

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نفت-اکتشاف

امکان سنجی شناسایی مرز گنبد نمکی با استفاده از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای در

محیط *GIS* و مقایسه نتایج آن با روش *SVM*.

نگارنده: رشید چمبری

اساتید راهنما

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر مهیار یوسفی

استاد مشاور

دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

شهریورماه ۱۳۹۶

شماره: ۲۹۴۲۰۲۱
تاریخ: ۹۴۷۸۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رشید جمیری با شماره دانشجویی ۹۴۳۶۶۰۴ رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف تحت عنوان امکان سنجی شناسایی مرز گنبد نمکی با استفاده از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای در محیط GIS و مقایسه نتایج آن با روش SVM، که در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۱۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه:): مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

| عضو هیأت داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------|----------------------|------------|-------|
| ۱- استاد راهنمای اول | امین روشندل کاهو | دانشیار | |
| ۲- استاد راهنمای دوم | مehar یوسفی | استادیار | |
| ۳- استاد مشاور | مهرداد سلیمانی منفرد | استادیار | |
| ۴- نماینده تحصیلات تکمیلی | علی نجاتی | دانشیار | |
| ۵- استاد ممتحن اول | محمد رداد | استادیار | |
| ۶- استاد ممتحن دوم | منصور ضیائی | دانشیار | |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: علیرضا عرب امیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۴۷۸۱

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



نام بعضی نفرات رزق روح شده است، جراتم می‌نشد، روشنم می‌دارد...

تقدیم به آنان

تقدیم به همسر مهربانم

که مسیح دار با صبرش در تمامی سخت‌ترین راهم بود

تقدیم به آنان که آموختند مرا، تا بیا موزم

استاد گرامی جناب آقای دکتر روشندل و استاد عزیزم جناب آقای دکتر یوسفی

تقدیم به آنان که وجودم جز به وجودشان نیست

پدر و مادر عزیزم

و تقدیم به خواهران و برادران بهتراز جانم.

تقدیر و تشکر:

تشکر و سپاس بی پایان مخصوص خدایی است که بشر را آفرید، به او قدرت اندیشیدن داد و با قرار دادن توانایی‌های بالقوه در وجودش او را به تلاش و کوشش امر نموده و راه‌نمایی برای هدایت وی فرستاده است.

پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی‌محتاجم است از استادان ارجمندم دکتر امین روشن دل کاهو، دکتر همیار یوسنی و دکتر مهرداد سلیمانی به خاطر سه صدرشان و رهنمودهای دلسوزانه‌شان که در تهیه این تحقیق مرا مورد لطف خود قرار دادند، صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و موفقیت بندگان را از درگاه احدیت خواهانم. همچنین در پایان از دوست عزیزم جناب آقای مهندس مهدی ابراهیمی و همسر مهربانم صمیمانه سپاس گزارم.

تعهد نامه

اینجانب رشید چمبری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت (اکتشاف) دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " امکان سنجی شناسایی مرز گنبد نمکی با استفاده از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای در محیط GIS و مقایسه نتایج آن با روش SVM" تحت راهنمایی دکتر امین روشندل کاهو، دکتر مهیار یوسفی و دکتر مهرداد سلیمانی منفرد متعهد می‌شوم.

- 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 می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا «Shahroud University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- 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.

امضای دانشجو

تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۲۶

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. 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 نمی‌باشد.

چکیده

امروزه از گنبد‌های نمکی استفاده‌های زیادی می‌شود که برخی از آن‌ها عبارتند از: ذخیره‌سازی مواد هیدروکربنی، اکتشاف منابع هیدروکربنی، ایزوله کردن زباله‌های هسته‌ای، معدن‌کاری انحلال، ایجاد فضایی برای سازه‌های زیرزمینی و ایجاد مخزن هوای فشرده، به همین دلیل شناسایی این ساختار زیرزمینی از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اینکه خصوصیات گنبد‌های نمکی با رسوبات دربرگیرنده آن‌ها متفاوت است و به دلیل سرعت بالای انتشار امواج لرزه‌ای در نمک نسبت به رسوبات اطراف گنبد، یک مرز مناسب برای بازتاب امواج لرزه‌ای ایجاد می‌شود. لذا از میان روش‌های ژئوفیزیکی، روش لرزه‌نگاری بازتابی یکی از بهترین روش‌هایی است که قابلیت شناسایی گنبد نمکی را دارا می‌باشد. مشخص کردن دقیق مرزهای گنبد نمکی به دلیل میرایی شدید انرژی لرزه‌ای در نمک و تفاوت سرعت بالای انتشار موج در نمک نسبت به رسوبات دربرگیرنده آن، باعث شده است که شناسایی مستقیم گنبد‌های نمکی و تعیین مرز آن‌ها از روی داده‌های لرزه‌ای بازتابی کمی مشکل باشد. نشانگرهای لرزه‌ای به‌عنوان ابزاری برای استخراج ویژگی‌های داده لرزه‌ای می‌تواند به تفسیر و شناسایی گنبد‌های نمکی و تعیین مرزهای آن کمک به‌سزایی بکند. دسته مهمی از نشانگرهای لرزه‌ای که در شناسایی گنبد‌های نمکی نیز کاربرد دارند، نشانگرهای بافتی مبتنی بر ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری می‌باشند. ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری، یک ابزار قدرتمند در پردازش تصویر می‌باشد که خواص بافتی یک تصویر را استخراج می‌کند. با توجه به تفاوت بافتی گنبد نمکی با ساختارهای پیرامونش، این نشانگر می‌تواند آن را از سایر ساختارهای دربرگیرنده متمایز سازد. با توجه به اینکه هر نشانگر به تنهایی دارای اطلاعات مجزایی می‌باشد، لذا ترکیب و تلفیق نشانگرها یکی از ابزارهایی می‌باشد که می‌تواند اطلاعات جامعی از هدف موردنظر در اختیار مفسر قرار دهد. لذا امروزه تکنولوژی ترکیب چند نشانگری با اهداف مختلف در لرزه‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از تحقیق حاضر، تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از روش‌های مبتنی بر *GIS* به‌منظور شناسایی مرز گنبد نمکی می‌باشد.

در این راستا ابتدا تعدادی از نشانگرهای لرزه‌ای بافتی متداول بر روی داده لرزه‌ای به منظور شناسایی و تعیین محدوده گنبد نمکی اعمال گردید و نتایج هرکدام به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت، سپس با استفاده از روش‌های وزن‌دهی فازی پیوسته، نشانگرهای مورد بررسی، فازی شدند. در مرحله بعد پس از تولید نشانگرهای لرزه‌ای وزن‌دار، این لایه‌ها با استفاده از روش‌های مقادیر مورد انتظار، عمل‌گرهای فازی و میانگین هندسی تلفیق شدند و در نهایت یک مدل واحد که حاوی اطلاعات تمام نشانگرهای مجزا می‌باشد و محدوده گنبد نمکی را با دقت بیش‌تری تعیین کرده است، بدست آمد. نتایج بدست آمده از داده‌های واقعی نشان می‌دهد استفاده از روش وزن‌دهی فازی و تلفیق نشانگرها با استفاده از مبتنی بر *GIS* توانسته مرزهای جانبی گنبد نمکی را به خوبی تعیین کند.

کلیدواژه: ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری، نشانگر بافتی، گنبد نمکی، *GIS*، وزن‌دهی فازی، توابع

لجستیکی

فهرست

| | |
|--|----|
| ۱- فصل اول: کلیات | ۱ |
| ۱-۱- تعریف مساله و اهمیت موضوع | ۲ |
| ۲-۱- تاریخچه موضوع | ۷ |
| ۳-۱- هدف از انجام این پایان نامه | ۱۱ |
| ۴-۱- ساختار پایان نامه | ۱۱ |
| ۲- فصل دوم: مفهوم بافت و نشانگرهای لرزه‌ای بافتی | ۱۳ |
| ۱-۲- نشانگرهای لرزه‌ای | ۱۴ |
| ۲-۲- مفهوم بافت | ۱۵ |
| ۳-۲- نشانگرهای بافتی | ۱۶ |
| ۱-۳-۲- نشانگرهای بافتی زمان-فرکانس | ۱۶ |
| ۲-۳-۲- نشانگر سوبل | ۱۹ |
| ۳-۳-۲- نشانگر بافتی جهت‌گرایی، همواری و محتوای لبه | ۲۱ |
| ۱-۳-۳-۲- نشانگر جهت‌گرایی | ۲۲ |
| ۴-۳-۲- نشانگر همواری | ۲۳ |
| ۵-۳-۲- نشانگر محتوای لبه | ۲۴ |
| ۶-۳-۲- نشانگر گرادیان بافت (<i>GOT</i>) | ۲۵ |
| ۷-۳-۲- نشانگرهای بافتی <i>HOG</i> | ۲۸ |
| ۳- فصل سوم: محاسبه نشانگرهای لرزه‌ای بافتی <i>GLCM</i> | ۳۵ |

| | | | |
|----|-------|-------|--|
| ۳۶ | ..... | ۱-۳ | ماتریس <i>GLCM</i> |
| ۳۷ | ..... | ۲-۳ | انتخاب دور افت (<i>d</i>) |
| ۳۸ | ..... | ۳-۳ | انتخاب زاویه θ |
| ۳۸ | ..... | ۴-۳ | انتخاب پنجره تحلیل مناسب |
| ۳۹ | ..... | ۵-۳ | انتخاب تعداد سطوح خاکستری <i>G</i> |
| ۴۰ | ..... | ۶-۳ | محاسبه شیب ساختاری |
| ۴۲ | ..... | ۷-۳ | نشانگرهای بافتی استخراج شده از ماتریس <i>GLCM</i> |
| ۴۳ | ..... | ۸-۳ | اعمال نشانگرهای لرزه‌ای بر روی داده واقعی برای طول پنجره و تعداد ویژگی مناسب |
| ۴۶ | ..... | ۱-۸-۳ | نشانگر انرژی |
| ۴۷ | ..... | ۲-۸-۳ | نشانگر برتری خوشه |
| ۴۸ | ..... | ۳-۸-۳ | نشانگر آنتروپی |
| ۴۹ | ..... | ۴-۸-۳ | نشانگر واریانس |
| ۴۹ | ..... | ۵-۸-۳ | نشانگر تشابه |
| ۵۰ | ..... | ۶-۸-۳ | نشانگر عدم تشابه |
| ۵۱ | ..... | ۷-۸-۳ | نشانگر شدت |
| ۵۲ | ..... | ۸-۸-۳ | نشانگر تباین |
| ۵۵ | ..... | ۴-۴ | فصل چهارم: مدل سازی و تلفیق نشانگرهای لرزه ای با استفاده از <i>GIS</i> |
| ۵۶ | ..... | ۱-۴ | مقدمه و معرفی <i>GIS</i> |
| ۵۷ | ..... | ۲-۴ | مدل سازی در <i>GIS</i> |

| | | |
|--------------|--|----|
| ۳-۴ | روش‌های فازی | ۵۸ |
| ۴-۴ | ریاضیات کلاسیک و فازی | ۵۹ |
| ۵-۴ | مجموعه‌های کلاسیک | ۵۹ |
| ۶-۴ | مجموعه‌های فازی | ۶۰ |
| ۷-۴ | توابع عضویت | ۶۱ |
| ۸-۴ | نمایش توابع عضویت | ۶۴ |
| ۹-۴ | مدل فازی و وزن‌دهی به نشانگرهای لرزه‌ای | ۶۹ |
| ۱۰-۴ | ترکیب منطقی نشانگرهای فازی با عمل‌گرهای فازی | ۷۲ |
| ۱-۱۰-۴ | عمل‌گر اشتراک فازی | ۷۲ |
| ۲-۱۰-۴ | عمل‌گر اجتماع فازی | ۷۳ |
| ۳-۱۰-۴ | عمل‌گر ضرب فازی | ۷۴ |
| ۴-۱۰-۴ | عمل‌گر جمع فازی | ۷۵ |
| ۵-۱۰-۴ | عمل‌گر فازی گاما | ۷۶ |
| ۱۱-۴ | مدل‌سازی و تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای به روش ارزش منتظره | ۷۷ |
| ۱۲-۴ | ترکیب منطقی نشانگرهای فازی با استفاده از روش میانگین هندسی | ۷۹ |
| ۱-۱۲-۴ | تئوری روش | ۸۰ |
| ۱۳-۴ | اعتبار سنجی کار | ۸۲ |
| ۵- فصل پنجم: | نتیجه‌گیری و پیشنهادات | ۸۵ |
| ۱-۵ | نتیجه‌گیری | ۸۶ |

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: سه روش مختلف رسوخ نمک به روباره خود (نمک به رنگ سیاه). P ، V و B به ترتیب نشاندهنده تنش بر اثر فشار نمک، گرانیوی نمک و قدرت شکنندگی روباره میباشد (Warren, 2006). ۳
- شکل ۱-۲: کاربردهای مختلف گنبد نمکی (ندیمی، ۱۳۸۸). ۴
- شکل ۱-۳: ساختار کلی یک گنبد نمکی و مخازن نفتی تشکیل شده مرتبط با آن (Levin, 2009). ۵
- شکل ۱-۲: الف) یک مقطع عمقی لرزه‌ای. محدوده گنبد نمکی با رنگ آبی مشخص شده است. ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر فیلتر گابور با $\theta = -45$ و $\mu_0 = 0.15M$ (Berthelot et al., 2013). ۱۸
- شکل ۲-۲: الف) قطعه زمانی ورودی، گنبد نمکی با رنگ مشکی مشخص شده است. ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر فیلتر گابور با $\mu_0 = 0.2M$ (Berthelot et al., 2013). ۱۸
- شکل ۲-۳: الف) داده لرزه‌ای دوبعدی ب) نشانگر سوبل دوبعدی متداول با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۳ ج) نشانگر سوبل دوبعدی متوازن با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۳ د) نشانگر سوبل دوبعدی متوازن با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۹ (اعظم پور، ۱۳۹۳). ۲۰
- شکل ۲-۴: الف) برش زمانی ورودی ب) نشانگر سوبل دوبعدی متداول برای طول پنجره ۳ ج) نشانگر سوبل دوبعدی متوازن برای طول پنجره ۳ د) نشانگر سوبل دوبعدی متوازن برای طول پنجره ۹ (اعظم پور، ۱۳۹۳). ۲۱
- شکل ۲-۵: الف) داده لرزه‌ای که دو پنجره یکی آبی بافت قسمت نمکی و یکی قرمز بافت غیر نمکی جدا شده‌اند ب) پراکندگی گرادیان برای قسمت نمکی ج) پراکندگی گرادیان برای قسمت غیر نمکی (Hegazy and AlRegib, 2014). ۲۳
- شکل ۲-۶: الف) داده ورودی لرزه‌ای. نتایج اعمال نشانگرهای ب) جهت‌گرایی ج) همواری د) محتوای

- لبه و ه) ترکیب سه نشانگر برای داده لرزه‌ای ورودی (الف) (حسینی فرد، ۱۳۹۵)..... ۲۵
- شکل ۷-۲: موقعیت مکعب‌های همسایه در هنگام محاسبه گرادیان بافت در سه جهت، G_x گرادیان در جهت محور x ، G_y گرادیان در جهت محور y و G_z گرادیان در جهت محور z (Shafiq et al., 2015)..... ۲۶
- شکل ۸-۲: الف) داده سه‌بعدی لرزه‌ای و مقطع انتخاب شده از آن به‌عنوان ورودی ب) محاسبه گرادیان بافت برای داده سه‌بعدی و مقطع انتخاب شده از آن ج) ناحیه مرزی برجسته شده (رنگ سفید) د) جسم نمکی استخراج شده (رنگ سفید) (Shafiq et al., 2015)..... ۲۷
- شکل ۹-۲: نشانگرهای مبتنی بر HOG الف) میانگین ب) میانه ج) انحراف معیار د) واریانس (حسینی فرد، ۱۳۹۵)..... ۳۱
- شکل ۱۰-۲: نشانگرهای مبتنی بر HOG الف) مقدار بیشینه ب) مقدار کمینه ج) گستره د) کشیدگی ه) چولگی (حسینی فرد، ۱۳۹۵)..... ۳۳
- شکل ۱-۳: همسایگی‌های مختلف از عنصر موردنظر (Haralick et al, 1973)..... ۳۶
- شکل ۲-۳: نحوه حرکت یک پنجره تحلیل 3×3 بر روی یک داده لرزه‌ای (صیادی، ۱۳۹۳)..... ۳۹
- شکل ۳-۳: نمایش شماتیک محاسبه شیب ساختاری با روش جستجوی گسسته (صیادی، ۱۳۹۳)..... ۴۱
- شکل ۴-۳: شیب ساختاری محاسبه شده با استفاده از روش جستجوی گسسته..... ۴۱
- شکل ۵-۳: نتیجه اعمال عملگر ریخت‌شناسی بر روی مقطع شیب محاسبه شده..... ۴۲
- شکل ۶-۳: داده لرزه‌ای دو بعدی مورد استفاده در این تحقیق..... ۴۳
- شکل ۷-۳: نشانگر انرژی اعمال شده بر روی داده واقعی..... ۴۶
- شکل ۸-۳: نشانگر برتری خوشه اعمال شده بر روی داده واقعی..... ۴۷
- شکل ۹-۳: نشانگر آنتروپی اعمال شده بر روی داده واقعی..... ۴۸
- شکل ۱۰-۳: نشانگر واریانس اعمال شده بر روی داده واقعی..... ۴۹
- شکل ۱۱-۳: نشانگر تشابه اعمال شده بر روی داده واقعی..... ۵۰

- شکل ۳-۱۲: نشانگر عدم تشابه اعمال شده بر روی داده واقعی. ۵۱.....
- شکل ۳-۱۳: نشانگر شدت اعمال شده بر روی داده واقعی. ۵۲.....
- شکل ۳-۱۴: نشانگر تباین اعمال شده بر روی داده واقعی. ۵۳.....
- شکل ۴-۱: نمودار تابع درجه عضویت سه مجموعه فازی جوانی، میان‌سالی و پیری (عطایی، ۱۳۹۰).
- ۶۳.....
- شکل ۴-۲: تابع عضویت مجموعه فازی با مفهوم بلندی قد (حسینی، ۱۳۸۶). ۶۵.....
- شکل ۴-۳: عدد فازی مثلثی (حسینی، ۱۳۸۶). ۶۶.....
- شکل ۴-۴: عدد فازی دوزنقه ای (عطایی، ۱۳۹۰؛ نوروزی، ۱۳۹۳، حسینی، ۱۳۸۶). ۶۷.....
- شکل ۴-۵: نشانگرهای بافتی *GLCM* فازی شده (الف) انرژی (ب) برتری خوشه (ج) آنتروپی (د) واریانس (ه) تشابه (و) عدم تشابه (ز) شدت (ح) تباین (کنتراست). ۷۱.....
- شکل ۴-۶: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عملگر اشتراک فازی. ۷۳.....
- شکل ۴-۷: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عملگر اجتماع فازی. ۷۳.....
- شکل ۴-۸: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عملگر ضرب فازی. ۷۴.....
- شکل ۴-۹: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عملگر جمع فازی. ۷۶.....
- شکل ۴-۱۰: مقطع حاصل از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عملگر فازی گاما. ۷۷.....
- شکل ۴-۱۱: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از روش مقدار مورد انتظار. ۷۹.....
- شکل ۴-۱۲: مدل پیشگویی میانگین هندسی برای شناسایی مرز گنبد نمکی. ۸۲.....
- شکل ۴-۱۳: مقطع حاصل از طبقه‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (صیادی، ۱۳۹۳). ۸۳.....

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: نشانگرهای مبتنی بر *HOG* (حسینی فرد، ۱۳۹۵) ۲۹
- جدول ۲-۲: پارامترهای مورد استفاده در محاسبه نشانگرهای *HOG* ۳۰
- جدول ۱-۳: پارامترهای مورد استفاده در محاسبه نشانگرهای *GLCM* (صیادی، ۱۳۹۳) ۴۴
- جدول ۲-۳: نشانگرهای لرزه‌های بافتی استخراج شده از ماتریس *GLCM* (صیادی، ۱۳۹۳) ۴۵
- جدول ۳-۳: محاسبه نشانگر انرژی در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۴۶
- جدول ۴-۳: محاسبه نشانگر برتری خوشه در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۴۷
- جدول ۵-۳: محاسبه آنتروپی در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۴۸
- جدول ۶-۳: محاسبه واریانس در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۴۹
- جدول ۷-۳: محاسبه تشابه در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۵۰
- جدول ۸-۳: محاسبه عدم تشابه در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۵۱
- جدول ۹-۳: محاسبه شدت در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۵۲
- جدول ۱۰-۳: محاسبه تباین در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت ۵۲

کوتاه‌نوشت‌ها

| کوتاه‌نوشت | لاتین | توضیحات |
|-------------|--|-----------------------------|
| <i>GIS</i> | <i>Geographic Information System</i> | سیستم اطلاعات جغرافیایی |
| <i>GLCM</i> | <i>Gray level co-occurrence matrix</i> | ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری |

فصل اول: کلیات

۱-۱ تعریف مساله و اهمیت موضوع

پراکندگی ساختارهای نمکی در حوزه ایران مرکزی و استفاده از توانمندی‌های این ساختارها نیازمند مطالعات زیادی است. یکی از این مطالعات تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی می‌باشد که محققان زیادی با استفاده از روش‌های مختلفی به دنبال شناسایی مرز جانبی و عمقی ساختارهای نمکی هستند. گنبد نمکی به ستون‌هایی از نمک گفته می‌شود که از اعماق زمین به سمت بالا حرکت کرده‌اند. نمک محلول در حوضه‌های اقیانوسی که جریان و گردش آب آرام است، به وسیله تبخیر می‌تواند رسوب کند. این ذخیره نمک در طی زمان‌های زمین‌شناسی توسط رسوبات دیگر مدفون می‌شود. نمک به دلیل خواص فیزیکی منحصر به فردش وقتی در اعماق زیاد تحت فشار و درجه حرارت قرار می‌گیرد، مانند یک سیال عمل می‌کند و چون چگالی کم‌تری نسبت به سنگ‌های روباره خود دارد به سمت بالا حرکت کرده و باعث تشکیل گنبدهای نمکی می‌شود (Twiss and Moores, 2007). شکل گنبد نمکی متغیر است. دیواره بسیاری از گنبدهای نمکی دارای شیب زیاد در حدود ۸۰ تا ۹۰ درجه به طرف خارج است. گنبدهای نمکی متقارن، کمیاب و اغلب گنبدها نامتقارن و شیب دیواره‌ها در جهت مختلف متفاوت است. مقطع بیش‌تر گنبدهای نمکی نزدیک به دایره و در بعضی از گنبدها بیضی شکل است (صیادی، ۱۳۹۳). گسترش افقی گنبدها بسیار متغیر و اغلب چندین کیلومتر می‌باشد. از نظر Jackson و Talbot (1986)، ساختمان‌های نمکی ممکن است به صورت تاقدیس نمکی^۱، بالش‌های نمکی^۲، برجستگی‌های تیغه مانند نمکی^۳، امواج نمکی^۴ و استوک‌های نمکی^۵ باشند. نمک به سه روش به روباره خود نفوذ می‌کند، فعال، غیر فعال و دوباره فعال شده. مرحله اول زمانی اتفاق می‌افتد که روباره نمک نازک باشد، در این صورت فشار نمک از شکنندگی روباره بیش‌تر خواهد بود و در آن رسوخ می‌کند. تشکیل گسل‌های

^۱ Salt anticline

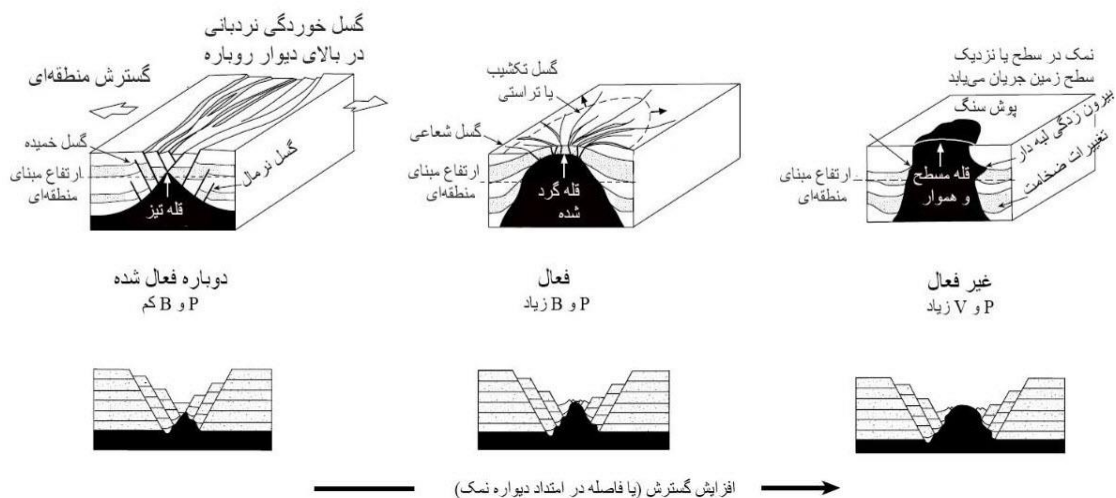
^۲ Salt pillows

^۳ Saltridges

^۴ Salt waves

^۵ Salt stocks

شعاعی از نتایج اصلی این فرآیند است. همچنین در این مورد گسل‌های تراستی و تک‌شیب نیز تشکیل می‌شوند. در مرحله غیر فعال وقتی گنبد نمکی از سطح آب بالاتر برود، تبدیل به یک گنبد غیر فعال شده و لبه‌هایش گسترش می‌یابد. در این مورد هیچ‌گونه شکستگی و گسل خوردگی وجود نخواهد داشت. در مرحله دوباره فعال شده، فضاهایی که به علت انبساط بوجود آمده‌اند توسط نمک پر شده و با حرکت صعودی خود باعث تشکیل یک ساختار بادبزنی می‌شود (Warren, 2006).



