..... ۶۹

۵-۱ نتیجه‌گیری ..... ۷۰

۵-۲ پیشنهادها ..... ۷۱

مراجع ..... ۷۲

# فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: مفهوم انحنا در نمایش دوبعدی، انحنا به صورت عکس شعاع دایره مماس بر سطح در هر نقطه تعریف می‌شود. [۳۲]. ..... ۱۲
- شکل ۲-۲: اعمال نشانگر انحنا بر روی افق لرزه‌ای برای شناسایی ساختارهای گسل خورده. (الف) بیشینه انحنا مثبت و (ب): بیشینه انحنا منفی [۷]. ..... ۱۴
- شکل ۳-۲: آشکارسازی ساختارهای گسل خورده بر روی داده لرزه‌ای توسط نشانگر همدوسی (الف) مقطع زمانی لرزه‌ای، (ب) مقطع زمانی نشانگر همدوسی [۶]. ..... ۱۷
- شکل ۴-۲: آشکارسازی ساختارهای گسل خورده بر روی مقطع زمانی لرزه‌ای توسط نشانگر شباهت. (الف) قبل از اعمال نشانگر شباهت و (ب) بعد از اعمال نشانگر شباهت [۳۸]. ..... ۱۸
- شکل ۵-۲: شناسایی ساختارهای گسل خورده بر روی مقطع لرزه‌ای توسط نشانگر واریانس (الف): مقطع لرزه‌ای و (ب): مقطع نشانگر واریانس [۱۰]. ..... ۲۰
- شکل ۶-۲: (الف)، مقطع داده لرزه‌ای و (ب)، مقطع نشانگر آشفتگی [۳۹]. ..... ۲۱
- شکل ۱-۳: فلوچارت کلی از استراتژی پیشنهادی آشکارسازی گسل. ..... ۲۶
- شکل ۲-۳: سیگنال  $f$  با یک لبه هموار [۴۶]. ..... ۲۹
- شکل ۳-۳: گرادیان سیگنال  $f$  [۴۶]. ..... ۲۹
- شکل ۴-۳: مشتق دوم سیگنال  $f$  [۴۴]. ..... ۳۰
- شکل ۵-۳: تصویر با یک پیکسل در موقعیت لبه به همراه بردار گرادیان آن [۴۲]. ..... ۳۰
- شکل ۶-۳: نحوه محاسبه اندازه عددی بردار گرادیان و امتداد لبه در یک نقطه از تصویر. ..... ۳۳
- شکل ۷-۳: عملگر پرویت، (الف) عملگر افقی، (ب) عملگر عمودی [۴۱]. ..... ۳۴

- شکل ۳-۸: تصویر عملگر سه بعدی  $3 \times 3 \times 3$  پرویت در راستای محور مختصات، عملگر  $Sx$ ، عملگر  $Sy$  و عملگر  $Sz$  ..... ۳۴
- شکل ۳-۹: عملگر سوبل، (الف) عملگر افقی و (ب) عملگر عمودی [۴۱] ..... ۳۵
- شکل ۳-۱۰: تصویر سه بعدی عملگر سه بعدی  $3 \times 3 \times 3$  سوبل در راستای محور مختصات، عملگر  $Sx$ ، عملگر  $Sy$  و عملگر  $Sz$  [۴۱] ..... ۳۶
- شکل ۳-۱۱: دو عملگر پر کاربرد برای محاسبه لاپلاسیان ..... ۳۸
- شکل ۳-۱۲: نمایش یک بعدی و دوبعدی عملگرهای لاپلاسیان گوسی [۵۱] ..... ۳۹
- شکل ۳-۱۳: مقایسه روش های لبه یابی. (الف) تصویر اصلی، (ب) عملگر پرویت، (ج) عملگر سوبل و (د) لبه یابی لاپلاسیان گوسی [۵۲] ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۴: کاوش یک تصویر توسط یک عنصر ساختار، پیکسل های سفید و خاکستری به ترتیب دارای مقادیر صفر و غیر صفر هستند [۲۱] ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۵: مثال دوبعدی از عنصر ساختار با شکل لوزی که اندازه ی آن با تعداد گسترش پیکسل ها در راستای هر محور از مبدأ عنصر ساختاری تعریف می شود. مبدأ عنصر ساختاری با علامت  $\times$  نشانه گذاری شده است. (الف) عنصر ساختاری با اندازه ۱. (ب) عنصر ساختاری با اندازه ۲. ..... ۴۳
- شکل ۳-۱۶: مثالی از عملیات بستن. (الف) یک تصویر سطح خاکستری. (ب) نتیجه پس از اتساع. (پ) نتیجه پس از اعمال فرسایش بر نتیجه اتساع. ..... ۴۴
- شکل ۳-۱۷: شکل شماتیک مکعب RGB رنگ های اصلی و فرعی و همچنین رنگ های سیاه و سفید، رؤس مکعب را نشان می دهند. .... ۴۶
- شکل ۴-۱: موقعیت جغرافیایی بلوک F3 ..... ۴۸
- شکل ۴-۲: تصویر شماتیک از بلوک F3 در دریای شمال. .... ۴۹

شکل ۳-۴: (الف) بخش برش خورده از داده لرزه‌ای بلوک F3 که شامل ساختارهای گسل خورده است.

(ب)، مقطع زمانی ۱۷۲۸ میلی ثانیه. .... ۵۰

شکل ۴-۴: مقاطع نشانگر استخراج شده از داده لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۳-۴. (الف) نشانگر شباهت،

(ب) نشانگر همدوسی، (ج) نشانگر، واریانس و (د) نشانگر آشفتگی. .... ۵۳

شکل ۵-۴: (الف) مقطع نشانگر شباهت و (ب) مقطع نشانگر شباهت پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی.

..... ۵۵

شکل ۶-۴: (الف) مقطع نشانگر همدوسی و (ب) مقطع نشانگر همدوسی پس از اعمال ریخت‌شناسی

ریاضیاتی. .... ۵۵

شکل ۷-۴: (الف) مقطع نشانگر واریانس و (ب) مقطع نشانگر واریانس پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی.

..... ۵۶

شکل ۸-۴: (الف) مقطع نشانگر آشفتگی و (ب) مقطع نشانگر آشفتگی پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی.

..... ۵۷

شکل ۹-۴: مقاطع حاصل از اعمال عملگر پرویت بر روی نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات ریخت‌شناسی

ریاضیاتی بر روی آن‌ها انجام شده است. (الف) مقطع نشانگر شباهت، (ب) مقطع نشانگر همدوسی، مقطع

نشانگر واریانس، مقطع نشانگر آشفتگی. .... ۵۹

شکل ۱۰-۴: مقاطع حاصل از اعمال عملگر سوبل بر روی نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات ریخت‌شناسی

ریاضیاتی بر روی آن‌ها انجام شده است. (الف) مقطع نشانگر شباهت، (ب) مقطع نشانگر همدوسی، (ج)

مقطع نشانگر واریانس و (د) مقطع نشانگر آشفتگی. .... ۶۰

شکل ۱۱-۴: مقاطع حاصل از اعمال لبه یاب لاپلاسین گوسی بر روی نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات

ریخت‌شناسی ریاضیاتی بر روی آن‌ها انجام شده است. (الف) مقطع نشانگر شباهت، (ب) مقطع نشانگر

همدوسی، (ج) مقطع نشانگر واریانس و (د) مقطع نشانگر آشفتگی. .... ۶۲

شکل ۴-۱۲: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفستگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی. .... ۶۳

شکل ۴-۱۳: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای که ریخت‌شناسی ریاضیاتی روی آن‌ها انجام شده است. (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفستگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی. .... ۶۴

شکل ۴-۱۴: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات لبه‌یابی توسط عملگر پرویت لبه‌یابی شده‌اند (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفستگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی. .... ۶۵

شکل ۴-۱۵: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات لبه‌یابی توسط عملگر سوپل لبه‌یابی شده‌اند (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفستگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی. .... ۶۵

شکل ۴-۱۶: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات لبه‌یابی توسط عملگر لاپلاسین گوسی لبه‌یابی شده‌اند (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفستگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی. .... ۶۶

# فہرست علامات

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| Laplacian of Gaussian.....           | LOG  |
| Gray-Level Co-Occurrence Matrix..... | GLCM |
| Formation Micro-scaner Images.....   | FMI  |

# فصل ۱ : مقدمه

## ۱-۱ تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق

شناسایی و آشکارسازی الگوهای گسل خورده در فرایند تفسیر لرزه‌ای<sup>۱</sup> از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. شناخت و شناسایی الگوهای گسلی به تعیین اندازه، هندسه و میزان ذخیره مخزنی کمک می‌کند [۱]. گسل‌ها<sup>۲</sup> با جابجایی لایه‌بندی و ایجاد تله‌های ساختاری باعث به دام افتادن هیدروکربن می‌شوند. همچنین این ساختارها ممکن است به‌عنوان مجرای استفاده شوند که از طریق آن هیدروکربن پس از تولید به سمت مخزن هیدروکربنی مهاجرت می‌کند. براساس تحقیقات انجام‌شده اگر در مرحله تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری زون گسلی با دقت شناسایی و تعیین نشود، در مرحله حفاری چاه این امر باعث از دست رفتن گل حفاری می‌شود. به‌گونه‌ای که بخش زیادی از گل حفاری وارد زون گسل خورده می‌شود و این امر باعث بروز مشکلات متعددی می‌گردد [۲]. تفسیر گسل یک مؤلفه مهم در تعیین اطلاعات ساختاری مخزن است. شناسایی گسل‌ها بر روی مقاطع لرزه‌ای می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد چگونگی حرکت مایعات در مخزن و ارتباط مایعات مخزنی ارائه کند. همچنین گسل‌ها به‌عنوان ساختار-های زمین‌شناسی می‌توانند تأثیر بسزایی در نفوذپذیری مخزن داشته باشند که این امر می‌تواند در بهره‌وری و کارایی مخزن مؤثر باشد [۳]. با این‌همه شناسایی و تفسیر گسل‌ها با چالش‌هایی همراه است ، با توجه به اینکه در مقاطع لرزه‌ای به دلیل وجود نوفه و بازتاب‌های ضعیف، تشخیص و تعیین مرزهای دقیق گسل‌ها کار دشواری است. استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای<sup>۳</sup> در این زمینه بسیار امیدبخش بوده است.

نشانگر لرزه‌ای، ابزاری است که اطلاعات نهفته در داده‌های لرزه‌ای را آشکار می‌نماید و امکان تفسیر

---

<sup>۱</sup> Seismic interpretation

<sup>۲</sup> Seismic attribute

<sup>۳</sup> Faults

کیفی و کمی را در اختیار مفسر لرزه نگاری قرار می‌دهد [۴]. در زمینه آشکارسازی رویدادهای گسل - خورده برخی نشانگرها همچون همدوسی<sup>۱</sup>، شباهت<sup>۲</sup>، واریانس<sup>۳</sup>، انحنای<sup>۴</sup> و آشفتگی<sup>۵</sup> از کارایی بالایی برخوردار هستند و به بهبود آشکارسازی رخدادهای گسل خورده کمک شایانی می‌کنند.

باین‌همه شناسایی تمامی پدیده‌های ساختاری نظیر گسل‌ها به دلیل وجود نوفه وعدم پیوستگی پدیده‌های ساختاری و همچنین وابستگی نشانگرهای لرزه‌ای به پارامترهایی نظیر ویژگی‌های هندسی و ساختاری امر آسانی نیست. از این‌رو استفاده از روش‌های لبه‌یابی که یک ابزار کارا برای شناسایی مرزهای پدیده‌های تصویراست ضرورت می‌یابد. ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای و عملگرهای لبه‌یابی برای آشکارسازی مرزهای الگوهای لرزه‌ای همچون مرزهای کانال‌های مذفون، گنبدیهای نمکی، ریف‌ها و ... یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این پایان‌نامه قصد بر این است که با استفاده از ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای و روش‌های لبه‌یابی آشکارسازی بهتری از رخدادهای گسل خورده بر روی داده‌های لرزه‌ای ارائه شود.

## ۲-۱ پیشینه تحقیق

تاکنون از چندین نشانگر برای شناسایی ساختارهای گسل خورده استفاده شده است. در زمینه<sup>۶</sup> استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای در تصویرسازی گسل، باهوریچ<sup>۶</sup> و فارمر<sup>۷</sup> در سال ۱۹۹۵ برای اولین بار استفاده از الگوریتم همدوسی بر مبنای همبستگی متقابل را برای تشخیص ناپیوستگی‌های ساختاری و گسل‌ها پیشنهاد کردند [۵]. در ادامه الگوریتم روش همدوسی بر مبنای شباهت توسط مارفورت<sup>۸</sup> و همکاران

---

<sup>۱</sup> Coherency

<sup>۶</sup> Bahorich

<sup>۲</sup> Similarity

<sup>۷</sup> Farmer

<sup>۳</sup> Variance

<sup>۸</sup> Marfurt

<sup>۴</sup> Curvature

<sup>۵</sup> Chaos

در سال ۱۹۹۸ به عنوان روشی برای محاسبه همدوسی با استفاده از تحلیل شباهت برای تشخیص گسل‌ها به کار برده شد [۶]. چوپرا<sup>۱</sup> و مارفورت در سال ۲۰۰۷ از انحرافات ناحیه‌ای مربوط به شیب ظاهری روی هر قطعه زمانی برای تعیین اندازه انحنا در هر نمونه حجم سه‌بعدی استفاده کردند [۷]. دووان<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ از نشانگر همدوسی بر مبنای تحلیل طیف واریانس برای شناسایی مرزهای گسل‌ها و کانال‌ها استفاده کردند [۸]. کاسون<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ از نشانگر واریانس<sup>۴</sup> بر اساس روش لبه‌یابی برای شناسایی ساختارهای گسل خورده استفاده کردند [۹]. در مورد استفاده از نشانگر آشفتگی<sup>۵</sup> پیگات<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۳ و فاضل و الرحیم در سال ۲۰۱۹ از این نشانگر برای شناسایی ساختارهای گسل خورده و ناپیوستگی‌های مرتبط با گسل خوردگی‌ها استفاده کردند [۱۰] و [۱۱]. همچنین بختیاری و همکاران در سال ۲۰۰۹ و امین‌زاده و دیگران<sup>۷</sup> برای شناسایی ساختارهای گسل خورده از نشانگرهای لرزه‌ای استفاده کردند [۱۲] و [۱۳].

تکنیک دیگری که در زمینه‌ی آشکارسازی الگوی گسلی در برخی تحقیقات بکار گرفته شده است استفاده از روش‌های لبه‌یابی<sup>۸</sup> است. روش‌های لبه‌یابی بر مبنای ناپیوستگی در داده‌های لرزه‌ای در محدوده صفحه گسل نتایج امیدبخشی در زمینه تفسیر الگوی گسلی ارائه کرده‌اند. روش‌های لبه‌یابی گوناگونی تاکنون توسعه داده شده‌اند که در زمینه‌های مختلف علمی از آن‌ها بهره گرفته شده است که برای نمونه می‌توان به روش‌های لبه‌یابی رابرتز<sup>۹</sup> (Roberts, 1963)، پرویت<sup>۱۰</sup> (Prewitt, 1970)، فیلتر سوبل<sup>۱۱</sup> توسط سوبل و فلدمن<sup>۱۲</sup> در سال ۱۹۶۸ معرفی شد و از مشتق اول برای شناسایی لبه بهره می‌گیرند

<sup>۱</sup> Chopra

<sup>۷</sup> De\_groot

<sup>۲</sup> Duan

<sup>۸</sup> Edge detection methods

<sup>۳</sup> Koson

<sup>۹</sup> Roberts

<sup>۴</sup> Variance

<sup>۱۰</sup> Prewitt

<sup>۵</sup> Chaos

<sup>۱۱</sup> Sobel

<sup>۶</sup> Pigott

<sup>۱۲</sup> Feldman

اشاره کرد [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]. همچنین لبه‌یابی لاپلاسین گوسی<sup>۱</sup> که از مشتق دوم برای آشکارسازی لبه استفاده می‌کند توسط تور<sup>۲</sup> و پوگیو<sup>۳</sup> در سال ۱۹۸۶ و لبه‌یابی کنی<sup>۴</sup> که یک روش لبه‌یابی چندمرحله‌ای است توسط کنی در سال ۱۹۸۶ معرفی شدند [۱۷]، [۱۸]. در زمینه بهره‌گیری از روش‌های لبه‌یابی در تشخیص الگوی گسلی بر رویدادهای لرزه‌ای، دای<sup>۵</sup> و گائو<sup>۶</sup> در سال ۲۰۱۴ از ترکیب تبدیل سطح خاکستری<sup>۷</sup> و لبه‌یابی کنی برای شناسایی گسل‌ها استفاده کردند [۱۹]. همچنین اعظم پور و همکاران در سال ۱۳۹۵ از روش لبه‌یابی سوبل برای شناسایی ساختارهای گسل خورده در داده‌های لرزه‌ای استفاده کردند [۲۰].

یکی از تکنیک‌های جذاب که در سال‌های اخیر موردنظر محققین در پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای قرار گرفته است، ریخت‌شناسی ریاضیاتی<sup>۸</sup> است. ریخت‌شناسی ریاضیاتی دسته‌ای از عملیات غیرخطی در پردازش تصویر هستند که با شکل‌های تصویر یا ریخت‌شناسی ویژگی‌های تصویر مانند لبه‌ها در ارتباط هستند [۲۱]. فیلتر ریخت‌شناسی ریاضیاتی توسط ران-کیو<sup>۹</sup> در سال ۲۰۰۵ برای پردازش داده‌های لرزه‌ای معرفی شد که از آن برای تجزیه چند مقیاسی داده لرزه‌ای برای تضعیف نوفه زمین غلط استفاده کرد [۲۲]. والت<sup>۱۰</sup> و پپر<sup>۱۱</sup> در سال ۲۰۱۳ از عملیات ریخت‌شناسی ریاضیاتی بر روی نشانگر انرژی برای تفسیر ساختار گنبدهای نمکی در دریای مکزیک استفاده کردند [۲۳]. همچنین ژو<sup>۱۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۶ ریخت‌شناسی ریاضیاتی را برای کاهش نوفه شکست مرزی در داده برداری

---

<sup>۱</sup> Laplacian of Gaussian

<sup>۸</sup> Mathematical Morphology

<sup>۲</sup> Torre

<sup>۹</sup> Run-qiu

<sup>۳</sup> Poggio

<sup>۱۰</sup> Wallet

<sup>۴</sup> Canny

<sup>۱۱</sup> Peppar

<sup>۵</sup> Di

<sup>۱۲</sup> Zhou

<sup>۶</sup> Gao

<sup>۷</sup> Gray-level transformation

دریایی به کاربرند [۲۴]. لی و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک روش جدید مبتنی بر استخراج شکستگی ها از FMI<sup>۱</sup> بر اساس ریخت‌شناسی ریاضیاتی چند مقیاسی معرفی کرد [۲۵]. لی و همکاران در سال ۲۰۱۶ برای تضعیف نوفه‌های فرکانس پایین در داده‌های میکروسایز میک<sup>۲</sup> از ریخت‌شناسی ریاضیاتی استفاده کرد [۲۶]. هووانگ<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۷ برای تضعیف نوفه خطی از داده‌های لرزه‌ای از فیلترهای ریخت‌شناسی استفاده کردند [۲۷]. شفیق و همکاران در سال ۲۰۱۸ از یک روش سه مرحله‌ای برای تشخیص گسل‌ها به صورت خودکار استفاده کردند که در ابتدا گرادیان سه‌بعدی بافتی را محاسبه کرده، سپس محاسبه میزان آستانه کلی و در آخر از فیلترهای ریخت‌شناسی برای بهبود لبه‌ها استفاده کردند [۲۸]. بوستانی و همکاران در سال ۲۰۱۹ از ترکیب تبدیل کرولت<sup>۴</sup> و فیلترهای ریخت‌شناسی برای شناسایی لبه‌های کانال در داده‌های لرزه‌ای استفاده کردند [۲۹].

### ۳-۱ هدف از انجام پایان‌نامه

در این پژوهش قصد بر این است که با استفاده از ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای و روش‌های لبه‌یابی آشکار-سازی بهتری از ساختارهای گسل‌خورده بر روی داده‌های لرزه‌ای ارائه شود. استراتژی به این صورت است که روش‌های لبه‌یابی بر روی مقاطع نشانگر لرزه‌ای اعمال شود که بتوان از مزایای هر دو ابزار نشانگر و لبه‌یابی استفاده کرد تا آشکارسازی دقیق‌تری از الگوی گسلی در داده‌های لرزه‌ای حاصل شود. در این راستا از طریق آزمایش روش‌های لبه‌یابی مختلف و نشانگرهای مختلف، هدف پایان‌نامه دستیابی به یک روش لبه‌یابی مؤثر و ترکیب آن با یک نشانگر مناسب در آشکارسازی الگوی گسلی است. در همین زمینه چندین نشانگر لرزه‌ای که آشکارسازی بهتری از رخداد‌های گسل خورده دارند را از داده لرزه‌ای استخراج کرده و بر روی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای روش‌های لبه‌یابی اعمال می‌گردد و خروجی

---

<sup>۱</sup> Formation Micro scanner Image

<sup>۳</sup> Houang

<sup>۲</sup> Microseismic

<sup>۴</sup> Curvlete

های نشانگرهای لرزه‌ای با خروجی‌های حاصل از اعمال روش‌های لبه‌یابی بر روی مقاطع نشانگر مقایسه می‌شود. در گام آخر نتایج به دست‌آمده در هر مرحله از تحقیق توسط برانبارش رنگی RGB<sup>۱</sup> با هم تلفیق می‌شوند و نتایج به دست‌آمده تحلیل و تفسیر می‌شوند.

## ۴-۱ ساختار پایان‌نامه

در فصل اول مسأله و ضرورت انجام تحقیق با ذکر مطالبی درباره لرزه‌نگاری، نشانگرهای لرزه‌ای، ریخت‌شناسی ریاضیاتی، روش‌های لبه‌یابی و برانبارش رنگی (RGB) بیان شد. پس از آن به بیان پیشینه تحقیق، هدف از انجام پایان‌نامه و ساختار کلی پایان‌نامه پرداخته شد. در فصل دوم به معرفی نشانگرهای لرزه‌ای پر کاربرد در شناسایی ساختارهای گسل خورده با ذکر چند مثال از مقالات معتبر پرداخته می‌شود. در فصل سوم تئوری روش استفاده شده در پایان‌نامه بیان شده است و در پایان فصل، یک فلوچارت از ساختار کلی روش مورد نظر پایان‌نامه آورده شده است. در فصل چهارم نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش بر روی داده‌های لرزه‌ای ارائه شده است. در فصل پنجم نیز به بررسی نتایج حاصل از تحقیق و ذکر پیشنهادها پرداخته می‌شود.

---

<sup>۱</sup> RGB colour blending



## فصل ۲ : نشانگرهای کاربردی در آشکارسازی

گسل

## ۱-۲ مقدمه

به طور کلی، نشانگرهای لرزه‌ای کمیت‌های مشتق شده از داده‌های لرزه‌ای هستند و به نمایش بهتر یا مشخص کردن کمی رخدادها کمک می‌کنند. نشانگر لرزه‌ای یک سنجش کمی از زمان، فاز، محتوای فرکانسی، دامنه‌ی داده لرزه‌ای و جذب است که برای برجسته‌سازی و نمایش بهتر رخدادهای لرزه‌ای، تشخیص ساختارهای زیرسطحی همچون گسل‌ها، گنبدی‌های نمکی، کانال‌ها و همچنین مشخص کردن پارامترهای یک مخزن، طراحی و ارتقاء داده شده‌اند [۳۰].