شکل ۱-۱: سه روش مختلف رسوخ نمک به روباره خود (نمک به رنگ سیاه). الف) روش غیر فعال، ب) روش فعال و ج) روش دوباره فعال شده (با تغییر از Warren, 2006).

دو منبع فشار که باعث حرکت نمک می‌شوند عبارتند از فشار رو به پایین رسوبات روباره و فشار پهلویی ناشی از حرکات تکتونیکی. وقتی یک ناحیه در رسوبات روباره دارای ضعف و ناپایداری باشد، نمک تحت فشار کافی در آن نفوذ می‌کند. این ضعف ممکن است ناشی از توسعه شکستگی‌ها^۱، توسعه تاقدیس^۲، گسل تراستی^۳، و غیره باشد. وقتی که نمک شروع به جریان یافتن کند تا زمانی که فشار وارده به نمک بتواند بر نیروهای اصطکاک غلبه کند، این حرکت ادامه می‌یابد.

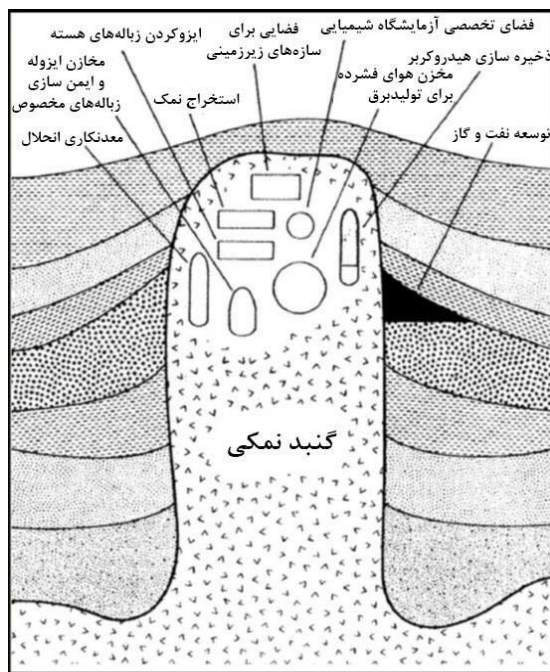
امروزه شناسایی و اکتشاف گنبد‌های نمکی به منظور ذخیره‌سازی مواد هیدروکربنی، اکتشاف منابع

^۱ extension fractures

^۲ developing anticline

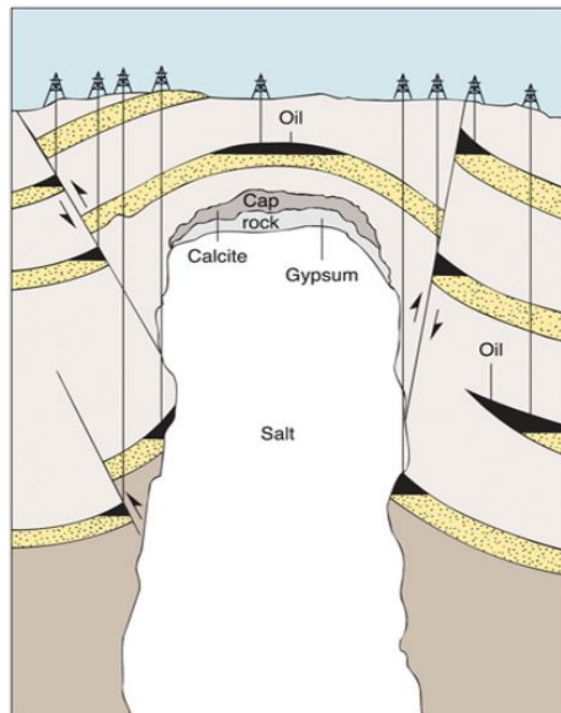
^۳ thrust fault

هیدروکربنی، ایزوله کردن زباله‌های هسته‌ای، معدن کاری انحلال، ایجاد فضایی برای سازه‌های زیرزمینی، ایجاد مخزن هوای فشرده، منبع گوگرد طبیعی و منبع نمک طبیعی از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نیاز انسان به انرژی در تمدن امروزی بشر، لزوم تأمین انرژی پایدار را موجب می‌شود. در مناطق سردسیر کشور همچون آذربایجان، در فصل سرد سال نیاز بیش‌تری به انرژی گرمایشی است که عمدتاً توسط گاز طبیعی تأمین می‌شود. افزایش مصرف در زمستان و بالا بودن تولید در تابستان و همچنین نیاز کم‌تر به گاز در فصول گرم سال، شرکت ملی گاز ایران را بر آن داشته است تا در مناطق سردسیر کشور که عمدتاً فاقد ذخایر طبیعی گاز هستند به دنبال یافتن امکان ذخیره گاز در مخازن طبیعی، در تابستان باشد. چندین روش برای ذخیره‌سازی گاز در مخازن زیرزمینی وجود دارد که در این ارتباط قبل از انتخاب هر نوع شیوه ذخیره‌سازی، مطالعات زمین‌شناسی اهمیت زیادی دارد. یکی از ساختارهای مهم زمین‌شناسی که قابلیت ذخیره‌سازی گاز را دارا است، گنبد‌های نمکی هستند. ساختارهای نمکی قابلیت بهره‌دهی بیش‌تری دارند، از پوشش نمکی دیواره و سقف عالی برخوردارند که ذاتاً غیرقابل نفوذ می‌باشد و احتمال هرگونه تراوش و نشت را به حداقل می‌رساند.



شکل ۱-۲: کاربردهای مختلف گنبد نمکی (ندیمی، ۱۳۸۸).

سودآوری جایگاه‌های نمکی در فصول گرم بیشتر از جایگاه‌های دیگر است، زیرا برداشت گاز در طول سال در ساختارهای نمکی بیشتر از میدان تخلیه شده است. بنابراین گزینه مناسبی جهت ذخیره‌سازی گاز به شمار می‌رود (شکل ۱-۲) (ندیمی، ۱۳۸۸؛ Pearson, Allen et al., 1982). گنبد‌های نمکی به دلیل حرکت روبه بالای نمک می‌توانند، سبب ایجاد گسل خوردگی محیط اطراف خود شوند که گاهی این گسل‌ها یک واحد سنگی نفوذپذیر را درمقابل یک واحد سنگی ناتراوا قرار می‌دهند و باعث می‌شود این ساختار به‌عنوان یک مخزن نفت و گاز طبیعی عمل نماید. لذا گنبد‌های نمکی برای صنعت نفت و گاز نیز از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. یک گنبد نمکی به‌تنهایی می‌تواند چندین مخزن را در اعماق گوناگون و مکان‌های پیرامون گنبد با خود به همراه داشته باشد (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: ساختار کلی یک گنبد نمکی و مخازن نفتی تشکیل‌شده مرتبط با آن (Levin, 2009).

ایران از لحاظ رسوبات تبخیری بسیار غنی است و بهترین نمونه‌های گنبد نمکی شناخته شده در دنیا مربوط به جنوب ایران و کویر مرکزی می‌باشد (Warren, 2006). استفاده مطلوب و بهینه از ساختارهای نمکی در راستای اکتشافات منابع هیدروکربنی نیاز به مطالعه و بررسی دقیق این ساختارها

دارد. امروزه ارزش اطلاعات تفسیر لرزه‌نگاری جهت اتخاذ تصمیمات اساسی در استخراج و بهره‌برداری بهینه از مخازن نفت و گاز برای کلیه شرکت‌های نفتی مشخص است، به طوری که اطلاعات لرزه‌نگاری یکی از داده‌های اصلی در تعیین مخازن به‌شمار می‌رود (پاژنگ و همکاران، ۱۳۹۴).

به دلیل اینکه خواص فیزیکی گنبد نمکی با رسوبات اطراف اختلاف زیادی دارد، روش‌های ژئوفیزیکی مانند روش‌های لرزه‌ای، روش‌های گرانی‌سنجی، روش‌های مغناطیسی و روش‌های الکتریکی قادر به شناسایی آن هستند. روش‌های گرانی‌سنجی مبنی بر تعیین چگالی و هندسه ساختارهای زیر سطحی می‌باشند. به خاطر چگالی کم نمک، یک بی‌هنجاری منفی بزرگ در محدوده‌ی گنبد نمکی وجود دارد که این اختلاف بی‌هنجاری نسبت به لایه‌های رسوبی اطراف باعث شناسایی گنبد نمکی می‌شود (Dueyb et al., 2014). از روش‌های الکتریکی نیز می‌توان برای شناسایی گنبد نمکی استفاده کرد. یکی از این روش‌ها، روش الکتریکی مقاومت ویژه است. به دلیل اینکه نمک خاصیت رسانندگی کم‌تری نسبت به رسوبات اطراف خود دارد، این روش توانایی آشکارسازی گنبد‌های نمکی را دارد. اما چون روش‌های مقاومت ویژه عمق نفوذ کمی دارند، برای این منظور مناسب نیستند. یکی دیگر از روش‌ها، روش مغناطیس‌سنجی است. نمک خشک خاصیت مغناطیسی کم‌تری نسبت به رسوبات اطرافش دارد. ساختارهای نمکی در داده‌های مغناطیس‌سنجی از خود بی‌هنجاری منفی نشان می‌دهند و اگر سنگ بستر خاصیت مغناطیسی داشته باشد، برای کشف این ساختارها مناسب خواهد بود (صیادی، ۱۳۹۳). (Telford et al., 1990). برای شناسایی گنبد نمکی با استفاده از روش‌های الکترومغناطیس بیش‌تر از روش مگنتوتلوریک^۱ استفاده می‌شود که به دلیل عمق نفوذ بالا به عنوان یک روش مکمل برای روش لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Avdeeva et al., 2012).

به دلیل شیب بسیار زیاد دیواره جانبی گنبد نمکی که در بعضی موارد به ۹۰ درجه نیز می‌رسد و همچنین به خاطر طبیعت نمک که باعث اتلاف بسیار زیاد انرژی امواج لرزه‌ای در آن می‌شود، امواج

^۱ Magnetotellurics

بازتابی دارای دامنه‌های بسیار ضعیف هستند یا حتی بازتابی در گیرنده‌ها ثبت نمی‌شود. به همین دلیل، تعیین دقیق مرزها، فرآیندی بسیار دشوار خواهد بود که باعث تفسیر اشتباه و بروز مشکلاتی در فرآیندهای بعدی می‌شود و خطرهای بسیار جدی را در هنگام حفاری (به دلیل وجود گازهای پرفشار) در این نواحی به وجود می‌آورد (Telford et al., 1990, Kearey et al., 2013).

نشانه‌های لرزه‌ای ابزار مفیدی برای توصیف ویژگی‌های زمین‌شناسی در تفسیر داده‌های لرزه‌ای هستند که اطلاعات پنهان داده‌های لرزه‌ای را آشکار می‌کنند (صیادی، ۱۳۹۳). نشانه‌گر لرزه‌ای یک اندازه‌گیری کمی از مشخصه لرزه‌ای هدف مورد علاقه است. نشانه‌گرهای لرزه‌ای رایج، از روابط ریاضی بر اساس خواص فیزیکی و هندسی زیرسطحی برای آشکارسازی ویژگی‌های مورد نظر استفاده می‌کنند. با توجه به اینکه نشانه‌گرهای لرزه‌ای مختلف با استفاده از روش‌ها و روابط ریاضی مختلفی به پردازش داده‌های لرزه‌ای می‌پردازند، ممکن است پاسخ نشانه‌گرهای مختلف کاملاً هماهنگ نبوده و نتایج آن‌ها کمی متفاوت باشد بنابراین استفاده از روشی که بتواند در نهایت یک نتیجه واحد را تولید نماید و در ضمن از چند نشانه‌گر به‌طور همزمان استفاده کند ضروری است.

۲-۱ تاریخچه موضوع

با توجه به خصوصیات متفاوت گنبد‌های نمکی با رسوبات دربرگیرنده آن‌ها، روش‌های ژئوفیزیکی یکی از بهترین روش‌های شناسایی این ساختارهای زیرسطحی می‌باشند (Telford et al., 1990). گنبد‌های نمکی به دلیل سرعت بالای انتشار موج، در مقاطع لرزه‌ای خصوصیات از خود بجای می‌گذارند که باعث ایجاد تفاوت الگو و بافت این ساختار با سایر مناطق دربرگیرنده آن در داده‌های لرزه‌ای می‌شود (Sheriff & Geldart, 1995). این ویژگی در گنبد‌های نمکی باعث ایجاد یک مرز مناسب برای بازتاب امواج لرزه‌ای می‌شود. لذا از میان سایر روش‌های ژئوفیزیکی، روش لرزه‌نگاری بازتابی یکی از بهترین روش‌ها می‌باشد که قابلیت اندازه‌گیری عمقی و جانبی با دقت مناسب برای شناسایی دقیق‌تر گنبد نمکی را دارا است. مشخص کردن دقیق مرزهای گنبد نمکی ذاتاً دشوار است و با توجه به اینکه داده‌های

لرزه‌ای اغلب با نوفه همراه هستند، لذا شناسایی مستقیم گنبدهای نمکی و تعیین مرز آن‌ها از روی داده‌های لرزه‌ای بازتابی کمی مشکل می‌باشد. نشانگرهای لرزه‌ای زیادی برای تفسیر بهتر داده‌های لرزه‌ای، شناسایی و برجسته کردن عوارض زمین‌شناسی مختلف از جمله گنبدهای نمکی معرفی شده‌اند. نشانگرهای لرزه‌ای که برای شناسایی گنبد نمکی استفاده می‌شوند، بیش‌تر بر مبنای بافت هستند. تا کنون تعداد زیادی از نشانگرهای بافتی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که از جمله جدیدترین آن‌ها، نشانگرهای بافتی بر مبنای ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری^۱، نشانگرهای بر مبنای فرکانس، نشانگرهای شیب و شباهت (Berthelot et al., 2013)، نشانگر جهت‌گرایی^۲، نشانگر همواری^۳، نشانگر محتوای لبه^۴ (Hegazy and AlRegib, 2014)، نشانگر سوبل^۵ (Aqrabi et al., 2011) و نشانگر گرادیان بافت سه‌بعدی (Shafiq et al., 2015) می‌باشند.

هسیتوگرام گرادیان جهتی^۶ (HOG) که در علوم کامپیوتر و پردازش تصویر برای تشخیص اشیاء استفاده شده است ابزاری برای توصیف ویژگی‌های تصویر می‌باشد (Chen et al., 2014, Shen et al., 2009, Chandrasekhar et al., 2015). در ژئوفیزیک از این روش فقط برای شناسایی مین‌های مدفون توسط روش رادار نفوذی زمین^۷ استفاده شده است (Torrione et al., 2014). هدف اصلی در الگوریتم HOG استخراج ویژگی‌های دلخواه از داده‌ها است که برای تشخیص اجسام مختلف استفاده می‌شود (Dalal and Triggs, 2005). از نشانگرهای مبتنی بر HOG، برای اولین بار به‌عنوان ابزاری جهت محاسبه نشانگر لرزه‌ای برای شناسایی گنبدهای نمکی استفاده شد (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

از آنجا که نشانگرهای مختلفی وجود دارند که می‌توان از آن‌ها در شناسایی مرز گنبدهای نمکی

^۱ Gray level co-occurrence matrix

^۲ Directionality

^۳ Smoothness

^۴ Edge content

^۵ Sobel

^۶ Histogram of Oriented Gradient

^۷ Ground Penetrating Radar

استفاده نمود و نیز نظر به اینکه پاسخ هر نشانگر دارای اطلاعات مجزایی می‌باشد، در این خصوص به نظر می‌رسد اگر از ترکیب نتایج چند نشانگر استفاده گردد، خروجی دقیق‌تر خواهد بود.

امروزه تکنولوژی طبقه‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای با اهداف مختلف در لرزه‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند (صیادی، ۱۳۹۳). این تکنولوژی می‌تواند بسته به اینکه داده آموزش استفاده شده باشد یا نه به دو دسته بانظارت و بدون نظارت تقسیم شود. یکی از این روش‌ها آدابوست (Xiong et al., 2014) می‌باشد که در سال‌های اخیر در تلفیق و طبقه‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. این یک روش بانظارت است که از یک مجموعه طبقه‌بندی کننده‌های ضعیف یک طبقه‌بندی کننده قوی ایجاد می‌کند. ویژگی برجسته آدابوست تنظیم طبقه‌بندی کننده‌ها در مرحله یادگیری است. این الگوریتم نسبتاً ساده است، سرعت بالایی دارد، تا حد زیادی مشکل بیش برآزش سایر روش‌ها را حل کرده و همچنین می‌تواند با روش‌های دیگر ترکیب شود تا یک الگوریتم طبقه‌بندی سریع را تشکیل دهد (ابراهیمی، ۱۳۹۵). روش دیگری که برای تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، شبکه‌های عصبی می‌باشند که یا به منظور تخمین یک پارامتر پتروفیزیکی از روی چندین نشانگر و یا به منظور طبقه‌بندی یا خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (نعیمی، ۱۳۹۰؛ حسینی، ۱۳۹۰؛ Hampson et al., 2001). یکی دیگر از این روش‌ها ماشین بردار پشتیبان^۱ است که جزء روش‌های بانظارت تقسیم بندی می‌شود. مبنای یک طبقه‌بند *SVM*، طبقه‌بندی خطی داده‌ها است و این الگوریتم سعی می‌کند خطی را انتخاب کند که بین داده‌های مربوط به دو دسته مختلف، حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. حل معادله مربوط به پیدا کردن خط بهینه برای داده‌ها به وسیله روش‌های برنامه‌ریزی درجه دوم که روش‌های شناخته شده‌ای در حل مسائل محدودیت‌دار هستند، صورت می‌گیرد (صیادی، ۱۳۹۳). یکی دیگر از این روش‌های تلفیق، الگوریتمی است که نشانگرهای استخراجی از ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری و فیلتر گابور را با استفاده از روش خوشه بندی *K-means*

^۱ Support Vector Machine (SVM)

ترکیب می‌کند. این یک روش داده-محور جدید است که با استفاده از یک مجموعه بهینه از نشانگرهای محاسبه شده از داده‌های آموزش مربوط به مرز نمک و مرز غیر نمک یک الگوریتم طراحی می‌شود. با این روش می‌توان بر محدودیت‌های نشانگرهای مبتنی بر دامنه غلبه نمود (Amin and Deriche, 2016). مطالعات زیادی تحت عنوان کلی آنالیز چند نشانگری انجام شده‌اند که اکثراً با استفاده از روش‌های متداول رگرسیون و یا شبکه‌های عصبی به تلفیق داده‌های لرزه‌ای پرداخته‌اند و به نتایج قابل ملاحظه‌ای در توصیف و تخمین توزیع پارامترهای پتروفیزیکی مخزن رسیده‌اند (ابراهیمی، ۱۳۹۵).

یکی از اولین روش‌های تلفیق داده‌های لرزه‌ای روش مدل‌سازی معکوس داده‌های لرزه‌ای (وارون‌سازی لرزه‌ای) بمنظور محاسبه نگار مقاومت ظاهری لرزه‌ای می‌باشد که در اوایل دهه 1970 مطرح شد. لیندست (1979)، کک و اشنایدر (1983)، آلدن برگ و همکاران (1983) و چی و همکاران (1984) از پیشگامان این روش بودند (Hampson et al., 2001).

در سال‌های بعد، برای تلفیق داده‌های حاصل از نگارهای چاه و داده‌های لرزه‌ای، روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده قرار گرفت. روش سنتی کوکریجینگ و انواع آن را برای تلفیق داده‌های لرزه‌ای و داده‌های حاصل از نگارهای چاه توسط Deutsch (1989) به کار گرفته شد. به دلیل استفاده از تنها یک نشانگر جهت برآورد نگارهای چاه این روش‌ها تا اواخر دهه ۸۰ میلادی از دقت مطلوبی برخوردار نبودند؛ بنابراین در اوایل دهه‌ی ۹۰ میلادی، شالتز^۱ و همکاران (۱۹۹۴، a و b) و رونن^۲ و همکاران (۱۹۹۴) برای اولین بار ایده استفاده از بیش از یک نشانگر (تحلیل چند نشانگری) را مطرح کردند.

تاکنون روش‌های مبتنی بر GIS در ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای به‌منظور شناسایی مرز گنبد‌های نمکی استفاده نشده است و این تحقیق برای اولین بار به این موضوع می‌پردازد. به‌منظور تلفیق نتایج نشانگرهای مختلف می‌توان از قابلیت مدل‌سازی و تلفیق داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی^۳

^۱ Schultz

^۲ Ronen

^۳ Geographic Information System (GIS)

استفاده نمود. بنابراین مسئله اصلی در تحقیق حاضر، شناسایی مرز گنبدهای نمکی با استفاده از تلفیق نتایج نشانگرهای مختلف لرزه‌ای می‌باشد تا نتایج دقیق‌تری به دست آید.

در این پایان‌نامه ابتدا مقادیر مربوط به نشانگرهای بافتی مبتنی بر *GLCM* محاسبه شده و با توجه به مقادیر نمک (یعنی نمک در چه محدوده مقداری قرار گرفته است)، مقادیر عددی هر نشانگر با استفاده از توابع لجستیکی به فضای وزنی انتقال می‌یابند. در واقع با این عمل میزان معرف بودن مقادیر عددی هر نشانگر به منظور شناسایی مرز گنبد نمکی اولویت‌بندی شده و اهمیت نسبی مقادیر عددی آن برای شناسایی مرز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت پس از انتقال مقادیر عددی تمام نشانگرهای مورد استفاده، این مقادیر با استفاده از روابط تلفیق در محیط *GIS* ترکیب می‌شوند تا در خروجی تنها یک نقشه نشان‌دهنده گنبد نمکی به دست آید. به منظور اجرای فرآیند فوق از روش‌های وزن‌دهی فازی پیوسته استفاده خواهد شد. به این منظور ابتدا کمیت‌های معرف هر یک از نشانگرهای لرزه‌ای، به طور جداگانه با استفاده از توابع لجستیکی، فازی سازی می‌گردد. در مرحله بعد پس از تولید لایه‌های نشانگرهای لرزه‌ای وزن‌دار (انتقال مقادیر تمام نشانگرهای معرف مرز گنبد نمکی به بازه ۰ و ۱)، این لایه‌ها با استفاده از عمل‌گرهای فازی تلفیق می‌گردند تا در نهایت یک مدل واحد حاصل از تلفیق نتایج کلیه نشانگرهای مورد استفاده جهت شناسایی مرز گنبد نمکی تولید گردد.

۳-۱ هدف از انجام این پایان‌نامه

با توجه به اینکه امروزه از ترکیب نتایج نشانگرهای لرزه‌ای در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی خیلی مورد استفاده می‌باشد، لذا هدف از انجام این پایان‌نامه ارائه یک روش جدید برای ترکیب اطلاعات نشانگرهای لرزه‌ای به منظور تفسیر بهتر اطلاعات لرزه‌ای می‌باشد. در این پایان‌نامه برای اولین بار با استفاده از روش‌های مبتنی بر *GIS* ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای انجام می‌شود.

۴-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تنظیم شده که در فصل دوم در ابتدا مفهوم کلی نشانگرهای لرزه‌ای توضیح

داده می‌شود و سپس تئوری نشانگرهای بافتی مختلف همراه با ذکر چند مثال برای شناسایی گنبد نمکی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. همچنین در فصل سوم، به معرفی داده لرزه‌ای و محاسبه نشانگرهای بافتی *GLCM* پرداخته خواهد شد. در فصل چهارم تئوری توابع لجستیکی و فازی سازی مقادیر نشانگرها توسط این توابع، نحوه تلفیق نقشه‌های فازی شده نیز به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در فصل چهارم داده لرزه‌ای به همراه نشانگرهای بافتی *GLCM*، نشانگرهای فازی شده و تلفیق نهایی نشانگرها، همراه شکل توضیح داده خواهد شد و برای تعیین صحت نتایج حاصل از تلفیق، مدل نهایی حاصل از روش‌های مبتنی بر *GIS* با نتیجه *SVM*، مقایسه می‌شود. در نهایت، در فصل آخر نتایج و پیشنهادات حاصل از این تحقیق ارائه خواهد شد.

فصل دوم: مفهوم بافت

ونشانگرهای لرزه‌ای بافتی

۱-۲ نشانگرهای لرزه‌ای

نشانگرهای لرزه‌ای به مانند یک موتور جستجوگر لرزه‌ای هستند که چنان چه داده‌های لرزه‌ای درون آن قرار گیرند، می‌توانند ویژگی‌های آن‌ها را مشخص کرده و اطلاعات مفیدی از داده‌های لرزه‌ای در اختیار مفسر قرار دهند. نشانگرهای ردلرزه مختلط نخستین بار در دهه 1970 معرفی شدند و در ابتدا برای بهتر نشان دادن داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند اما پس از ترکیب نشانگرهای لرزه‌ای، تبدیل به یک ابزار تحلیلی معتبر برای پیش‌بینی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و خصوصیات مخزن شدند. *Taner et al., (1979)* پنج نشانگر لرزه‌ای ردلرزه مختلط شامل دامنه لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، قطبیت لحظه‌ای، بسامد لحظه‌ای و بسامد وزن دار میانگین را معرفی کردند. پس از آن نشانگرهای جدید به سرعت تکثیر یافتند تا اینکه *Bahorich and Farmer (1995)* نشانگر لرزه‌ای همدوسی را که یک نشانگر لرزه‌ای سه بعدی است، معرفی کردند. سپس نشانگرهای همدوسی برمبنای شباهت (*Marfurt et al., 1998*) و ساختار ویژه (*Gresztenkorn and Marfurt, 1999*) معرفی شدند که ناپیوستگی‌های ساختاری را به نمایش در می‌آورند. اخیراً برای آشکار ساختن شکستگی‌ها از نشانگر انحنا بازتاب استفاده می‌شود. از پیشرفت‌های مهم در این زمینه می‌توان به محاسبات حجمی نشانگر انحنا بازتاب از سوی *Al-Dossary and Marfurt (2006)* و *Chopra and Marfurt (2007)* اشاره کرد.

در حال حاضر نشانگرهای لرزه‌ای فراوانی برای تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی، رخساره‌های چینه‌شناسی و خصوصیات مایعات درون حفره‌ای یا سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که پیدایش آن‌ها مرهون پیشرفت‌های فناوری رایانه‌ای است (*Chopra and Marfurt, 2005*). در این تحقیق هدف ما شناسایی یک ساختار زمین‌شناسی (گنبد نمکی) می‌باشد و چون نشانگرهای بافتی در شناسایی گنبد‌های نمکی عملکرد خوبی دارند، لذا در ادامه به توضیح نشانگرهای بافتی و مفهوم عمومی بافت پرداخته می‌شود.

۲-۲ مفهوم بافت

در علوم مختلف تعاریف مختلفی برای بافت وجود دارد. به طور کلی بافت اشاره به خواص فیزیکی یک شیء یا ظاهر تصویر دارد. تحلیل بافت به معنای استخراج ویژگی‌های بافتی از یک تصویر است. در پردازش تصویر، بافت به عنوان یک تابع فضایی تعریف می‌شود که اختلاف شدت روشنایی بین پیکسل‌های یک تصویر را اندازه می‌گیرد. بافت لرزه‌ای به معنای اختلاف دامنه یک نمونه با دامنه نمونه‌های اطراف تعریف می‌شود. چهار روش اساسی برای تحلیل بافت لرزه‌ای وجود دارد که شامل طبقه‌بندی^۱ بافت، قطعه‌بندی^۲ بافت، تلفیق^۳ بافت و شکل^۴ بافت می‌باشد (Eichkitz et al., 2015).

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و اختراع رایانه‌های دیجیتال پرسرعت، اجرای پردازش‌های ریاضی روی تصاویر به خوبی انجام می‌شود. در بسیاری از این فرآیندها، اطلاعات تصویری به‌عنوان تابعی از دو متغیر (x, y) نشان داده می‌شود. تصویر در شکل دیجیتال خود، به‌عنوان یک آرایه دوبعدی در رایانه ذخیره می‌شود. اگر $L_x = \{1, 2, \dots, N_x\}$ و $L_y = \{1, 2, \dots, N_y\}$ حوزه‌های فضایی X و Y باشند، $L_x \times L_y$ مجموعه عنصرهای تشکیل دهنده تصویر است و تصویر دیجیتال I تابعی است که مقدار سطح خاکستری $G \in \{1, 2, \dots, N_g\}$ را به هر یک از این عنصرها اختصاص می‌دهد: $I: L_x \times L_y \rightarrow G$ (Haralick et al, 1973). اصطلاح سطح خاکستری معمولاً برای بیان شدت روشنایی در تصاویر غیر رنگی به کار می‌رود. تصویر رنگی با ترکیبی از چند تصویر مربوط به کانال‌های رنگ ایجاد می‌شود. برای مثال در سیستم رنگ RGB ، تصویر رنگی شامل سه تصویر سطح خاکستری است که هر تصویر یکی از کانال‌های رنگ قرمز (R)

^۱ Classification

^۲ Segmentation

^۳ Synthesis

^۴ Shape

، سبز (G) و آبی (B) را نشان می‌دهد. به همین دلیل، بسیاری از روش‌های ایجاد شده برای تصاویر سطح خاکستری، می‌توانند به تصاویر رنگی بسط داده شوند (Gonzalez and Woods, 2008). در این مطالعه محاسبه ویژگی‌های بافتی در حوزه فضایی براساس این فرض است که اطلاعات بافتی در تصویر I ، دربرگیرنده رابطه فضایی کلی یا میانگینی است که سطح‌های خاکستری در تصویر با هم دارند. منظور ویژگی‌های بافتی محاسبه چندین ماتریس $GLCM$ به تعداد اعضای پنجره تحلیل جدا شده از تصویر اصلی می‌باشد. این ویژگی‌ها شامل اطلاعاتی در مورد مشخصات بافتی تصویر به صورت همگنی، وابستگی خطی سطح خاکستری، تباین، تعداد و طبیعت مرزهای موجود و پیچیدگی تصویر هستند. ماتریس‌های $GLCM$ ، اطلاعات آماری رخداد یک رابطه خاص از عناصر تصویر را در بر می‌گیرد. این ماتریس ویژگی‌ها، به آمار مرتبه دوم منسوب می‌شوند. از لحاظ نظری، توسعه به مرتبه سوم (رابطه بین سه عنصر همسایه) و حتی مرتبه‌های بالاتر امکان‌پذیر است، اما این کار به افزایش بسیار چشم‌گیر زمان محاسبات منجر می‌شود (Eichkitz et al, 2013).

۲-۳ نشانگرهای بافتی

۲-۳-۱ نشانگرهای بافتی زمان-فرکانس

تعداد زیادی نشانگر بافتی وجود دارد که بر مبنای تبدیل‌های زمان-فرکانس محاسبه می‌شوند. در ادامه، یکی از این نشانگرهای بافتی زمان-فرکانس بدست آمده از فیلتر گابور^۱ توضیح داده خواهد شد. با استفاده از اعمال فیلترهای گابور می‌توان اطلاعات بافت لرزه‌ای را استخراج کرد (Solberg and Gelius, 2011). فیلترهای گابور برای یافتن بیش‌ترین تغییرات اندازه و جهت بافت در تصویر طراحی شدند (Amin and Deriche, 2015). اگر $H(u, v)$ پاسخ فرکانسی فیلتر گابور فرض شود، در حوزه فرکانس با چرخش سیستم مختصات از (u, v) به (u', v') ، فیلتر گابور با زاویه θ و فیلتر شعاعی F_R طبق رابطه (۲-۱) تعریف می‌شود (Berthelot et al., 2013):

^۱ Gabor filters

$$H(u', v') = \frac{8\sigma_u\sigma_v}{\pi} \left(\exp \left\{ \frac{-1}{2} \left[\frac{(u' - F_R)^2}{\sigma_u^2} + \frac{V^2}{\sigma_v^2} \right] \right\} + \exp \left\{ \frac{-1}{2} \left[\frac{(u' + F_R)^2}{\sigma_u^2} + \frac{V^2}{\sigma_v^2} \right] \right\} \right) \quad (1-2)$$

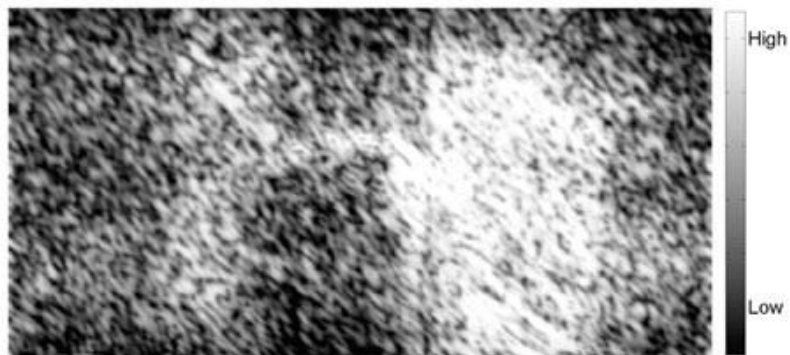
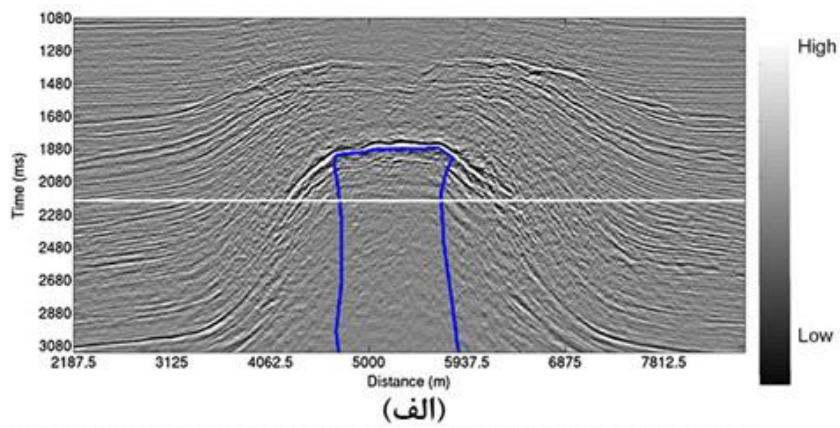
در رابطه (۱-۲) $u' = u \cos\theta + v \sin\theta$ ، $v' = -u \sin\theta + v \cos\theta$ و θ جهت فیلتر می‌باشد. برای یک مقطع لرزه‌ای در حوزه $t-x$ ، $u = k_x$ ، عدد موج در امتداد محور x و $v = 2\pi f = \omega$ ، که در آن f فرکانس و ω فرکانس زاویه‌ای در امتداد محور زمان می‌باشند. برای یک برش افقی از داده لرزه‌ای $u = k_x$ و $v = k_y$ به ترتیب نشان دهنده عدد موج در امتداد محور x و y می‌باشد. بهتر است برای تعیین پهناهای فیلتر از پهناهای باند فیلتر شعاعی B_R بر حسب اکتاو^۱ و زاویه پهناهای فیلتر B_θ بر حسب درجه طبق رابطه (۲-۲) استفاده شود (Berthelot et al., 2013):

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{-2\log(1/2)}} \frac{2^{B_R} - 1}{2^{B_R} + 1} F_R, \quad \sigma_v = \frac{\tan(B_\theta / 2)}{\sqrt{-2\log(1/2)}} F_R. \quad (2-2)$$

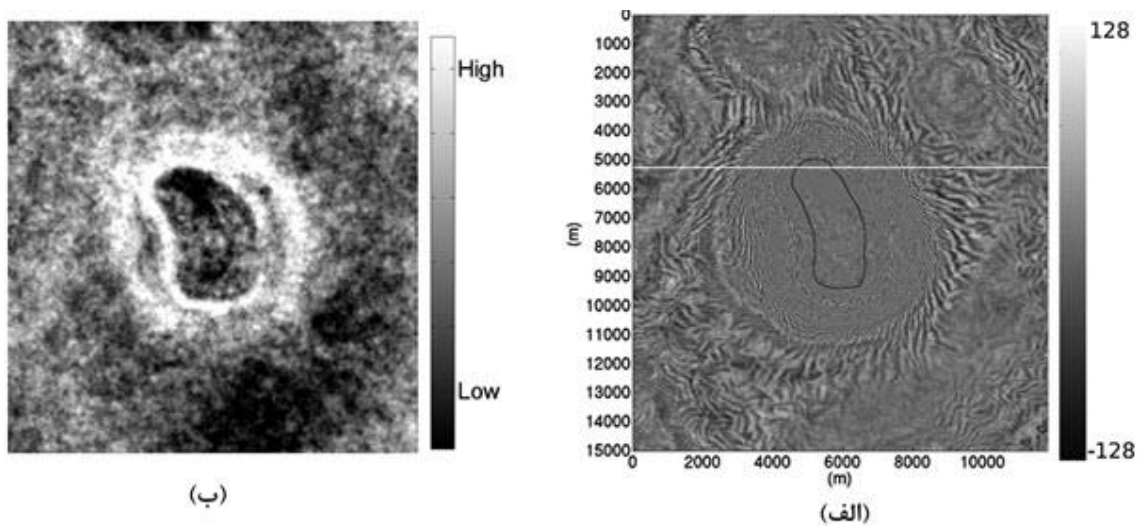
که در رابطه فوق σ_u و σ_v پهناهای فیلتر گابور می‌باشند. نشانگرهای گابور برای استخراج اطلاعات مربوط به رویدادهای تناوبی مناسب هستند. از آنجایی که در دو مقطع عمقی و برش زمانی لرزه‌ای، رویدادهای شیب پایین رونده به صورت تناوبی است، بعد از اعمال این نشانگر خود را با مقادیر بالا نشان می‌دهد. به طور کلی قدرت یک فیلتر گابور در شناسایی عوارض تا حدود زیادی وابسته به جهت و فرکانس انتخاب شده دارد. برای یک مقطع عمقی با سایز تصویر M ، (شکل ۱-۲ الف)) نشانگر فیلتر گابور با جهت انتخابی $\theta = -45$ و فرکانس مرکزی $\mu_0 = 0.15M$ اعمال شده است که نتایج آن در شکل ۱-۲ ب) مشاهده می‌شود. همچنین برای یک برش زمانی نشانگر فیلتر گابور با فرکانس مرکزی $\mu_0 = 0.2M$ اعمال شده است که در شکل ۲-۲ ب) نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، در هر دو مورد رویدادهای شیب پایین رونده از سایر رویدادها متمایز شده‌اند. در محاسبه فیلتر گابور در شکل‌های ۱-۲ و ۲-۲ به دلیل تفاوت سایز تصویر (M) در برش زمانی و عمقی داده لرزه‌ای مقادیر μ_0 متفاوت

^۱ Octave

انتخاب شده‌اند.



شکل ۲-۱: الف) یک برش عمقی لرزه‌ای. محدوده گنبد نمکی با رنگ آبی مشخص شده است. ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر فیلتر گابور با $\theta = -45$ و $\mu_0 = 0.15M$ (Berthelot et al., 2013).



شکل ۲-۲: الف) برش زمانی ورودی، گنبد نمکی با رنگ مشکی مشخص شده است. ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر فیلتر گابور با $\mu_0 = 0.2M$ (Berthelot et al., 2013).

۲-۳-۲ نشانگر سوبل

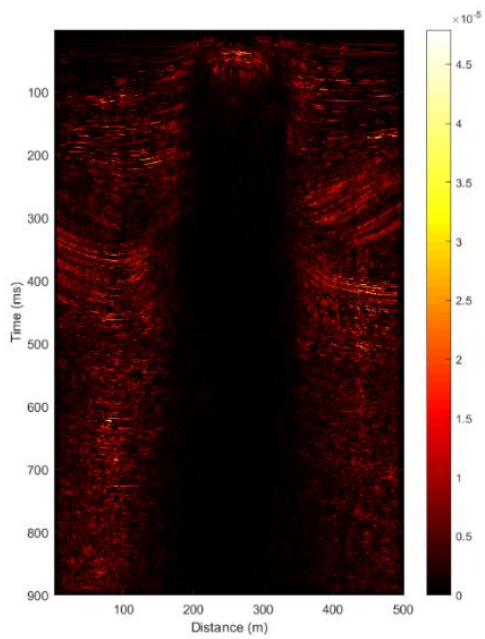
فیلتر سوبل از مشتق دامنه بین ردلرزه‌های مجاور محاسبه می‌شود که در آن همسایگان غیر مورب دارای وزن دو برابر هستند. برای محاسبه فیلتر سوبل از عملگر گرادیان دوبعدی 3×3 طبق رابطه (۲-۳) استفاده می‌شود (Aqrabi et al., 2011):

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A, G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A \quad (3-2)$$

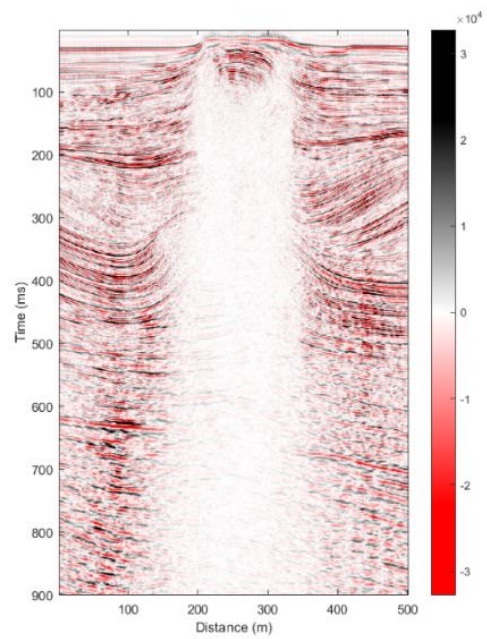
که A تصویر ورودی و $(*)$ عملگر هم‌میخت است. عملگر سوبل به صورت بزرگی گرادیان $|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ تعریف می‌شود که لبه‌های تصویر را در دو جهت قائم و افقی برجسته می‌کند. با توجه به اینکه مرزهایی که در روش سوبل تعیین می‌شوند بر مبنای تغییرات دامنه می‌باشد، لذا برای نمایش بهتر مرزها به خصوص مرزهای ناشی از تغییرات کم دامنه لازم است که نتایج متوازن شوند. متوازن‌سازی داده‌ها با توجه به فیلتر سوبل طبق رابطه (۲-۴) محاسبه می‌شود (نجاتی کلاته و روشندل کاهو، ۱۳۹۱):

$$|G|_b = \frac{|G|}{k + \sqrt{H_x^2(|G|) + H_x^2(|G|) + |G|^2}} \quad (4-2)$$

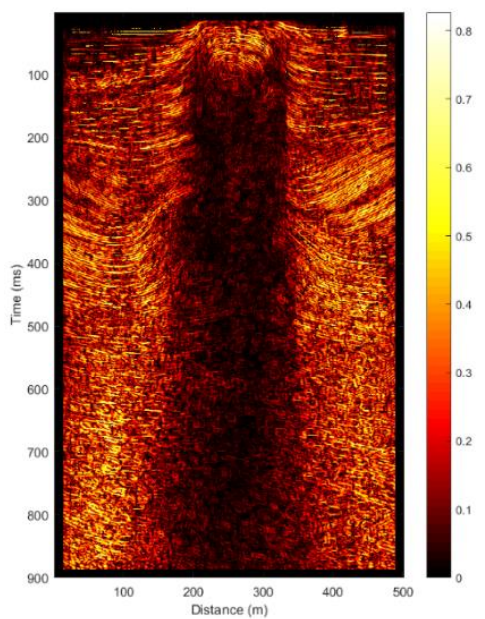
H_x و H_y به ترتیب نشان دهنده‌ی تبدیل هیلبرت در راستای x و y می‌باشد و k مقدار ثابتی است که کارایی فیلتر را کنترل می‌کند. نشانگر سوبل دوبعدی متداول و متوازن به منظور شناسایی گنبد نمکی بر روی یک مقطع عمقی با در نظر گرفتن شیب ساختارها و یک برش زمانی اعمال شده است که نتایج آن در شکل‌های ۲-۳ و ۲-۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این نشانگر توانایی تشخیص لبه‌های گنبد نمکی را تا حد قابل قبولی داشته است.



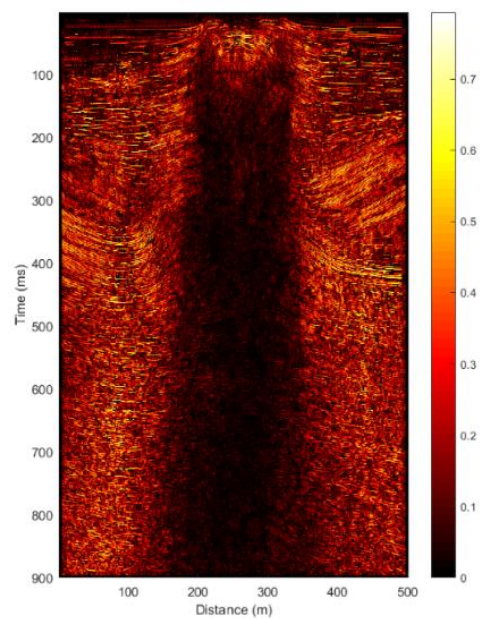
(ب)



(الف)

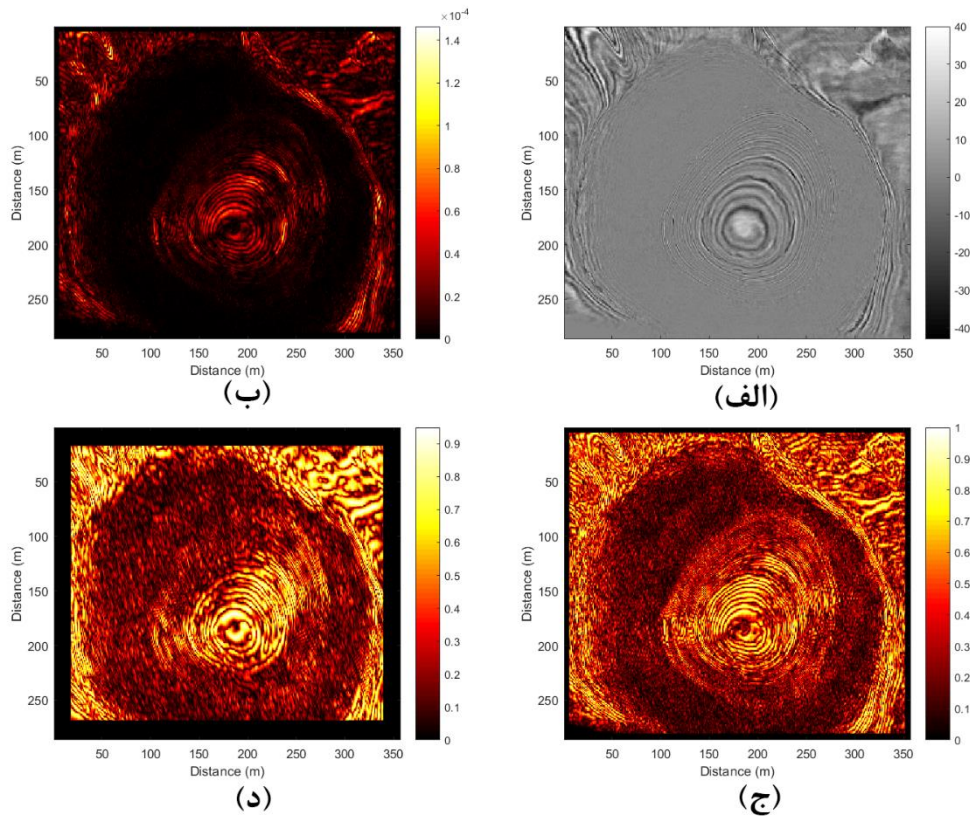


(د)



(ج)

شکل ۲-۳: الف) داده لرزه‌ای دوبعدی (ب) نشانگر سوپل دوبعدی متداول با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۳ (ج) نشانگر سوپل دوبعدی متوازن با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۳ (د) نشانگر سوپل دوبعدی متوازن با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۹ (اعظم پور، ۱۳۹۳).



شکسل ۲-۴: الف) برش زمانی ورودی ب) نشانگر سوبل دوبعدی متداول برای طول پنجره ۳ ج) نشانگر سوبل دوبعدی متوازن برای طول پنجره ۳ د) نشانگر سوبل دوبعدی متوازن برای طول پنجره ۹ (اعظم پور، ۱۳۹۳).