نشانگرهای لرزه‌ای بر اساس کاربرد و ماهیت به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند. تانر<sup>۱</sup> (۲۰۰۱) نشانگرها را به دو گروه هندسی و فیزیکی تقسیم کرد. هدف نشانگرهای هندسی، بهبود مشاهده خصوصیات هندسی داده‌های لرزه‌ای است و شامل شیب، آزیموت و پیوستگی است. نشانگرهای فیزیکی با پارامترهای فیزیکی زیرسطحی و همچنین وابسته به سنگ‌شناسی<sup>۲</sup> در ارتباط هستند و شامل نشانگرهای دامنه<sup>۳</sup>، فاز<sup>۴</sup> و فرکانس<sup>۵</sup> می‌شوند. نشانگرها همچنین می‌توانند به دودسته قبل و بعد از برانبارش تقسیم شوند. نشانگرهای قبل از برانبارش<sup>۶</sup> در مورد داده‌های نقطه میانی مشترک<sup>۷</sup> (CMP) یا نقطه عمقی مشترک<sup>۸</sup> (CDP) مورد استفاده قرار می‌گیرند و شامل اطلاعات مربوط به آزیموت و دورافت<sup>۹</sup> هستند. دامنه در مقابل دورافت، تغییرات سرعت و آزیموت جزء نشانگرهای این گروه می‌باشند [۳۱].

---

<sup>۱</sup> Taner

<sup>۲</sup> Lithology

<sup>۳</sup> Amplitude

<sup>۴</sup> Phase

<sup>۵</sup> Frequency

<sup>۶</sup> Pre stack

<sup>۷</sup> Common Mid Point

<sup>۸</sup> Common Depth Point

<sup>۹</sup> Offset

نشانگرهای بعد از برانبارش در داده‌های بعد از برانبارش و مهاجرت<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند. برانبارش یک میانگین‌گیری است که آزمون و دورافت را حذف می‌کند. پس از برانبارش و مهاجرت برخی متغیرها مانند فرکانس در بعد فیزیکی خود باقی خواهند ماند. فرکانس با عدد موج در ارتباط است، بنابراین نشانگرهای بعد از برانبارش شامل اطلاعات فرکانس و عدد موج هستند [۳۱].

برخی نشانگرها مانند پوش<sup>۲</sup> و دامنه در مقابل دورافت به‌طور مستقیم به مقاومت ظاهری لرزه‌ای حساس هستند. دسته‌ی دیگری از نشانگرها مانند فاصله قله تا دره و پهنای باند فرکانسی به ضخامت لایه‌ها حساس هستند. برخی دیگر از نشانگرها مانند همدوسی<sup>۳</sup>، گرادیان دامنه<sup>۴</sup>، شیب آزمون، انحنا<sup>۵</sup> و نشانگرهای لرزه‌ای ماتریس هم رخداد سطح خاکستری<sup>۶</sup> تصاویری را فراهم می‌کنند که با استفاده از آن‌ها می‌توان به‌طور کیفی به تفسیر ساختمانی و چینه‌ای و ژئومورفولوژی<sup>۷</sup> رویدادها پرداخت.

## ۲-۲ نشانگر انحنا

انحنا یک نشانگر لرزه‌ای هندسی است که میزان خم شدن یک منحنی در یک نقطه مشخص روی یک سطح دوبعدی یا سه‌بعدی را اندازه‌گیری می‌کند [۳۲]. بهبود تصویرسازی شکل منحنی‌ها در داده‌های لرزه‌ای امکان درک بهتر و تفسیر ویژگی‌های داده‌های زیرسطحی را فراهم می‌آورد. این نشانگر برای بهبود تصویرسازی رخدادهایی مانند گسل‌ها و شکستگی‌ها که با ناپیوستگی‌ها در ارتباط هستند طراحی شده است. همچنین نشانگر انحنا در بعد نقشه یا مقاطع زمانی یا افق‌های لرزه‌ای برای کمک به تفسیر

---

<sup>۱</sup> Migration

<sup>۲</sup> Envelope

<sup>۳</sup> Coherence

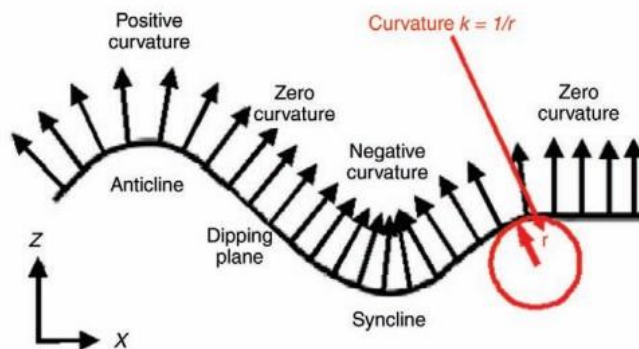
<sup>۴</sup> Amplitude gradients

<sup>۵</sup> Curvature

<sup>۶</sup> Gray-level Co-occurrence Matrix(GLCM) texture attribute

<sup>۷</sup> Geomorphology

چینه‌شناسی ساختارهایی مانند لبه‌های کانال، ریف‌ها و دیگر ساختارهای زمین‌شناسی استفاده می‌شود. مطابق شکل ۱-۲ با در نظر گرفتن یک مقطع دوبعدی در یک صفحه یا افق و با رسم بردارهای عمود بر سطح در امتداد این افق در مناطقی که بردارهای نرمال همگی موازی هستند مقدار انحنای صفر می‌باشد و درجایی که افق به شکل طاق‌دیس یا ناودیس است، بردارهای نرمال به ترتیب به صورت واگرا و همگرا قرار می‌گیرند، به صورتی که مقدار انحنای در طاق‌دیس مثبت و در ناودیس منفی در نظر گرفته می‌شود. مفهوم انحنای در حالت سه‌بعدی با استفاده از صفحات قائم نسبت به یک سطح بیان می‌شود، به صورتی که تداخل دو صفحه قائم در سطح، انحنای حداقل و حداکثر را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: مفهوم انحنای در نمایش دوبعدی، انحنای به صورت عکس شعاع دایره مماس بر سطح در هر نقطه تعریف می‌شود. [۳۲].

برای تعیین نشانگر انحنای حجمی در مکعبی از داده‌های لرزه‌ای الدوساری و مارفورت در سال ۲۰۰۶ روش زیر را ارائه کردند. در این روش محاسبه مشتق بر مبنای معکوس تبدیل فوری، مطابق رابطه (۱-۲) صورت می‌گیرد [۳۳].

$$u(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} U(k) e^{-ikx} dk \quad (1-2)$$

که در آن  $u(x)$  داده‌های لرزه‌ای،  $U(k)$  تبدیل فوری داده‌های لرزه‌ای موردنظر و  $k$  عدد موج می‌باشد و با مشتق‌گیری از رابطه (۱-۲)، رابطه (۲-۲) به دست می‌آید.

$$u'(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} -ikx U(k) e^{-ikx} dk \quad (2-2)$$

که رابطه (2-2) را می توان به صورت رابطه زیر نوشت [33].

$$f\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) = -ikx F[u(x)] \quad (3-2)$$

که در آن  $F[u(x)]$  تبدیل فوری  $u(x)$  می باشد. مشتق جزئی با استفاده از رابطه (3-2) به صورت رابطه (4-2) تعریف می شود [33].

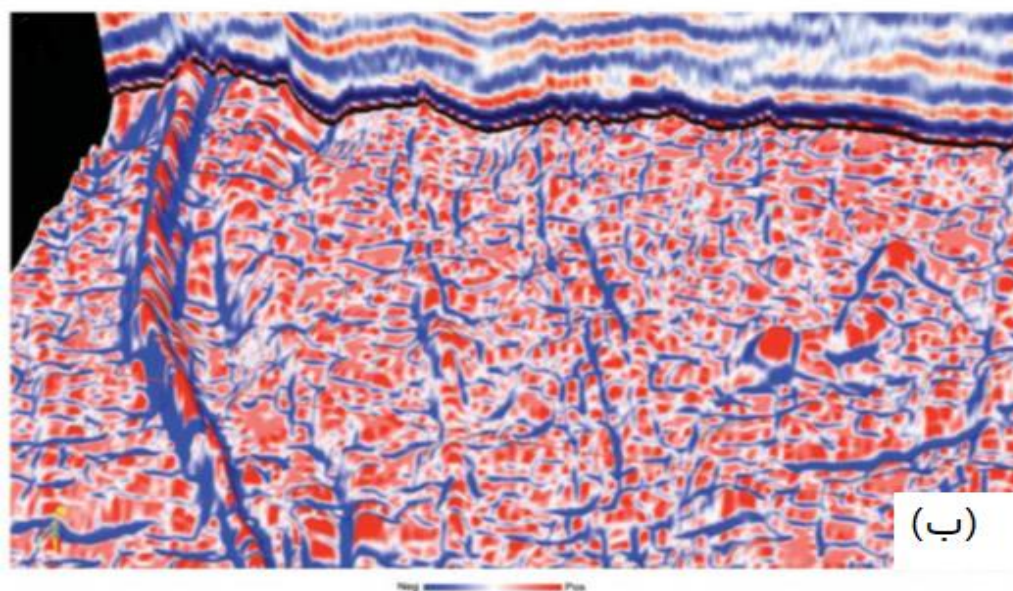
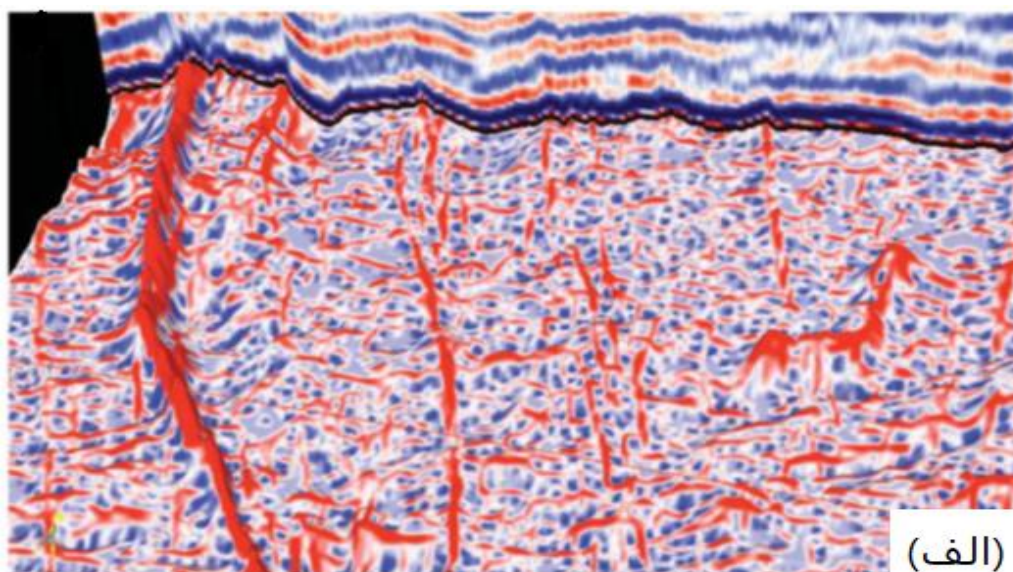
$$F_a\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) = -i(kx^a) F\left(\frac{du}{dx}\right) \quad (4-2)$$

پس از انجام محاسبات نشانگرهای حجمی لازم است تا شیب داده های لرزه ای به صورت حجمی مورد محاسبه قرار گیرد. در نهایت پس از انجام محاسبه مربوط به شیب، شیب لرزه ای در راستای محورهای  $x$  و  $y$  به دست می آید. اگر معادله یک سطح بازتابنده به صورت رابطه (5-2) تعریف شود.

$$Z = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ef + f \quad (5-2)$$

با داشتن شیب لرزه ای در راستای  $x$  و  $y$  و محاسبه ضرایب  $a$  تا  $f$ ، در نهایت نشانگرهای مختلف انحنای حجمی نظیر انحنای گوسی، انحنای بیشینه، انحنای کمینه، انحنای بیشینه مثبت و انحنای کمینه منفی محاسبه می شوند [34].

نشانگر انحنای معمولاً بر روی افق های لرزه ای اعمال می شود و یک ابزار کارا برای تفسیرهای ساختاری و چینه شناسی بر روی داده های لرزه ای است [3]، [7]. از نشانگر انحنای برای آشکارسازی ناپیوستگی های مرتبط با گسل خوردگی در مرحله تفسیر لرزه ای استفاده می شود [35]. در شکل 2-2 یک مثال از اعمال نشانگر انحنای حجمی بر روی داده لرزه ای آورده شده است. همان طور که در شکل مشخص است، نشانگر انحنای در شناسایی ساختارهای گسل خورده به خوبی عمل کرده است [7].



شکل ۲-۲: اعمال نشانگر انحنا بر روی افق لرزه‌ای برای شناسایی ساختارهای گسل خورده.  
(الف) بیشینه انحنا مثبت و (ب): بیشینه انحنا منفی [۷].

## ۳-۲ نشانگر همدوسی<sup>۱</sup>

الگوریتم همدوسی توسط مارفورت و همکاران (۱۹۸۸) معرفی شد [۶]. در این روش هدف پیدا کردن بیشترین شباهت و پیوستگی بین رد لرزه‌های مجاور در یک مکعب لرزه‌ای است. در این الگوریتم در ابتدا یک پنجره تحلیل به صورت مستطیل و یا بیضی تعریف می‌شود که تعداد  $J$  رد لرزه نسبت به نقطه تحلیل که در مرکز پنجره قرار گرفته است، در نظر گرفته می‌شود؛ به گونه‌ای که اگر مرکز پنجره تحلیل به عنوان محور اصلی  $(x, y)$  در نظر گرفته شود، همدوسی به صورت رابطه (۶-۲) تعریف می‌شود [۶].

$$\sigma(\tau, p, q) = \frac{\left[ \sum_{j=1}^J u \left( \tau - px_j - qy_{j,x,y} \right) \right]^2 + \left[ \sum_{j=1}^J u^H \left( \tau - px_j - qy_{j,x,y} \right) \right]^2}{J \sum_{j=1}^J \left\{ \left[ u \left( \tau - px_j - qy_{j,x,y} \right) \right]^2 + \left[ u^H \left( \tau - px_j - qy_{j,x,y} \right) \right]^2 \right\}} \quad (6-2)$$

که  $(\tau, p, q)$  یک رخداد صفحه‌ای محلی در زمان  $t$  بر حسب ثانیه،  $p$  و  $q$  شیب‌های ظاهری در راستاهای  $x$  و  $y$ ، بر حسب میلی‌ثانیه بر متر و  $u^H$  تبدیل هیلبرت رد لرزه واقعی  $u$  هستند. برای برآورد همدوسی به ازای هر نقطه درون مکعب  $u(t, x, y)$  باید یک پنجره تحلیل به مرکزیت نقطه مورد نظر تعیین کرد و همه محاسباتی که طبق رابطه

(۶-۲) صورت می‌گیرد در حکم مقدار همدوسی به این نقطه نسبت داد.  $U(\tau, p, q)$  در رابطه

(۷-۲) تبدیل سه‌بعدی  $(\tau, p, q)$  از داده‌های ورودی  $u(t, x, y)$  است و به تبدیل رادون با حداقل

<sup>۱</sup> Semblance

مربعات برای درون‌یابی ردلرزه در سه بعد نسبت داده شده است که به صورت رابطه (۷-۲) نشان داده می‌شود [۶].

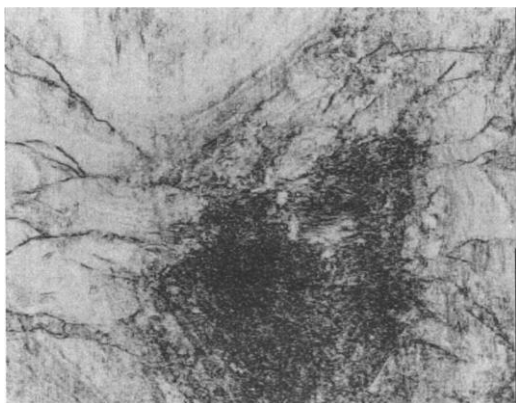
$$U(t,p,q)=\sum_{j=1}^J u\left[t-\left(px_j+qy_j\right),x_j,y_j\right] \quad (7-2)$$

بنابراین از راهکار یکسانی که در تحلیل سرعت بر مبنای شباهت موجود است، استفاده می‌شود و شباهت میانگین محاسبه می‌شود. این شباهت میانگین برای برآورد همدوسی به صورت رابطه (۸-۲) تعریف می‌شود [۶].

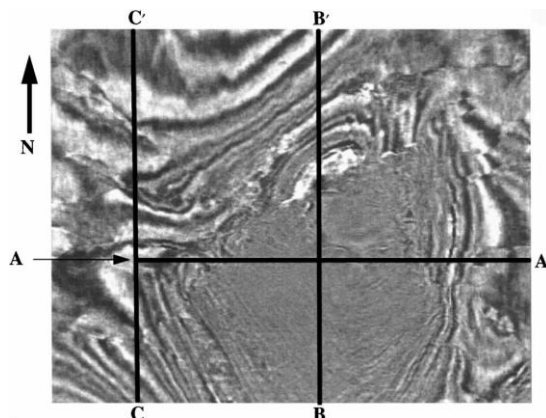
$$c(t,p,q)=\frac{\sum_{k=-K}^{+K}\left\{\left[\sum_{j=1}^J u\left(\tau+k\Delta t-px_j-qy_j,x_j,y_j\right)\right]^2+\left[\sum_{j=1}^J u^H\left(\tau+k\Delta t-px_j-qy_j,x_j,y_j\right)\right]^2\right\}}{J\sum_{k=-K}^{+K}\sum_{j=1}^J\left\{\left[\left[u\left(\tau+k\Delta t-px_j-qy_j,x_j,y_j\right)\right]^2+\left[u^H\left(\tau+k\Delta t-px_j-qy_j,x_j,y_j\right)\right]^2\right]\right\}} \quad (8-2)$$

که  $\Delta t$  افزایش نمونه لحظه‌ای است. از آنجا که پنجره تحلیل معمولاً دارای مختصات  $(x=0,y=0)$  است، زمان قطع  $t$  با  $\tau$  مشخص می‌شود.

نشانگر همدوسی یک نشانگر کارا در تشخیص ناپیوستگی‌های مرتبط با گسل خوردگی‌ها در داده‌های لرزه‌ای است [۶]. در شکل ۳-۲ یک مثال از آشکارسازی صفحه گسل بر روی مقطع زمانی لرزه‌ای توسط نشانگر لرزه‌ای همدوسی آورده شده است [۶].



(ب)



(الف)

شکل ۳-۲: آشکارسازی ساختارهای گسل خورده بر روی داده لرزه‌ای توسط نشانگر همدوسی  
(الف) مقطع زمانی لرزه‌ای، (ب) مقطع زمانی نشانگر همدوسی [۶].

## ۲-۴ نشانگر شباهت<sup>۱</sup>

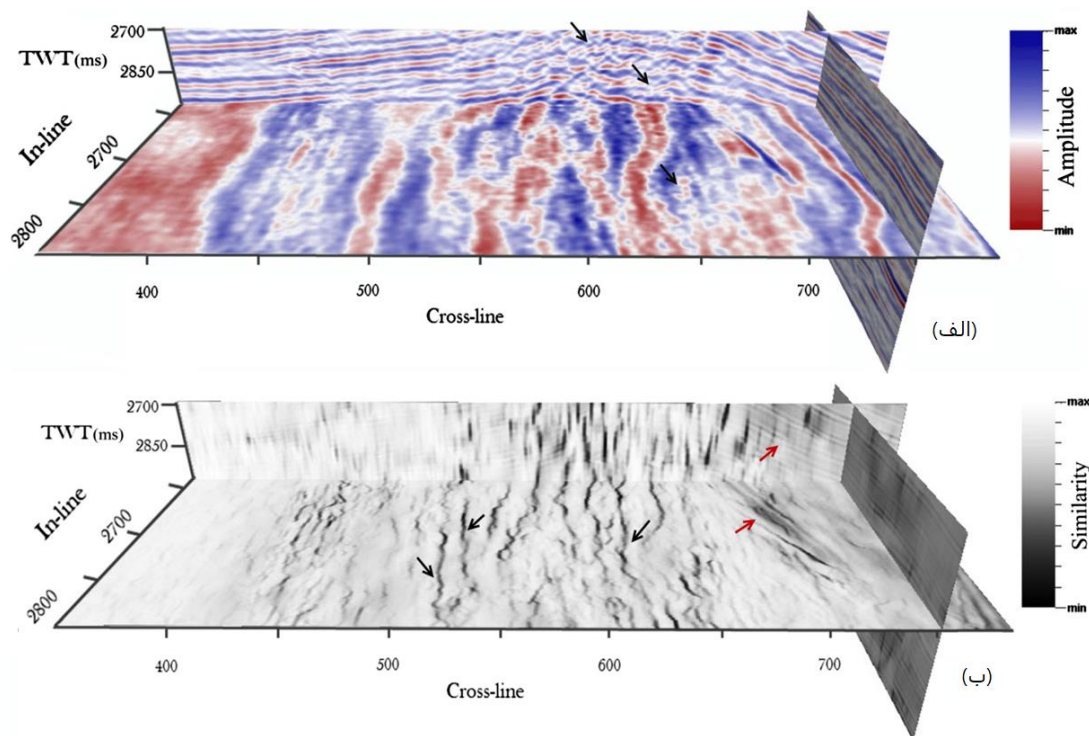
نشانگر شباهت نوع خاصی از نشانگر همدوسی<sup>۲</sup> است که میزان شباهت دو ردلرزه به یکدیگر را اندازه گیری می‌کند. این نشانگر مقادیری بین صفر تا یک را در بر می‌گیرد. هنگامی که مقدار عددی این نشانگر صفر باشد بیانگر این است که بین دو ردلرزه هیچ‌گونه شباهتی وجود ندارد اما وقتی که مقدار عددی یک باشد نشان‌دهنده‌ی این است که دو ردلرزه از نظر شکل موج و دامنه به‌طور کامل یکسان هستند [36]. زمانی که یک ردلرزه نسبت به خودش به‌اندازه‌ی 180 درجه تغییر فاز داشته باشد در آن صورت مقدار نشانگر شباهت صفر خواهد شد. رابطه (۲-۹) مقدار عددی نشانگر شباهت را نشان می‌دهد [۳۶].

$$Sim = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad (2-9)$$

<sup>۱</sup> Similarity

<sup>۲</sup> Coherency Attribute

که X و Y دو رد لرزه هستند که در صورت کسر میزان فاصله اقلیدسی<sup>۱</sup> این دو بردار محاسبه شده و به مجموع طول بردارها تقسیم می‌شود [۳۷]. نشانگر شباهت در آشکارسازی ناپیوستگی‌های موجود در داده‌های لرزه‌ای همچون کانال‌ها، گسل‌خوردگی‌ها و گنبدهای نمکی به‌خوبی عمل می‌کند [۳۸]. در شکل ۲-۴ یک مثال از توانایی نشانگر شباهت در آشکارسازی ساختارهای گسل خورده نشان داده می‌شود.



شکل ۲-۴: آشکارسازی ساختارهای گسل خورده بر روی مقطع زمانی لرزه‌ای توسط نشانگر شباهت.  
(الف) قبل از اعمال نشانگر شباهت و (ب) بعد از اعمال نشانگر شباهت [۳۸].