البته می‌توان نشانگر سوبل را با استفاده از عمل‌گرهای با اندازه بزرگ‌تر از 3×3 (مثلاً 5×5 یا 7×7) نیز محاسبه نمود. برای توضیحات بیشتر به مرجع اعظم‌پور (۱۳۹۳) مراجعه شود. در انتخاب پنجره مناسب بایستی به ابعاد گنبد نمکی، مرزهای کاذب ناشی از حضور نوفه و ساختارهای کوچک مقیاس در پنجره‌های کوچک و هموارشدگی مرزها در اثر پنجره بزرگ توجه داشت و یک پنجره مناسب انتخاب کرد (اعظم پور، ۱۳۹۳).

۳-۳-۲ نشانگر بافتی جهت‌گرایی^۱، همواری^۲ و محتوای لبه^۳

این نشانگرها دارای محاسبات خیلی کمی بوده و با صرف زمان اندکی می‌توان برای تشخیص بافت گنبد

^۱ Directionality

^۲ Smoothness

^۳ Edge content

نمکی از سایر بافت‌ها استفاده کرد. استفاده تنها از هر یک از این نشانگرها نتایج خوبی نداشته و باید از ترکیب این سه نشانگر با هم برای تعیین بافت گنبد نمکی استفاده کرد (Hegazy and AlRegib, 2014).

۱-۳-۳-۲ نشانگر جهت‌گرایی

در بافت‌های غیر نمکی که لایه‌بندی افقی و شیب‌دار را شامل می‌شود، بافت جهت‌دار است، اما بافت نمک چون همگن است، جهت‌گرایی وجود ندارد. این موضوع به‌خوبی در شکل ۲-۵ قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دو پنجره مربعی شکل از مقطع لرزه‌ای دوبعدی که حاوی گنبد نمکی است انتخاب شده‌اند به‌گونه‌ای که یکی درون ناحیه گنبد نمکی و دیگری بیرون از آن قرار گرفته باشد. گرادیان این دو پنجره محاسبه شد و نمودار گرادیان قائم در مقابل گرادیان افقی رسم گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار مربوط به پنجره خارج از گنبد یک جهت‌یافتگی واضح دارند در صورتی که در نمودار پنجره درون گنبد نمکی، چنین جهت‌یافتگی وجود ندارند. با استفاده از این واقعیت، برای یک پنجره تحلیل $W_{x,y}$ ، نشانگر جهت‌گرایی طبق رابطه (۲-۵) محاسبه می‌شود (Hegazy and AlRegib, 2014):

$$D[x, y] = 1 - \frac{\min(\Lambda_1[x, y], \Lambda_2[x, y])}{\max(\Lambda_1[x, y], \Lambda_2[x, y])} \quad (۲-۵)$$

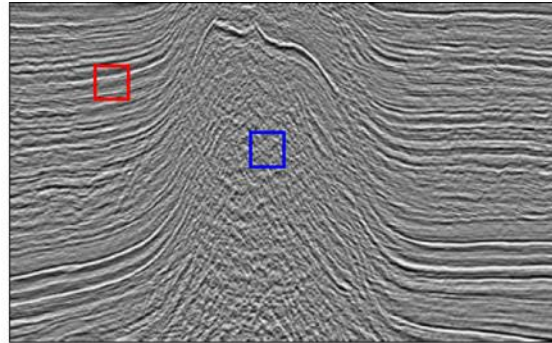
که در این رابطه $\Lambda_1[x, y]$ و $\Lambda_2[x, y]$ مقادیر ویژه^۱ ممان تانسور اینرسی^۲ $I[x, y]$ می‌باشند که به‌صورت رابطه (۲-۶) تعریف می‌شود:

$$I[x, y] = \sum_{[i, j] \in W_{x, y}} \begin{bmatrix} (G_y[i, j] - \bar{G}_y)^2 & (G_y[i, j] - \bar{G}_y)(G_x[i, j] - \bar{G}_x) \\ (G_x[i, j] - \bar{G}_x)(G_y[i, j] - \bar{G}_y) & (G_x[i, j] - \bar{G}_x)^2 \end{bmatrix} \quad (۲-۶)$$

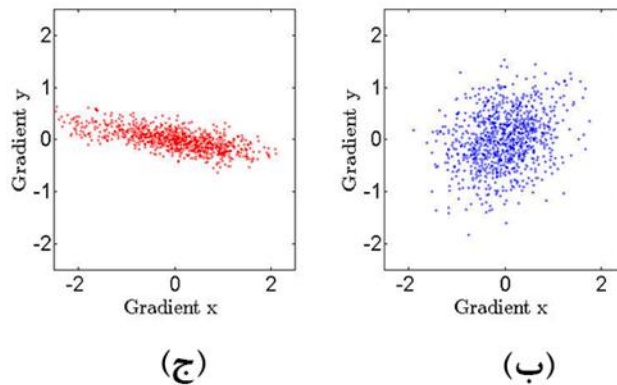
^۱ Eigenvalues

^۲ Moment of inertia tensor

که $G_x[i, j]$ و $G_y[i, j]$ به ترتیب گرادیان در راستای افق و قائم را نشان می‌دهند. \bar{G}_x و \bar{G}_y به ترتیب میانگین گرادیان افقی و قائم برای یک پنجره تحلیل یکسان می‌باشند. در مناطق غیر نمکی، یکی از مقادیر ویژه دارای مقدار خیلی بزرگ بوده و نشانگر جهت‌گرایی برای این مناطق یک و برعکس برای منطقه نمک مقدار این نشانگر صفر خواهد بود.



(الف)



(ج)

(ب)

شکل ۲-۵: الف) داده لرزه‌ای که دو پنجره یکی آبی بافت قسمت نمکی و یکی قرمز بافت غیر نمکی جدا شده‌اند ب) پراکندگی گرادیان برای قسمت نمکی ج) پراکندگی گرادیان برای قسمت غیر نمکی (Hegazy and AlRegib, 2014).

۴-۳-۲ نشانگر همواری

از آنجایی که نشانگر جهت‌گرایی در بعضی نواحی به اشتباه بافت نمک را بافت غیر نمک تشخیص می‌دهد و بر عکس، بنابراین بافت‌ها باید از نظر همواری از هم تفکیک شوند. بر این اساس نشانگر همواری طبق رابطه (۲-۷) معرفی می‌شود (Hegazy and AlRegib, 2014):

$$S[x,y] = - \sum_{[i,j] \in W_{x,y}} |G[i,j]| \quad (7-2)$$

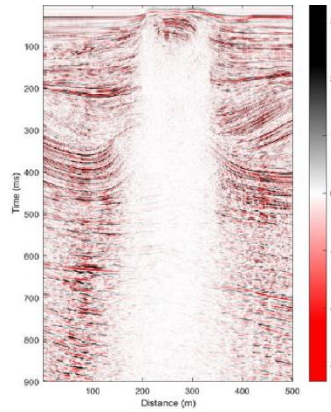
در رابطه فوق $|G[i,j]| = \sqrt{(G_x[i,j])^2 + (G_y[i,j])^2}$ بزرگی گرادیان در هر نقطه است. این نشانگر در بافت نمکی دارای مقدار زیاد (به خاطر علامت منفی) و در بافت غیر نمک دارای مقادیر کم است.

۵-۳-۲ نشانگر محتوای لبه

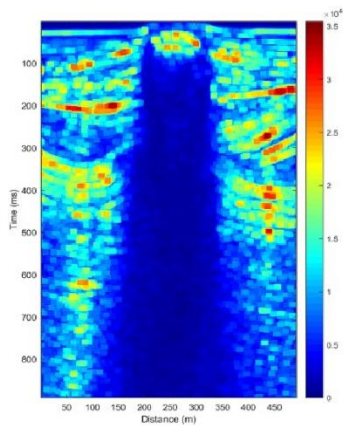
دو نشانگر قبلی در بعضی نواحی بافت نمکی را به عنوان بافت غیر نمک و برعکس تشخیص می دهند، بنابراین نشانگر محتوای لبه معرفی می شود تا مرزهایی که به اشتباه بافت ناحیه دیگر تشخیص داده شده بودند، تصحیح شوند. نشانگر محتوای لبه بر اساس اختلاف بین بیشینه مقدار و کمینه مقدار یک پنجره تحلیل طبق رابطه ۸-۲ بدست می آید (Hegazy and AlRegib, 2014):

$$E[x,y] = \max_{[i,j] \in W_{x,y}} |G[i,j]| - \min_{[i,j] \in W_{x,y}} |G[i,j]| \quad (8-2)$$

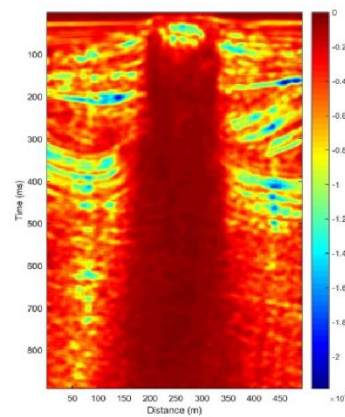
این سه نشانگر مکمل یکدیگر هستند بنابراین نیاز است که با هم ترکیب شوند. در نهایت با ترکیب این سه نشانگر می توان تصویر صحیحی از مرزهای گنبد نمکی بدست آورد. در شکل ۶-۲ نتیجه اعمال این سه نشانگر و همچنین ترکیب آنها بر روی یک مقطع لرنه ای شامل گنبد نمکی نشان داده شده است.



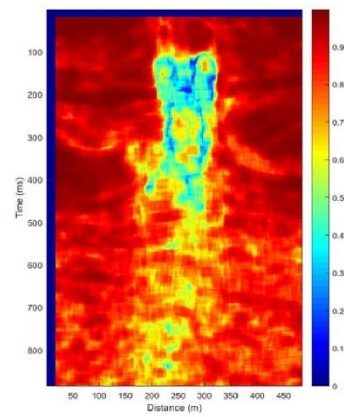
(الف)



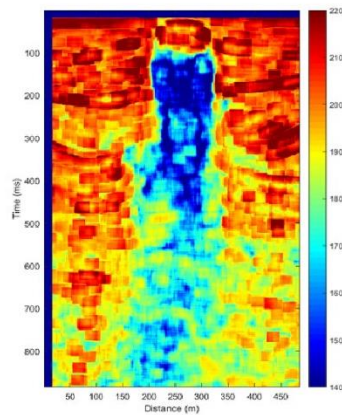
(د)



(ج)



(ب)



(ه)

شکل ۲-۶: الف) داده ورودی لرزه‌ای. نتایج اعمال نشانگرهای (ب) جهت‌گرایی (ج) همواری (د) محتوای لبه و (ه) ترکیب سه نشانگر برای داده لرزه‌ای ورودی (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

۶-۳-۲ نشانگر گرادیان بافت^۱ (*GOT*)

نشانگر گرادیان بافت تغییرات بافت را در امتداد سه محور توصیف می‌کند. برای یک نقطه معلوم، نشانگر

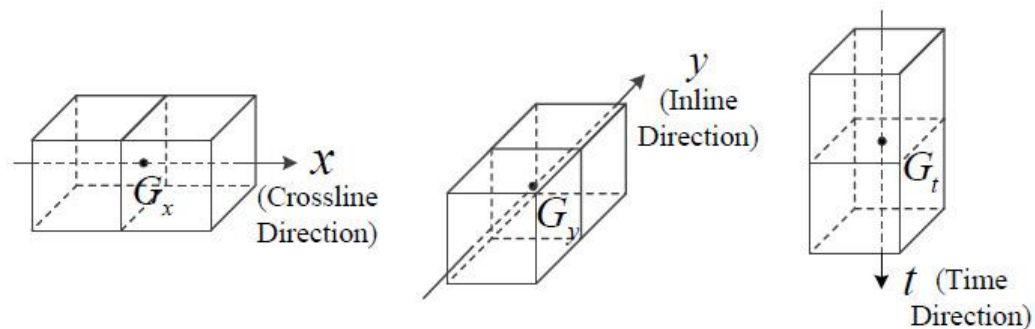
^۱ Gradient of Texture

گرادیان بافت عدم شباهت را برای دو مکعب همسایه (W_{i-}, W_{i+}) که سطح مشترک مربعی با مرکزیت نقطه مورد نظر دارند، مطابق رابطه (۹-۲) محاسبه می‌کند (Shafiq et al., 2015):

$$G_i = d(W_{i-}, W_{i+}), i \in \{x, y, t\},$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_t^2} \quad (9-2)$$

G_i گرادیان بافت را برای هر کدام از جهت‌های اصلی محاسبه می‌کند و G بزرگی گرادیان بافت هر سه جهت را نشان می‌دهد. طریقه محاسبه گرادیان در سه راستای محور x (Inline)، y (Crossline) و t (زمان) در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.



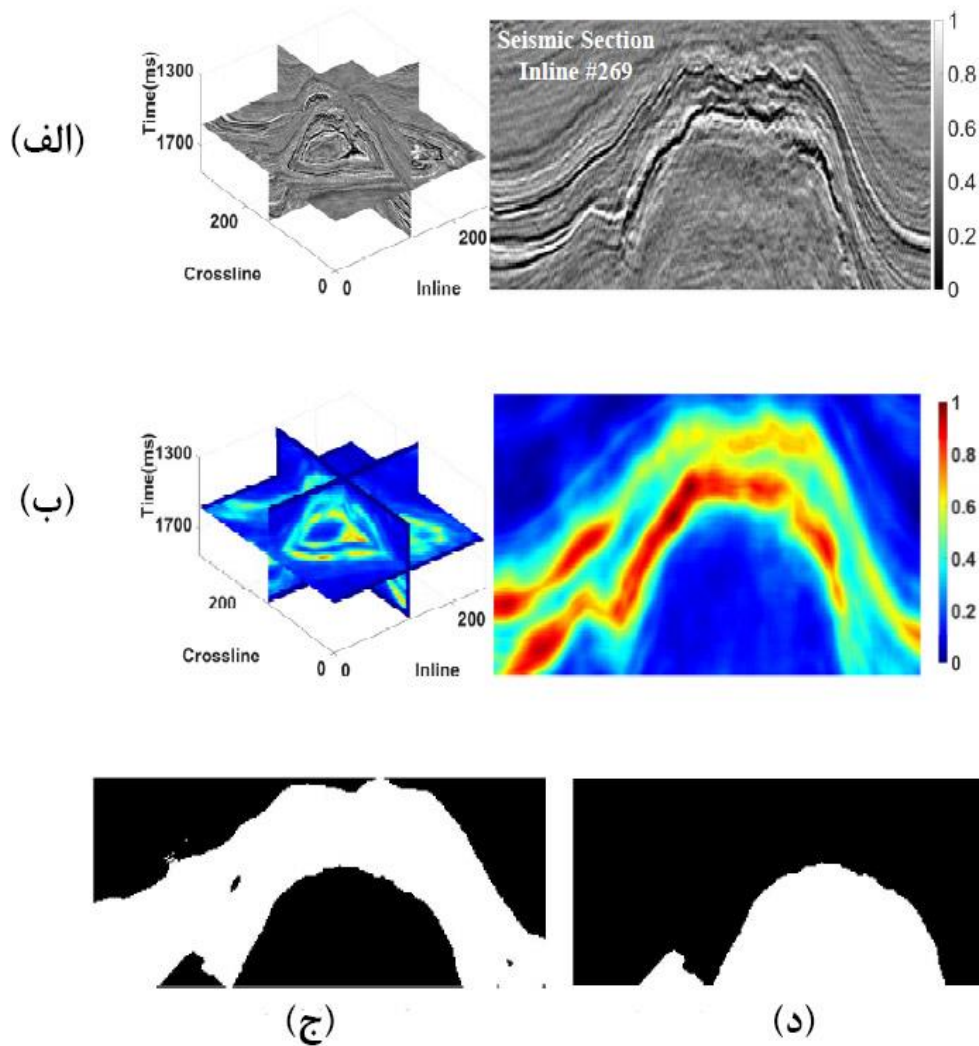
شکل ۷-۲: موقعیت مکعب‌های همسایه در هنگام محاسبه گرادیان بافت در سه جهت، G_x گرادیان در جهت محور x ، G_y گرادیان در جهت محور y و G_t گرادیان در جهت محور t (Shafiq et al., 2015).

با توجه به ساختارهای پیچیده گنبد‌های نمکی در زیر زمین بایستی با دقت زیادی اندازه مکعب‌های همسایه برای محاسبه GOT انتخاب شوند. با این حال انتخاب اندازه‌های مناسب مکعب‌های مجاور به منظور محاسبه و نمایش تغییرات بافتی در امتداد مرزهای گنبد نمکی به تنهایی کافی نبوده و برای افزایش دقت برای محاسبه نشانگر گرادیان بافت، بهتر است نوع وزن‌دار شده آن به کار برده شود که طبق رابطه (۱۰-۲) محاسبه می‌شود (Shafiq et al., 2015):

$$G_i = \frac{\sum_{n=1}^N \omega_n}{\sum_{n=1}^N \omega_n} d(W_{i-}^n, W_{i+}^n), i \in \{x, y, t\} \quad (10-2)$$

n اندازه مکعب‌های همسایه، ω_n وزن آن‌ها، W_{i-}^n و W_{i+}^n مکعب‌های همسایه با اندازه لبه $(2n+1)$ را نشان

می‌دهد. نشانگر گرادیان بافت بر روی یک داده لرزه‌ای سه بعدی (شکل ۲-۸ الف)) اعمال شده است که در شکل ۲-۸ ب) نشان داده شده است. همچنین در شکل ۲-۸ ج) مرزهای پیشنهادی گنبد با رنگ سفید و در (د) محدوده نمک با رنگ سفید مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این روش یکی از روش‌های مناسب در تشخیص گنبد نمکی است که به‌خوبی مرزهای آن را مشخص کرده است (Shafiq et al., 2015).



شکل ۲-۸: الف) داده سه‌بعدی لرزه‌ای و مقطع انتخاب شده از آن به‌عنوان ورودی ب) محاسبه گرادیان بافت برای داده سه‌بعدی و مقطع انتخاب شده از آن ج) ناحیه مرزی برجسته شده (رنگ سفید) د) جسم نمکی استخراج شده (رنگ سفید) (Shafiq et al., 2015).

۷-۳-۲ نشانگرهای بافتی HOG

توصیف‌گرهای^۱ هیستوگرام گرادیان جهتی یا توصیف‌گرهای HOG، توصیف‌گرهای ویژگی هستند که در پردازش تصویر و علوم کامپیوتر، به‌منظور تشخیص اشیاء استفاده می‌شوند. این روش، گرادیان جهت‌دار را در بخش‌های محلی از یک تصویر محاسبه می‌کند. هدف از اجرای این الگوریتم، استخراج ویژگی‌هایی از تصویر است که توسط هیستوگرام گرادیان جهتی بدست می‌آید. سرانجام این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی و شناسایی اشیاء تصویر استفاده خواهند شد (Chandrasekhar et al., 2009). روش HOG برای نخستین بار توسط دلال^۲ و تریگز^۳ (۲۰۰۵) معرفی شد. آن‌ها چندین توصیف‌گر HOG متفاوت را مورد آزمایش قرار دادند و با روش‌های مختلف محاسبه گرادیان و نرمال کردن، باعث توسعه این روش شدند. مفهوم ضروری که در پشت توصیف‌گر HOG وجود دارد این است که شکل و ظاهر یک جسم محلی، در داخل تصویر، توسط توزیع شدت گرادیان و جهت لبه قابل توصیف است. برای اعمال این توصیف‌گرها باید تصویر به نواحی متصل به هم و کوچک تقسیم شود، که سلول نامیده می‌شود و هیستوگرام جهت‌های گرادیان^۴ یا جهت‌های لبه^۵ برای هر پیکسل داخل سلول محاسبه شود. با ترکیب این هیستوگرام‌ها، توصیف‌گر جسم به‌وجود می‌آید. برای افزایش عمل‌کرد روش، هیستوگرام‌های محلی با انجام محاسبات و اندازه‌گیری شدت در یک ناحیه بزرگ‌تر در تصویر به‌نام بلوک، نرمال می‌شوند (Dalal and Triggs, 2005).

بر اساس ویژگی‌های بدست آمده از روش HOG، می‌توان نشانگرهایی را معرفی کرد که ساختارهای مختلف زمین‌شناسی را بر اساس بافت‌های مختلف از هم تفکیک کنند. یکی از بهترین روش‌هایی که برای محاسبه نشانگرهای مبتنی بر روش HOG می‌توان به‌کار برد، استفاده از مشخصه‌های آماری برای

^۱ Descriptors

^۲ Dalal

^۳ Triggs

^۴ Gradient Direction

^۵ Edge Orientation

استخراج نشانگرها از ویژگی‌های بدست آمده از HOG می‌باشد (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

جدول ۱-۲: نشانگرهای مبتنی بر HOG (حسینی فرد، ۱۳۹۵)

| نام نشانگر | رابطه | توضیحات |
|--------------|--|---|
| میانگین | $Mean = \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(i)$ | همگنی یک تصویر را اندازه می‌گیرد. چون نمک همگن است بنابراین این نشانگر ناحیه نمکی را با مقادیر بالا نشان می‌دهد. |
| میانه | $Median = \frac{F_{sort}(x) + F_{sort}(x+1)}{2}$ | این نشانگر مناطق همگن را برجسته‌سازی می‌کند. لذا به خوبی می‌تواند نمک را از محیط اطرافش جدا نماید. |
| انحراف معیار | $STD = \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F(i) - \mu)^2}$ | مقادیر انحراف معیار در یک بافت همگن خیلی پایین تر نسبت به محیط اطراف می‌باشد. بنابراین به خوبی می‌تواند نمک را از محیط اطرافش جدا نماید. |
| واریانس | $Variance = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F(i) - \mu)^2 = \sigma^2$ | مقادیر واریانس برای ناحیه لایه‌بندی و مرزها کم‌تر است. بنابراین می‌تواند بافت گنبد نمکی را از سایر بافت‌ها، متمایز کند. |
| چولگی | $Skewness = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F(i) - \mu}{\sigma} \right)^3$ | مقادیر چولگی برای ناحیه نمک از نواحی شامل لایه‌بندی و مرزها کم‌تر خواهد بود، این تایین برای سایر تعداد ویژگی‌ها خود را به‌صورت مقدار منفی بزرگ نشان می‌دهد. |
| کشیدگی | $Kurtosis = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F(i) - \mu}{\sigma} \right)^4$ | کشیدگی یا برجستگی توصیف‌کننده میزان قلله‌ای بودن یک توزیع احتمالی است. به عبارت دیگر کشیدگی معیاری از تیزی منحنی در نقطه بیشینه است. |
| بیشینه مقدار | - | بیش‌ترین مقدار بردارهای ویژگی حاصل از HOG را در یک پنجره تحلیل مشخص می‌کند. |
| کمینه مقدار | - | کم‌ترین مقدار بردارهای ویژگی حاصل از HOG را در یک پنجره تحلیل مشخص می‌کند. |
| گستره | (بیشینه) - (کمینه) | نشانگر گستره از اختلاف بین بیشینه مقدار و کمینه بدست می‌آید. مقادیر گستره برای ناحیه نمک از نواحی شامل لایه‌بندی کم‌تر است. |

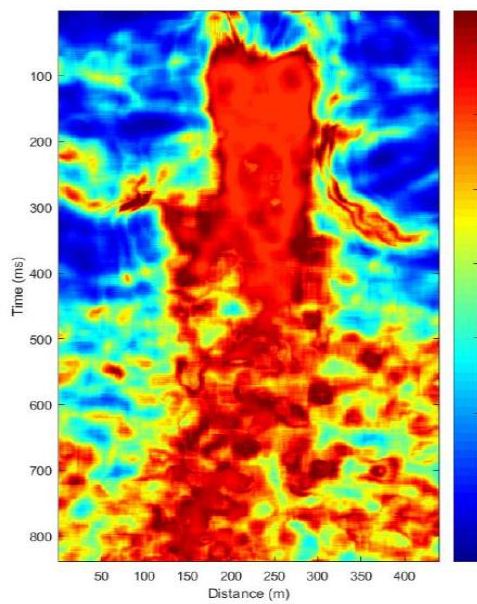
تعدادی نشانگر بر مبنای *HOG* قابل استخراج می‌باشند که در جدول ۲-۱ به ۹ تا از آن‌ها اشاره شده است. نشانگرهای *HOG* برای اولین بار توسط حسینی فرد (۱۳۹۵) معرفی شدند. پارامترهای مورد استفاده در محاسبه نشانگرهای فوق در جدول ۲-۲ معرفی شده‌اند.