## ۲-۵ نشانگر واریانس<sup>۲</sup>

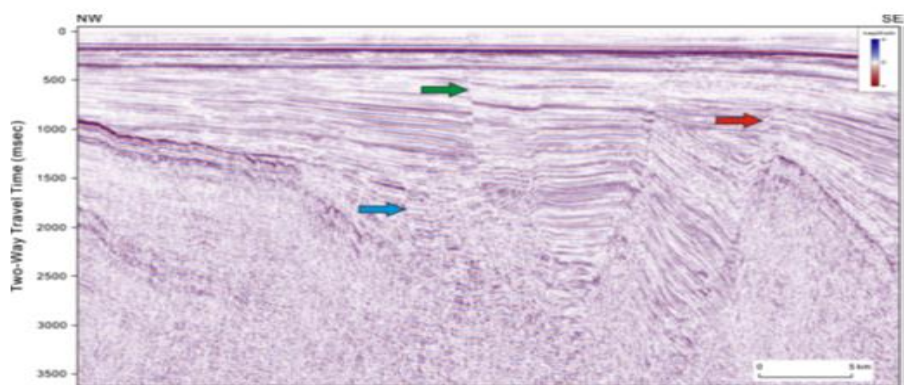
نشانگر واریانس، یک مقدار بر مبنای روش لبه‌یابی است که شباهت بین شکل موج‌ها یا ردلرزه‌های مجاور را در راستای یک پنجره افقی و یا عمودی محاسبه می‌کند و واریانس محلی در سیگنال لرزه‌ای

<sup>۱</sup> Euclidean distance

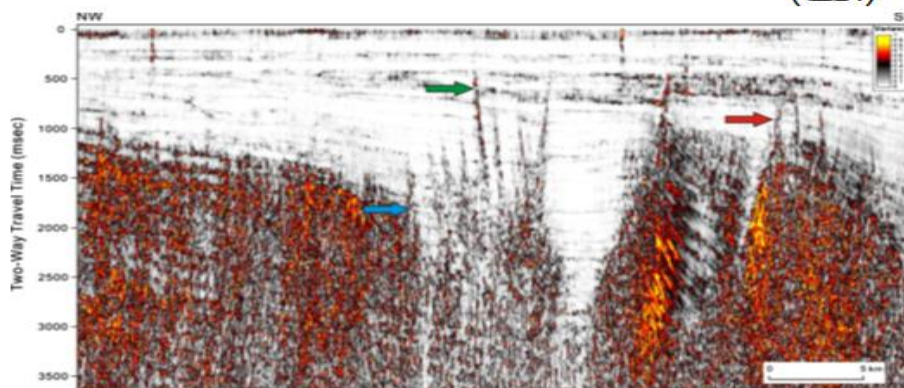
<sup>۲</sup> Variance

را تخمین می‌زند. این نشانگر به وسیله تولید کردن یک مکعب سه‌بعدی از ضریب همبستگی نرمال که از ردلرزه‌های لرزه‌ای مجاور محاسبه شده است حاصل می‌گردد که با مقیاسی بین صفر و یک، اندازه‌گیری می‌شود. اگر ضریب واریانس نزدیک به صفر باشد بیانگر این موضوع است که ردلرزه‌ها مشابه هستند، درحالی‌که ضریب واریانس نزدیک به یک نشان می‌دهد که ردلرزه‌ها با یکدیگر تفاوت دارند. صفحات گسل به‌عنوان نواحی با مقادیر واریانس بالا هستند؛ بنابراین این نشانگر می‌تواند ناپیوستگی‌های موجود در داده‌های لرزه‌ای را که با گسل‌ها و یا ساختارهای چین‌های در ارتباط هستند، تصویرسازی کند. نشانگر واریانس یک ابزار بسیار مؤثر برای شناسایی لبه‌ی گسل‌ها و کانال‌ها در مقاطع افقی و پروفیل‌های عمودی لرزه‌ای است و در تصویرسازی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین برای شناسایی جهت ناحیه اصلی گسل خورده، شکستگی‌ها، ناپیوستگی‌ها و شناسایی مرزهای سکانس‌های اصلی این الگوریتم توسعه داده شده است [۹]. در شکل ۲-۵ یک مثال از آشکارسازی رخداد‌های گسل خورده توسط نشانگر واریانس بر روی داده لرزه‌ای نشان داده شده است [۱۰].

$$\text{Variance} = E[x^2] - (E[x])^2$$



(الف)



(ب)

شکل ۲-۵: شناسایی ساختارهای گسل خورده بر روی مقطع لرزه‌ای توسط نشانگر واریانس (الف): مقطع لرزه‌ای و (ب): مقطع نشانگر واریانس [۱۰].

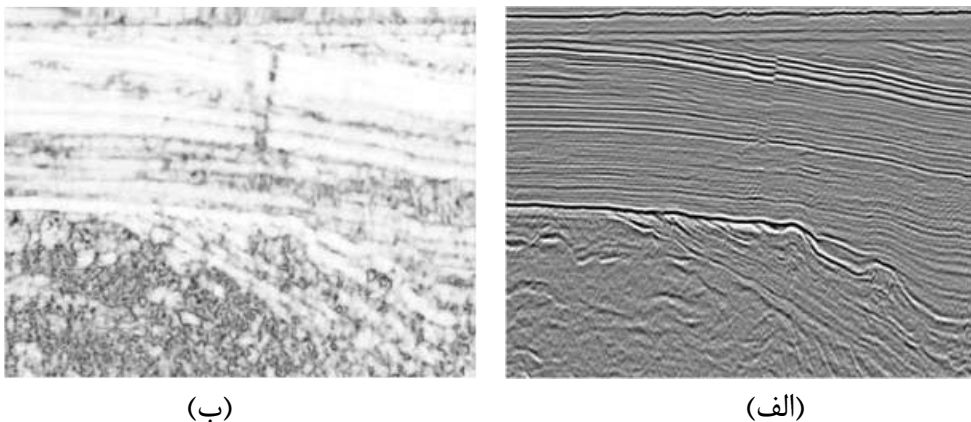
## ۲-۶ نشانگر آشفستگی

نشانگر آشفستگی با محاسبه گرادیان داده و تحلیل مقادیر ویژه آن در ماتریس کوواریانس و در نهایت جهت غالب شیب ناپیوستگی، در شناسایی گسل‌ها و ناپیوستگی‌ها بسیار پرکاربرد است [۱۰]. نشانگر آشفستگی به عنوان معیاری برای نمایش میزان بی‌نظمی در محاسبه به روش شیب و آزمون تعریف شده است. به عبارت دیگر نشانگر آشفستگی ساختارهای دارای بی‌نظمی را در داده‌های لرزه‌ای شناسایی می‌کند که می‌تواند موقعیت بازتابنده‌های ریخت‌شناسی متقاطع را برجسته‌سازی کند. با توجه به وجود ساختارهای ناپیوسته در مناطق گسل خورده این نشانگر می‌تواند الگوهای گسلی در داخل داده‌های لرزه‌ای را شناسایی کند. مناطق با حداکثر آشفستگی نشان‌دهنده بازتاب‌های دارای ناپیوستگی همانند

ناپیوستگی‌های زاویه‌دار، کانال‌ها، ساختارهای ماسه‌ای و نواحی دارای شکستگی‌ها و گسل‌ها هستند. از همین رو نشانگر آشفستگی می‌تواند برای تشخیص الگوی گسلی مورد استفاده قرار گیرد [۱۰]. برای محاسبه آشفستگی بر روی داده‌های لرزه‌ای، سه بردار ویژه  $v_i(t_1, t_2, t_3)$  برای سه ماتریس  $C(t_1, t_2, t_3)$  که هر کدام از آن‌ها با یک مقدار ویژه  $\lambda_i(t_1, t_2, t_3)$  در ارتباط است در نظر گرفته می‌شود. هر چه مقادیر ویژه  $\lambda_i(t_1, t_2, t_3)$  بزرگ‌تر باشند بردارهای ویژه  $v_i(t_1, t_2, t_3)$  تحلیل بهتری از شیب و آزمون ارائه می‌کنند [۱۰]. با در نظر گرفتن این فرض که  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$  آشفستگی را می‌توان به صورت رابطه (۲-۱۰) تعریف کرد [۴۰].

$$J = \frac{2\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_3} - 1 \quad (۲-۱۰)$$

با استفاده از این اندازه‌گیری، مناطق دارای ناپیوستگی با نواحی دارای الگوی آشفستگی همخوانی و مطابقت دارد. به همین علت این اندازه‌گیری معیار خوبی برای پیدا کردن نواحی دارای ناپیوستگی است که از جمله این نواحی می‌توان ساختارهای گسل خورده، مرزهای کانال و گنبد نمکی در داده‌های لرزه‌ای را نام برد. در شکل ۲-۶ یک مثال از شناسایی الگوی گسل خورده بر روی داده‌های لرزه‌ای توسط نشانگر لرزه‌ای آشفستگی نشان داده شده است [۳۹].



شکل ۲-۶: (الف)، مقطع داده لرزه‌ای و (ب)، مقطع نشانگر آشفستگی [۳۹]



## فصل ۳ : روش تحقیق

## ۳-۱ مقدمه

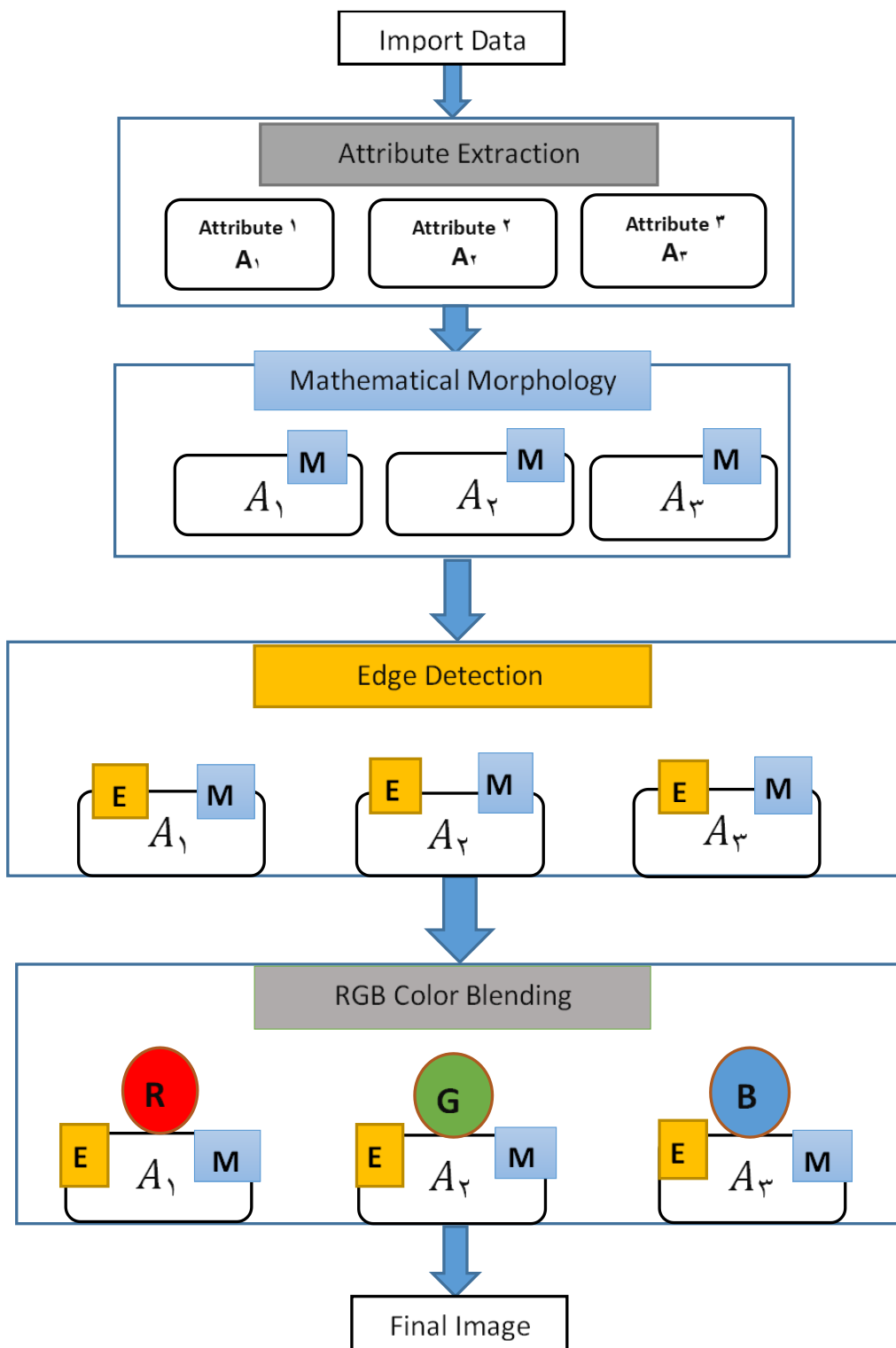
لبه‌یابی درواقع مجموعه عملیات ریاضی می‌باشد که به کمک آن‌ها می‌توان نقاطی از تصویر که در آن‌ها روشنایی به‌طور شدید تغییر می‌کند را شناسایی کرد. لبه‌ها معمولاً به‌صورت خطوطی که دارای انحنای هستند مشخص می‌شوند. از لبه‌یابی می‌توان برای تشخیص تغییرات شدید در روشنایی که معمولاً نشانه رویدادی مهم یا تغییر در خصوصیات محیط است، استفاده کرد. ایده‌ی ابتدایی برای لبه‌یابی این است که همسایه‌هایی با تغییرات شدید را پیدا کنیم. در این پژوهش از سه روش لبه‌یابی پرویت، سوبل و لاپلاسن گوسی برای لبه‌یابی استفاده شده است. با توجه به اینکه اساس روش‌های لبه‌یابی مشتق‌گیری است لذا همراه با برجسته‌سازی لبه اشیا تصویر نوفه تصویر را هم افزایش می‌دهد که برای جلوگیری از این عمل قبل از اعمال روش‌های لبه‌یابی، از یخت‌شناسی ریاضیاتی برای کاهش نوفه تصویر و برجسته‌سازی لبه‌های تصویر استفاده شده است. ریخت‌شناسی ریاضیاتی مجموعه‌ای از عملیات غیرخطی است که با شکل و یا ریخت‌شناسی ویژگی‌های تصویر در ارتباط است.

در این فصل به بیان تئوری روش‌های لبه‌یابی استفاده شده در این پایان‌نامه، ریخت‌شناسی ریاضیاتی و همچنین تلفیق رنگی RGB پرداخته می‌شود.

## ۳-۲ استراتژی پیشنهادی

هدف از انجام این پایان‌نامه ارائه یک استراتژی پیشنهادی مبتنی بر ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای و روش‌های لبه‌یابی برای آشکارسازی گسل<sup>۱</sup> می‌باشد. استراتژی به‌کار رفته در این تحقیق بدین شرح است. در ابتدا داده لرزه‌ای که هدف آشکارسازی گسل بر روی آن است وارد مرحله تحلیل نشانگری می‌شود در این مرحله نشانگرهای مختلف لرزه‌ای که آشکارسازی بهتری از صفحه گسل دارند را روی داده لرزه‌ای

موردنظر آزمایش می‌کنیم و مکعب خروجی نشانگرها را استخراج می‌کنیم. در گام بعدی این مکعب‌های نشانگری وارد مرحله ریخت‌شناسی ریاضیاتی می‌شود که در این مرحله با کاهش نوفه و تفکیک بهتر ساختارهای مرتبط با لبه‌های گسل، داده برای انجام فرآیند لبه‌یابی مؤثرتر آماده می‌شود. در مرحله بعد عملگرهای لبه‌یابی مختلف برای بهبود آشکارسازی ساختارهای گسل خورده بر روی مکعب‌ها اعمال می‌شود. در مرحله آخر برانبارش رنگی RGB مکعب‌های استخراج‌شده از مرحله قبل انجام می‌شود و نتیجه نهایی تفسیر می‌شود. در شکل ۳-۱ فلوچارتی ارائه‌شده است که مراحل را نشان می‌دهد. در فصل بعد استراتژی پیشنهادی بر روی یک مجموعه داده لرزه‌ای پیاده‌سازی می‌شود و نتایج تفسیر خواهند شد.



شکل ۱-۳: فلوچارت کلی از استراتژی پیشنهادی آشکارسازی گسل.

### ۳-۳ روش‌های لبه‌یابی

تصویر در مقیاس خاکستری<sup>۱</sup> را می‌توان یک تابع دوبعدی مانند  $f(x, y)$  در نظر گرفت که  $x$  و  $y$  مختصات مکانی هستند. تصویر دارای تعداد متناهی از عناصر با مقدار و مکان خاصی است که هر یک از این عناصر را یک پیکسل می‌نامند. دامنه  $f$  در هر پیکسل، شدت<sup>۲</sup> یا سطح خاکستری تصویر در آن پیکسل است [۴۱].

تغییرات قابل‌ملاحظه شدت در یک تصویر، نشان‌دهنده وجود دو ناحیه مختلف در یک تصویر می‌باشد [۴۲]. لبه‌ها، معمولاً بر نقاطی از تصویر منطبق‌اند که مقدار خاکستری به‌طور چشم‌گیری از یک پیکسل به پیکسل بعدی تغییر می‌کند. لبه‌ها با داشتن موقعیت محلی یک پیکسل و همسایگان کناری آن، مرزها<sup>۳</sup> را تعیین می‌کنند. مرزهای اشیاء، تغییرات در جهت سطح، شکستگی‌ها، منحنی‌ها و کناره‌های کوچک در یک تصویر با لبه‌ها منطبق هستند [۴۳].

تشخیص لبه، فرآیند مشخص کردن لبه‌های یک تصویر است که به نوعی یافتن مقادیر بزرگ اندازه تقریبی بردار گرادیان<sup>۴</sup>، در هر نقطه از یک تصویر در مقیاس خاکستری می‌باشد. نمایش یک تصویر توسط لبه‌های آن مزایای اساسی دارد؛ زیرا در حالیکه حجم داده کاهش یافته است، بسیاری از اطلاعات اساسی تصویر که دارای فرکانس‌های بالا می‌باشند، حفظ شده است؛ بنابراین، تشخیص لبه به استخراج ویژگی‌های مهم تصویر در جایی که تغییرات ناگهانی در شدت وجود دارد، کمک می‌نماید. به عبارت دیگر، هدف از کشف تغییرات شدید در شدت پیکسل‌های یک تصویر، تشخیص رویدادهای مهم است. اعمال یک عملگر تشخیص‌دهنده‌ی لبه برای یک تصویر، اطلاعات غیر مهم را فیلتر می‌کند و در نتیجه به‌طور قابل‌توجهی حجم داده را برای پردازش کاهش می‌دهد، در حالیکه خصوصیات ساختاری مهم منطبق با

---

<sup>۱</sup> Gray scale

<sup>۲</sup> Intensity

<sup>۳</sup> Edges

<sup>۴</sup> Gradient

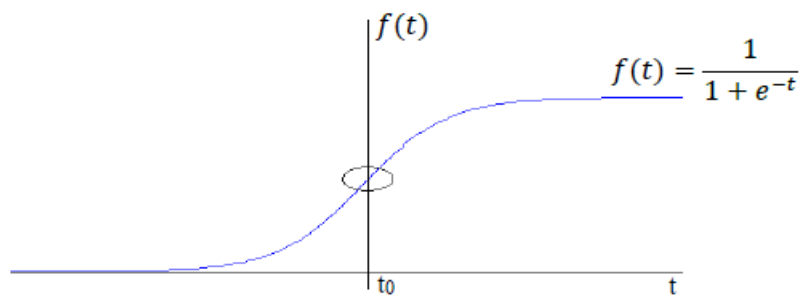
مرزها و لبه‌ها را حفظ می‌کند [۴۳].

لبه‌های یک تصویر، اساسی‌ترین ویژگی‌های آن تصویر است، زیرا شامل مقادیر زیادی از اطلاعات محتویات تصویر است؛ بنابراین تشخیص لبه یکی از اهداف اصلی در بسیاری از دستگاه‌های پردازش تصویر است. لبه‌ها تغییرات شدت قابل‌توجه در یک تصویر هستند و به طور معمول در مرزهای بین دو ناحیه رخ می‌دهند. ویژگی‌های مهمی مانند گوشه و کنار، خطوط، منحنی‌ها و شکستگی‌ها می‌توانند از لبه‌های یک تصویر استخراج شوند [۴۴]. روش‌های زیادی برای انجام تشخیص لبه وجود دارد، اما به‌طور کل روش‌های مختلف در دودسته گروه‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از روش‌های مبتنی بر گرادیان و روش‌های مبتنی بر لاپلاسیان<sup>۱</sup> [۴۵].

روش گرادیان، لبه‌ها را با جستجو کردن کمینه و بیشینه مقدار مشتق اول تصویر، پیدا می‌کند. روش لاپلاسیان برای یافتن لبه‌ها، صفر گذرها را در مشتق دوم تصویر جستجو می‌کند. یک تغییر کوچک در گرادیان نشان‌دهنده‌ی تغییرات عمده‌ای در تصویر است؛ بنابراین یک‌راه مناسب برای بیان تغییرات استفاده از مشتقات می‌باشد [۴۵]. برای توصیف دو روش فوق، مثالی از یک سیگنال یک‌بعدی به‌صورت زیر که دارای یک لبه هموار است آورده شده است.

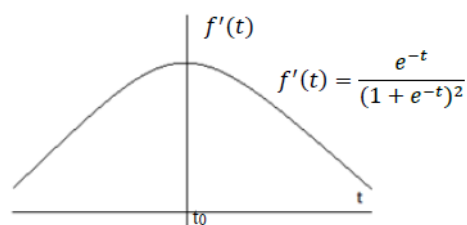
---

<sup>۱</sup> laplacian



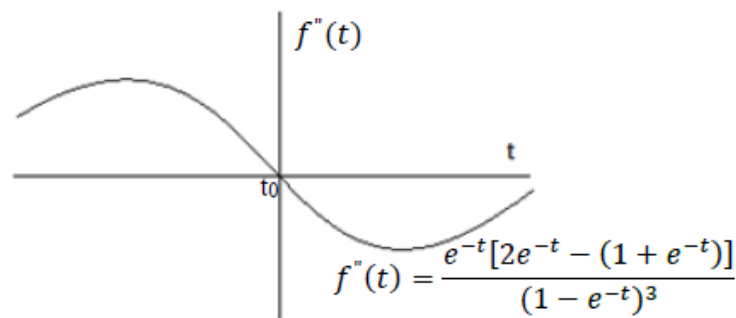
شکل ۲-۳: سیگنال  $f$  با یک لبه هموار [۴۶].

مشتق اول (گرادیان) سیگنال شکل ۲-۳ در شکل ۳-۳ رسم شده است. واضح است گرادیان دارای یک بیشینه در موقعیت لبه در سیگنال اصلی می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد، لبه‌ها، مقدار گرادیان بالاتری از مقادیر گرادیان اطراف دارند. پس موقعیت پیکسلی که در آن مقدار گرادیان بیشینه است، موقعیت یک لبه را نشان می‌دهد. این روش تعیین کردن لبه، اساس کار روش‌های مبتنی بر گرادیان است.



شکل ۳-۳: گرادیان سیگنال  $f$  [۴۶].

علاوه بر این، زمانی که مشتق اول بیشینه است، مشتق دوم صفر است. در نتیجه، روش دیگر برای یافتن لبه‌ها، مشخص کردن صفرها در مشتق دوم می‌باشد. این روش به‌عنوان روش لاپلاسین معرفی می‌شود. مشتق دوم سیگنال فوق در شکل ۴-۳ نشان داده شده است [۴۴].

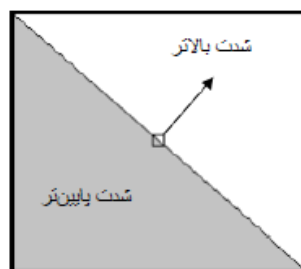


شکل ۳-۴: مشتق دوم سیگنال  $f$  [۴۴].

بنابراین، با توجه به مثال فوق می‌توان نتیجه گرفت که تعیین لبه‌ها در تصویر، معادل مشخص کردن موقعیت پیکسل‌هایی با مقدار گرادیان بالاتر از همسایگان یا لاپلاسیان صفر است. تغییرات محلی در شدت می‌تواند با استفاده از مشتقات تشخیص داده شوند. مشتقات جزئی اول و دوم برای این منظور مناسب هستند، می‌توان نتیجه حاصل از مثال فوق را برای یک سیگنال دوبعدی، مانند یک تصویر در مقیاس خاکستری تعمیم داد.

### ۳-۴ تشخیص لبه با استفاده از مشتق اول، روش گرادیان

همان‌طور که نشان داده شد، مقدار بزرگی مشتق اول می‌تواند برای شناسایی یک لبه در یک نقطه از یک تصویر استفاده شود. در روش‌های تشخیص لبه مبتنی بر گرادیان، فرض بر این است که لبه‌ها، موقعیت پیکسل‌هایی با گرادیان بالا هستند. در شکل ۳-۵ یک پیکسل لبه و بردار گرادیان مربوطه نشان داده شده است.



شکل ۳-۵: تصویر با یک پیکسل در موقعیت لبه به همراه بردار گرادیان آن [۴۲].

هر پیکسل لبه با دو ویژگی مهم تعریف می‌شود؛ قدرت لبه که برابر با طول بردار گرادیان در موقعیت هر پیکسل است و جهت لبه که برابر با زاویه بردار گرادیان است [۴۵]. اگر گرادیان در یک ناحیه غیریکنواخت و دارای نوفه محاسبه شود، مقدار آن صفر یا نزدیک به صفر است. به عبارت دیگر در آنجا پیکسل لبه وجود ندارد. اما اگر مقدار گرادیان در ناحیه‌ای که یک مرز وجود دارد، محاسبه شود، بردار گرادیان، با توجه به دامنه پیکسل تعیین می‌گردد.

گرادیان، ابزاری برای یافتن بزرگی لبه و جهت آن در هر موقعیت  $(x, y)$  از یک تصویر است که با  $\nabla f$  نشان داده می‌شود و مطابق رابطه (۱-۳) تعریف می‌شود [۴۱].

$$\nabla f \equiv \text{grad}f = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

بردار گرادیان از لحاظ هندسی به جهت بزرگ‌ترین نرخ تغییرات  $f$  در موقعیت  $(x, y)$  اشاره دارد و بزرگی بردار  $\nabla f$  برابر است با  $M(x, y)$  که از رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود

$$M(x, y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (2-3)$$

$M(x, y)$  اندازه نرخ تغییرات در جهت بردار گرادیان است. ابعاد ماتریس‌های  $g_x, g_y$  و  $M(x, y)$  با ابعاد تصویر اصلی یکسان است.

جهت بردار گرادیان با توجه به جهت مثبت محور  $x$  مطابق رابطه (۳-۳) محاسبه می‌شود.

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{g_y}{g_x} \right] \quad (3-3)$$

که زاویه  $\alpha(x, y)$  جهت بردار گرادیان را نشان می‌دهد.  $\alpha(x, y)$ ، نیز دارای ابعاد یکسانی با ماتریس‌های

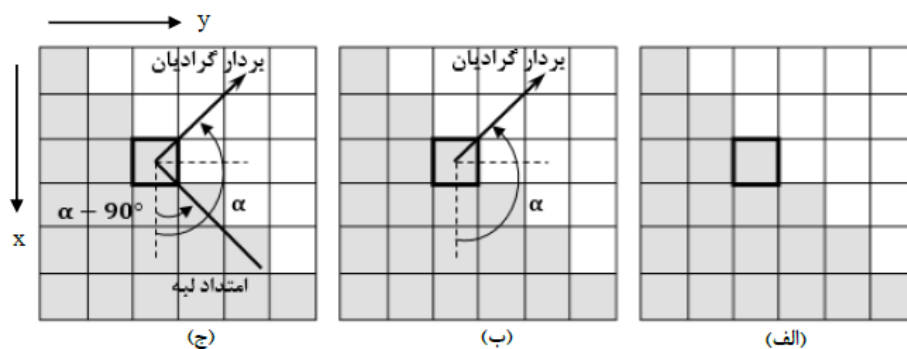
$g_x$  و  $g_y$  می‌باشد. جهت یک لبه در هر نقطه دلخواه  $(x, y)$  بر جهت بردار گرادیان در آن نقطه

$\alpha(x, y)$  عموداست [۴۱].

شکل ۳-۶ یک بخش بزرگ‌نمایی شده از یک تصویر را که شامل یک لبه است نشان می‌دهد. هر مربع کوچک نشان داده‌شده، معادل یک پیکسل است. پیکسل‌ها، در ناحیه خاکستری مقدار صفر و در ناحیه سفید مقدار یک را دارند. هدف به دست آوردن قدرت و جهت لبه در موقعیت پیکسل مشخص شده است. در این مثال برای محاسبه مشتقات در جهت  $x$  و  $y$  از یک همسایگی  $3 \times 3$  استفاده می‌شود. گرادیان در جهت  $x$  از تفاضل ساده‌ی پیکسل‌های سطر بالا از پیکسل‌های سطر پایین واقع در این همسایگی به دست می‌آید. به‌طور مشابه، با تفریق پیکسل‌ها در ستون چپ از پیکسل‌های ستون راست، مشتقات در جهت  $y$  به دست می‌آیند. بدین ترتیب، بردار گرادیان طبق رابطه (۳-۴) در نقطه موردنظر محاسبه می‌گردد. اندازه عددی بردار گرادیان،  $M(x, y)$  برابر با  $2\sqrt{2}$  می‌باشد و جهت گرادیان،  $(x, y)$  در این نقطه طبق شکل ۳-۶ برابر با  $45^\circ$  درجه می‌باشد که همان  $135^\circ$  درجه در راستای مثبت محور  $x$  است.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (۳-۴)$$

شکل ۳-۶ (ب) بردار گرادیان و جهت آن را نشان می‌دهد و (ج) امتداد لبه را نشان می‌دهد که بر بردار گرادیان در هر نقطه عمود می‌باشد؛ بنابراین، زاویه لبه در این مثال  $45^\circ = 90^\circ - \alpha$  است. تمام نقاط لبه در شکل ۳-۶ (الف) همان گرادیان را دارند؛ بنابراین تمام بخش لبه در جهت  $45^\circ$  درجه است. بردار گرادیان گاهی اوقات لبه نرمال نیز گفته می‌شود [۴۱].



شکل ۳-۶: نحوه محاسبه اندازه عددی بردار گرادیان و امتداد لبه در یک نقطه از تصویر.

### ۳-۴-۱ عملگر پرویت

ساده‌ترین تقریب مشتق برای یک همسایگی  $3 \times 3$  مطابق روابط (۳-۵) و (۳-۶) طبق شکل ۳-۸ به دست می‌آید. اختلاف بین سطر سوم و سطر اول تقریب مشتق در جهت  $x$  و اختلاف بین ستون سوم و اول تقریب مشتق در جهت  $y$  است. این توابع پنجره‌های  $3 \times 3$  را مطابق می‌سازند. این عملگر پرویت نام دارد که از یک زوج عملگر  $3 \times 3$  برای تخمین گرادیان یکی در جهت افقی و یکی در جهت عمودی استفاده می‌کند.

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (3-5)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + Z_6 + Z_9) - (Z_1 + Z_4 + Z_7) \quad (3-6)$$

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| 0  | 0  | 0  |
| 1  | 1  | 1  |

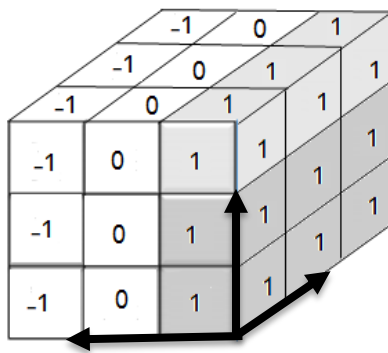
(ب)

|    |   |   |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |

(الف)

شکل ۷-۳: عملگر پرویت، (الف) عملگر افقی، (ب) عملگر عمودی [۴۱].

فیلتر پرویت سه بعدی، محاسبه مقدار عددی گرادیان مکانی سه بعدی را روی تصویر انجام می دهد و برای پیدا کردن مقدار گرادیان مطلق تقریبی در هر نقطه از تصویر سطح خاکستری، به عنوان ورودی استفاده می شود. فیلتر سه بعدی پرویت از سه عملگر  $3 \times 3 \times 3$  برای تخمین جزئیات لبه استفاده می کند که گرادیان را در سه راستای  $x, y, z$  به دست می آورد. با چرخش عملگرها در فضای سه بعدی حول محور مختصات عملگرهای  $S_x, S_y, S_z$  به دست می آیند که این عملگرها به صورت شماتیک در شکل ۸-۳ نشان داده شده اند [۴۱].



شکل ۸-۳: تصویر عملگر سه بعدی  $3 \times 3 \times 3$  پرویت در راستای محور مختصات، عملگر  $S_x$ ، عملگر  $S_y$  و عملگر  $S_z$ .

مقدار نهایی عملگر پرویت سه بعدی از رابطه (۷-۳) به دست می آید؛ که  $S_x, S_y, S_z$  عملگرهای سه بعدی پرویت،  $I$  داده سه بعدی ورودی،  $G_x, G_y, G_z$  گرادیانها در راستای محورهای مختصات  $|G|$ ، اندازه عددی فیلتر پرویت و  $***$  عملگر ریاضی همامیخت سه بعدی می باشد.

$$\begin{aligned} G_x &= S_x *** I \\ G_y &= S_y *** I \\ G_z &= S_z *** I \end{aligned} \quad (۷-۳)$$

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}$$

### ۳-۴-۲ عملگر سوبل

فیلتر سوبل، محاسبه مقدار عددی بردار گرادیان مکانی را روی تصویر انجام می‌دهد و برای پیدا کردن مقدار گرادیان مطلق تقریبی در هر نقطه از تصویر سطح خاکستری، به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند. فیلتر سوبل مشابه فیلتر از یک زوج عملگر  $3 \times 3$  برای برآورد گرادیان استفاده می‌کند؛ با این تفاوت که یک وزن ثابت ۲ در عناصر مرکزی همسایگی مطابق روابط (۸-۳) و (۹-۳) ضرب می‌شود [۴۱].

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad (۸-۳)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad (۹-۳)$$

عملگر سوبل بر روی پیکسل‌های مرکزی تأکید بیشتری دارد. مشتقات روابط (۸-۳) و (۹-۳) بر مبنای پنجره  $3 \times 3$  سوبل طبق شکل ۹-۳ انجام می‌شود که برای تخمین گرادیان در جهت افقی و عمودی استفاده می‌شوند.

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -2 | -1 |
| 0  | 0  | 0  |
| 1  | 2  | 1  |

(ب)

|    |   |   |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -2 | 0 | 2 |
| -1 | 0 | 1 |

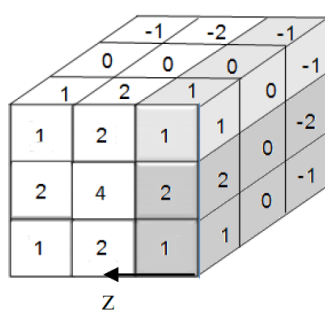
(الف)

شکل ۹-۳: عملگر سوبل، (الف) عملگر افقی و (ب) عملگر عمودی [۴۱].

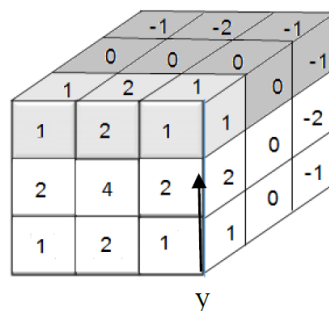
چنانچه هدف تشخیص لبه‌ها در داده‌های حجمی باشد، می‌توان عملگر سوبل را به فرم سه‌بعدی تعمیم داد. فیلتر سه‌بعدی سوبل از سه عملگر  $3 \times 3 \times 3$  برای تخمین جزئیات لبه استفاده می‌کند که

گرادیان را در سه راستای  $x, y, z$  به دست می‌آورد. عملگرهای  $S_y$  و  $S_z$  از چرخش  $S_x$  در فضای سه‌بعدی حول محور مختصات به دست می‌آیند؛ که در رابطه (۱۰-۳) بیان شده‌اند [۴۷]. شکل ۳-۱۰ این عملگر را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

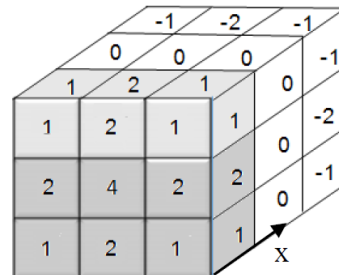
$$\begin{aligned}
 S_x(:, :, 1) &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, S_x(:, :, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, S_x(:, :, 3) = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & -4 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (10-3) \\
 S_y(:, :, 1) &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, S_y(:, :, 2) = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ -2 & -4 & -2 \end{bmatrix}, S_y(:, :, 3) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \\
 S_z(:, :, 1) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, S_z(:, :, 2) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & -2 \\ 4 & 0 & -4 \\ 2 & 0 & -2 \end{bmatrix}, S_z(:, :, 3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۰: تصویر سه‌بعدی عملگر سه‌بعدی  $3 \times 3 \times 3$  سوئل در راستای محور مختصات، عملگر  $S_x$ ، عملگر  $S_y$  و عملگر  $S_z$  [۴۱].

مقدار نهایی عملگر سوئل سه‌بعدی همانند عملگر پرویت سه‌بعدی طبق رابطه (۳-۱۱) محاسبه می‌شود [۴۸]. تخمین لبه سه‌بعدی در مقایسه با تخمین لبه دوبعدی، پایداری بیشتری در برابر نوفه دارد و همچنین تخمین بهتری از بردار گرادیان را انجام می‌دهد.

$$\begin{aligned}
G_x &= S_x *** I \\
G_y &= S_y *** I \\
G_z &= S_z *** I \\
|G| &= \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}
\end{aligned}
\tag{۱۱-۳}$$

### ۳-۵ تشخیص لبه با استفاده از مشتق دوم، روش لاپلاسین

لاپلاسین یک اندازه‌گیری از مشتق دوم تصویر است. لاپلاسین یک تصویر مکان‌های با تغییرات سریع شدت روشنایی تصویر را برجسته می‌کند به همین علت از این تکنیک برای لبه‌یابی استفاده می‌شود. روش لاپلاسین عموماً برای لبه‌یابی در تصاویری استفاده می‌شود که توسط یک فیلتر هموار کننده مثل فیلتر هموار کننده گوسی برای کاهش حساسیت این روش به نوفه اعمال می‌شود [۴۶].

این عملگر به صورت ساده یک تصویر در مقیاس سطح خاکستری را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و یک تصویر سطح خاکستری را به عنوان خروجی تولید می‌کند.

لاپلاسین  $\nabla^2(x, y)$  یک تصویر با مقادیر شدت پیکسل  $f(x, y)$  از رابطه (۳-۱۲) به دست می‌آید [۴۹].

$$\nabla^2(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}
\tag{۱۲-۳}$$

برای محاسبه لاپلاسین در یک تصویر یک عملگر بر روی تصویر اعمال می‌شود که می‌تواند یک تقریب از مشتق دوم تصویر را طبق تعریف لاپلاسین محاسبه کند. دو عملگر پرکاربرد برای محاسبه لاپلاسین در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده‌اند [۴۶].

|   |    |   |
|---|----|---|
| 0 | 1  | 0 |
| 1 | -4 | 1 |
| 0 | 1  | 0 |

(ب)

|   |    |   |
|---|----|---|
| 1 | 1  | 1 |
| 1 | -8 | 1 |
| 1 | 1  | 1 |

(الف)

شکل ۱۱-۳: دو عملگر پرکاربرد برای محاسبه لاپلاسیان.

### ۳-۵-۱ روش لاپلاسیان گوسی

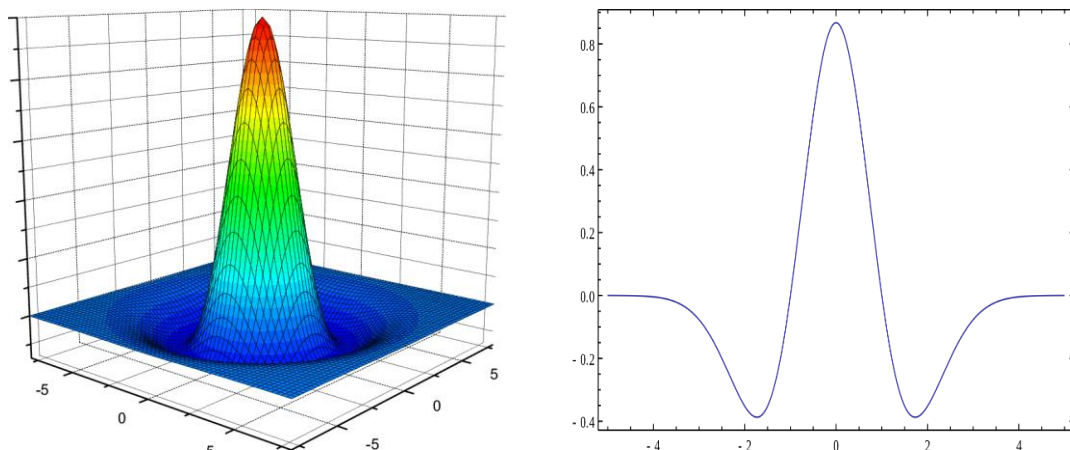
به علت اینکه روش لاپلاسیان از مشتق دوم محاسبه می شود نسبت به نوفه از حساسیت بالاتری برخوردار است از این رو برای جلوگیری از این عمل معمولاً یک فیلتر هموارساز گوسی قبل از اعمال لبه یاب لاپلاسیان بر روی تصویر اعمال می شود. این مرحله پیش پردازشی مؤلفه های حاوی نوفه فرکانس بالا را قبل از مشتق گیری کاهش می دهد. فیلتر هموارساز گوسی طبق رابطه (۳-۱۳) محاسبه می شود [۵۰].

$$G_{\sigma}(x, y) = \left( \frac{1}{2\pi\sigma^2} \right) e^{\left( -\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2} \right)} \quad (۳-۱۳)$$

که  $\sigma$  یک پارامتر مقیاس است. مقادیر کوچک  $\sigma$  به این معناست که تابع هموار کننده در یک ناحیه محلی کوچک عمل می کند و مقادیر بالای  $\sigma$  به این معناست که تابع هموار کننده در یک بازه گسترده عمل می کند.

به همین ترتیب محاسبه عملگر لاپلاسیان گوسی بر روی تصویر  $f(x, y)$ ، طبق رابطه (۳-۱۴) به دست می آید [۵۰].

$$\nabla^2 G_{\sigma}(x, y) = \frac{-1}{\pi\sigma^4} \left( 1 - \frac{x^2+y^2}{2\sigma^2} \right) e^{\left( -\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2} \right)} \quad (۳-۱۴)$$



شکل ۳-۱۲: نمایش یک بعدی و دوبعدی عملگرهای لاپلاسین گوسی [۵۱].

### ۳-۶ مقایسه روش‌های لبه‌یابی

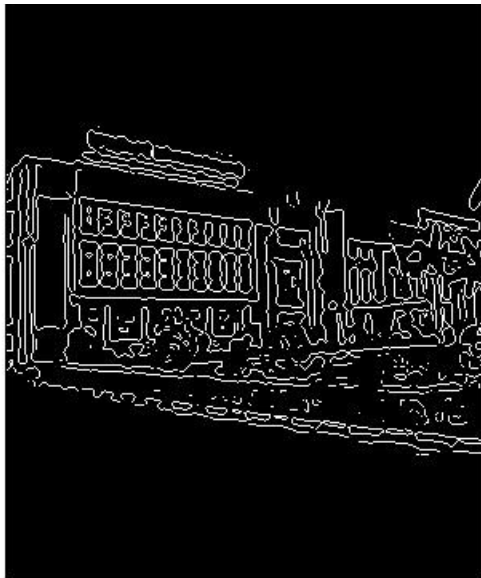
عملگر پرویت از نظر محاسباتی نسبت به روش سوبل ساده تر است و همچنین به زمان محاسباتی به مراتب کمتری نیاز دارد، اما نتایج این روش در اکثر موارد دارای سطوح نوفه بالاتری است. با توجه به اینکه عملگر سوبل حاصل تفاضل دو سطر یا ستون است و عناصر مرکزی در یک ضریب ثابت ۲ ضرب می‌شوند؛ بنابراین لبه‌ها به صورت واضح تر دیده می‌شوند. روش لاپلاسین با توجه به اینکه از مشتق دوم تصویر استفاده می‌کند لذا نسبت به نوفه از حساسیت بالاتری برخوردار است که البته با اعمال یک فیلتر هموار کننده گوسی قبل از اعمال لبه یاب لاپلاسین این مشکل تا حدود زیادی قابل پیشگیری است [۵۲].



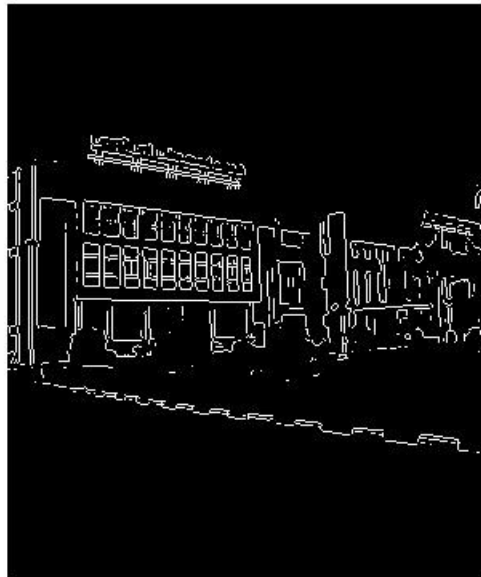
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳-۱۳: مقایسه روش‌های لبه‌یابی. (الف) تصویر اصلی، (ب) عملگر پرویت، (ج) عملگر سوبل و (د) لبه‌یابی لاپلاسین گوسی [۵۲].

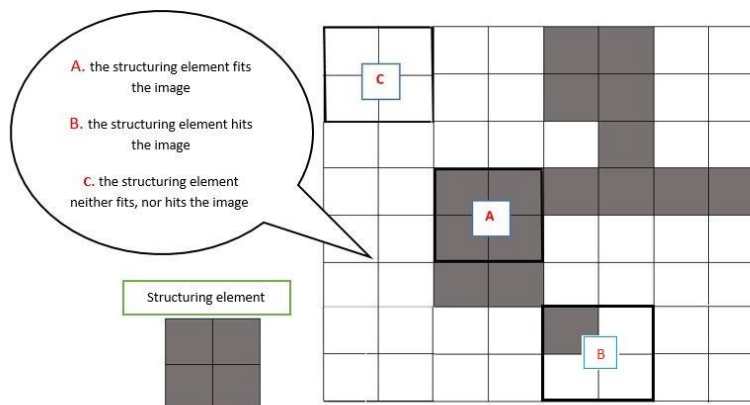
### ۷-۳ ریخت‌شناسی ریاضیاتی<sup>۱</sup>

ریخت‌شناسی ریاضیاتی تکنیکی نو برای پردازش و آنالیز سیگنال و تصویر می‌باشد. ایده اصلی این تکنیک بر مبنای آنالیز اطلاعات هندسی از طریق کاوش یک تصویر با یک الگوی هندسی کوچک به نام عنصر ساختار<sup>۲</sup> است. ریخت‌شناسی ریاضیاتی مجموعه‌ای از عملیات غیرخطی است که با شکل یا خصوصیات ریخت‌شناسی تصویر در ارتباط است؛ به گونه‌ای که عملیات ریخت‌شناسی فقط به ترتیب نسبی مقادیر پیکسل و نه به مقادیر عددی آن‌ها متکی است. تکنیک‌های ریخت‌شناسی با جستجوی اشکال یا قالب‌های کوچک تصویری که الگوهای ساختاری نامیده می‌شوند تصویر را کاوش می‌کند. عناصر ساختار در تمام مکان‌های ممکن در تصویر قرار دارند و با پیکسل‌های مرتبط همسایه مقایسه می‌شوند. برخی از عملگرها بررسی می‌کنند که آیا عنصر در همسایگی همخوانی دارد یا خیر، درحالی که عملگرهای دیگر قطع‌شدگی عنصر در همسایگی را بررسی می‌کنند [۲۱].