جدول ۲-۲: پارامترهای مورد استفاده در محاسبه نشانگرهای *HOG*

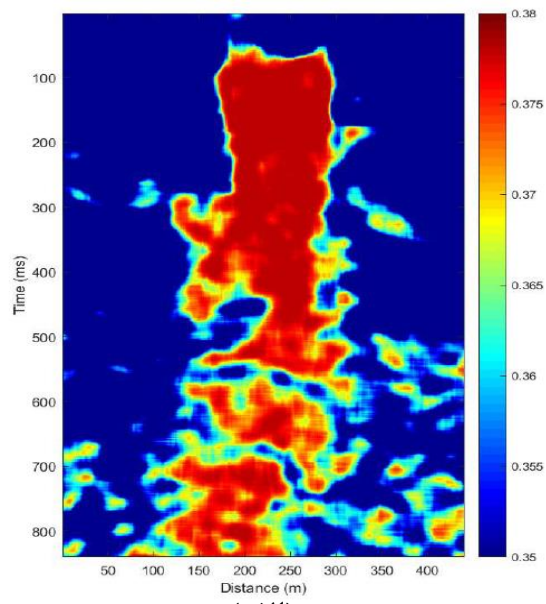
| پارامتر مورد استفاده | توضیحات |
|----------------------|-------------------|
| n | تعداد ویژگی‌ها |
| $F(i)$ | بزرگی بردار ویژگی |
| μ | میانگین |
| σ | انحراف معیار |
| σ^2 | واریانس |

میانگین عبارت است از مجموع مقادیر موجود در یک مجموعه داده‌ها تقسیم بر تعداد آن‌ها. در آمار و نظریه احتمالات، میانگین، مد، و میانه هر سه نمونه‌هایی از سنجش‌های گرایش به مرکز هستند (Weisberg, 1992). همانطور که در شکل ۲-۹ (الف) مشاهده می‌شود، مقادیر میانگین برای ناحیه نمک از نواحی شامل لایه‌بندی و مرزها بیشتر است. بالا بودن نشانگر میانگین در نمک به دلیل همگن بودن بافت نمک نسبت سایر بافت‌هاست که باعث می‌شود که بزرگی بردارهای ویژگی یکسان باشد و به همین دلیل مقدار میانگین آن‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای به خوبی متمایز نمود (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

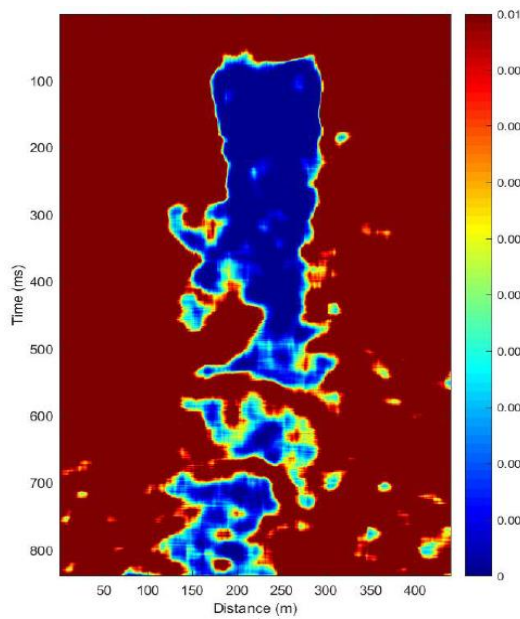
میانه در آمار و نظریه احتمالات نوعی سنجش گرایش به مرکز است. میانه عددی است که یک جمعیت آماری و یا یک توزیع احتمالی را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند (Weisberg, 1992). نشانگر میانه برای مناطق مختلف لرزه‌ای در شکل ۲-۹ (ب) نشان داده شده است و همان طور که مشاهده می‌شود، به دلیل همگن بودن بافت در داخل نمک، تمامی مقادیر میانه برای ناحیه نمک از نواحی شامل لایه‌بندی و مرزها بیشتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود (حسینی فرد، ۱۳۹۵).



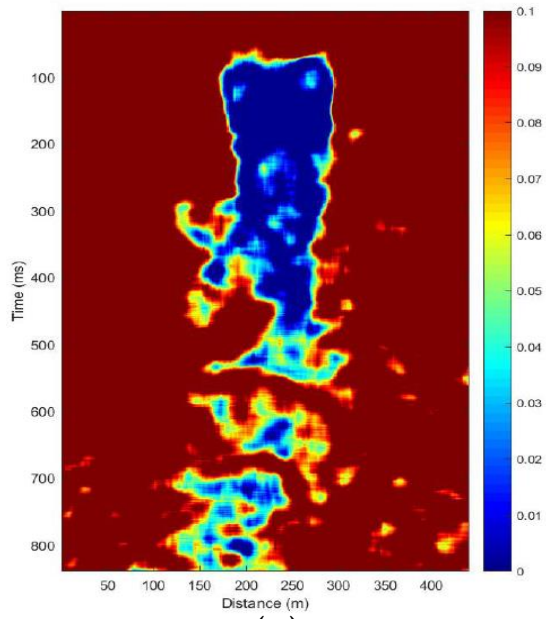
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

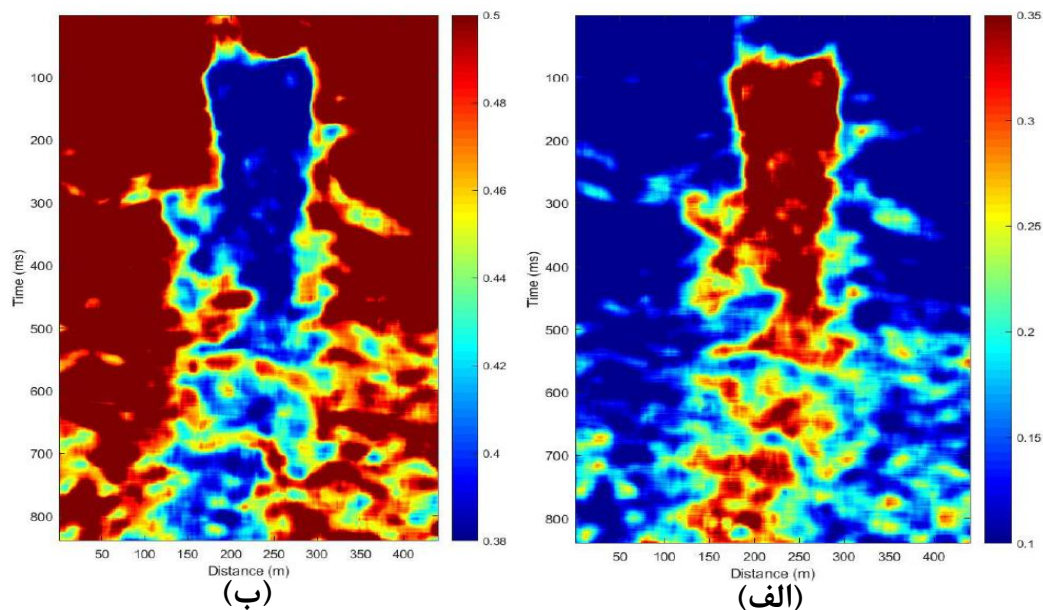
شکل ۲-۹: نشانگرهای مبتنی بر *HOG* (الف) میانگین (ب) میانگین (ج) انحراف معیار (د) واریانس (حسینی فرد،

۱۳۹۵)

انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد داده‌ها چه میزان از مقدار میانگین فاصله دارند. اگر انحراف معیار مجموعه‌ای از داده‌ها نزدیک به صفر باشد، نشان دهنده آن است که داده‌ها نزدیک به میانگین هستند و پراکندگی اندکی دارند؛ در حالی که انحراف معیار بزرگ بیانگر پراکندگی قابل توجه داده‌ها می‌باشد (Korn and Korn, 2000). همان‌طور که بیان شد، بر اساس

خاصیت انحراف معیار در یک بافت همگن که مقادیر بردارهای ویژگی تقریباً یکسان است، انحراف معیار کمترین مقدار را خواهد داشت، ولی مقدار آن برای در سایر نواحی بیشتر از مقدار انحراف معیار ناحیه نمک خواهد بود. نتیجه بدست آمده نشانگر انحراف معیار در شکل ۲-۹ (ج) قابل مشاهده است که به خوبی توانسته محدوده گنبد نمکی را از رسوبات اطرافش جدا کند (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

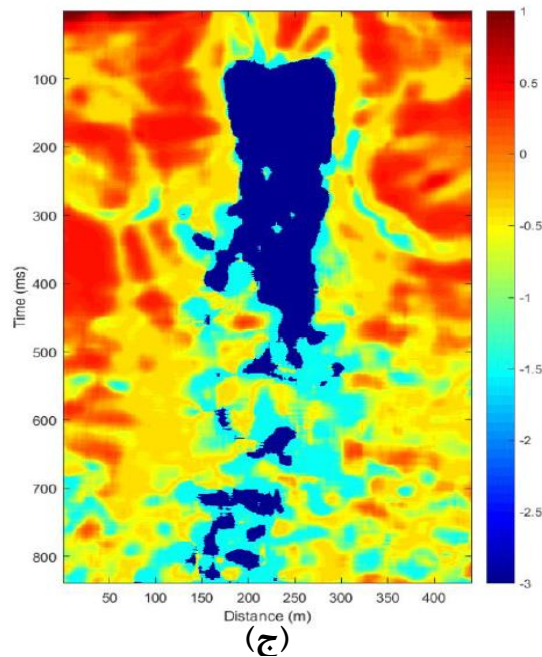
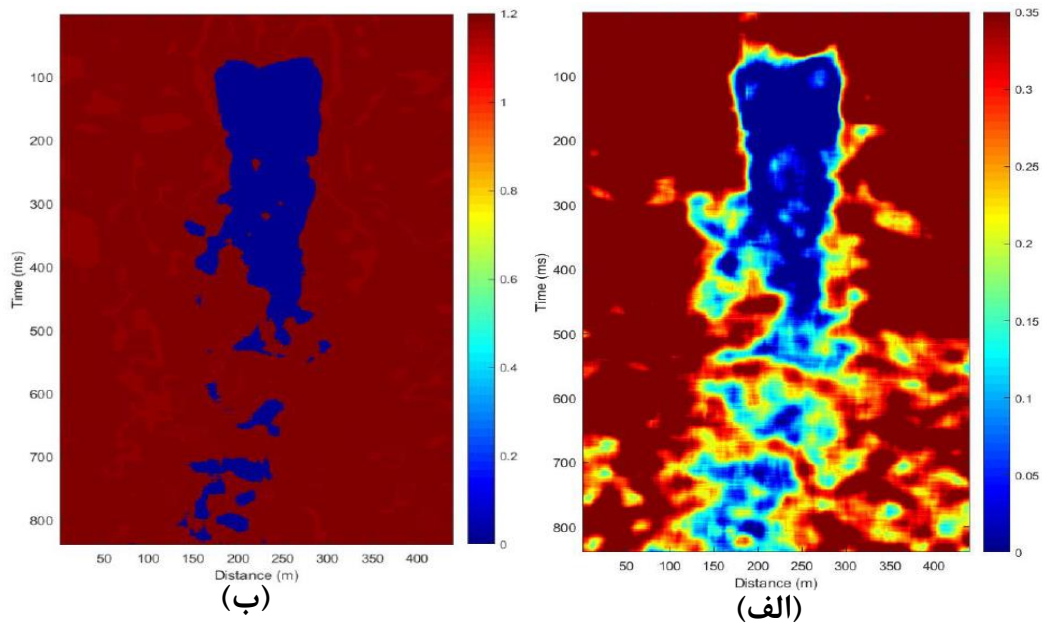
یکی از مهمترین پارامترهای آماری، واریانس است (Korn and Korn, 2000). تمامی مطالب بیان شده برای انحراف معیار در مورد واریانس نیز صادق است ولی با حساسیت بیشتر، زیرا واریانس برابر است با توان ۲ انحراف معیار. بنابراین، مقادیر واریانس برای ناحیه از نواحی شامل لایه بندی و مرزها کمتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می توان بافت گنبد نمکی را از سایر بافتها، در یک داده لرزه‌ای را به خوبی متمایز نموده است و نتیجه آن در شکل ۲-۹ (د) قابل مشاهده می باشد (حسینی فرد، ۱۳۹۵).



شکل ۲-۱۰: نشانگرهای مبتنی بر HOG (الف) مقدار بیشینه (ب) مقدار کمینه (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

این نشانگر همان طور که از نامش پیداست، بیشترین مقدار بردارهای ویژگی حاصل از HOG را در یک پنجره تحلیل مشخص می کند. در نواحی شامل لایه بندی ها در هنگام محاسبه گرادیان یک مقدار بیشینه به وجود می آید، اما برای بافت نمک گرادیان در همه راستاها مقدار یکسان و تقریباً کوچک دارد. همان طور

که در شکل ۱۰-۲ (الف) مشاهده می‌شود، مقادیر بیشینه مقدار برای ناحیه نمک از نواحی شامل لایه‌بندی و مرزها کمتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای به خوبی متمایز نمود. نشانگر کمینه دقیقاً برعکس نشانگر بیشینه بوده و همانطور که در شکل ۱۰-۲ (ب) مشاهده می‌شود محدوده نمک را با کمترین مقدار نمایش می‌دهد (حسینی فرد، ۱۳۹۵).



شکل ۱۱-۲: نشانگرهای مبتنی بر HOG (الف) گستره (ب) کشیدگی (ج) چولگی (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

گستره عبارت است، اختلاف بین بیشینه و کمینه مقدار یک داده. بنابراین نشانگر گستره از اختلاف بین بیشینه مقدار و کمینه مقدار ویژگی موجود در پنجره تحلیل به دست می آید. مقادیر گستره برای ناحیه نمک و تعداد ویژگی کوچک، از نواحی شامل لایه بندی و مرزها کمتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی همان طور که در شکل ۲-۱۱ (الف) مشاهده می شود می توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت ها، در یک داده لرزه ای متمایز نمود. کشیدگی یا برجستگی توصیف کننده میزان قله ای بودن یک توزیع احتمالی است. به عبارت دیگر کشیدگی معیاری از تیزی منحنی در نقطه بیشینه است (Cramer, 1998). نشانگر کشیدگی به دلیل یکسان بودن همه مقادیر بردارهای ویژگی در نمک تعریف نشده است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت ها، در یک داده لرزه ای تا حدودی متمایز نمود که نتیجه آن را در شکل ۲-۱۱ (ب) می توان مشاهده نمود. در آمار و نظریه احتمالات، چولگی نشان دهنده میزان عدم تقارن توزیع احتمالی است. اگر داده ها نسبت به میانگین متقارن باشند، چولگی برابر صفر خواهد بود (Von Hippel, 2005). برای اندازه پنجره ۵ به بالا و تعداد ویژگی ۵، چون همه مقادیر بردارهای ویژگی در نمک یکسان بوده اند، چولگی تعریف نشده است (مقادیر NaN) اما برای تعداد ویژگی بیشتر مقادیر چولگی برای ناحیه نمک از نواحی شامل لایه بندی و مرزها کمتر خواهد بود، این تباین برای سایر تعداد ویژگی ها خود را به صورت مقدار منفی بزرگ نشان می دهد. بنابراین با استفاده از این ویژگی می توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت ها، در یک داده لرزه ای مانند شکل ۲-۱۱ (ج) متمایز نمود (حسینی فرد، ۱۳۹۵).

فصل سوم: محاسبه

نشانگرهای لرزه‌ای بافتی

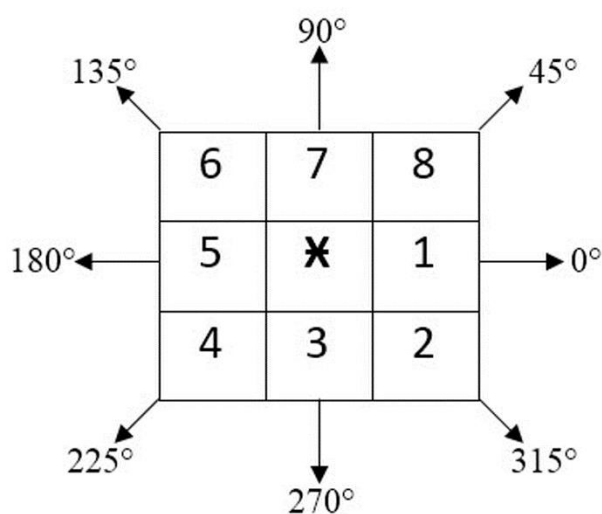
GLCM

۱-۳ مقدمه

همان طور که در فصل‌های قبل گفته شده سرعت بالای امواج لرزه‌ای در نمک باعث ایجاد یک تفاوت الگو و بافت در داده لرزه‌ای می‌شود، این تفاوت محققان متعددی را بر آن داشت تا با استفاده از الگوریتم‌های مختلف (که در فصل دوم به توضیح برخی از آن‌ها پرداخته شد)، تفاوت‌های بافتی موجود را برای شناسایی گنبد‌های نمکی مورد مطالعه قرار بدهند و نشانگرهای مختلفی از جمله نشانگرهای بافتی *GLCM* برای این منظور مورد استفاده قرار بگیرند که در ادامه به توضیح مفصل نشانگرهای بافتی *GLCM* و نحوه محاسبه آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۳ ماتریس *GLCM*

تصویری مستطیلی که دارای N_x عنصر در جهت افقی و N_y عنصر در جهت قائم و دارای N_g سطح خاکستری است، مفروض می‌باشد. در این صورت $L_x = \{1, 2, \dots, N_x\}$ دامنه فضایی افقی، $L_y = \{1, 2, \dots, N_y\}$ دامنه فضایی عمودی و $G = \{1, 2, \dots, N_g\}$ مجموعه‌ای از سطح‌های خاکستری کمی می‌باشند. تصویر I به صورت تابعی دوبعدی که به هر عنصر آن مقداری از سطح‌های خاکستری G اختصاص داده شده است، در نظر گرفته می‌شود (صیادی، ۱۳۹۳).



شکل ۱-۳: همسایگی‌های مختلف از عنصر موردنظر (Haralick et al, 1973).

همان‌طور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، یک عنصر در فضای دوبعدی دارای هشت همسایگی نزدیک است که در زوایای مختلف نسبت به عنصر مورد نظر قرار گرفته‌اند. فاصله بین عنصر مورد نظر و عنصر همسایه آن، دورافت نامیده می‌شود. اطلاعات بافت در تصویری مانند I ، دربرگیرنده رابطه فضایی سطح‌های خاکستری عناصر همسایه با یکدیگر است. به‌طور خاص‌تر، اطلاعات بافت به وسیله ماتریس فراوانی نسبی رخ دادن دو عنصر همسایه بر روی تصویر، یکی با سطح خاکستری i و دیگری با سطح خاکستری j بر روی تصویر که با فاصله d از هم جدا شده‌اند $G(i,j)$ ، بیان می‌شوند. این ماتریس تابعی از فاصله بین عناصرها و جهت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر می‌باشد. برای تصویر I با ابعاد $K_1 \times K_2$ با مقیاس خاکستری و n سطح روشنایی (سطح خاکستری)، $GLCM$ ماتریس مربعی $G_{n \times n}$ است که هر عنصر آن تعداد رخداد جفت سطوح خاکستری در پیکسل‌هایی از تصویر است که در جهت $\theta = \{0, 45, 90, 135\}$ و با فاصله قائم d_x و با فاصله افقی d_y از یکدیگر قرار گرفته و به صورت رابطه (۳-۱) تعریف می‌شود (Eichkitz et al, 2013).

$$G(i, j) = \sum_{x=1}^{K_1} \sum_{y=1}^{K_2} \begin{cases} 1, & I(x,y)=i \text{ AND } I(x+dx,y+dy)=j \\ 0, & I(x,y) \neq i \text{ OR } I(x+dx,y+dy) \neq j \end{cases}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3-1)$$

در رابطه فوق i و j از ۱ تا N_g (که نشان دهنده تعداد سطوح خاکستری است) تغییر می‌کند. در این رابطه $G(x,y)$ مربوط به عنصر نمونه مرکزی و $G(x+dx,y+dy)$ مربوط به عنصر همسایه می‌باشند.

۳-۳ انتخاب دورافت (d)

مطالعات علمی مختلف نشان داده است که گستره مقادیر d (دورافت) $d = \{1, 2, \dots, 10\}$ می‌باشد (Gadkari, 2000). استفاده از یک دورافت بزرگ برای یک تصویر کوچک، ماتریس $GLCM$ که فاقد اطلاعات با جزئیات ریز بافتی است، را تولید می‌کند. به صورت تجربی اثبات شده است که انتخاب بهترین نتایج را در بر دارد، زیرا یک عنصر با عنصر همسایه‌اش که نزدیک آن قرار گرفته است، نسبت به عنصرهای همسایه‌ای آن که در فاصله دورتری قرار گرفته‌اند، احتمال همبستگی بیشتری

دارد (Gadkari, 2000). در داده‌های لرزه‌ای، چون نزدیک‌ترین عنصر همسایه، اطلاعات ردلرزه بعدی و به دنبال آن اطلاعات زمین‌شناسی مهمی را در بر دارد، بهتر است که مقدار دورافت برابر ۱ در نظر گرفته شود.

۳-۴ انتخاب زاویه θ

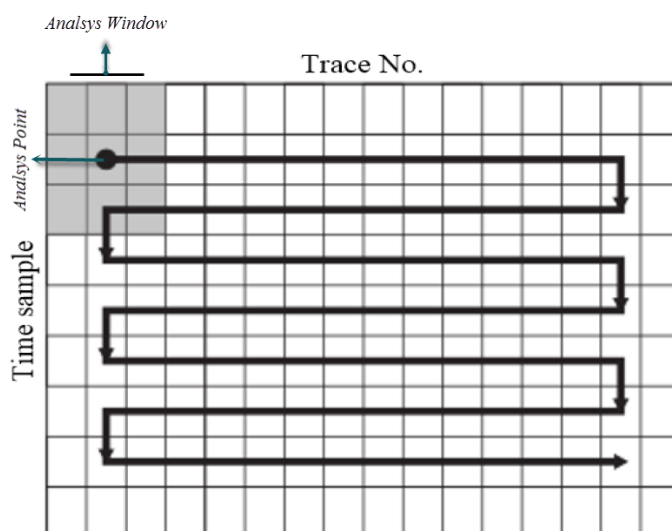
هر عنصر یک تصویر، دارای هشت عنصر همسایه است که در هشت زاویه مختلف نسبت به آن عنصر قرار گرفته‌اند. این زاویه‌ها ۰، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰، ۲۲۵، ۲۷۰ و ۳۱۵ درجه هستند (شکل ۳-۱). در ماتریس *GLCM*، جفت‌های هم‌رخداد با انتخاب زاویه ۰ و ۱۸۰ درجه، نتایج مشابهی را تولید می‌کند، چرا که ماتریس *GLCM* در زاویه ۱۸۰ درجه، ترانهاده *GLCM* در زاویه ۰ درجه است، بنابراین اطلاعات اضافه‌تری بدست نخواهد داد. ماتریس *GLCM* در زاویه ۰ درجه یک ماتریس نامتقارن است. از آن جا که محاسبات با ماتریس متقارن ساده‌تر خواهد بود، سعی می‌شود این ماتریس به یک ماتریس متقارن تبدیل شود. به این منظور، ترانهاده ماتریس *GLCM* در زاویه ۱۸۰ درجه با *GLCM* در زاویه ۰ درجه جمع شده و به این ترتیب یک ماتریس متقارن تولید خواهد شد که کار با آن راحت‌تر می‌باشد. بنابراین بهتر است به جای *GLCM* در زاویه ۰ درجه، *GLCM* در راستای ۰ درجه گفته شود. این امر همچنین برای زاویه‌های ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه نیز قابل تعمیم است. گاهی اوقات که تصویر همسان‌گرد باشد یا اطلاعات جهت‌ی مورد نیاز نباشد، می‌توان یک ماتریس *GLCM*، با جمع کردن ماتریس‌های *GLCM* میانگین برای همه زوایا بدست آورد (Chopra and Marfurt, 2007). ترکیب کردن ماتریس‌های *GLCM* در زاویه‌های مختلف برای بدست آوردن یک ماتریس میانگین امکان‌پذیر است. انجام این عمل سبب افزایش نسبت سیگنال به نوفه می‌شود، اما ممکن است ویژگی‌های ریز در داده را از دست دهد (Eichkitz. et al, 2013).

۳-۵ انتخاب پنجره تحلیل مناسب

به طور کلی همان‌طور که در شکل ۳-۲ مشاهده می‌شود در یک داده لرزه‌ای با انتخاب یک پنجره محلی

متحرک بر روی داده می‌توان خصوصیات آماری را به صورت محلی محاسبه و به مرکز پنجره نسبت داد. در حالت کلی ابعاد پنجره بایستی به گونه‌ای بوده که به تغییرات ساختاری هدف حساس باشد و نباید کمتر از طول موج موجک باشد (Conners et al., 1984). زیرا زمانی که ابعاد پنجره کوچک‌تر از طول موجک باشد باعث از دست رفتن اطلاعات بافتی شده و نمی‌توان خصوصیات بافتی را مورد بررسی قرار داد. تعیین اندازه مناسب پنجره تا حدود زیادی به تبحر و تجربه و همچنین آزمایش و بررسی احتیاج دارد (صیادی، ۱۳۹۳).

پنجره خیلی کوچک باعث ظهور پدیده‌های ناخواسته شده و هدف اصلی، مبهم خواهد شد، همچنین اعمال پنجره خیلی بزرگ، باعث از دست رفتن هدف‌های ریز در داده لرزه‌ای خواهد شد و مرزهای ساختاری، مات و محو می‌شوند (صیادی، ۱۳۹۳).