---

<sup>۱</sup> Mathematical morphology

<sup>۲</sup> Structuring element



شکل ۳-۱۴: کاوش یک تصویر توسط یک عنصر ساختار، پیکسل‌های سفید و خاکستری به ترتیب دارای مقادیر صفر و غیر صفر هستند [۲۱].

پرباربردترین عملگرهای ریخت‌شناسی، اتساع<sup>۱</sup> و فرسایش<sup>۲</sup> هستند [۲۱]. اتساع پیکسل‌ها را به مرزهای پدیده‌های تصویر متصل می‌کند درحالی‌که فرسایش پیکسل‌های موجود در مرزهای اشیاء تصویر را از بین می‌برد. اتساع و فرسایش اغلب به‌صورت ترکیبی برای برنامه‌های خاص پیش‌پردازش تصویر مانند ایجاد پیوستگی در لبه‌ها یا از بین بردن ساختارهای کوچک در تصویر استفاده می‌شوند.

### ۳-۷-۱ اتساع

اتساع عملی است که اشیای موجود در تصویر را رشد می‌دهد یا ضخیم‌تر می‌کند. بسط و روش خاص این ضخیم کردن توسط شکلی کنترل می‌شود که عنصر ساختاری نامیده می‌شود. عنصر ساختاری را می‌توان با ماتریسی از صفر و یک‌ها نشان داد. عنصر ساختاری، شکل‌هایی مانند مربع، مستطیل، خطی، لوزی و غیره با اندازه‌های مختلف دارد که هرکدام از این شکل‌ها برای موارد خاصی استفاده خواهد شد.

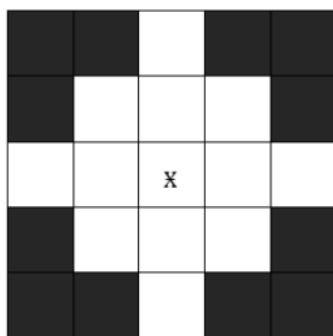
<sup>۱</sup> Dilation

<sup>۲</sup> Erosion

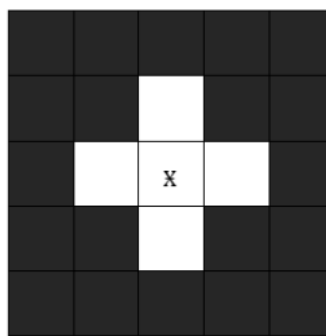
مبدأ عنصر ساختاری باید به روشنی مشخص باشد [۴۱]. در شکل دو نمونه عنصر ساختاری با شکل لوزی با اندازه یک و دو نشان داده شده است. مبدأ هر عنصر ساختاری با علامت  $\times$  نشانه گذاری شده است. در عمل اتساع، مقدار هر پیکسل در مجموعه ی داده، با بیشترین مقدار در همسایگی اش جایگزین می شود [۲۳]. اتساع  $A$  و  $B$  با  $A \oplus B$  نمایش داده می شود، به صورت یک عملیات مجموعه تعریف می گردد و به صورت رابطه (۳-۱۵) نشان داده می شود [۴۱]

$$A \oplus B = \{z | (B)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (۳-۱۵)$$

که  $\emptyset$  مجموعه تهی و  $B$  عنصر ساختاری است.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۵: مثال دوبعدی از عنصر ساختار با شکل لوزی که اندازه ی آن با تعداد گسترش پیکسل ها در راستای هر محور از مبدأ عنصر ساختاری تعریف می شود. مبدأ عنصر ساختاری با علامت  $\times$  نشانه گذاری شده است. (الف) عنصر ساختاری با اندازه ۱. (ب) عنصر ساختاری با اندازه ۲.

### ۳-۷-۲ فرسایش

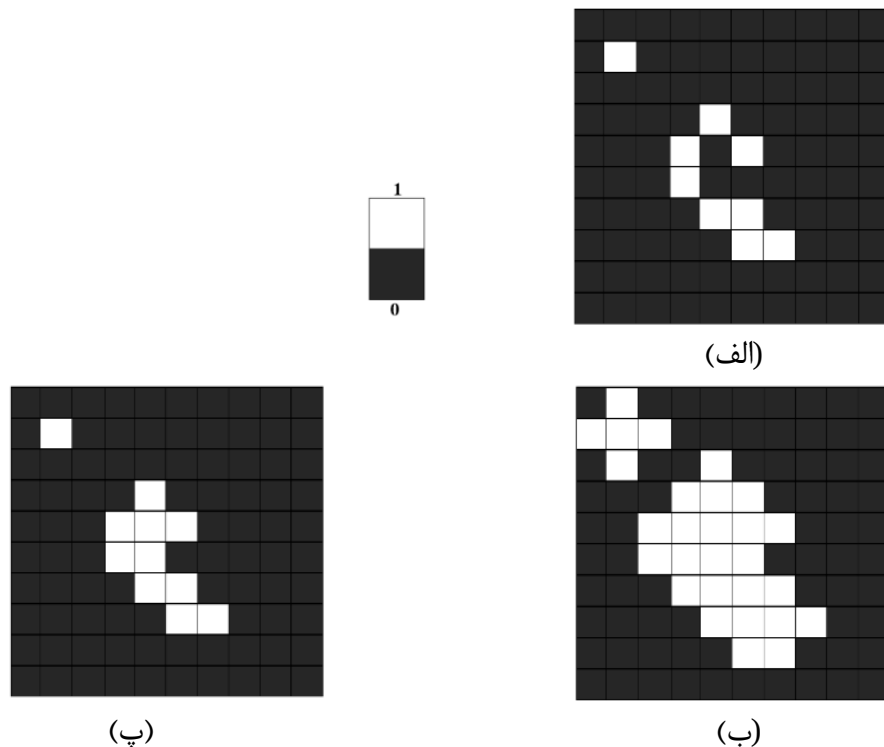
فرسایش عملی است که اشیای موجود در تصویر را کوتاه یا نازک می کند. همانند اتساع، روش و بسط نازک کردن، توسط عنصر ساختاری کنترل می شود [۴۱]. در عمل فرسایش، مقدار هر پیکسل در مجموعه ی داده، با کمترین مقدار در همسایگی اش جایگزین می شود [۲۳].

فرسایش  $A$  و  $B$  با  $A \ominus B$  نمایش داده می شود، به صورت رابطه (۳-۱۶) تعریف می گردد [۴۱]

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (۳-۱۶)$$

که  $\subseteq$  نمایانگر عملگر مجموعه است.

از توالی‌های مختلف اتساع و فرسایش برای پر کردن حفره‌های موجود در یک تصویر یکپارچه یا به‌طور عکس برای باز کردن حفره‌های تصویر با حفظ ساختار کلی شکل، استفاده می‌شود. شکل ۳-۱۶ یک توالی از عملیات اتساع و فرسایش را نشان می‌دهد. برای تصویر داده‌شده شکل ۳-۱۶، ابتدا عمل اتساع به‌کار رفته و سپس عمل فرسایش بر نتیجه‌ی اتساع اعمال شده است. این توالی، بستن<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. اگر ابتدا عمل فرسایش بر تصویر اعمال شود و سپس عمل اتساع بر روی نتیجه‌ی فرسایش اعمال شود عملیات باز کردن<sup>۲</sup> نتیجه می‌شود. از عملیات باز کردن برای حذف نوفه استفاده می‌شود [۲۱].



شکل ۳-۱۶: مثالی از عملیات بستن. (الف) یک تصویر سطح خاکستری. (ب) نتیجه پس از اتساع. (پ) نتیجه پس از اعمال فرسایش بر نتیجه اتساع.

<sup>۱</sup> Closing

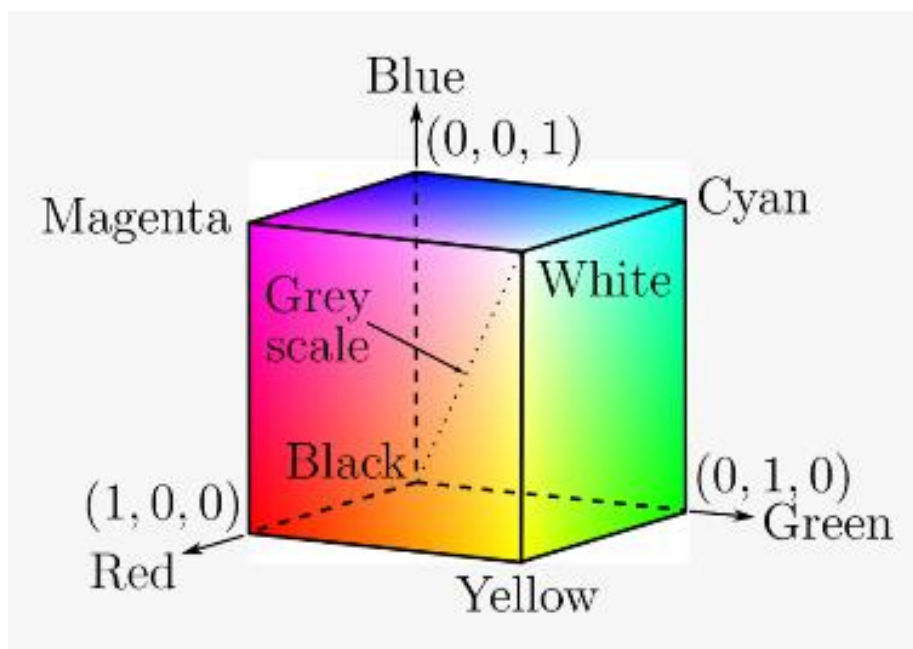
<sup>۲</sup> Opening

## ۳-۸ برانبارش رنگی RGB

تصاویر رنگی در لرزه‌شناسی به‌ویژه در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی کاربرد ویژه‌ای دارد که می‌توان استفاده آن‌ها را در نمایش رنگی نشانگرهای لرزه‌ای، برانبارش رنگی تصاویر تک فرکانس، برانبارش رنگی دورافت‌های نزدیک، میانه و دور را نام برد. RGB دارای سه مؤلفه‌ی R، G و B که به ترتیب بیانگر مؤلفه‌های قرمز، سبز و آبی هر پیکسل است. تصاویر حاصل از آن به‌عنوان تصاویر بارنگ حقیقی شناخته می‌شوند و به‌صورت یک آرایه  $M \times N \times 3$  بیان می‌شوند. مدل RGB، یک مدل دستگاه مختصات دکارتی است که در آن هر رنگ، در مؤلفه‌های طیفی اصلی قرمز، سبز و آبی نمایان می‌شوند. یک مکعبی که در آن مقادیر اصلی در سه‌گوشه هستند و رنگ‌های ثانویه فیروزه‌ای، سرخابی و زرد در سه‌گوشه دیگر می‌باشند، زیرفضای هر رنگ را تشکیل می‌دهد. طریقه قرارگیری رنگ سیاه در مبدأ و رنگ سفید در گوشه‌ای که نسبت به مبدأ در دورترین فاصله می‌باشد. گسترش سطح خاکستری (نقاط دارای RGB یکسان) در این مدل از سیاه تا سفید، در امتداد خطی که این دو نقطه را به هم متصل می‌کنند، قرار گرفته است. بردارهایی که از مبدأ رسم شدند در این مدل، سبب شناسایی رنگ‌های مختلف که در امتداد نقاطی که در داخل یا روی مکعب واقع شده، می‌شوند. برای سادگی کار همه مقادیرهای رنگ طوری نرمال فرض شدند که مکعب مذکور با ابعاد واحد باشد. بر طبق (شکل ۳-۱۷) همه مقادیرهای R، G و B بین صفر و یک هستند. یک پیکسل (۰،۰،۰) نشان‌دهنده‌ی رنگ سیاه و (۱،۱،۱) بیانگر رنگ سفید است. عمق پیکسل اصطلاحی است که به تعداد بیت‌های مورد استفاده در نشان دادن هر پیکسل در فضای RGB گفته می‌شود. هر یک از مؤلفه‌های RGB، یک تصویر ۸ بیتی می‌باشد، ازاین‌رو هر پیکسل یک تصویر RGB عمق ۲۴ بیت دارد. معمولاً در مورد تصویرهای RGB رنگی ۲۴ بیتی، اصطلاح تمام‌رنگ به‌کاربرده می‌شود. مقدار  $2^{24} = 16777216$  رنگ معادل تعداد کل رنگ‌ها در یک تصویر RGB می‌باشد بنابراین این مقدار تولید رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده‌ی توان بالای تصاویر RGB است. در نتیجه مدل رنگی RGB برای تولید تصویر رنگی (مانند تصویربرداری توسط دوربین رنگی و یا نمایش

تصویر در صفحه نمایشگرها) بسیار ایده آل به نظر می‌رسد.

مدل رنگی RGB یک مدل رنگی افزودنی است که در آن ترکیبی از سه رنگ قرمز (R)، سبز (G) و آبی (B) به روش‌های مختلف به هم اضافه می‌شوند تا آرایه وسیعی از رنگ‌ها را تولید کنند. از آنجاکه رنگ‌ها معمولاً با سه مؤلفه اصلی تعریف می‌شوند بنابراین یک حجم سه‌بعدی با در نظر گرفتن مقادیر مؤلفه به‌عنوان مختصات دکارتی در یک فضای اقلیدسی توصیف می‌شود به‌گونه‌ای که برای مدل RGB در مکعب مقادیر غیر منفی در محدوده (0,1) نشان داده می‌شوند. در مبحث تفسیر داده‌های لرزه‌شناسی بازتابی مدل‌های رنگی RGB کاربرد ویژه‌ای دارند به‌گونه‌ای که می‌توان به استفاده از آن‌ها در ترکیب و نمایش نشانگرهای لرزه‌ای برای آشکارسازی ساختارها و ویژگی‌های لرزه‌شناسی که در داده لرزه‌ای به‌خوبی قابل مشاهده نیستند اشاره کرد [۵۳].



شکل ۳-۱۷: شکل شماتیک مکعب RGB رنگ‌های اصلی و فرعی و همچنین رنگ‌های سیاه و سفید، رئوس مکعب را نشان می‌دهند..

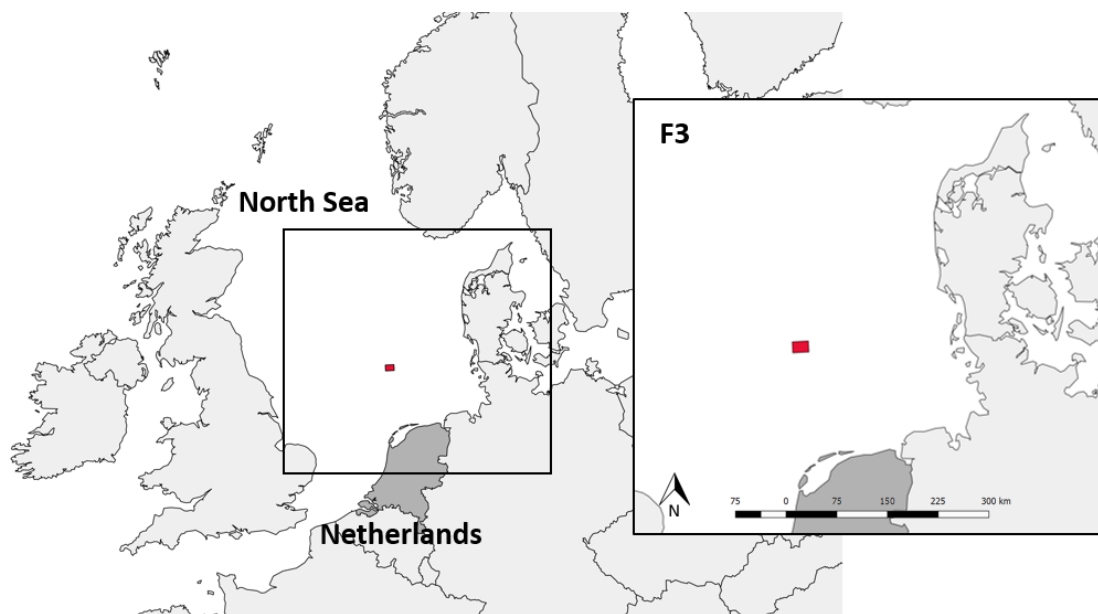
## فصل ۴ : اعمال روش بروی داده‌های لرزه‌ای

## ۱-۴ مقدمه

در فصل سوم در رابطه با استراتژی پیشنهادی برای بهبود آشکارسازی ساختارهای گسل خورده بر روی داده‌های لرزه‌ای بحث شد و مبانی تئوری آن به تفصیل شرح داده شد در این فصل روش مورد نظر بر روی داده واقعی پیاده سازی می‌شود و نتایج مورد بحث و تفسیر قرار می‌گیرد.

## ۲-۴ مشخصات داده لرزه‌ای

داده لرزه‌ای استفاده شده در این تحقیق یک مکعب سه‌بعدی مربوط به بلوک F3 در دریای شمال است. داده لرزه‌ای F3 به ابعاد ۳۸۴ کیلومترمربع در ۱۸۰ کیلومتری شمال خط ساحلی هلند قرار دارد شکل ۱-۴.

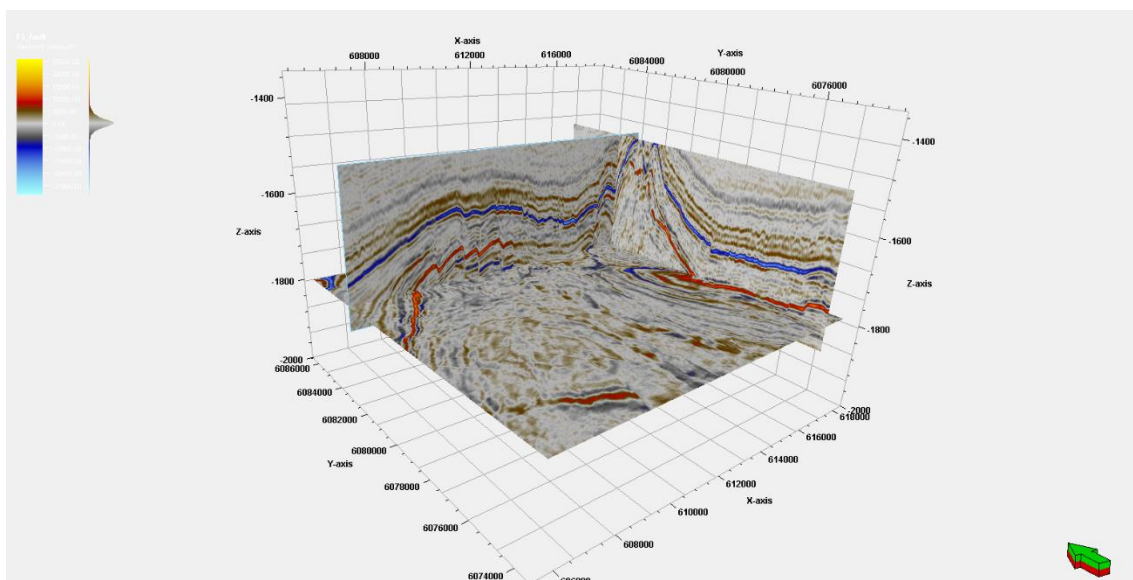


شکل ۱-۴: موقعیت جغرافیایی بلوک F3.

داده‌برداری لرزه‌ای در این منطقه به منظور اکتشاف نفت و گاز در لایه‌های ژوراسیک بالایی و کرتاسه پایین انجام شده است. نمونه‌های زمانی بالای ۱۲۰۰ میلی‌ثانیه شامل بازتابنده‌های مربوط به

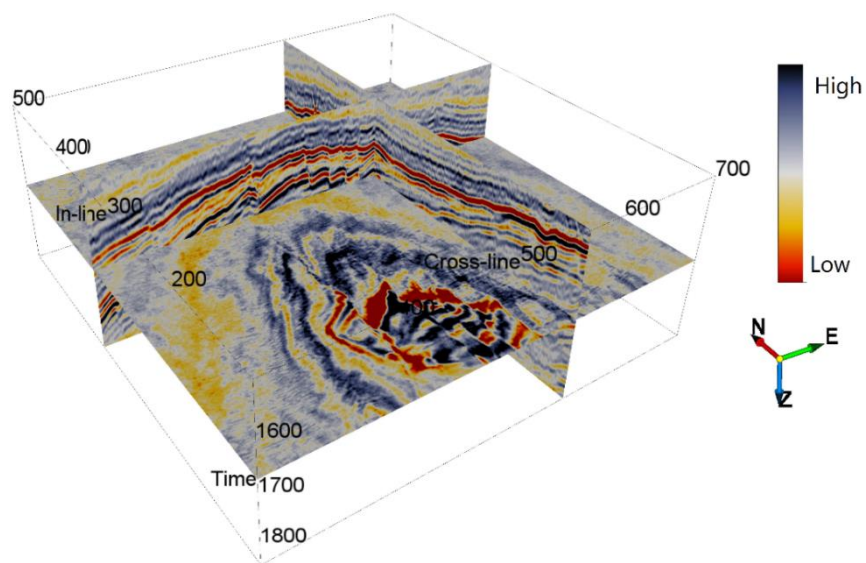
میوسن، پلیوسن و پلیستوسن هستند. بستر بزرگ مقیاس سیگموئیدی شامل رسوبات یک سیستم بزرگ دلتای فلوئیدی است که بخش‌های بزرگی از دریای بالتیک در آن تخلیه می‌شود [۵۴]. رسوبات دلتایی شامل ماسه و شیل هستند همچنین در برخی نقاط رسوبات سیمان شده کربناته وجود دارد. در این رسوبات ویژگی‌ها و ساختارهای پیچیده زمین‌شناسی به‌خصوص ساختارهای گسل خورده قابل مشاهده هستند [۵۵].

این داده لرزه‌ای شامل ۶۵۱ Inline و ۹۵۱ Crossline می‌باشد. داده لرزه‌ای بلوک F3 دارای طول بازه زمانی ۱۸۵۳ میلی‌ثانیه با گام نمونه بردای ۴ میلی‌ثانیه و اندازه بین ۲۵ متر است (شکل ۴-۲).

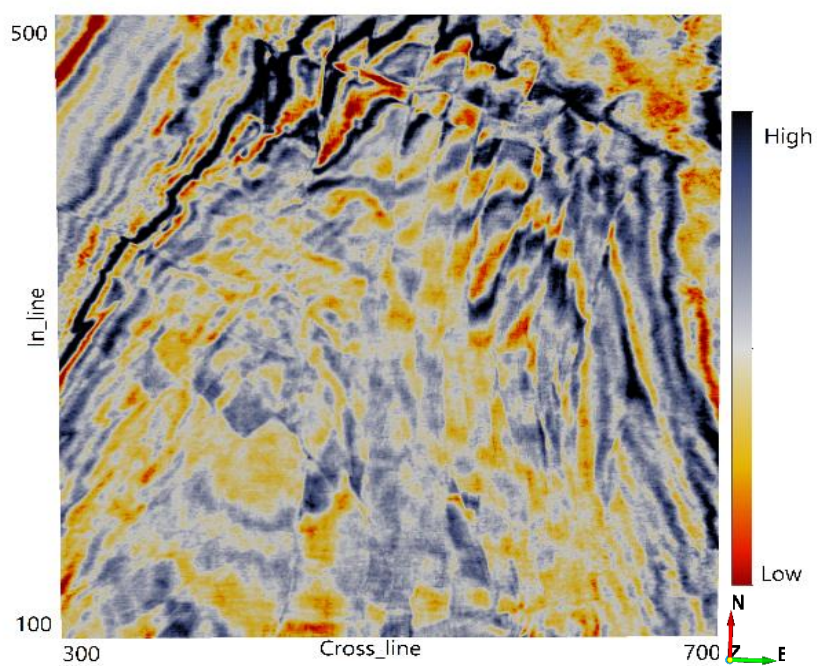


شکل ۴-۲: تصویر شماتیک از بلوک F3 در دریای شمال.

در این پژوهش هدف ما به‌کارگیری تکنیک‌های استخراج نشانگر و پردازش تصویر برای آشکارسازی ساختارهای گسل خورده این داده است؛ به همین علت قسمتی از داده که حاوی چنین ساختارهایی است را برش داده و مطالعه روی این بخش از مکعب داده انجام شده است. شکل ۴-۳ (الف). به این منظور برش زمانی مربوط به زمان ۱۷۲۸ میلی‌ثانیه که دارای ساختارهای گسل خورده با پیچیدگی‌های بیشتر است را انتخاب کرده و عملیات آنالیز مورد نظر روی آن انجام شده است که این برش زمانی مورد نظر در شکل ۴-۳ ب مشاهده می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۳: (الف) بخش برش خورده از داده لرزه‌ای بلوک F3 که شامل ساختارهای گسل خورده است. (ب)، مقطع زمانی ۱۷۲۸ میلی ثانیه.

## ۳-۴ اعمال نشانگرهای لرزه‌ای بر روی داده لرزه‌ای

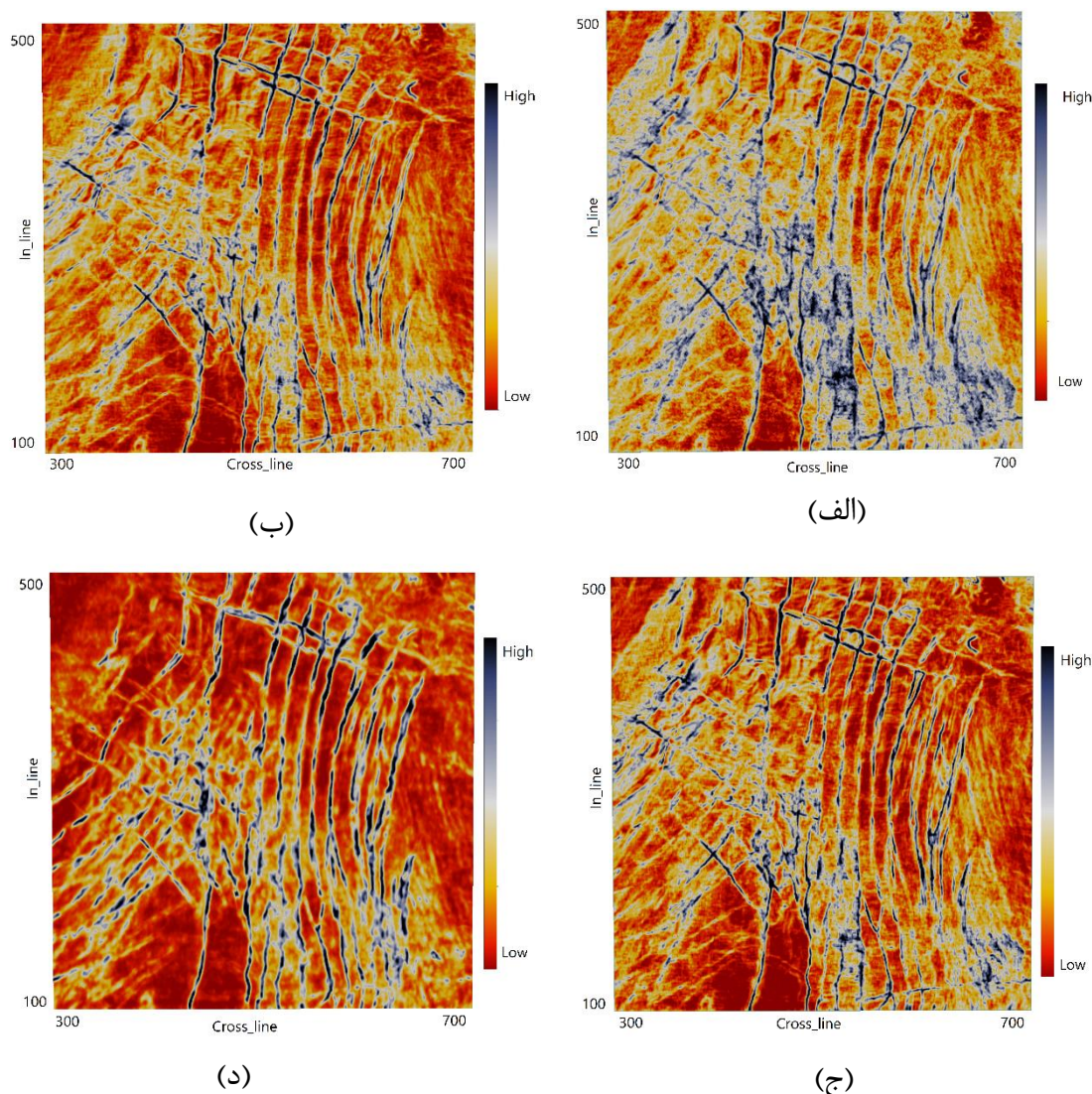
در اولین گام از فرآیند پژوهش، نشانگرهای مختلف را از داده لرزه‌ای استخراج می‌کنیم. برای این کار چهار نشانگر شباهت، همدوسی، واریانس و آشفتگی که آشکارسازی بهتری از صفحه گسل بر روی برش‌های زمانی لرزه‌ای داشتند، از داده لرزه‌ای استخراج شدند. برای این کار دو نشانگر شباهت و همدوسی، از نرم‌افزار اپندکت<sup>۱</sup> و دو نشانگر واریانس و آشفتگی از نرم‌افزار پترل<sup>۲</sup> با پارامترهای بهینه استخراج شده‌اند. نتایج حاصل از استخراج نشانگرها کمک شایانی به آشکارسازی ساختارهای گسل خورده‌ای که در مقطع زمانی به‌خوبی قابل مشاهده و تفسیر نیستند کرده است. در شکل ۴-۴ مقاطع نشانگرهای استخراج شده نشان داده شده‌اند. شکل ۴-۴ (الف) مقطع نشانگر شباهت را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد نشانگر شباهت، شباهت بین دو ردلرزه مجاور را بررسی می‌کند و بر اساس مقیاسی بین ۰ و ۱ مقدار شباهت را مشخص می‌کند که عدد ۱ بیانگر شباهت صددرصدی دو ردلرزه مجاور است و عدد ۰ نشان‌دهنده عدم شباهت دو ردلرزه است. در مکان‌هایی که ساختارهای گسل خورده وجود دارد به علت عدم پیوستگی ساختارها و تفاوت دامنه ردلرزه‌های مربوط به محل ناپیوستگی با ردلرزه‌های زمینه میزان شباهت در این نقاط به سمت ۰ میل می‌کند و در تصویر مقطع نشانگر، به‌صورت مکان‌هایی با تغییرات شدید روشنایی مشخص می‌شوند. از این‌رو از نشانگر شباهت برای آشکارسازی گسل بر روی داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌کنیم. همان‌طور که بر روی شکل مشخص است نشانگر شباهت آشکارسازی خوبی از صفحه گسل دارد. شکل ۴-۴ (ب) مقطع نشانگر همدوسی را نشان می‌دهد. نشانگر همدوسی همانند نشانگر شباهت به بررسی میزان شباهت بین ردلرزه‌های مجاور می‌پردازد با این تفاوت که به‌جای استفاده از تنها یک جفت ردلرزه، از چندین ردلرزه مجاور برای بررسی شباهت استفاده می‌کند که این امر باعث پایداری بیشتر این نشانگر در برابر نوفه می‌شود. همان‌طور که

---

<sup>۱</sup> Opendtect

<sup>۲</sup> Petrel

از شکل برمی‌آید این نشانگر حساسیت کمتری به نوفه دارد و لبه‌های ساختارهای گسل خورده را به‌خوبی مشخص کرده که این امر بر روی مقطع زمانی لرزه‌ای به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. شکل ۴-۴ (ج) مقطع نشانگر واریانس را نشان می‌دهد. نشانگر واریانس، شباهت بین شکل موج‌ها یا ردلرزه‌های مجاور را در راستای یک پنجره افقی و یا عمودی محاسبه می‌کند و واریانس محلی در سیگنال لرزه‌ای را تخمین می‌زند. مکان‌های با ضرایب واریانس بالا نشان‌دهنده وجود ناپیوستگی‌ها بر روی داده‌های لرزه‌ای است. همان‌طور که بر روی شکل مشخص شده است این نشانگر برای شناسایی ساختارهای گسل خورده از کارایی بالایی برخوردار است و لبه‌های ساختارهای گسل خورده به خوبی آشکار سازی کرده است. شکل ۴-۴، (د) مقطع نشانگر آشفتگی را نشان می‌دهد. نشانگر آشفتگی ساختارهای دارای بی‌نظمی را در داده‌های لرزه‌ای شناسایی می‌کند که می‌تواند موقعیت بازتابنده‌های ریخت‌شناسی متقاطع را برجسته‌سازی کند. از آنجا که گسل خوردگی‌ها مکان‌های با تغییرات شدید شدت روشنایی همراه هستند و از جمله ساختارهای دارای بی‌نظمی به شمار می‌آیند از این رو از این نشانگر برای شناسایی ساختارهای گسل خورده استفاده می‌کنیم. همان‌گونه که بر روی شکل مشخص است این نشانگر گسل‌های با امتداد شمالی-جنوبی را با کیفیت خوبی آشکار سازی کرده است اما در شناسایی گسل‌های با امتداد شرقی-غربی به‌خوبی عمل نکرده است. با همه این اوصاف همان‌طور که در تصاویر مشخص است علاوه بر ساختارهای گسل خورده نوفه‌های تصویری که ارتباطی با ساختارهای گسل خورده و پدیده‌های ساختاری ندارند در تصویر مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۴: مقاطع نشانگر استخراج شده از داده لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳. (الف) نشانگر شباهت، (ب) نشانگر همدوسی، (ج) نشانگر، واریانس و (د) نشانگر آشفتگی.

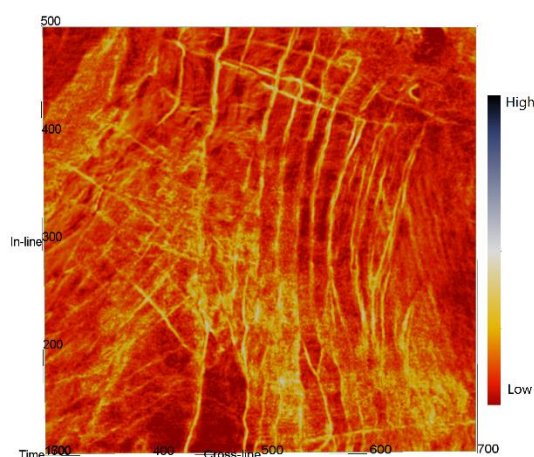
## ۴-۴ اعمال ریاضیاتی بر روی مقاطع نشانگر

همان‌گونه که در بخش قبل اشاره شد نشانگرهای لرزه‌ای ابزاری هستند که به مفسر لرزه‌نگاری این امکان را می‌دهند که تفسیر بهتری از رخداد‌های لرزه‌ای داشته باشد اما گهگاه شناسایی دقیق ساختارهای گسل خورده به دلیل وجود نوفه، عدم پیوستگی پدیده‌های ساختاری همچون گسل‌ها و وابستگی نشانگرهای لرزه‌ای به پارامترهایی همچون شیب و آزمون ساختارها باعث می‌شود که آشکارسازی الگوی گسلی تنها با استفاده از یک یا چند نشانگر امکان‌پذیر نباشد. همان‌طور که پیش‌تر

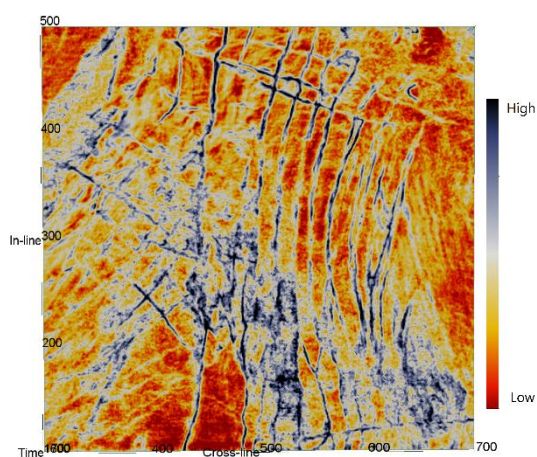
بیان شد یکی از تکنیک‌های مرسوم در آشکارسازی ناپیوستگی‌ها استفاده از فیلترهای لبه‌یابی است. به همین منظور در این پژوهش سعی شده است که از فیلتر لبه‌یابی بر روی مقاطع نشانگری استفاده شود که الگوی گسلی طی یک مرحله توسط نشانگرها برجسته شده است؛ اما نکته‌ای که در استفاده از روش‌های لبه‌یابی وجود دارد این است که بیشتر آن‌ها از فرایند مشتق‌گیری مرتبه اول و دوم استفاده می‌کنند که این موضوع باعث می‌شود هم‌زمان با برجسته شدن لبه‌ها نوفه موجود در داده نیز تقویت شود. به همین منظور قبل از اینکه مکعب نشانگرها وارد فرآیند لبه‌یابی شود از ریخت‌شناسی ریاضیاتی استفاده شده است که این عمل علاوه بر کاهش چشمگیر نوفه‌ی موجود در تصویر همچنین به بارز کردن لبه‌های تصویر که در اینجا هدف ما لبه‌های الگوی گسلی هستند کمک کند. در این مرحله مقاطع نشانگرهای استخراج شده را در نرم افزار متلب<sup>۱</sup> فراخوانی می‌کنیم و عملیات ریخت‌شناسی ریاضیاتی را بر روی این مقاطع پیاده‌سازی می‌کنیم. برای این کار از ترکیبی از عملیات فرسایش و اتساع برای هموارسازی لبه‌ها و حذف نوفه استفاده شده است به‌گونه‌ای که ابتدا بر روی مکعب سه‌بعدی لرزه‌ای عملیات فرسایش انجام شد و بر روی نتیجه فرسایش، عملیات انبساط صورت گرفت سپس با کسر کردن این مقدار از تصویر مکعب اصلی، مقدار باقی‌مانده به‌عنوان نتیجه حاصل از عملیات ریخت‌شناسی در نظر گرفته شد. شکل ۴-۵ مقطع نشانگر شباهت را قبل و بعد از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی نشان می‌دهد همان‌طور که در شکل نشان داده شده است لبه‌های ساختارهای گسل خورده در مقطع نشانگر شباهت پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی هموارتر شده و نوفه زمینه تا حد زیادی کاهش یافته است.

---

<sup>۱</sup> Matlab



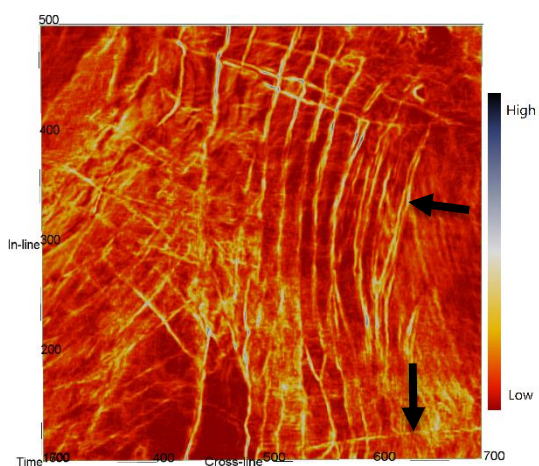
(ب)



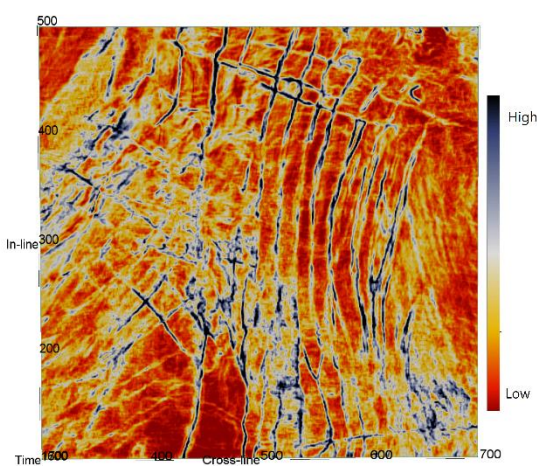
(الف)

شکل ۴-۵: (الف) مقطع نشانگر شباهت و (ب) مقطع نشانگر شباهت پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی.

شکل ۴-۶ مقطع نشانگر همدوسی را قبل و بعد از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی نشان می‌دهد. همان‌گونه که بر روی شکل مشخص شده است مقطع نشانگر همدوسی پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی علاوه بر کاهش نوفه زمینه و هموارتر شدن لبه گسل‌ها، در مکان‌هایی که با پیکان مشخص شده است تفکیک جانبی بین لبه‌ی گسل‌های مجاور هم به‌خوبی بهبود پیدا کرده است.



(ب)

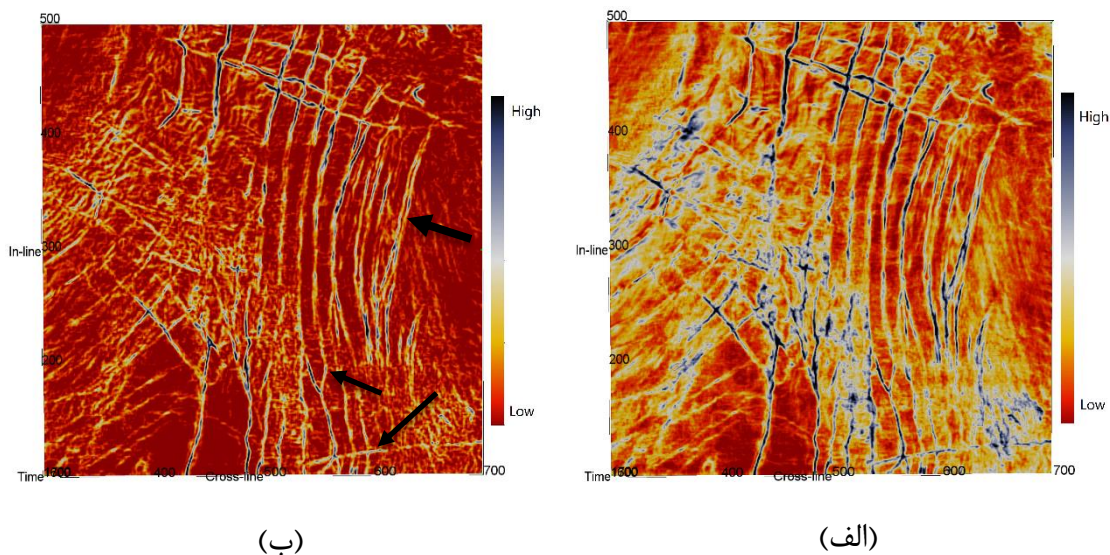


(الف)

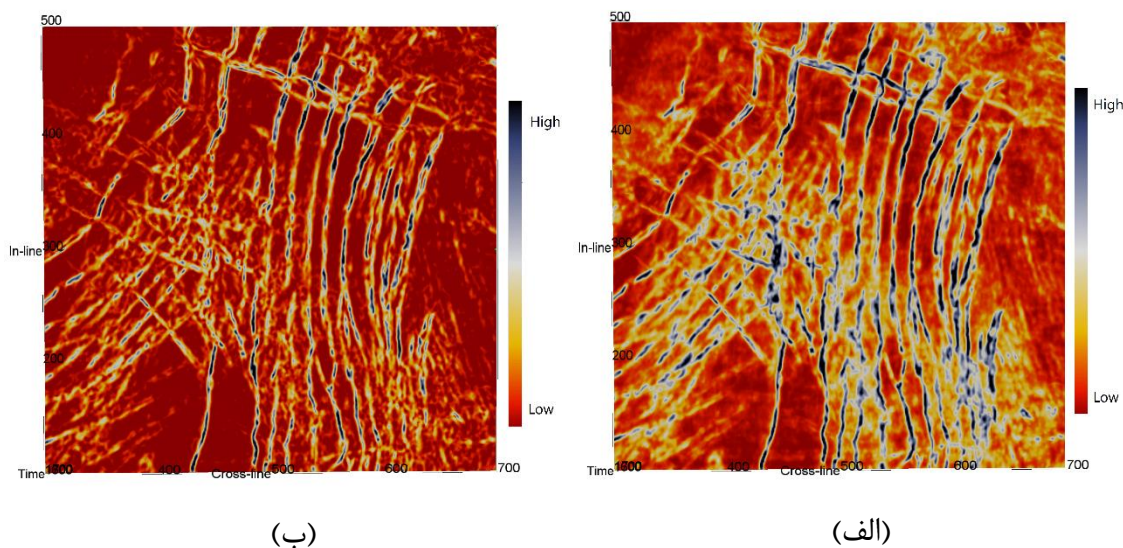
شکل ۴-۶: (الف) مقطع نشانگر همدوسی و (ب) مقطع نشانگر همدوسی پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی.

در شکل ۷-۴ مقطع نشانگر همدوسی، قبل و بعد از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی نشان داده می‌شود. همان‌طور که با فلش مشخص شده است، در مقطع نشانگر واریانس پس از اعمال عملیات ریخت‌شناسی علاوه بر اینکه تفکیک جانبی بهتری بین لبه‌های گسل‌های مجاور ایجاد شده است، نوفه تصویر تا حدود زیادی کاهش یافته است و مرزهای ناپیوستگی‌ها به خوبی قابل مشاهده است. شکل ۸-۴ تصویر نشانگر آشفتگی را نشان می‌دهد که بعد از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی کیفیت لبه‌های تصویر تا حد قابل قبولی بهبود پیدا کرده‌اند.

همان‌گونه که در بالا نشان داده شد پس از اعمال فیلترهای ریخت‌شناسی بر روی تصاویر مقاطع نشانگر، علاوه بر هموارسازی لبه ساختارهای گسل خورده و تفکیک جانبی بین لبه‌های گسل‌های مجاور نوفه تصویر هم تا حد قابل قبولی کاهش پیدا کرده است و تصویر برای اعمال لبه‌یابی مؤثرتر آماده شده است. در گام بعدی بر روی مقاطع نشانگری که فرآیند ریخت‌شناسی ریاضیاتی انجام شده است، عملیات لبه‌یابی توسط سه روش، پرویت، سوئل و لاپلاسن گوسی انجام می‌شود.



شکل ۷-۴: (الف) مقطع نشانگر واریانس و (ب) مقطع نشانگر واریانس پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی.



شکل ۴-۸: (الف) مقطع نشانگر آشفته‌گی و (ب) مقطع نشانگر آشفته‌گی پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی.

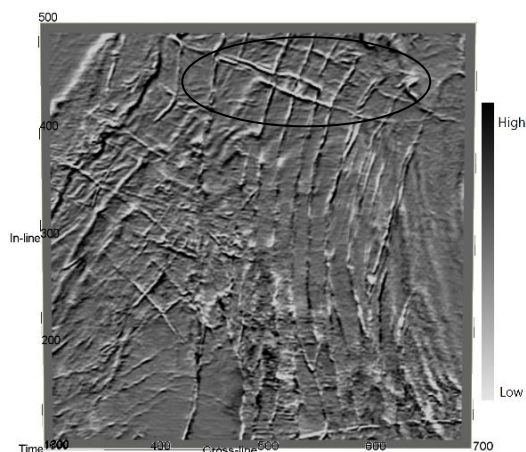
## ۴-۵ اعمال روش‌های لبه‌یابی

پس از اعمال عملیات ریخت‌شناسی ریاضیاتی و بر روی مقاطع نشانگر که باعث هموارسازی لبه ساختارها و همچنین کاهش نوفه تصویر شده‌اند، در این مرحله روش‌های لبه‌یابی را بر روی این مقاطع اعمال می‌کنیم. کدنویسی‌های مربوط به این مرحله در نرم افزار متلب صورت گرفته است اما برای نمایش بهتر پس از اعمال لبه‌یابی، داده خروجی را در نرم افزار اپن دتکت نمایش می‌دهیم.