شکل ۳-۲: نحوه حرکت یک پنجره تحلیل 3×3 بر روی یک داده لرزه‌ای (Eichkitz et al, 2013).

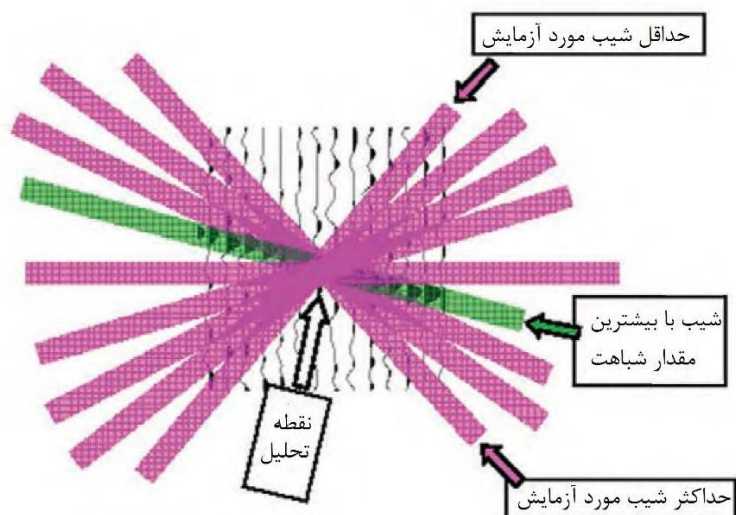
۳-۶ انتخاب تعداد سطوح خاکستری G

ابعاد $GLCM$ به وسیله بیش‌ترین مقدار سطح خاکستری یک عنصر تعیین می‌شود. تعداد سطوح خاکستری عامل مهمی در محاسبه $GLCM$ می‌باشد. سطوح بیش‌تر به این معنی است که اطلاعات بافتی استخراج شده دقیق‌تر و همچنین زمان و هزینه‌های محاسباتی افزایش یافته‌اند. پیچیدگی

محاسبات ماتریس $GLCM$ به شدت به تعداد سطوح خاکستری حساس است و متناسب با G^2 می‌باشد (Clausi and Jernigan, 1998). بنابراین برای اهداف معین باید تعداد سطوح خاکستری بهینه تعریف شود.

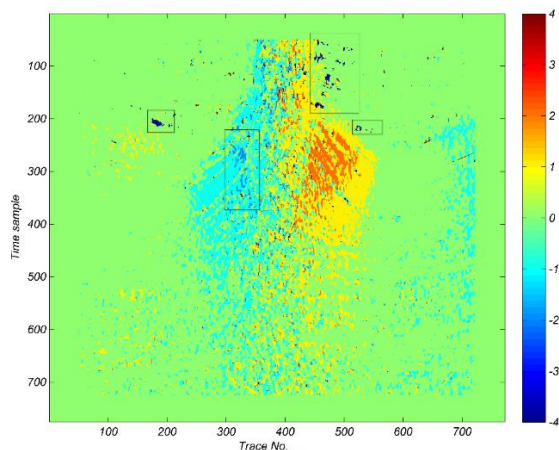
۳-۷ محاسبه شیب ساختاری

شیب ساختار در داده‌های دو بعدی و شیب و آزمون ساختار در داده‌های سه بعدی از مهم‌ترین اطلاعاتی می‌باشند که علاوه بر اینکه خود به تنهایی به عنوان یک نشانگر می‌توانند در تفسیر مورد استفاده قرار بگیرند، در محاسبه نشانگرهای دیگر نیز قابل استفاده می‌باشند (Chopra & Marfurt, 2007). روش‌های گوناگونی برای محاسبه شیب و آزمون یک ساختار از داده‌های لرزه‌ای وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش جستجوی گسسته می‌باشد. در این روش به جای محاسبه شیب و آزمون، شیب در راستای خط چشمه و خط گیرنده در داده‌های لرزه‌ای سه بعدی محاسبه می‌شود. در داده دو بعدی، مقدار شیب در راستای خط چشمه برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. مبنای این روش بر اساس تعیین مقدار شباهت در پنجره تحلیل به ازای مقادیر مختلف شیب می‌باشد. در مقدار صحیح شیب، عدد شباهت به بیشینه مقدار خود می‌رسد (صیادی، ۱۳۹۳). در شکل ۳-۳ به صورت شماتیک، نحوه محاسبه شیب با روش جستجوی گسسته نشان داده شده است.



شکل ۳-۳: نمایش شماتیک محاسبه شیب ساختاری با روش جستجوی گسسته (صیادی، ۱۳۹۳).

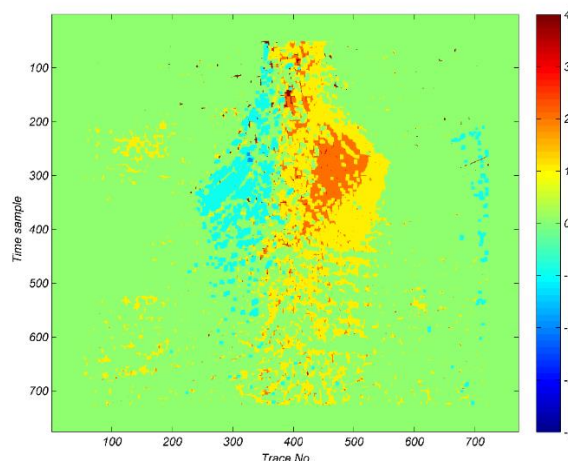
شکل ۳-۳ به صورت شماتیک، نحوه محاسبه شیب ساختاری با استفاده از روش جستجوی گسسته را نشان می‌دهد، شیب‌های متضاد در طرفین گنبد نمکی به وضوح در شکل ۳-۴ قابل مشاهده می‌باشند. نشانگرها به شیب ساختارهای زمین‌شناسی حساس می‌باشند. به عبارت دیگر، اگر پنجره متحرک در راستای شیب ساختار انتخاب شود، نتایج متفاوتی نسبت به حالتی که پنجره در راستای شیب ساختار انتخاب نشود (صیادی، ۱۳۹۳) و یا اگر داده شیب دارای مقادیر نوفه باشد، خواهد داشت.



شکل ۳-۴: شیب ساختاری محاسبه شده با استفاده از روش جستجوی گسسته.

همان‌طور که در روی شکل ۳-۴ مشاهده می‌شود داده شیب دارای مقادیری است که اصطلاحاً به آن‌ها

نوفه گویند. چون محاسبه نشانگرهای بافتی با استفاده از اعمال شیب ساختارهای مرزهای جانبی گنبد نمکی را بهتر تفکیک می کند (صیادی، ۱۳۹۳) لذا شیب محاسبه شده باید فاقد مقادیری باشد که باعث ایجاد خطا در محاسبات نشانگرها می شوند. شکل شناسی ریاضی یا مورفولوژی^۱، یک عمل گر مفید ریاضی است که می تواند تصاویر مختلف را آنالیز و پردازش کند (حسینی فرد، ۱۳۹۵). به عبارت دیگر این عمل گر اجزا موجود در تصویر را تا حدود زیادی تصحیح می کند و داده هایی که غیر معمول هستند را از بین می برد. نتیجه حاصل از اعمال عمل گر ریخت شناسی در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. با مقایسه شکل ۳-۴ و شکل ۳-۵ تاثیر عمل گر ریخت شناسی را می توان مشاهده نمود که چگونه داده های مربوط به شیب لایه بندی را به خوبی تصحیح کرده است.



شکل ۳-۵: نتیجه اعمال عمل گر ریخت شناسی بر روی مقطع شیب محاسبه شده.

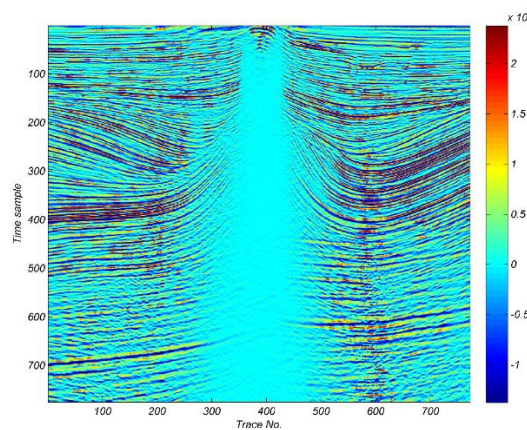
۳-۸ نشانگرهای بافتی استخراج شده از ماتریس *GLCM*

تعدادی خاصیت آماری را می توان از ماتریس *GLCM* استخراج و برای طبقه بندی تصویر از نظر بافت استفاده نمود. برای استخراج این نشانگرها بایستی ابتدا ماتریس *GLCM* را مطابق رابطه (۳-۲) به مجموع درایه های آن نرمال نمود (Haralick et al., 1973).

^۱ morphology

$$P(i, j) = \frac{G(i, j)}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} G(i, j)} \quad (2-3)$$

در جدول ۳-۱ تعداد ۸ مورد از نشانگرهای بافتی مبتنی بر *GLCM* که خروجی بهتری در شناسایی گنبد نمکی داشته‌اند، به همراه روابط آن‌ها آورده شده است. نشانگرهای بافتی لرزه‌ای که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته خواهد شد در محیط نرم افزار متلب ورژن ۲۰۱۴ کدنویسی شده و بر روی بخشی از مقطع دو بعدی که شامل یک گنبد نمکی می‌باشد و مربوط به داده‌های دریایی عمان است (شکل ۳-۶)، اعمال خواهند شد. لازم به ذکر است که این مقطع، بخشی از داده لرزه‌ای کوچ زمانی پس از برنبارش است و با گام نمونه برداری ۴ میلی ثانیه، برداشت شده است.



شکل ۳-۶: بخشی از داده لرزه‌ای دو بعدی دریایی عمان شامل گنبد نمکی.

۳-۹ اعمال نشانگرهای لرزه‌ای بر روی داده واقعی برای طول پنجره و تعداد ویژگی

مناسب

در این تحقیق نشانگرهای لرزه‌ای *GLCM*، برای دورافت ۱، زوایای θ مناسب، طول پنجره تحلیل ۲۱ و تعداد سطوح خاکستری ۳۲ محاسبه شده‌اند. در محاسبه نشانگرها، پارامترهای زیادی که از $P(i, j)$ محاسبه شده‌اند، مورد استفاده قرار می‌گیرند که در جدول ۳-۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱-۳: پارامترهای مورد استفاده در محاسبه نشانگرهای *GLCM* (صیادی، ۱۳۹۳).

$$\mu_x = \sum_{i=1}^{N_g} i \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j)$$

$$\mu_y = \sum_{j=1}^{N_g} j \sum_{i=1}^{N_g} p(i, j)$$

جدول ۲-۳: نشانگرهای لرزه‌ای بافتی استخراج شده از ماتریس *GLCM* (صیادی، ۱۳۹۳)

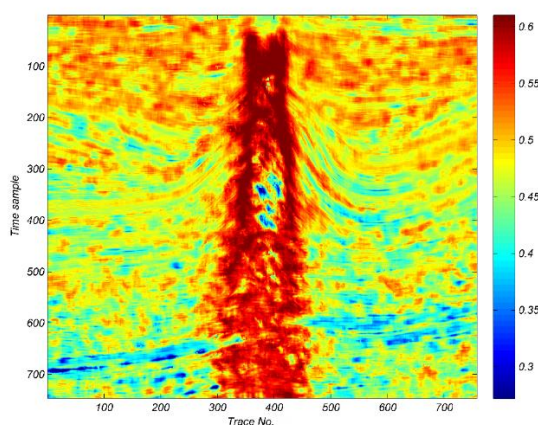
| نام نشانگر | رابطه | توضیحات |
|------------|---|--|
| انرژی | $Energy = \left(\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j)^2 \right)^{1/2}$ | نشانگر انرژی، همگنی یک تصویر را اندازه می‌گیرد. |
| برتری خوشه | $Cluster\ prominence = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i + j - \mu_x + \mu_y)^4 p(i, j)$ | این نشانگر مناطق همگن در راستای انتخاب شده را برجسته-سازی می‌کند. |
| آنتروپی | $Entropy = - \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) \log(p(i, j))$ | نشانگر آنتروپی نامرتبی و پیچیدگی تصویر را اندازه می‌گیرد. |
| واریانس | $Variance = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i - \mu)^2 p(i, j)$ | این نشانگر توزیع مقادیر در اطراف میانگین را اندازه می‌گیرد. |
| تشابه | $Similarity = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) i + j $ | تشابه کمیتی است که میزان همانندی اجزای دو ردلرزه با یکدیگر را تعیین می‌کند که نه تنها به شکل موج، بلکه به تفاضل دامنه‌ها نیز حساس است. |
| عدم تشابه | $Disimilarity = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) i - j $ | این نشانگر تمایز سطح خاکستری عنصرهای همسایه را در راستاهای خاص اندازه می‌گیرد. |
| شدت | $Intensity = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} ij p(i, j)$ | این نشانگر برای عناصر همسایه‌ای که در یک راستای خاص دارای سطوح خاکستری مشابهی هستند، مقدار بالایی نسبت به دیگر راستاها به خود می‌گیرد. |
| تباين | $Contrast = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i - j)^2 p(i, j)$ | نشانگر تباين بافت لرزه‌ای، مقدار تغییرات محلی را در یک تصویر وجود دارد، اندازه‌گیری می‌کند. |

۳-۹-۱ نشانگر انرژی

نشانگر انرژی، همگنی یک تصویر را اندازه می‌گیرد. در یک تصویر همگن، انتقال‌های سطح خاکستری غالب کمی وجود دارد. بنابراین ماتریس $GLCM$ ، برای این تصویر، ورودی‌های کمی دارد که دارای مقادیر بزرگ باشند. ماتریس $GLCM$ که در این حالت دارای تعداد زیادی از ورودی‌ها با مقادیر کوچک است، ویژگی انرژی کوچکی را نتیجه می‌دهد. زیرا این ویژگی با مجموع مربعات ورودی‌ها تولید می‌شود. این نشانگر با اندازه دامنه بازتاب‌ها سر و کار ندارد، بنابراین نباید با آن انرژی که ژئوفیزیک‌دانان در ذهن دارند اشتباه گرفته شود. به عبارت دیگر، مفهوم انرژی در بافت، با انرژی دامنه متفاوت است.

جدول ۳-۳: محاسبه نشانگر انرژی در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت.

| نمک | لایه بندی افقی | راستا |
|--------|----------------|-------|
| 0.1266 | 0.01590 | 0 |
| 0.1219 | 0.00629 | 45 |
| 0.1360 | 0.00585 | 90 |
| 0.1080 | 0.00549 | 135 |
| 0.1209 | 0.00445 | All |



شکل ۳-۷: نشانگر انرژی اعمال شده بر روی داده واقعی.

با توجه به نتایج موجود در جدول ۳-۳ و محاسبه نشانگر انرژی در راستاهای مختلف، نتیجه می‌شود که این محاسبه این نشانگر در همه راستاها جواب مطلوب تری به دست خواهد داد و همانطور که

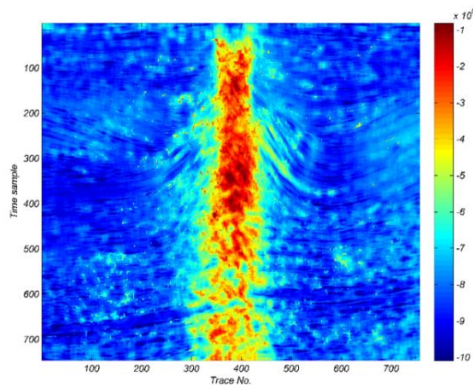
در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود نشانگر انرژی برای تمام راستاها محاسبه شده است.

۳-۹-۲ نشانگر برتری خوشه

این نشانگر مناطق همگن در راستای انتخاب شده را برجسته‌سازی می‌کند. ناحیه‌ای که شامل بازتابنده‌های افقی است، در راستای صفر درجه، همگنی بیشتری نسبت به سایر راستاها دارد. بنابراین انتظار می‌رود، نشانگر برتری در این ناحیه در راستای صفر درجه، مقادیر بالاتری نسبت به دیگر راستاها به خود اختصاص دهد. مناطق لرزه‌ای با شیب بالارونده در راستای ۴۵ درجه و مناطق دارای شیب پایین رونده، در راستای ۱۳۵ درجه، همدوسی بیشتری نسبت به سایر راستاها دارند. جدول ۳-۴ نشان دهنده محاسبه نشانگر برتری خوشه در راستاهای مختلف می‌باشد. شکل ۳-۸ نشانگر برتری خوشه را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴: محاسبه نشانگر برتری خوشه در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت.

| راستا | لایه بندی افقی | نمک |
|-------|----------------|--------------|
| 0 | $-8.4900e+5$ | $-4.3560e+5$ |
| 45 | $-9.1600e+5$ | $-4.5690e+5$ |
| 90 | $-9.2044e+5$ | $-3.2654e+5$ |
| 135 | $-9.2001e+5$ | $-5.2001e+5$ |
| All | $-9.0150e5$ | $-4.4150e5$ |



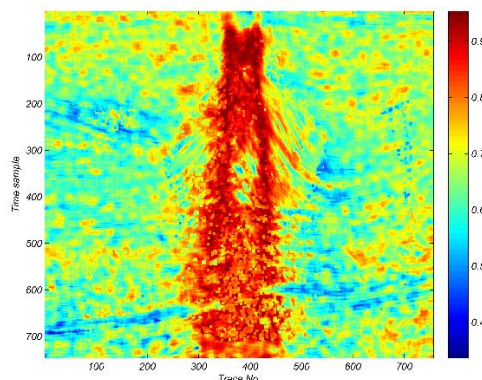
شکل ۳-۸: نشانگر برتری خوشه اعمال شده بر روی داده واقعی.

۳-۹-۳ نشانگر آنتروپی

نشانگر آنتروپی نامرتبی و پیچیدگی تصویر را اندازه می‌گیرد. بیش‌ترین آنتروپی زمانی اتفاق می‌افتد که همه مقادیر احتمالاتی، برابر باشند. بنابراین نشان دهنده توزیع تصادفی از مقادیر است. نشانگر آنتروپی، بی‌نظمی سطوح خاکستری را در پنجره تحلیل در نظر می‌گیرد. ناحیه لایه‌بندی‌های افقی، کمترین بی‌نظمی را در سطوح خاکستری در راستای صفر درجه خواهد داشت. بنابراین انتظار می‌رود، نشانگر آنتروپی برای این ناحیه در این راستا، کمترین مقدار را داشته باشد. با همین استدلال، منطقه با لایه‌بندی‌های دارای شیب پایین رونده در راستای ۴۵ درجه و لایه‌بندی‌های دارای شیب بالا رونده در راستای ۱۳۵ درجه، کمترین آنتروپی را خواهند داشت. این موضوع در جدول ۳-۵ به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. شکل ۳-۹ نشان دهنده نشانگر آنتروپی محاسبه شده بر روی داده واقعی می‌باشد. چون نمک در هیچ راستایی نظم خاصی ندارد بیشترین آنتروپی را به خود اختصاص می‌دهد.

جدول ۳-۵: محاسبه آنتروپی در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت.

| نمک | لایه بندی افقی | راستا |
|--------|----------------|-------|
| 0.9536 | 0.1793 | 0 |
| 0.9203 | 0.1743 | 45 |
| 0.9012 | 0.1664 | 90 |
| 0.9753 | 0.2128 | 135 |
| 0.9689 | 0.2000 | All |



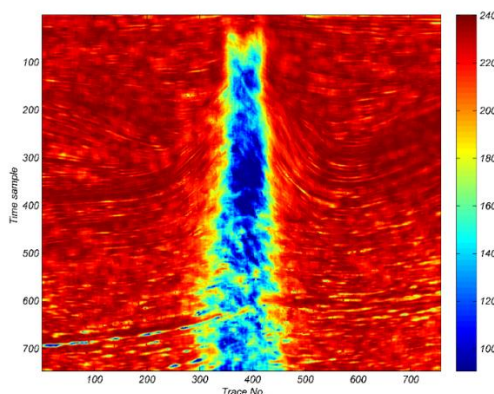
شکل ۳-۹: نشانگر آنتروپی اعمال شده بر روی داده واقعی.

۴-۹-۳ نشانگر واریانس

این نشانگر توزیع مقادیر در اطراف میانگین را اندازه می‌گیرد و نتایجی شبیه به نشانگر آنتروپی می‌دهد. هنگامی که مقادیر سطوح خاکستری از میانگین‌شان تغییر کنند، واریانس افزایش پیدا می‌کند. شکل ۳-۱۰ نتیجه محاسبه نشانگر واریانس بر روی داده واقعی را نشان می‌دهد. نتایج موجود در جدول ۳-۶ حاکی از آن است که محاسبه نشانگر واریانس در تمامی راستاها، به خوبی می‌تواند محدوده گنبد نمکی را نمایان کند.

جدول ۳-۶: محاسبه واریانس در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت.

| نمک | لایه بندی افقی | راستا |
|----------|----------------|-------|
| 121.9006 | 223.3506 | 0 |
| 121.2503 | 220.5054 | 45 |
| 131.0912 | 219.3602 | 90 |
| 119.3259 | 220.2128 | 135 |
| 123.0089 | 221.0020 | All |



شکل ۳-۱۰: نشانگر واریانس اعمال شده بر روی داده واقعی.

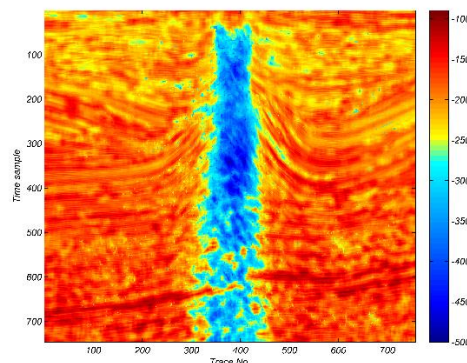
۵-۹-۳ نشانگر تشابه

تشابه کمیتی است که میزان همانندی اجزای دو ردلرزه با یکدیگر را تعیین می‌کند که نه تنها به شکل موج، بلکه به تفاضل دامنه‌ها نیز حساس است. با توجه به نتایج جدول ۳-۷ برای نشانگر تشابه، این

نشانگر در محدوده لایه بندی در همه راستاها، بیشترین مقدار را نسبت به دیگر نواحی به خود اختصاص می دهد بنابراین محاسبه نشانگر تشابه در همه راستاها نتیجه مطلوبی برای آشکارسازی لایه بندی خواهد داد و نمک را بصورت آنومالی کم نشان خواهد داد، که در شکل ۳-۱۱ به خوبی نتیجه اعمال این نشانگر بر روی داده واقعی دیده می شود.

جدول ۳-۷: محاسبه تشابه در دو منطقه مختلف لرزه ای در راستاهای متفاوت.

| نمک | لایه بندی افقی | راستا |
|-----------|----------------|-------|
| -441.1206 | -213.3650 | 0 |
| -441.2903 | -212.5540 | 45 |
| -441.0950 | -213.6032 | 90 |
| -449.3208 | -213.2281 | 135 |
| -443.5909 | -214.9053 | All |



شکل ۳-۱۱: نشانگر تشابه اعمال شده بر روی داده واقعی.

مقدار تشابه برای همه زوج ردلرزه های محتمل در هر نمونه زمانی و در زمان های مختلف بر پایه فاصله اقلیدسی بهنجار شده محاسبه می شود. اندازه تشابه، مقادیری از صفر (عدم تشابه دو ردلرزه) تا یک (تساوی دو ردلرزه) را به دست می دهد.

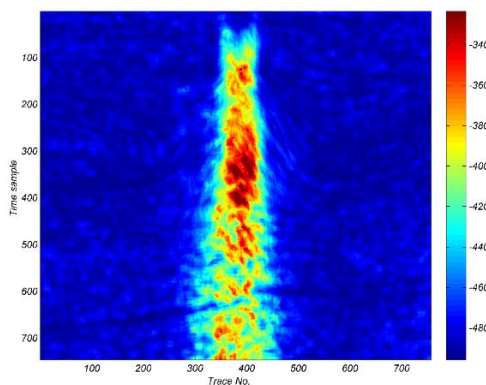
۳-۹-۶ نشانگر عدم تشابه

این نشانگر تمایز سطوح خاکستری عنصرهای همسایه را در راستاهای خاص اندازه می گیرد. چون نمک کاملاً بی نظم است لذا تمایز سطوح خاکستری در محدوده گنبد نمکی دارای بیشترین مقدار می باشد

که نتایج آن به خوبی در شکل ۳-۱۲ قابل مشاهده است. نتایج موجود در جدول ۳-۸ نیز حاکی از پایین بودن مقدار عدم تشابه در محدوده گنبد نمکی می باشد.