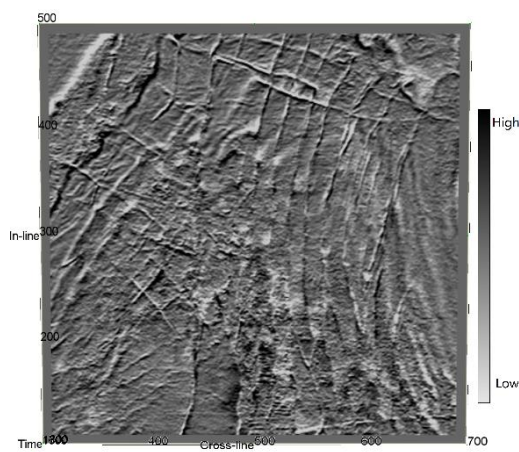
### ۴-۵-۱ اعمال روش لبه‌یابی پرویت

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد یکی از تکنیک‌های مرسوم در آشکارسازی ناپیوستگی‌ها استفاده از فیلترهای لبه‌یابی است. به همین منظور در اینجا سعی شده است که از فیلتر لبه‌یابی بر روی مقاطع نشانگری استفاده شود که الگوی گسلی طی یک مرحله توسط نشانگرها برجسته شده است؛ اما نکته‌ای که در استفاده از روش‌های لبه‌یابی وجود دارد این است که بیشتر آن‌ها از فرایند مشتق‌گیری مرتبه اول و دوم استفاده می‌کنند که این موضوع باعث می‌شود همزمان با برجسته شدن لبه‌ها، نوفه موجود در داده نیز تقویت شود. به همین منظور قبل از اینکه مکعب نشانگرها وارد فرایند لبه‌یابی شود از پردازش

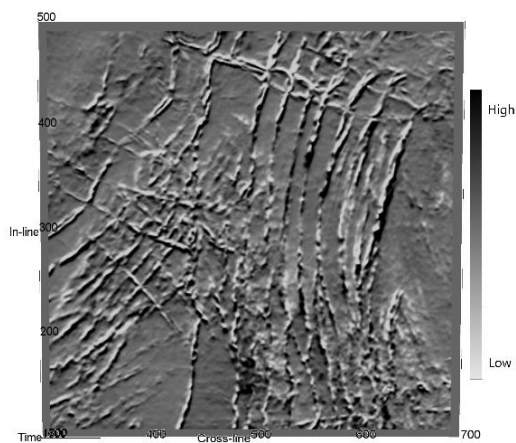
تصویر مبتنی بر ریخت‌شناسی استفاده شده است که این عمل کمک می‌کند که علاوه بر اینکه از تقویت نوفه‌ی زمینه موجود در تصویر اجتناب شود و همچنین به بارز کردن لبه‌های تصویر که در اینجا هدف ما لبه‌های الگوی گسلی هستند کمک کند. پس از اینکه پردازش تصویر ریخت‌شناسی بر روی مقاطع نشانگری اعمال شد، لبه‌یابی در ادامه بر روی مقاطع حاصل اعمال می‌شود. شکل ۴-۹ مقاطع حاصل از اعمال لبه یاب پرویت را بر روی مقاطع نشانگرهای، شباهت، همدوسی، واریانس و آشفتگی که یک طی یک مرحله ریخت‌شناسی ریاضیاتی روی آن‌ها انجام شده است را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴-۹(الف) پیداست لبه یاب پرویت در برخی نقاط که روی تصویر مشخص شده است آشکارسازی خوبی از صفحه گسل دارد و تفکیک جانبی بین لبه‌های مجاور را به خوبی نشان می‌دهد اما به علت اینکه در این عملگر ضرایب عددی یکسانی برای همه عناصر مجاور همسایگی در نظر گرفته می‌شود، همراه با برجسته کردن ساختارهای گسل خورده نوفه‌های تصویر هم برجسته می‌شوند.



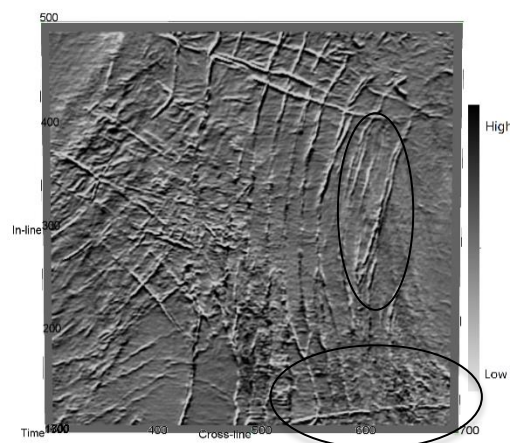
(ب)



(الف)



(د)



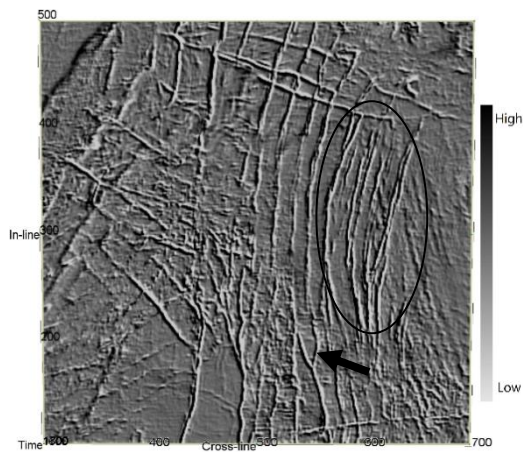
(ج)

شکل ۴-۹: مقاطع حاصل از اعمال عملگر پرویت بر روی نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات ریخت‌شناسی ریاضیاتی بر روی آن‌ها انجام شده است. (الف) مقطع نشانگر شباهت، (ب) مقطع نشانگر همدوسی، مقطع نشانگر واریانس، مقطع نشانگر آشفستگی.

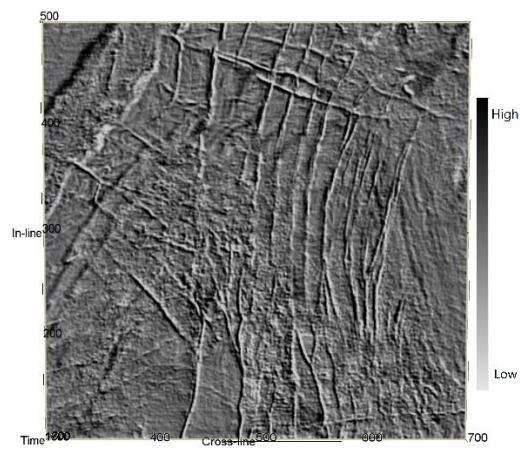
## ۴-۵-۲ اعمال روش لبه‌یابی سوبل

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد عملگر سوبل یک روش کارا در شناسایی لبه‌های پدیده‌های تصویر است. در این تحقیق از این عملگر برای شناسایی ساختارهای گسل خورده بر روی داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است. شکل ۴-۱۰ نتایج حاصل از اعمال لبه یاب سوبل را بر روی مقاطع نشانگرهای شباهت، همدوسی، واریانس و آشفستگی که یک مرحله ریخت‌شناسی ریاضیاتی روی آن‌ها اعمال شده نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (الف) پیداست علاوه بر اینکه پیوستگی جانبی بهتری در ساختارهای لبه

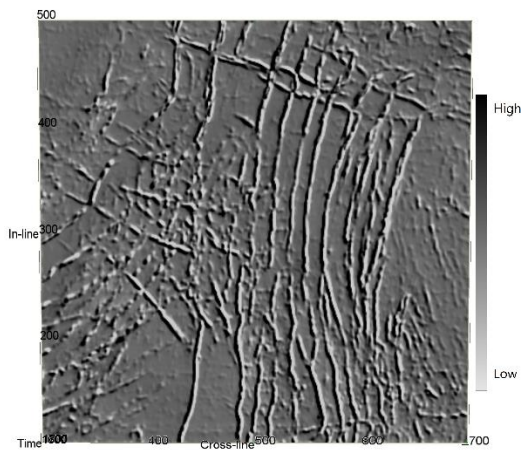
به وجود آمده، نوفه تصویر به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و لبه‌ها با کیفیت بهتری قابل مشاهده هستند. در شکل (ب) در نقاطی که بر روی تصویر مشخص شده علاوه بر اینکه تمایز بهتری بین لبه‌های گسل‌های مجاور ایجاد شده همچنین کیفیت لبه‌های گسل به خوبی بهبود داده شده است. همچنین لبه‌یابی در شکل (ج) به خوبی لبه‌های صفحات گسل را برجسته کرده است و آشکارسازی خوبی از ساختارهای گسل خورده داشته است و در شکل (ج) نیز نوفه تصویر کاهش چشمگیری داشته است.



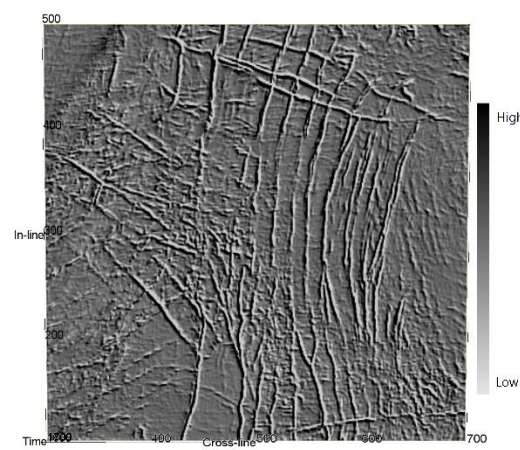
(ب)



(الف)



(د)

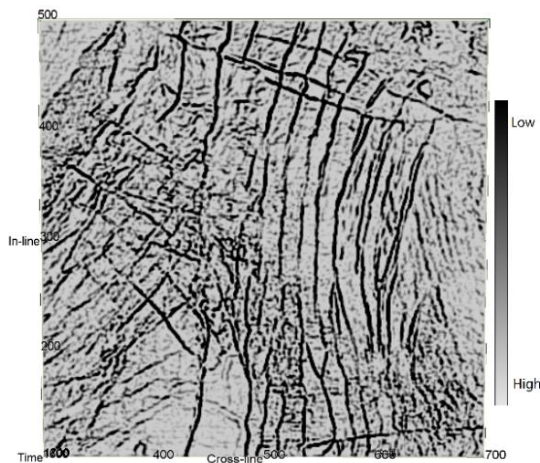


(ج)

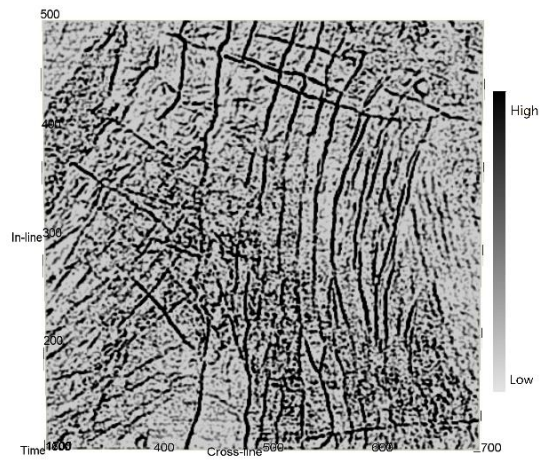
شکل ۴-۱۰: مقاطع حاصل از اعمال عملگر سوبل بر روی نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات ریخت‌شناسی ریاضیاتی بر روی آن‌ها انجام شده است. (الف) مقطع نشانگر شباهت، (ب) مقطع نشانگر همدوسی، (ج) مقطع نشانگر واریانس و (د) مقطع نشانگر آشفتگی.

### ۴-۵-۳ اعمال روش لاپلاسین گوسی (log)

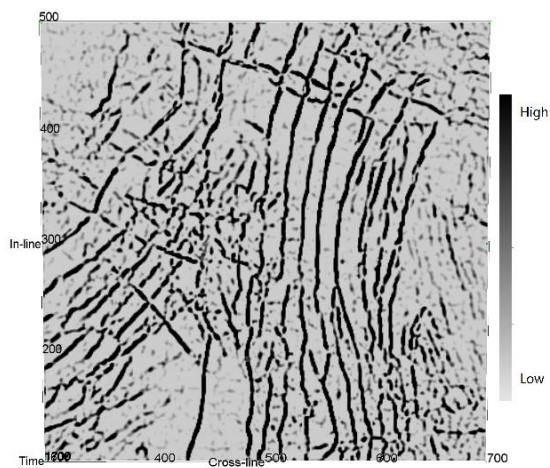
لبه‌یابی لاپلاسین گوسی از مشتق دوم تصویر برای لبه‌یابی استفاده می‌کند. این روش به علت این که از مشتق دوم برای لبه‌یابی استفاده می‌کند حساسیت بالایی نسبت به نوفه دارد و همراه با برجسته کردن لبه پدیده‌های تصویر، نوفه تصویر را هم برجسته می‌کند. به همین علت قبل از اعمال عملگر لاپلاسین، یک فیلتر هموارساز گوسی بر روی تصویر اعمال می‌شود. لاپلاسین گوسی یک روش لبه‌یابی مؤثر در شناسایی مرزهای پدیده‌های تصویر است. شکل ۴-۱۱ مقاطع حاصل از اعمال لبه‌یاب لاپلاسین گوسی را بر روی مقاطع نشانگرهای آشفتگی، همدوسی و واریانس که یک مرحله ریخت‌شناسی ریاضیاتی روی آن‌ها انجام شده است نشان می‌دهد. در شکل (الف) در مقایسه با مقطع نشانگر شباهت علاوه بر اینکه در لبه‌های گسل پیوستگی جانبی ایجاد شده است، لبه‌های ساختارهای گسل خورده به خوبی برجسته شده‌اند. در شکل (ب) در مقایسه با مقطع نشانگر همدوسی به وضوح آشکار است که علاوه بر اینکه تفکیک جانبی لبه‌های گسل به خوبی دیده می‌شود و همچنین لبه‌های گسل‌های شرقی-غربی بهبود پیدا کرده‌اند و به همین ترتیب در شکل (ج) و (د) کیفیت لبه‌ها نسبت به مقطع نشانگر واریانس و آشفتگی به خوبی بهبود پیدا کرده‌اند و همچنین پیوستگی جانبی بین لبه‌ها ایجاد شده است. با توجه به اینکه، لبه‌یاب لاپلاسین گوسی از مشتق دوم برای عملیات لبه‌یابی در تصویر استفاده می‌کند لذا این عملگر نسبت به لبه‌یابی پرویت و سوئل از حساسیت بالاتری نسبت به نوفه برخوردار است و علاوه بر برجسته کردن لبه پدیده‌های تصویر، نوفه تصویر را هم را افزایش می‌دهد که با اعمال یک فیلتر هموار کننده گوسی قبل از اعمال لبه‌یابی بر روی تصویر می‌توان تا حدود زیادی از این امر اجتناب کرد.



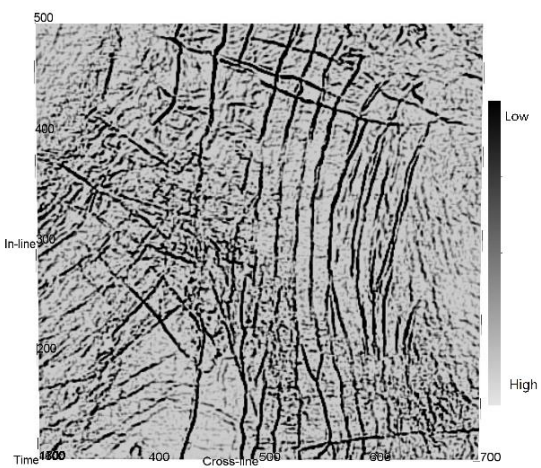
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

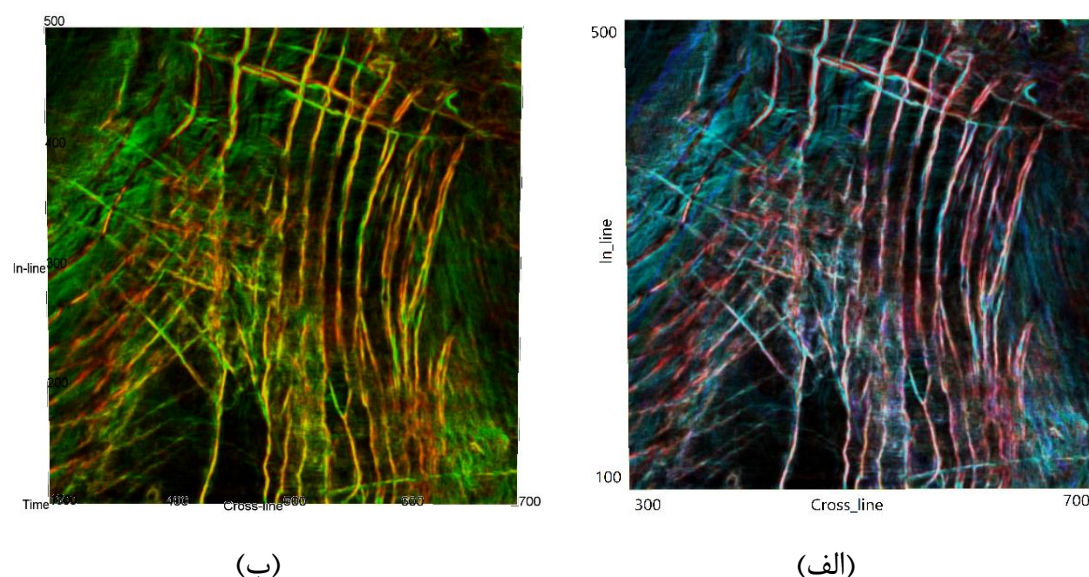
شکل ۴-۱۱: مقاطع حاصل از اعمال لبه یاب لاپلاسین گوسی بر روی نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات ریخت‌شناسی ریاضیاتی بر روی آن‌ها انجام شده است. (الف) مقطع نشانگر شباهت، (ب) مقطع نشانگر همدوسی، (ج) مقطع نشانگر واریانس و (د) مقطع نشانگر آشفتگی.

## ۴-۶ اعمال تلفیق رنگی RGB

همان‌طور که در نتایج بالا نشان داده شد، هر یک از نشانگرها و همچنین نسخه‌های لبه‌یابی شده آن‌ها در آشکارسازی الگوی گسلی بخشی از مقطع و گسلس در جهت خاصی بهتر عمل کرده است. مرسوم است در جایی که چند عملگر با چنین نتایجی وجود دارد، از تکنیک ترکیب رنگی استفاده می‌شود تا بهره‌مندی از توانمندی هر عملگر میسر شود. به همین منظور در این بخش و به عنوان یک مرحله دیگر

از استراتژی پیشنهادی نتایج در یک ترکیب رنگی RGB باهم ترکیب شده‌اند که در زیر نتایج به بحث گذاشته می‌شوند.

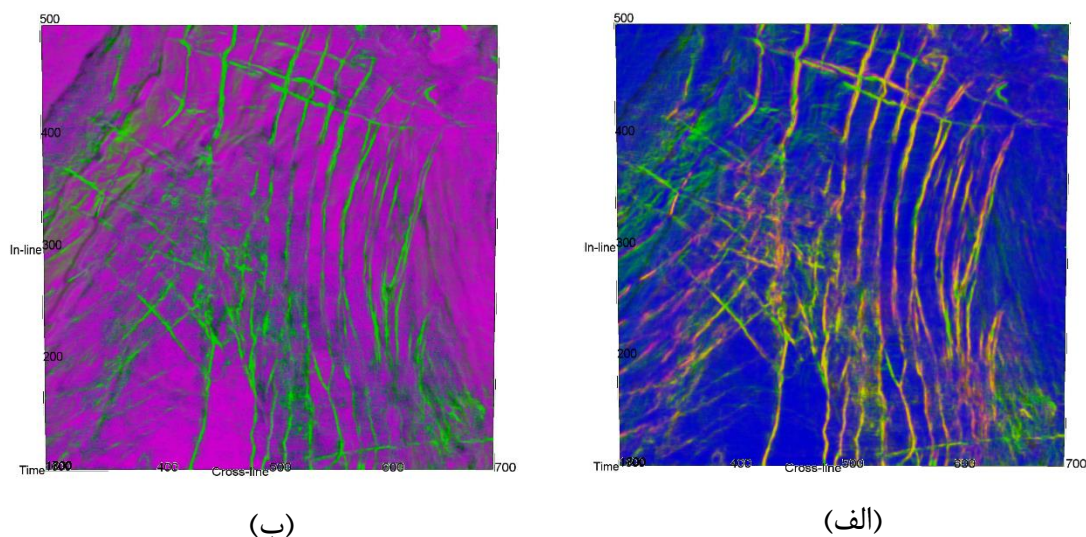
شکل ۴-۱۲ نشان‌دهنده مقاطع زمانی حاصل از ترکیب رنگی RGB نشانگرهای لرزه‌ای است. ترکیب رنگی در شکل (الف) شامل مؤلفه قرمز (R) برای نشانگر آشفستگی، مؤلفه سبز (G) برای نشانگر واریانس و مؤلفه آبی (B) برای نشانگر همدوسی می‌باشد. همچنین ترکیب رنگی در شکل (ب) شامل مؤلفه قرمز (R) برای نشانگر شباهت، مؤلفه سبز (G) برای نشانگر واریانس و مؤلفه آبی (B) برای نشانگر همدوسی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴-۱۲ مشخص است، به علت برانبارش رنگی در نقاطی که ساختارها با یکدیگر همپوشانی دارند و همدیگر را تقویت نموده‌اند؛ اما به علت اینکه مقاطع نشانگر حاوی نوفه می‌باشند با برانبارش رنگی میزان نوفه هم به همان نسبت تقویت شده است.



شکل ۴-۱۲: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفستگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی.

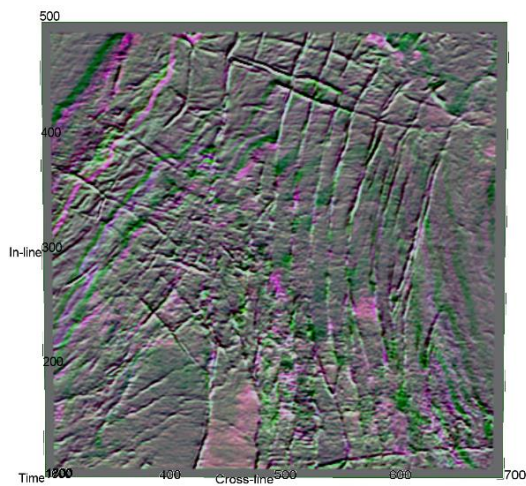
همان‌طور که در شکل بالا پیداست وجود نوفه در مقاطع نشانگر باعث می‌شود که تفکیک ساختارها به راحتی امکان‌پذیر نباشد، شکل ۴-۱۳ مقطع حاصل از برانبارش رنگی نشانگرهای لرزه‌ای پس از اعمال ریخت‌شناسی ریاضیاتی را نشان می‌دهد. ترکیب رنگی در شکل (الف) مؤلفه قرمز (R) برای نشانگر

آشفتگی، مؤلفه سبز (G) برای نشانگر واریانس و مؤلفه آبی (B) برای نشانگر همدوسی می‌باشد. همچنین ترکیب رنگی در شکل (ب) شامل مؤلفه قرمز (R) برای نشانگر شباهت، مؤلفه سبز (G) برای نشانگر واریانس و مؤلفه آبی (B) برای نشانگر همدوسی می‌باشد. نتایج به دست آمده به خوبی نشان دهنده کاهش نوفه تصویر و تفکیک بهتر بین ساختارهای مرتبط با گسل خوردگی‌ها را نشان می‌دهد.

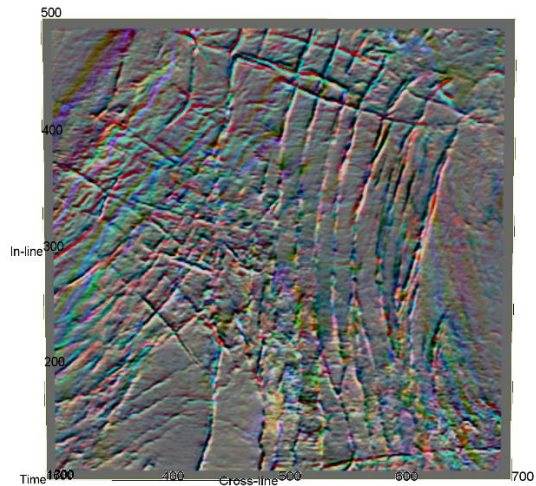


شکل ۴-۱۳: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای که ریخت‌شناسی ریاضیاتی روی آن‌ها انجام شده است. (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفتگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی.

شکل ۴-۱۴ مقاطع حاصل از برانبارش رنگی نتایج به دست آمده در شکل ۴-۹ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است به علت همپوشانی ساختارهای گسل خورده لبه‌های ساختارها برجسته شده‌اند.



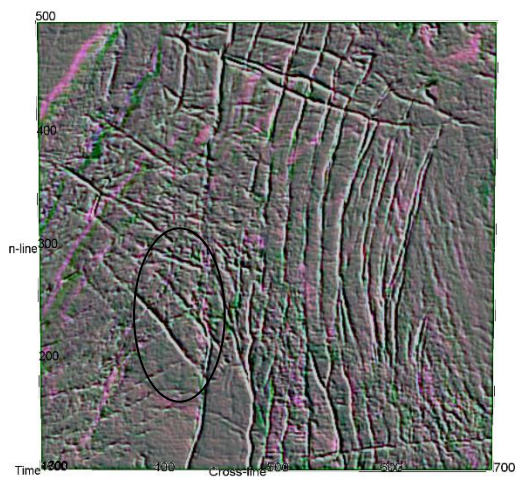
(ب)



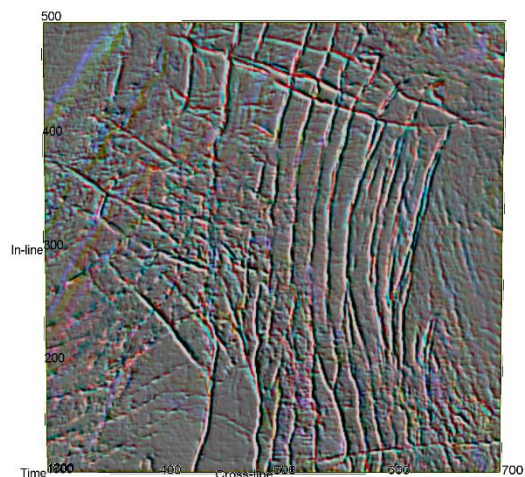
(الف)

شکل ۴-۱۴: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات لبه‌یابی توسط عملگر پرویت لبه‌یابی شده‌اند (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفتگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی.

شکل ۴-۱۵: مقاطع حاصل از برانبارش رنگی نتایج به دست آمده در شکل ۴-۱۰ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است به علت همپوشانی ساختارهای گسل خورده ساختارهای گسل خورده به خوبی برجسته شده‌اند.



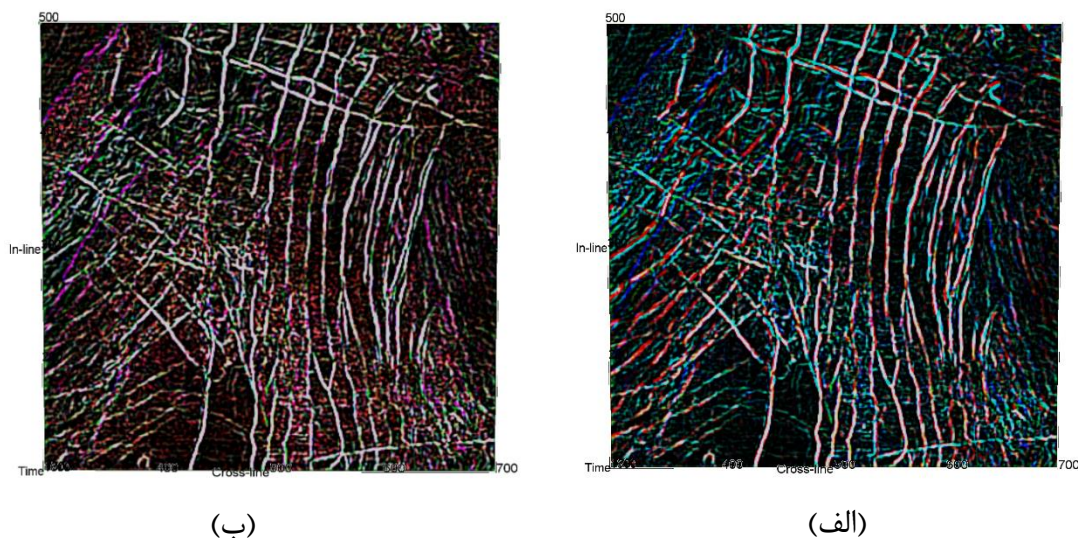
(ب)



(الف)

شکل ۴-۱۵: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه‌ای که عملیات لبه‌یابی توسط عملگر سوپل لبه‌یابی شده‌اند (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفتگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی.

شکل ۴-۱۶ مقاطع حاصل از برانبارش رنگی نتایج به دست آمده در شکل ۴-۱۱ را نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است ساختارهای گسل خورده به خوبی آشکار سازی شده و پیوستگی خوبی بین ساختارهای گسل خورده به وجود آمده است.



شکل ۴-۱۶: تلفیق رنگی مقاطع نشانگرهای لرزه ای ک عملیات لبه یابی توسط عملگر لاپلاسین گوسی لبه یابی شده اند (الف)، برانبارش رنگی نشانگرهای آشفستگی، واریانس و همدوسی، (ب) برانبارش رنگی نشانگرهای شباهت، واریانس و همدوسی

## ۴-۷ مقایسه نتایج خروجی روش های لبه یابی

همانطور که مشخص شد روش های لبه یابی در بهبود آشکار سازی رخداد های گسل خورده به طور موثری کارا هستند. روش لبه یابی پرویت علاوه بر اینکه در بخش هایی از تصویر لبه ساختارهای گسل خورده را به خوبی آشکار سازی کرد اما به علت استفاده از ضرایب عددی یکسان چه در همسایگی های مرکزی و چه در سایر همسایگی ها در بخش های مرکزی تصویر که شدت نوفه تصویر بالاتر است به خوبی عمل نکرد. همانطور که از نتایج تصاویر خروجی بر می آید عملگر سوبل به خوبی لبه ساختارهای گسل خورده را برجسته کرده است همچنین روش لبه یابی لاپلاسین گوسی به علت استفاده از مشتق دوم برای عملیات لبه یابی از حساسیت بالاتری نسبت به نوفه برخوردار است که برای کاهش این اثر از یک فیلتر هموار کننده گوسی قبل از اعمال لبه یابی استفاده شد که نتایج خروجی به

خوبی از توانایی این روش در آشکارسازی رخداد های گسل خورده بر روی داده های لرزه ای حاکی است.



## فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

## ۵-۱ نتیجه‌گیری

نشانگرهای لرزه‌ای کمک شایانی به شناسایی ساختارهای گسل خورده در داده‌های لرزه‌ای می‌کنند؛ اما به دلیل عدم پیوستگی پدیده‌های ساختاری همچون گسل‌ها و همچنین وجود نوفه و وابستگی نشانگرهای لرزه‌ای به پارامترهایی نظیر شیب و آزمون ساختارها، باعث می‌شود که گهگاه آشکارسازی الگوی گسلی تنها با استفاده از یک یا چند نشانگر امکان‌پذیر نباشد. به همین علت با تکنیک‌های لبه‌یابی تا حد زیادی می‌توان آشکارسازی بهتری از رخدادهای گسل خورده به دست آورد و در بحث تفسیر داده‌های لرزه‌ای کمک شایانی به مفسر لرزه‌نگاری می‌کند؛ اما به علت اینکه اغلب روش‌های لبه‌یابی مبتنی بر فرآیندهای مشتق‌گیری هستند که این موضوع باعث می‌شود هم‌زمان با برجسته شدن لبه‌ها، نوفه موجود در داده نیز تقویت شود و به همین علت نشان داده شد که برای جلوگیری از این امر استفاده از پردازش تصویر ریخت‌شناسی بر روی مقاطع نشانگر مؤثر واقع می‌شود. سه روش لبه‌یابی پرویت، سوبل و لاپلاسن گوسی در این پژوهش استفاده شد. روش پرویت و سوبل از مشتق اول برای لبه‌یابی در تصویر استفاده می‌کنند که روش سوبل به علت استفاده از ضرایب وزنی در عناصر مرکزی آشکارسازی بهتری از ساختارهای گسل خورده ارائه می‌کند. روش لاپلاسن به علت اینکه از مشتق دوم تصویر استفاده می‌کند از حساسیت بیشتری نسبت به نوفه برخوردار است که برای پیشگیری از این امر از یک فیلتر هموار کننده گوسی استفاده شده که نتایج رضایت بخشی ارائه کرده است. همچنین با توجه به اینکه ترکیب رنگی RGB ابزار مؤثری برای تفسیر لرزه‌نگاری است در این تحقیق از آن نیز استفاده شد. با تلفیق رنگی RGB به علت برانبارش رنگی در نقاطی که ساختارها با یکدیگر همپوشانی دارند و در نتیجه تقویت ساختارهای گسل خورده، نتیجه حاصله ساختارهای گسل خورده را به خوبی برجسته‌سازی کرد و نتایج امید بخشی ارائه شد.

## ۵-۲ پیشنهادها

در این پژوهش از نشانگرهای مختلف و نیز چند روش به همراه بهره‌گیری از پردازش تصویر ریخت-شناسی و نیز ترکیب رنگی RGB استفاده شد؛ اما به منظور توسعه روش و ادامه پژوهش در این موضوع پیشنهادهای زیر ارائه می‌شوند:

۱. در این پایان‌نامه از روش‌های لبه‌یابی پرویت، سوبل و لاپلاسین گوسی برای لبه‌یابی ساختارهای گسل‌خورده استفاده شده است. به کار بردن دیگر روش‌های لبه‌یابی نظیر کنی و روش‌های مبتنی بر بینایی ماشین، منطق فازی و می‌تواند پیشنهاد خوبی برای کارهای آینده باشد.

۲. در این پایان‌نامه از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای و روش‌های لبه‌یابی برای آشکارسازی لبه‌های ساختارهای گسل‌خورده استفاده شده است. از استراتژی پیشنهادی می‌توان برای شناسایی دیگر الگوهای لرزه‌ای نظیر مرزهای گنبدی‌های نمکی و کانال‌های مدفون استفاده کرد.

۳. در این پایان‌نامه تلفیق داده RGB استفاده شده است. اگرچه این تکنیک مرسوم‌ترین روش تلفیق داده در تحقیقات منتشر شده می‌باشد، اما بررسی روش‌های دیگر تلفیق داده می‌تواند نتایج جالب‌توجهی داشته باشد.

## مراجع

- [1] Jibrin, B. W., Turner, J. P., Westbrook, G., & Huck, A. **(2009)**. “Application of volumetric seismic attributes to delineate fault geometry: Examples from the outer fold and thrust belt, deepwater Niger Delta (Joint Development Zone)”.
- [2] Ngeri, A. P., Tamunobereton-Ari, I., & Amakiri, A. R. C. **(2015)**. “Ant-tracker attributes: an effective approach to enhancing fault identification and interpretation”. *Journal of VLSI and Signal Processing*, **5**, 67-73.
- [3] Chopra, S., & Marfurt, K. J. **(2007)**. “Volumetric curvature attributes add value to 3D seismic data interpretation”. *The Leading Edge*, **26(7)**, 856-867.
- [4] Jahan, I., Castagna, J., & Murphy, M. **(2017, September)**. “Fault detection from 3-D seismic data and distribution of conjugate faults in the Bakken formation”. In *Unconventional Resources Technology Conference, Austin, Texas, 24-26 July 2017* (pp. **385-393**). Society of Exploration Geophysicists, American Association of Petroleum Geologists, Society of Petroleum Engineers.
- [5] Bahorich, M., & Farmer, S. **(1995)**. “3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features: The coherence cube”. *The leading edge*, **14(10)**, 1053-1058.
- [6] Marfurt, K. J., Kirlin, R. L., Farmer, S. L., & Bahorich, M. S. **(1998)**. “3-D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm”. *Geophysics*, **63(4)**, 1150-1165.
- [7] Chopra, S., & Marfurt, K. **(2007)**. “Curvature attribute applications to 3D surface seismic data”. *The Leading Edge*, **26(4)**, 404-414.
- [8] Duan, Y., Wu, C., Zheng, X., Huang, Y., & Ma, J. **(2018)**. “Coherence based on spectral variance analysis”. *Geophysics*, **83(3)**, O55-O66.
- [9] Koson, S., Chenrai, P., & Choowong, M. **(2014)**. “Seismic attributes and their applications in seismic geomorphology”. *Bulletin of Earth Sciences of Thailand*, **6(1)**, 1-9.

- [10] Pigott, J. D., Kang, M. H., & Han, H. C. (2013). "First order seismic attributes for clastic seismic facies interpretation: Examples from the East China Sea". *Journal of Asian Earth Sciences*, **66**, 34-54.
- [11] Fadhil, M. S., & Al-Rahim, A. M. (2019). "Using Chaos and Ant Track Attributes to Recognize The Faulting Systems and Subtle Faults of a Jurassic-Cretaceous Sedimentary Packages in Merjan\_West Kifl Oil Fields-Central Iraq". *Iraqi Journal of Science*, **1350-1361**.
- [12] Bakhtiari, M. R., Riahi, M. A., & Tingdahl, K. (2009). "Minor fault detection by integration of seismic attributes in an oil reservoir". *Journal of seismic exploration*, **18(3)**, 289-304.
- [13] Aminzadeh, F., & deGroot, P. (2005). "A neural networks based seismic object detection technique". In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2005* (pp. 775-778). *Society of Exploration Geophysicists*.
- [14] Roberts, L. G. (1963). "Machine perception of three-dimensional solids (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology)".
- [15] Prewitt, J. M. (1970). "Object enhancement and extraction". *Picture processing and Psychopictorics*, **10(1)**, 15-19.
- [16] Sobel, I., & Feldman, G. (1968). "A 3x3 isotropic gradient operator for image processing". *A talk at the Stanford Artificial Project in*, 271-272.
- [17] Torre, V., & Poggio, T. A. (1986). "On edge detection". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (2), 147-163.
- [18] Canny, J. (1986). "A computational approach to edge detection". *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6), 679-698.
- [19] Di, H., & Gao, D. (2014). "Gray-level transformation and Canny edge detection for 3D seismic discontinuity enhancement". *Computers & Geosciences*, **72**, 192-200.
- [20] اعظم پور، روشنندل کاهو، امین، احمدی فرد، & حیدریان. شناسایی گسل‌ها در داده‌های لرزه‌ای بازتابی به کمک نشانگر سوبل. *مجله ژئوفیزیک ایران*, ۱۰ (۴)، ۸۵-۹۶.
- [21] Efford, N. (2000). "Digital image processing: a practical introduction using java" (with CD-ROM). *Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.*
- [22] Run-qiu, W. (2005). "Noise-eliminated method by morphologic filtering in seismic data processing". *Oil Geophysical Prospecting*, **40(3)**, 277.

- [23] Wallet, B. C., & Pepper, R. E. (2013). "Using mathematical morphology in an attribute workflow to improve the interpretability of salt bodies in the Gulf of Mexico". In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2013* (pp. 1324-1328). Society of Exploration Geophysicists.
- [24] Zhou, Y., Wang, R., Huang, W., Yuan, Y., Chen, X., Wang, L., & Yang, R. (2016). "Attenuation of diffraction noise in marine surveys with mathematical morphology". In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2016* (pp. 4644-4648). Society of Exploration Geophysicists.
- [25] Li, X., Shen, J., Zhu, Z., Wang, L., & Li, Z. (2016). "Fracture extraction from FMI based on multiscale mathematical morphology". In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2016* (pp. 703-707). Society of Exploration Geophysicists.
- [26] Li, H., Wang, R., Cao, S., Chen, Y., & Huang, W. (2016). "A method for low-frequency noise suppression based on mathematical morphology in microseismic monitoring". *Geophysics*, **81**(3), V159-V167.
- [27] Huang, W., Wang, R., Zhang, D., Zhou, Y., Yang, W., & Chen, Y. (2017). "Mathematical morphological filtering for linear noise attenuation of seismic data". *Geophysics*, **82**(6), V369-V384.
- [28] Shafiq, M. A., Di, H., & AlRegib, G. (2018). "A novel approach for automated detection of listric faults within migrated seismic volumes". *Journal of Applied Geophysics*, **155**, 94-101.
- [29] Boustani, B., Javaherian, A., Nabi-Bidhendi, M., Torabi, S., & Amindavar, H. R. (2019). "Mapping channel edges in seismic data using curvelet transform and morphological filter". *Journal of Applied Geophysics*, **160**, 57-68.
- [30] Iske, A., & Randen, T. (Eds.). (2006). "Mathematical methods and modelling in hydrocarbon exploration and production". (Vol. 7). *Springer Science & Business Media*.
- [31] M. T. Taner, "Seismic attributes," *CSEG Rec.*, vol. 26, no. 7, pp. 49-56, 2001.
- [32] Roberts, A. (2001). "Curvature attributes and their application to 3 D interpreted horizons". *First break*, **19**(2), 85-100.
- [33] Al-Dossary, S., & Marfurt, K. J. (2006). "3D volumetric multispectral estimates of reflector curvature and rotation". *Geophysics*, **71**(5), P41-P51.

- [34] Hakami, A. M., Marfurt, K. J., & Al-Dossary, S. (2004). "Curvature attribute and seismic interpretation: Case study from Fort Worth Basin, Texas, USA". In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2004* (pp. 544-547). Society of Exploration Geophysicists.
- [35] Sigismondi, M. E., & Soldo, J. C. (2003). "Curvature attributes and seismic interpretation: Case studies from Argentina basins". *The Leading Edge*, 22(11), 1122-1126.
- [36] Brouwer, F., & Huck, A. (2011). "An integrated workflow to optimize discontinuity attributes for the imaging of faults". In *Attributes: New Views on Seismic Imaging—Their Use in Exploration and Production. GCSSEPM, 31st Annual Conference Publication* (Vol. 496, p. 533).
- [37] De Rooij, M., & Tingdahl, K. (2002). "Meta-attributes—the key to multivolume, multiattribute interpretation". *The Leading Edge*, 21(10), 1050-1053.
- [38] Basir, H. M., Javaherian, A., & Yarak, M. T. (2013). "Multi-attribute ant-tracking and neural network for fault detection": a case study of an Iranian oilfield. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10(1), 015009.
- [39] T. Randen and L. Sønneland, "Atlas of 3D seismic attributes," in *Mathematical methods and modelling in hydrocarbon exploration and production*, Springer, 2005, pp. 23–46.
- [40] Randen, T., Monsen, E., Signer, C., Abrahamsen, A., Hansen, J. O., Sæter, T., & Schlaf, J. (2000). "Three-dimensional texture attributes for seismic data analysis". In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2000* (pp. 668-671). Society of Exploration Geophysicists.
- [41] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2009). "Digital image processing: Pearson education India".
- [42] Trucco, E., & Verri, A. (1998). "Introductory techniques for 3-D computer vision" (Vol. 201, pp. 10-5555). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- [43] Vincent, O. R., & Folorunso, O. (2009, June). "A descriptive algorithm for sobel image edge detection". In *Proceedings of informing science & IT education conference (InSITE)* (Vol. 40, pp. 97-107). Informing Science Institute California.
- [44] S. Gupta and S. G. Mazumdar, "Sobel edge detection algorithm," *Int. J.*

*Comput. Sci. Manag. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 1578–1583, 2013.

[45] Shrivakshan, G. T., & Chandrasekar, C. (2012). “A comparison of various edge detection techniques used in image processing”. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 9(5), 269.

[46] Maini, R., & Aggarwal, H. (2009). “Study and comparison of various image edge detection techniques”. *International journal of image processing (IJIP)*, 3(1), 1-11.

[47] Hafiz, D. A., Sheta, W. M., Bayoumi, S., & Youssef, B. A. (2011). “A new approach for 3d range image segmentation using gradient method”.

[48] Aqrabi, A. A., Boe, T. H., & Barros, S. (2011). “Detecting salt domes using a dip guided 3D Sobel seismic attribute”. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2011* (pp. 1014-1018). Society of Exploration Geophysicists.

[49] J. S. Jin and Y. Gao, “Recursive implementation of LoG filtering,” *real-time imaging*, vol. 3, no. 1, pp. 59–65, 1997.

[50] Jingbo, X., Bo, L., Haijun, L., & Jianxin, L. (2011, August). “A new method for realizing LOG filter in image edge detection”. In *Proceedings of 2011 6th International Forum on Strategic Technology* (Vol. 2, pp. 733-737). IEEE.

[51] J Hu, J., Tong, X., Xie, Q., & Li, L. (2016, July). “An Improved, Feature-Centric LoG Approach for Edge Detection”. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 474-483). Springer, Cham.

[52] R. Muthukrishnan and M. Radha, “Edge detection techniques for image segmentation,” *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 6, p. 259, 2011.

[53] Bahorich, M., Motsch, A., Lauthlin, K., & Partyka, G. (2002). “Amplitude responses image reservoir: Hart’s E&P”.

[54] Gregersen, U., Michelsen, O., & Sørensen, J. C. (1997). “Stratigraphy and facies distribution of the Utsira Formation and the Pliocene sequences in the northern North Sea”. *Marine and Petroleum geology*, 14(7-8), 893-914.

[55] Overeem, I., Weltje, G. J., Bishop-Kay, C., & Kroonenberg, S. B. (2001). “The Late Cenozoic Eridanos delta system in the Southern North Sea Basin: a climate signal in sediment supply”. *Basin Research*, 13(3), 293-312.

# Abstract

One of the most important geological structures in exploratory studies are faults. Faults create oil traps by displacing the stratification. Therefore, the study of fault structures is important. Sometimes due to structural complexity and noise in seismic data, identifying the fault plain is a difficult procedure and it is not possible to determine their exact location from seismic data. Seismic attributes are tools that reveal the information contained in seismic data and allow the interpreter to interpret qualitatively and quantitatively. However, the presence of noise and the dependence of seismic attributes on some parameters such as slope and azimuth of structures, makes it sometimes impossible to detect the fault pattern using only one or more attributes. The other method to detect fault pattern is using edge detection filters which are efficient in identifying the edge of discontinuities. In this thesis, by using a combination of seismic attributes and edge detection methods faulty structures have been identified on seismic data. Due to the fact that the basis of edge detection methods is derivation, they also increase image noise along with highlighting fault structures. Therefore, to prevent this problem, mathematical morphology operations are performed before applying the edge detection operation on the seismic attribute cubes to reduce image noise and highlight faulty structures. In the next step, the edge detection operators are applied to the attribute cubes. In the final step, the results obtained from each stage of the process are combined using color blending (RGB) and interpreted. The results of the study show the high ability of the proposed strategy in identifying fault structures.

**Keywords:** Seismic attribute, Edge detection, mathematical morphology, RGB color blending, Fault.



Shahrood University of  
Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Exploration Seismology

# Fault detection on seismic data using combination of attributes and edge detection methods

By: Jabar Mousavi

Supervisors:

Dr. Mohammad Radad

Dr. Mehrdad Soleimani Monfared

Advisor:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

**January 2021**