جدول ۳-۸: محاسبه عدم تشابه در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت.

| نمک | لایه بندی افقی | راستا |
|-----------|----------------|-------|
| -340.9642 | -470.3560 | 0 |
| -340.9023 | -469.5540 | 45 |
| -341.0850 | -471.9062 | 90 |
| -349.3909 | -470.2821 | 135 |
| -340.5209 | -412.5033 | All |



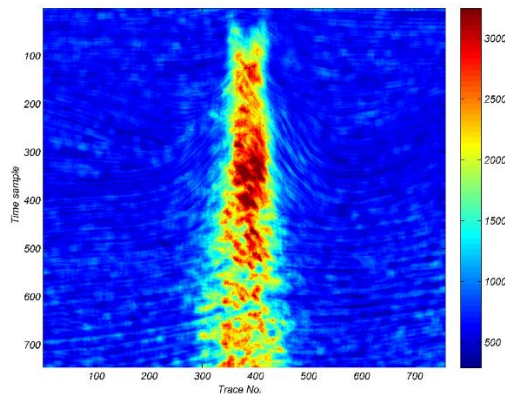
شکل ۳-۱۲: نشانگر عدم تشابه اعمال شده بر روی داده واقعی.

۳-۹-۷ نشانگر شدت

این نشانگر برای عناصر همسایه‌ای که در یک راستای خاص دارای سطوح خاکستری مشابهی هستند، مقدار بالایی نسبت به دیگر راستاها به خود می‌گیرد. به عبارت دیگر هرچه عناصر همسایه در یک راستا شبیه‌تر باشند، شدت در آن راستای خاص بیشتر می‌شود، بنابراین با این نشانگر می‌توان پیوستگی بازتابنده‌ها را در راستاهای مختلف بررسی کرد. نتایج موجود در جدول ۳-۹ نشان می‌دهد که چون محدوده گنبد نمکی عناصر همسایه کاملاً به هم شبیه هستند مقدار نشانگر شدت دارای مقادیر یکسانی خواهد بود و همانطور که در شکل ۳-۱۳ نیز مشاهده می‌شود مقدار شدت در محدوده گنبد نمکی بیش‌تر خواهد بود.

جدول ۹-۳: محاسبه شدت در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت.

| نمک | لایه بندی افقی | راستا |
|-----------|----------------|-------|
| 2230.3560 | 780.9642 | 0 |
| 2230.2821 | 789.5209 | 45 |
| 2231.0850 | 790.9062 | 90 |
| 2239.9023 | 783.3909 | 135 |
| 2230.5540 | 760.5033 | All |



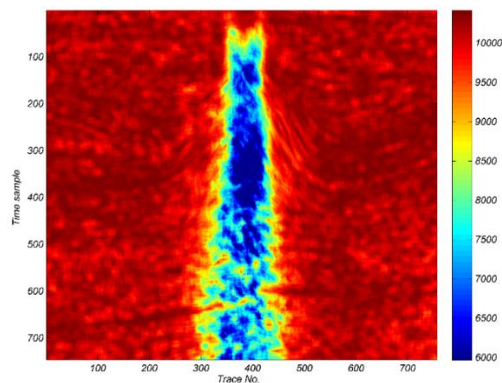
شکل ۱۳-۳: نشانگر شدت اعمال شده بر روی داده واقعی.

۸-۹-۳ نشانگر تباین

نشانگر تباین بافت لرزه‌ای، مقدار تغییرات محلی موجود در یک تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. نتایج موجود در جدول ۱۰-۳ نشان می‌دهد نشانگر تباین دارای مقادیر یکسانی در محدوده گنبد نمکی خواهد بود و همانطور که در شکل ۱۳-۳ نیز مشاهده می‌شود مقدار تباین به دلیل همگنی و یکنواخت بودن بافت نمک، در محدوده گنبد نمکی کم‌تر خواهد بود.

جدول ۱۰-۳: محاسبه تباین در دو منطقه مختلف لرزه‌ای در راستاهای متفاوت.

| نمک | لایه بندی افقی | راستا |
|-----------|----------------|-------|
| 6520.2312 | 8570.5033 | 0 |
| 6520.5209 | 8579.2821 | 45 |
| 6521.0836 | 8570.9062 | 90 |
| 6529.9753 | 8573.3969 | 135 |
| 6520.9642 | 8570.2560 | All |



شکل ۳-۱۴: نشانگر تبیین اعمال شده بر روی داده واقعی.

با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای استخراج شده از توابع ریاضی (Brown, 2001)، ویژگی‌ها و اطلاعات بسیار زیادی از داده لرزه‌ای را می‌توان مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. به این دلیل که پدیده‌های زمین‌شناسی مختلف پاسخ لرزه‌ای متفاوتی نسبت به زمینه‌شان می‌دهند با استفاده از نشانگرهای مختلف توصیف روشنی می‌یابند. اگرچه نشانگرهای لرزه‌ای مختلف به پدیده‌های زمین‌شناسی خاصی حساس نیستند (Meldahl et al., 2001) اما انتخاب صحیح نوع نشانگر می‌تواند کمک بسزایی در تفسیر پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی بکند. همانطور که در فصل اول گفته شد به دلیل بافت متفاوت نمک نسبت به رسوبات اطرافش در این تحقیق برای شناسایی این پدیده از نشانگرهای بافتی *GLCM* استفاده شده است. همچنین از میان ۱۴ نشانگر *GLCM* تنها ۸ مورد از آن‌ها که پاسخ بهتری داده‌اند، استفاده شده است. در شکل‌های ۳-۷ تا ۳-۱۴ نتایج نشانگرهای بافتی *GLCM* برای داده لرزه‌ای دوبعدی شکل ۳-۶ همراه با شیب نشان داده شده است. نشانگر انرژی، همگنی یک تصویر را اندازه می‌گیرد چون گنبد نمکی همگنی بیشتری نسبت به رسوبات اطرافش دارد لذا با توجه به شکل ۳-۷ این نشانگر محدوده گنبد را با مقادیر بالا نشان می‌دهد. از طرف دیگر نشانگر برتری خوشه، نواحی هم‌دوس را در یک راستای خاص برجسته سازی کرده و همان‌طور که در شکل ۳-۸ مشاهده می‌شود، نمک را با مقادیر بالا نمایش می‌دهد. نشانگر آنروپی، بی‌نظمی سطوح خاکستری را در پنجره تحلیل در نظر می‌گیرد و ناحیه نمکی را همانند شکل ۳-۹ با کم‌ترین آنروپی نسبت به دیگر مناطق نشان می‌دهد. نشانگر تشابه شباهت بین

ردلرزه‌ها را اندازه می‌گیرد و همان‌طور که در شکل ۳-۱۱ مشاهده می‌شود این نشانگر محدوده گنبد نمکی را با مقادیر بالا نشان می‌دهد، ولی شکل ۳-۱۲ نشانگر عدم تشابه می‌باشد که تمایز سطح خاکستری عنصرهای همسایه را در راستاهای خاص اندازه می‌گیرد و محدوده نمکی را طبق با مقادیر بالا نشان می‌دهد. نشانگر شدت برای عناصر همسایه‌ای که در یک راستای خاص دارای سطوح خاکستری مشابهی هستند، مقدار بالایی نسبت به دیگر راستاها به خود می‌گیرد و همان‌طور که در شکل ۳-۱۳ مشاهده می‌شود این نشانگر برای ناحیه نمکی مقدار بالاتری به خود اختصاص می‌دهد. نشانگر تباین بافت لرزه‌ای که در شکل ۳-۱۴ به خوبی قابل مشاهده می‌باشد، مقدار تغییرات محلی را که در یک تصویر وجود دارد، را اندازه‌گیری می‌کند. یکنواخت بودن بافت نمک و اختلاف کم دامنه‌های محدوده نمک منجر به کاهش مقدار نشانگر تباین می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۳-۷ تا ۳-۱۴ مشاهده می‌شود، برخی از آن‌ها در شناسایی محدوده جانبی گنبد و برخی دیگر در شناسایی عمقی نمک از زیر نمک بهتر عمل کرده‌اند و با توجه به اینکه پاسخ نشانگرهای مختلف ممکن است کمی متفاوت باشند و هر کدام دارای اطلاعات مجزایی می‌باشند و امکان دارد بعضی از آن‌ها در مواردی خاص در شناسایی گنبد نمکی با مشکلاتی روبه‌رو شوند به نظر می‌رسد اگر از ترکیب نتایج چند نشانگر استفاده گردد، خروجی دقیق‌تر خواهد بود.

فصل چهارم: مدل سازی و
تلفیق نشانگرهای لرزه ای با
استفاده از *GIS*

۴-۱ مقدمه و معرفی GIS

جمع‌آوری اطلاعات تشکیل پایگاه اطلاعاتی مهم‌ترین، وقت‌گیرترین و گران‌ترین بخش هر پروژه GIS است؛ چرا که اگر این مرحله از دقت کافی برخوردار نباشد، تمام مراحل بعدی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به اینکه در GIS از حجم بزرگی از داده‌های جمع‌آوری شده برای هدفی خاص استفاده می‌شود، سازمان‌دهی و مدیریت این اطلاعات از اهمیت زیادی برخوردار است. در صورتی که طرح کلی سازمان‌دهی برای کاربرد عملی مناسب نباشد، نمی‌توان در نهایت نتایج مفید و ارزشمندی بدست آورد. بنابراین کارایی و نوع سازمان‌دهی داده‌ها، تمام فعالیت‌های بعدی را کنترل می‌کند (Bonham-Carter 1994).

ترکیب و تلفیق در محیط GIS، به معنی هماهنگ کردن داده‌های مختلف از منابع متفاوت است. اغلب داده‌هایی که در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، از منابع مختلف تهیه و در قالب‌های متفاوت ذخیره می‌شوند. در GIS امکاناتی فراهم شده تا بتوان داده‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه و ترکیب کرد. به علاوه هنگامی که داده‌ها مختلف به صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرند، روابط فضایی بین آن‌ها به آسانی آشکار نمی‌شود. با ترکیب و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی متنوع از منابع مختلف به کمک روابط ریاضی ساده و پیچیده در این نرم افزار، درک و تفسیر پدیده‌های مختلف بهتر و دقیق‌تر انجام می‌شود. GIS به کمک اندازه‌گیری و محاسبات آماری بر روی داده‌های مکانی، مدل‌های متنوعی جهت تجزیه و پدیده‌های مختلف ارائه می‌کند. امروزه در بیش‌تر علوم برای انواع منابع و ساختارهای زمین‌شناسی، ارزیابی خطرات، مسائل زیست‌محیطی و بررسی برای یافتن محل مناسب به منظوری خاص، که همگی نیاز به جمع‌آوری داده‌های مکانی از چندین منبع دارند، از GIS استفاده می‌شود (Bonham-Carter 1994). هدف این فصل تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای به منظور شناسایی بهتر مرزهای گنبد نمکی با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS می‌باشد.

برخی دیگر از کاربردهای GIS در علوم زمین به شرح زیر است (نوروزی، ۱۳۹۳):

الف) تهیه نقشه‌های حوادث و بلایای طبیعی، پایداری شیب، زمین لرزه‌ها، منطقه‌بندی خسارت زمین لرزه، فوران آتشفشان‌ها، خسارت ناشی از طغیان رود خانه‌ها.

ب) انتخاب محل مناسب برای اجرای پروژه‌های مهندسی نظیر دفع مواد زائد، خطوط لوله، جاده و مسیر راه‌آهن، سدها، توسعه و گسترش ساختمان‌سازی.

ج) ارزیابی منابع زیرزمینی مانند آب، شن و ماسه، سنگ ساختمانی، نفت و گاز، زغال سنگ، انرژی زمین‌گرمایی و سایر منابع معدنی.

د) تحقیق و یافتن ارتباط میان داده‌های زیست‌محیطی و سایر داده‌ها.

۲-۴ مدل‌سازی در GIS

برای آنالیز مکانی در GIS مدل‌های مختلفی وجود دارد که این مدل‌ها بر اساس توابع و عمل‌گرهای موجود و نوع عملکردشان بر پایه داده (داده‌محور) یا دانش کارشناسی (دانش‌محور) به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. در مدل‌سازی متکی بر داده‌ها^۱، نقشه‌های ورودی گوناگون با استفاده از مدل‌های نظیر رگرسیون لجستیکی^۲، وزن‌های شاهد^۳ و یا تجزیه و تحلیل شبکه‌های عصبی مصنوعی^۴، ترکیب می‌شوند. از مدل‌های متکی بر دانش^۵، نیز می‌توان به روش‌های منطق فازی^۶، و هم‌پوشانی شاخص^۷ اشاره نمود (Bonham-Carter, 1994; Dercole et al., 2000; Carrenza, 2002).

در این تحقیق، مدل‌سازی شناسایی گنبد نمکی با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای با روش‌های منطق

^۱ Data-driven

^۲ Logistic regression

^۳ Weights of evidence

^۴ Neural network artificial

^۵ Knowledge-driven

^۶ Fuzzy logic

^۷ Index overlay

فازی (یوسفی، ۱۳۹۱)، ارزش منتظره^۱ (Yousefi and Carrenza, 2015b) و میانگین هندسی^۲ (2015b) پرداخته می‌شود که در ادامه به تفصیل در مورد آن‌ها بحث خواهد شد.

۳-۴ روش‌های فازی

برای تعریف و شناخت منطق فازی هیچ واژه و عبارت پیچیده‌ای نیاز نیست. زمانی که انسان اندیشه را آغاز کرد و برای بیان اندیشه خود از زبان استفاده کرد، منطق فازی شکل گرفت. انسان نخستین می‌توانست بگوید هوا گرم، سرد و یا اینکه معتدل است. نیازی به هیچ آداب و ترتیب خاصی هم نبود. اما وقتی منطق علمی مبتنی بر تفکر ارسطویی شکل گرفت نوع جدیدی از شیوه اندیشه پیرامون پدیده‌ها جایگزین دیدگاه انسان آزاد شد. در این شیوه علمی همه پدیده‌ها حالت دو وجهی پیدا کردند و اندیشیدن، تابع یک نظم علمی گردید. منطق فازی در واقع راهی برای شکستن همین نظم علمی منطبق بر تفکر دو ارزشی است. به سخن دیگر، منطق فازی راهی برای اندیشیدن علمی به شیوه انسان پیش از دوران منطق علمی است.

منطق فازی برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی علی عسگرزاده، پروفیسور علوم کامپیوتر دانشگاه برکلی کالیفرنیا ارائه شد. به صورت مفهومی منطق فازی، چند ارزشی است و اجازه می‌دهد که ارزش‌هایی مثل "درست و نادرست"، "بله و خیر" یا "بالا و پایین" و ... را تعریف کرد. منطق فازی طیف نامحدودی از خاکستری بین سیاه و سفید در نظر می‌گیرد، لذا منطق فازی را می‌توان منطق خاکستری نامید. منطق دو ارزشی، منطق خاکستری را نادیده می‌گیرد، آن را نفی می‌کند، یا آن را به طور کامل سیاه و سفید فرض می‌کند. می‌توان مفاهیمی چون "خیلی"، "نسبتاً"، "تقریباً" و ... را که از پایه‌های اندیشه و استدلال‌های معمولی انسان می‌باشند، به صورت ریاضی در آورد تا به وسیله کامپیوتر قابل فهم باشند و از این طریق بتوان برنامه‌های کامپیوتری که به منطق و تفکر انسان

^۱ expected value

^۲ Geometric average

نزدیک‌ترند را بوجود آورد (عطایی، ۱۳۹۰؛ رمضان‌نیا طلوتی، ۱۳۹۲؛ غفاری و همکاران، ۱۳۷۷).

به طور کلی در منطق فازی دانستن سه چیز ضروری است که عبارتند از، اول تعریف مدلی برای متغیرها، دوم چگونگی ارتباط متغیرها (اگر چند متغیر ورودی داشته باشیم) و سوم چگونگی نتیجه‌گیری. در واقع هدف نهایی منطق فازی ایجاد یک نظریه برای استدلال در مورد گزاره‌هایی است که درستی یا نادرستی آن‌ها به صورت قطعی مشخص نیست. به این نوع استدلال، استدلال تقریبی یا نسبی نیز گفته می‌شود. در منطق فازی درستی یک گزاره را می‌توان با مقداری در بازه $[0,1]$ نمایش داد (رمضان‌نیا طلوتی، ۱۳۹۲).

۱-۳-۴ ریاضیات کلاسیک و فازی

در حالت کلی، ریاضیات را می‌توان به دو شاخه کلی ریاضیات کلاسیک و ریاضیات فازی تقسیم کرد:

(۱) ریاضیات کلاسیک: در ریاضیات کلاسیک، استدلال‌ها دقیق، صریح و قطعی‌اند.

(۲) ریاضیات فازی: ریاضیات فازی نشان دهنده استدلال‌های تقریبی و نسبی هستند. سیستم‌هایی

که با منطق فازی کار می‌کنند هوشمندانه‌ترند (مدنی، ۱۳۹۰).

علم ریاضیات به شکل کلاسیک آن، نگرشی دو ارزشی به مسائل دارد. بود یا نبود، هست یا نیست، ارزش‌های آن است. از این منظر پاسخ‌های یک مسئله درست یا نادرست و مقادیر نظیر آن‌ها صفر یا یک است. حالت بینابینی وجود ندارد. اما در دنیای واقعی پدیده‌هایی فعالند که توجیه آن‌ها در چارچوب یک طیف پیوسته بین بود یا نبود به طور مناسب‌تری صورت می‌گیرد (Kentwell et al., 1999).

۲-۳-۴ مجموعه‌های کلاسیک

در حالت کلی، مجموعه A را کلاسیک گویند هرگاه تابع عضویت آن درجه عضویت عنصر x را توسط دو مقدار صفر و یک نمایش دهد (Zimmermann, 1996؛ نوروزی، ۱۳۹۳؛ تشنه لب و همکاران، ۱۳۷۸):

$$\mu_A(x): \begin{cases} 1 & \forall x \in A \\ 0 & \forall x \notin A \end{cases} \quad (1-4)$$

به عبارت دیگر اگر x عضو مجموعه A باشد، درجه عضویت ۱ و اگر متعلق به این مجموعه نباشد دارای درجه عضویت ۰ خواهد بود.

۳-۳-۴ مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های کلاسیک دارای مرزهای معینی می‌باشند، بنابراین نمی‌توانند بعضی مجموعه‌هایی که دارای مرزهای مشخص و روشنی نیستند را به درستی تعریف کنند. برای حل مشکل تئوری مجموعه‌های کلاسیک، مجموعه‌های فازی ارائه گردید (نوروزی، ۱۳۹۳). بنابراین یک مجموعه فازی تعمیم یک مجموعه کلاسیک است که امکان می‌دهد تا تابع تعلق، هر مقداری را در بازه $[0,1]$ اختیار کند. به عبارت دیگر یک مجموعه کلاسیک فقط می‌توانست دو مقدار ۰ و ۱ داشته باشد، در حالی که تابع تعلق یک مجموعه فازی، یک تابع پیوسته در محدوده $[0,1]$ است. پس هرچه مقدار $\mu_A(x)$ به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده تعلق بیش‌تر x به مجموعه فازی A است، بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان دهنده تعلق کم‌تر x به مجموعه A است (نوروزی، ۱۳۹۳؛ تشنه لب و همکاران ۱۳۷۸؛ عطایی، ۱۳۹۰؛ غفاری و همکاران، ۱۳۷۷). ویژگی‌های اصلی مجموعه‌های فازی شامل موارد زیر است:

الف) درک تئوری مجموعه‌های فازی از لحاظ مفهومی آسان و مفاهیم ریاضی که پشت استدلال فازی وجود دارد، خیلی ساده است و آن‌چه که باعث شده تئوری فازی مورد علاقه بسیاری از محققان قرار بگیرد، ساده بودن آن است.

ب) مجموعه‌های فازی انعطاف‌پذیرند.

ج) مجموعه‌های فازی سازگار با داده‌های غیر دقیق‌اند.

د) به کمک مجموعه‌های فازی می‌توان توابع غیرخطی با پیچیدگی مختلف را مدل‌سازی کرد.

ه) تئوری فازی را می‌توان با تکنیک‌های معمولی، ترکیب کرد (زارغ تفت، ۱۳۸۸).

استدلال با مجموعه‌های فازی، منطق فازی نامیده می‌شود. منطق فازی در حل مسائلی که درک آن‌ها مشکل است، ابزاری توانمند به شمار می‌رود. در منطق فازی بجای دو ارزشی بودن، طیفی از ارزش‌ها، در بازه بسته بین صفر و یک وجود خواهد داشت. با این طیف می‌توان عدم قطعیت را به خوبی نمایش داد. تمایز عمده منطق فازی با منطق چندارزشی آن است که در منطق فازی مفهوم یک عبارت نیز می‌تواند مبهم باشد (مانند سردی هوا). در منطق فازی می‌توان جملاتی را که معمولاً در محاوره روزانه برای ارزش گذاری مسائل استفاده می‌شود، از قبیل کاملاً درست است، کم و بیش درست است، تا حدی نادرست است و ... را به کار ببندیم. به طور کلی اگر میزان پیچیدگی و عدم قطعیت سیستم کم باشد، می‌توان با استفاده از معادلات ریاضی با دقت بالا، سیستم را مدل‌سازی کرد. اگر پیچیدگی سیستم کمی افزایش یابد، در صورتی که به اندازه کافی داده موجود باشد، می‌توان سیستم را با استفاده از روش‌هایی همچون شبکه عصبی مصنوعی^۱ مدل‌سازی کرد. اما اگر پیچیدگی سیستم زیاد بوده و داده کافی موجود نباشد و یا داده‌های موجود مبهم و غیر صریح باشند، منطق فازی بهترین وسیله برای مدل‌سازی سیستم خواهد بود. علی‌رغم این که منطق فازی بر پایه ریاضیات پیشرفته و پیچیده‌ای قرار دارد، یادگیری آن بسیار آسان است. از نظر تئوری هر سیستمی که توسط منطق فازی طراحی شده باشد توسط سایر تکنیک‌های پیاده‌سازی مرسوم نیز قابل پیاده‌سازی است، اما ممکن است این شیوه‌ها نسبت به منطق فازی پیچیده‌تر و مشکل‌تر باشند (عطایی، ۱۳۹۰).

۴-۳-۴ توابع عضویت

میزان عضویت اعضا در یک مجموعه فازی را با عددی بین صفر و یک نشان می‌دهند که درجه عضویت نامیده می‌شود. درجه عضویت صفر یعنی عضو در این مجموعه هیچ عضویتی ندارد. به عنوان مثال میزان اگر یک مجموعه فازی شامل افراد جوان در نظر گرفته شود، عضویت یک فرد ۷۵ ساله در مجموعه

^۱ Artificial Neural Network (ANN)

فازی جوان صفر است. درجه عضویت یک، یعنی فرد ۱۰۰ درصد عضو مجموعه است مانند یک فرد ۱۹ ساله. اگر سن عضو X ، ۳۰ سال باشد، می‌توان وی را به اندازه 0.7 عضو مجموعه جوان دانست. در مجموعه‌های فازی برخلاف مجموعه‌های قطعی، عناصر به دو دسته عضو و غیر عضو تقسیم نمی‌شوند، بلکه بر اساس آن‌چه کاربر تعریف می‌کند، میزان عضویت عناصر مختلف در مجموعه‌های فازی بین صفر و یک متغیر است. به طور کلی مجموعه‌های فازی شامل یک سری از اعداد هستند که هر کدام دارای یک درجه عضویت $\mu_A(x)$ هستند. اگر X مجموعه مرجع (قلمرو هستی) باشد، هر مجموعه فازی در X به صورت زوج و مرتب‌های زیر نشان داده می‌شود (Zimmermann, 1996):

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, x \in X \quad (2-4)$$

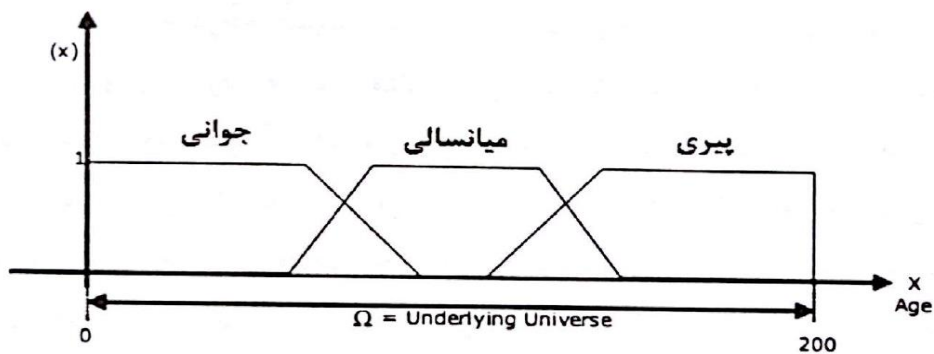
که در آن x مقدار متغیر و $\mu_A(x)$ ، بیانگر تابع عضویت برای یک مجموعه فازی A می‌باشد.

توابع عضویت فازی میزان عضویت یک عنصر را در یک مجموعه فازی نشان می‌دهند (Baglio et al., 1994). یکی از اساسی‌ترین مفاهیم در منطق فازی تابع عضویت است که به هر عضو مجموعه یک مقدار عضویت در بازه $[0,1]$ می‌دهد و به صورت رابطه (۳-۴) می‌شود (امینی، ۱۳۸۷؛ نوروزی ۱۳۹۳):

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (3-4)$$

در شکل ۴-۱ نمایشی از سه مجموعه فازی جوانی، میان‌سالی و پیری آمده است. اگر مفهوم جوانی به عنوان یک مجموعه فازی در نظر گرفته شود و x مقادیر سن در مجموعه اعداد طبیعی باشند، یک نمایش از این مجموعه فازی می‌تواند مشابه رابطه (۴-۴) باشد (عطایی، ۱۳۹۰):

$$\text{جوان} = \frac{1}{0} + \dots + \frac{1}{25} + \frac{0.9}{26} + \frac{0.8}{27} + \frac{0.7}{28} + \frac{0.6}{29} + \frac{0.5}{30} + \dots + \frac{0.1}{34} \quad (4-4)$$



شکل ۱-۴: نمودار تابع درجه عضویت سه مجموعه فازی جوانی، میان‌سالی و پیری (عطایی، ۱۳۹۰).

مجموعه فازی A را می‌توان به شکل رابطه (۵-۴) نمایش داد که $\mu_A(x_1)$ درجه عضویت x_1 در مجموعه A می‌باشد که بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند (عطایی، ۱۳۹۰):

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2)}{x_2}, \dots, \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} \quad (۵-۴)$$

هیچ روش قطعی برای تعیین تابع عضویت وجود ندارد و این مساله بیش از همه یک مسئله حسی و تجربی بوده که ممکن است با توجه به شرایط مختلف توسط کارشناسان و محققان تعیین شود. درجات تابع عضویت یک مجموعه فازی هم بر اساس داورهای شخصی و هم مشاهده‌ها و نتایج عملی و عینی صورت می‌گیرد (غفاری و همکاران، ۱۳۷۷). معمولاً برای تعیین تابع عضویت از روش‌های زیر استفاده می‌شود (عطایی، ۱۳۹۰):

۱- استفاده از دانش خبرگان: در این روش از افراد خبره خواسته می‌شود در حوزه دانش و تخصص خود توابع عضویت مناسب را مشخص کنند. این راه حل فقط می‌تواند یک فرمول ساده و خام برای تابع عضویت در اختیار بگذارد و برای استفاده، باید آن را تنظیم و تطبیق کرد. در مفاهیمی که جنبه‌های ذهنی آن‌ها مدنظر باشد (مانند مفهوم پیری) که افراد مختلف برداشت‌های مختلفی از این مفهوم دارند، باتوجه به درک افراد از این مفاهیم و نوع استفاده از آن‌ها، تابع عضویت شکل می‌گیرد.

۲- استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده: در این روش در ابتدا به‌طور خاصی ساختار تابع عضویت

مشخص می‌شود و سپس پارامترهای توابع عضویت براساس داده‌های جمع‌آوری شده به طور دقیق تنظیم می‌شوند. در مفاهیمی که در آن‌ها جنبه شخصی و ذهنی در آن کم رنگ است، تابع عضویت براساس مشاهده‌ها و تطبیق‌های عینی شکل می‌گیرد. البته در این موارد نیز ممکن است قضاوت افراد مختلف درباره میزان تطبیق متفاوت باشد، ولی در هر صورت آنچه اصل و اساس است و به آن تکیه می‌شود، شرایط عینی این مفاهیم می‌باشد.

به طور کلی برای بدست آوردن تابع عضویت ابتدا نیاز به گرفتن مقدار عضویت به طور تجربی می‌باشد و بر اساس این مقادیر تجربی تابع عضویت شکل می‌گیرد (عطایی، ۱۳۹۰). تابع عضویت بر روی مجموعه‌های فازی تعریف شده و با توجه به نوع مجموعه مورد نظر ممکن است به اشکال مختلفی باشد، اما اغلب آن‌ها را به همراه نمودارهایی که نشانگر تابع عضویت هستند می‌شناسند. تابع عضویت دربرگیرنده تمام اطلاعات مرتبط با مجموعه فازی می‌باشد که توسط نوع تابع و متغیرهای مرتبط با آن تعریف می‌شود (امینی، ۱۳۸۷).

از متداول‌ترین توابع عضویت می‌توان به توابع عضویت لجستیکی، مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسین و خطی اشاره کرد که در علوم مهندسی برای طراحی سامانه کنترل فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی توابع عضویت، دامنه نامتناهی (R) و برد $[0,1]$ است. به این معنا که هر عنصر می‌تواند مقدار تعلق بین ۰ و ۱ به یک مجموعه داشته باشد. تعلق کامل وقتی حاصل می‌شود که خروجی تابع عضویت مقدار ۱ باشد و در مقابل، مقدار خروجی ۰ به معنی عدم تعلق عنصر به مجموعه مورد نظر است (مدنی، ۱۳۹۰).

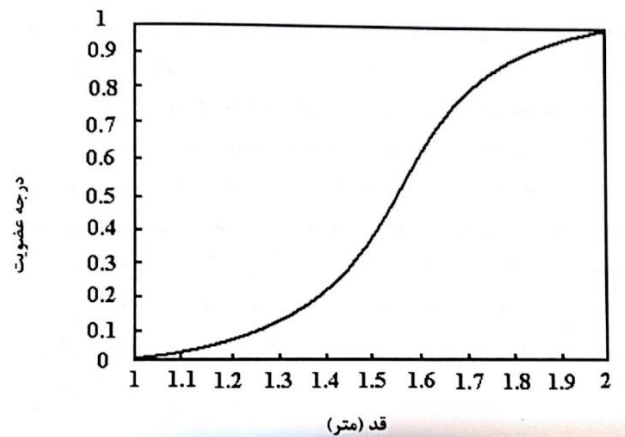
۱-۴-۳-۴ نمایش توابع عضویت

روش‌های متداول برای نمایش توابع عضویت عبارتند از (فاضل زرنندی، ۱۳۸۱؛ حسینی، ۱۳۸۶):

الف-نمایش ترسیمی^۱

^۱ Graphical Representation

متداولترین نوع نمایش توابع عضویت در مجموعه‌های فازی روش نمایش ترسیمی می‌باشد. در این روش توابع عضویت را به صورت نمودار رسم می‌کنند که در این نمودار، انتقال از غیر عضو به کاملاً عضو دارای منحنی با شیب ملایم است. ارتفاع منحنی بسته به قضاوت شخص می‌تواند صعودی یا نزولی باشد. بعنوان مثال تابع عضویت بلندی قد از چپ به راست صعودی است (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: تابع عضویت مجموعه فازی با مفهوم بلندی قد (حسینی، ۱۳۸۶).

ب- نمایش به صورت جدول و لیست

اگر مجموعه مرجع محدود باشد، معمولاً توابع عضویت آن‌ها با جداول نشان داده می‌شوند. در جدولی که یک مجموعه فازی را نشان می‌دهد، همه عناصر مجموعه مرجع همراه با درجه عضویت آن‌ها در مجموعه فازی لیست می‌شوند.

ج- نمایش عددی^۱

هنگامی که تعداد اعضای مجموعه مرجع خیلی زیاد، یا به عبارت دیگر نامحدود باشد، لیست کردن همه اعضا همراه با مقدار عضویت مربوطه غیر ممکن است. مجموعه اعداد حقیقی نمونه‌ای از مجموعه مرجع نامحدود است. مثلاً مجموعه مرجع مربوط به مجموعه فازی حدوداً ۵، یک مجموعه از همه اعداد حقیقی است. این گونه مجموعه‌های فازی را اعداد فازی می‌نامند. یک عدد فازی ممکن است به صورت

^۱ Analytic Representation

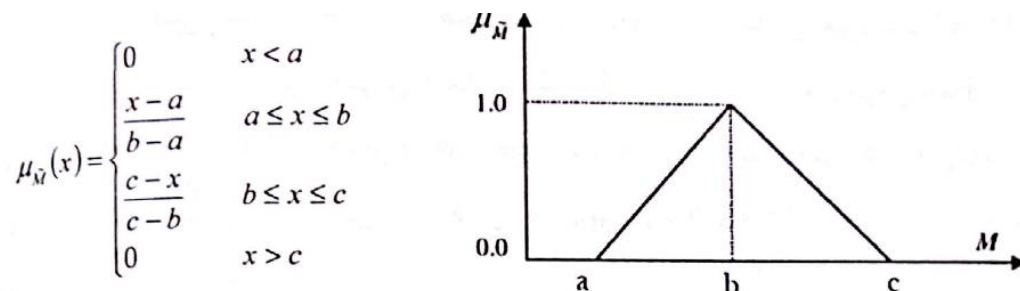
مثلی^۱، دوزنقه‌ای^۲، گوسی^۳، زنگوله‌ای^۴ و یا لجستیکی^۵ بیان شود.

در حالت مثلی عدد مربوطه را به صورت $M = (a, b, c)$ نمایش می‌دهند که پارامترهای a ، b و c به ترتیب بیان‌گر کم‌ترین مقدار ممکن (کران پایین)، محتمل‌ترین مقدار (میانه) و بیش‌ترین مقدار ممکن (کران بالا) برای عدد موردنظر هستند و عدد مورد نظر می‌تواند بین a تا c تغییر کند (شکل ۴-۳) (حسینی، ۱۳۸۶).

عدد فازی گوسی طبق رابطه (۴-۶) نشان داده می‌شود (عطایی، ۱۳۹۰):

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (۴-۶)$$

که در این رابطه m میانگین توزیع و σ انحراف استاندارد توزیع می‌باشد.



شکل ۴-۳: عدد فازی مثلی (حسینی، ۱۳۸۶).

در حالت دوزنقه‌ای عدد مربوطه را به شکل $M = (a, b, c, d)$ نمایش می‌دهند که منظور آن این است که عدد موردنظر می‌تواند بین a تا d تغییر کند (شکل ۴-۴) (نوروزی، ۱۳۹۳؛ Xu et al., 2010).

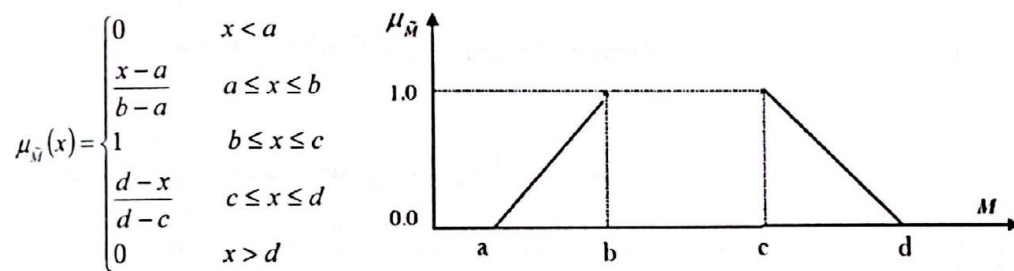
^۱ Triangular Fuzzy Number = T.F.N

^۲ Trapezoidal Fuzzy Number

^۳ Gaussian Fuzzy Number

^۴ Bell Shape Fuzzy Number

^۵ Logistic Fuzzy Number



شکل ۴-۴: عدد فازی دوزنقه ای (عطایی، ۱۳۹۰؛ نوروزی، ۱۳۹۳، حسینی، ۱۳۸۶).

عدد فازی زنگوله‌ای توسط رابطه (۷-۴) نشان داده می‌شود (عطایی، ۱۳۹۰):

$$\mu(x) = \frac{1}{1+(x-a)^2} \quad (7-4)$$

عدد فازی لجستیکی توسط رابطه (۸-۴) نشان داده می‌شود (معظم، ۱۳۹۴؛ Yousefi and 2015 a):

(Yousefi et al., 2014; Carranza,

$$F_{ev} = \frac{1}{1+e^{-s(ev-i)}} \quad (8-4)$$

که در این رابطه ev مقدار عددی اعضای مجموعه مرجع، F_{ev} درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی،

i و s به ترتیب نقاط عطف و شیب تابع عضویت F می‌باشند که طبق رابطه‌های (۹-۴) و (۱۰-۴) قابل

محاسبه می‌باشند (Yousefi and Carranza, 2015 a):

$$s = \frac{9.2}{ev_{\max} - ev_{\min}} \quad (9-4)$$

$$i = \frac{ev_{\max} - ev_{\min}}{2} \quad (10-4)$$

i و s در روابط بالا، پارامترهایی هستند که به طور تجربی و ابتکاری انتخاب می‌شوند (Porwal,

2006). بنابراین این پارامترها شکل تابع و در نتیجه مقدار تابع عضویت فازی را تعیین می‌کنند. انتخاب

تابع لجستیکی^۱ مناسب و مقادیر i و s براساس دامنه تغییرات و مقادیر حداکثر (ev_{max}) و حداقل (ev_{min}) متغیر ورودی صورت می‌گیرد. بهترین مقادیر برای این متغیرها آن‌هایی هستند که حداکثر و حداقل مقدار داده‌های ورودی را به ترتیب به ۱ و ۰ نزدیک کنند. بنابراین خروجی رابطه (۴-۸) یک عدد احتمالی بین ۰ و ۱ خواهد بود که با استفاده از آن یک معیار مناسب برای شناسایی مرزهای گنبد نمکی بر اساس نشانگرهای لرزه‌ای مختلف، محاسبه می‌شود. این مقدار می‌تواند به نقشه تبدیل شده و برای شناسایی مرزهای گنبد مورد استفاده قرار گیرد.

تابع لجستیکی مذکور در رابطه (۴-۸) روند افزایشی دارد، به عبارت دیگر هر چه مقادیر عددی ورودی معیار مورد نظر، اهمیت بیش‌تری داشته باشد، امتیاز نزدیک به (۱) و هر چه اهمیت کم‌تری داشته باشد امتیاز نزدیک به (۰) می‌گیرد، بنابراین لایه‌های اطلاعاتی که مقادیر عددی کم اهمیت بیش‌تری دارند باید با استفاده از رابطه (۴-۱۱) به نقشه شاهد وزن‌دار تبدیل گردند در این رابطه F_w وزن نهایی می‌باشد و F_{ev} عددی است که از رابطه (۴-۸) بدست می‌آید (فولادی منصوری و همکاران، ۱۳۹۵):

$$F_w = 1 - F_{ev} \quad (۴-۱۱)$$

مزیت استفاده از تابع لجستیکی قید شده در بالا، در تعیین مقادیر عضویت فازی نسبت به سایر روش‌های دیگر این است که در این روش نظر کارشناسی در تخصیص وزن فازی حداقل دخالت را داشته، بنابراین از بروز خطای تصادفی جلوگیری می‌شود زیرا کارشناسان متفاوت ممکن است وزن‌های متفاوتی را تخصیص دهند (Yousefi and Vesa, 2016). همچنین از آنجا که داده‌ها بدون طبقه‌بندی (کلاس‌بندی) به طور پیوسته وزن دار می‌گردند عدم قطعیت نیز کمتر می‌گردد (Yousefi and Carrenza, 2015). (a)

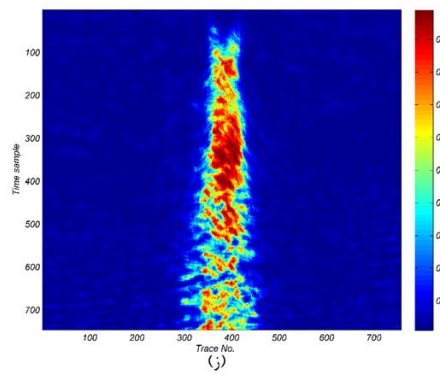
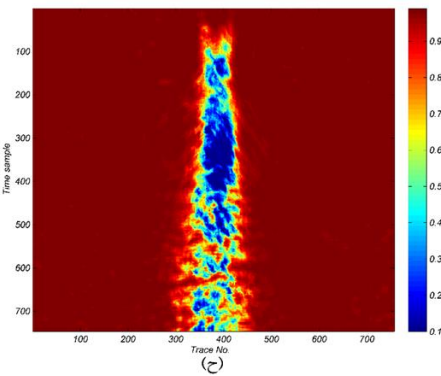
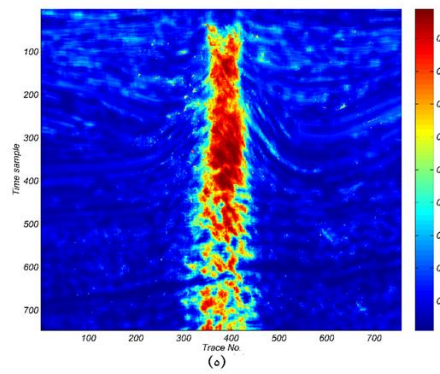
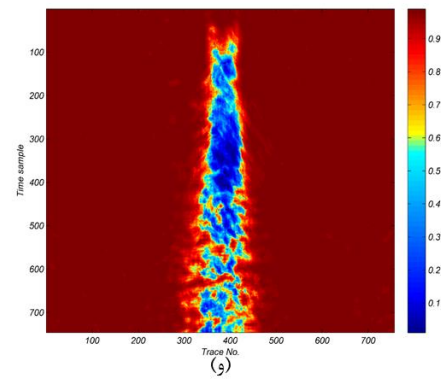
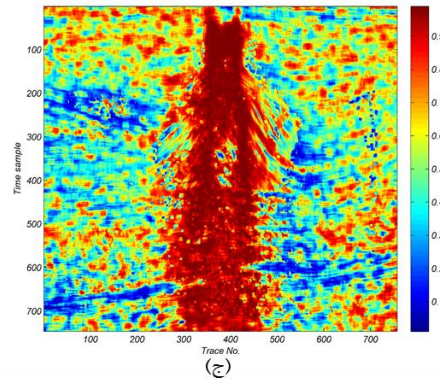
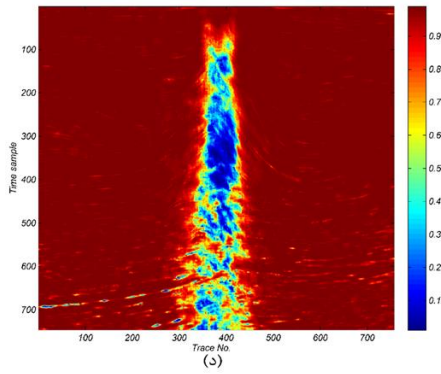
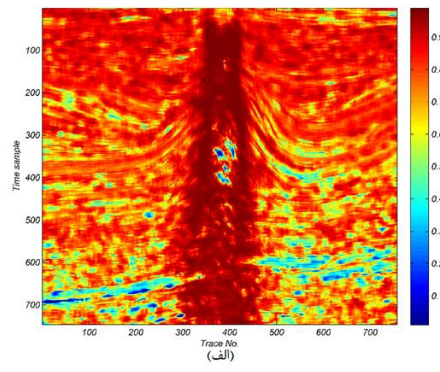
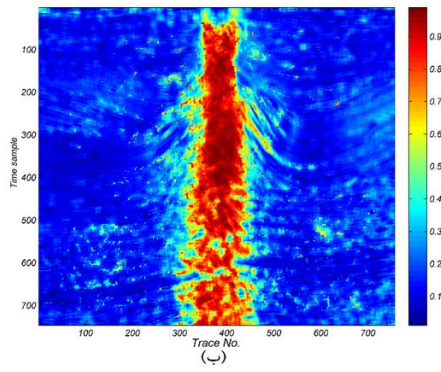
^۱ Logistic Function

۴-۴ مدل فازی و وزن دهی نشانگرهای لرزه‌ای

در این مرحله تمام نتایج به دست آمده از مدل سازی و محاسبه نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از تابع عضویت لجستیکی، مقداری بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود که بیانگر میزان مناسب بودن محل پیکسل از دیدگاه معیار مربوطه برای هدف مورد نظر می‌باشد.

جهت نمایش همزمان لایه‌ها و انجام عملیات تجزیه و تحلیل مورد نیاز در محیط GIS لازم است تا نشانگرهای لرزه‌ای با یکدیگر انطباق داشته باشند. لذا مراحل ویرایش و آماده سازی بر روی داده‌ها به گونه‌ای که حاوی کلیه اطلاعات مورد نیاز برای شناسایی مرز گنبد بوده و ساختار مناسبی جهت انجام تحلیل‌ها داشته باشند، انجام گردید. نشانگرهای لرزه‌ای از ارزش یکسانی برخوردار نبوده و میزان تاثیر گذاری آن‌ها در پاسخ نهایی، یکسان نمی‌باشد. با توجه به این مسائل، باید پیش از انجام عملیات تلفیقی بروی اطلاعات، مرحله ارزش گذاری آن‌ها انجام گیرد که به آن وزن دهی فازی نیز گفته می‌شود (Asadi Haroni, 1999). یکی از راه‌های درک یک پدیده یا توزیع یک متغیر، برای مثال توزیع متغیرهای ژئوشیمیایی در یک ناحیه، طبقه‌بندی آن می‌باشد. یکی از روش‌های کلاسیک برای طبقه‌بندی، تبدیل داده‌ها و انتقال به یک فضای جدید است. در این خصوص به جای استفاده از یک مدل غیر خطی در فضای اولیه، می‌توان از یک تبدیل غیر خطی مناسب به فضای جدید استفاده نمود. در واقع دلیل اولیه برای انتقال داده‌ها به فضای جدید، مهیا ساختن مجموعه داده‌هایی است که بیش‌تر قابل تفکیک بوده و کم‌تر باهم تداخل داشته باشند. همچنین انتقال داده‌ها با یک تبدیل مناسب، شانس شناختن نحوه آرایش و پیکربندی آن‌ها را افزایش داده و در نتیجه مسئله طبقه‌بندی و تلفیق می‌تواند بهبود یابد. در این خصوص نشان داده است که نتیجه انتقال داده‌ها با استفاده از یک تابع لجستیکی، می‌تواند مرزهای بارزتر و تفکیک پذیرتری را برای تصمیم‌گیری در مسائل طبقه‌بندی به دست دهد. تابع لجستیکی "S" شکل بوده (رابطه ۴-۸) و یک بازه نامحدود از یک متغیر را به محدوده بین ۰ و ۱ انتقال می‌دهد. پس از محاسبه هر یک از نشانگرها، مقادیر عضویت هر نشانگر با استفاده از توابع لجستیکی محاسبه شده و

همان طور که در شکل ۴-۵ مشاهده می شود به فضای وزنی در بازه $[0,1]$ انتقال می یابند.



شکل ۴-۵: نشانگرهای بافتی $GLCM$ فازی شده (الف) انرژی (ب) برتری خوشه (ج) آنتروپی (د) واریانس (ه) تشابه (و) عدم تشابه (ز) شدت (ح) تباین (کنتراست).

۴-۵ ترکیب منطقی نشانگرهای فازی با عمل‌گرهای فازی

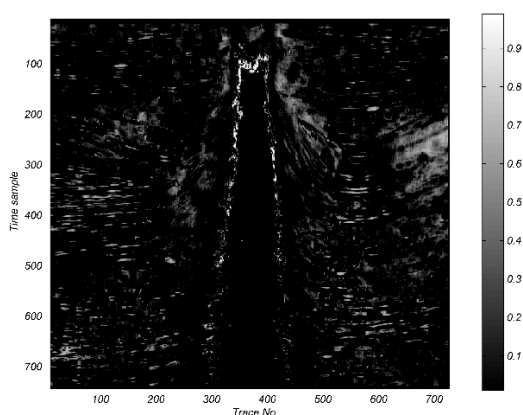
بعد از تخصیص وزن به نشانگرهای ذکر شده برای به دست آوردن یک مدل واحد که شامل تمام اطلاعات نشانگرهای مختلف باشد و برای درک بهتر، این نقشه‌های شاهد باید با یکدیگر تلفیق شوند. در این خصوص عمل‌گرهای فازی زیادی پیشنهاد شده است (نوروزی، ۱۳۹۳؛ Kaymak, 1998). همواره انتخاب نوع عمل‌گرفازی، برای تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای، با توجه به اینکه کدام‌یک از آن‌ها می‌تواند مدل بهتری از گنبد نمکی را در اختیار ما قرار دهد انجام می‌شود (Carrenza, 2008). در این تحقیق پنج عمل‌گر فازی شامل *AND* فازی، *OR* فازی، حاصل ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و گامای فازی (۲) به منظور ترکیب نشانگرها استفاده شده است که در ادامه در مورد هر کدام بحث خواهد شد.

۴-۵-۱ عمل‌گر اشتراک فازی

عمل‌گر اشتراک فازی، به صورت رابطه (۴-۱۲) تعریف می‌شود (نوروزی، ۱۳۹۳؛ Zimmermann, 1996):

$$\mu_{\text{combination}}(\mu_A, \mu_B, \dots, \mu_n) = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \dots, \mu_n) \quad (4-12)$$

در رابطه (۴-۱۲) $\mu_A, \mu_B, \dots, \mu_n$ بیانگر مقادیر عضویت فازی پیکسل‌های موجود در یک موقعیت مشخص بر روی نشانگرهای لرزه‌ای مختلف و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد.



شکل ۶-۴: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عمل‌گر اشتراک فازی.

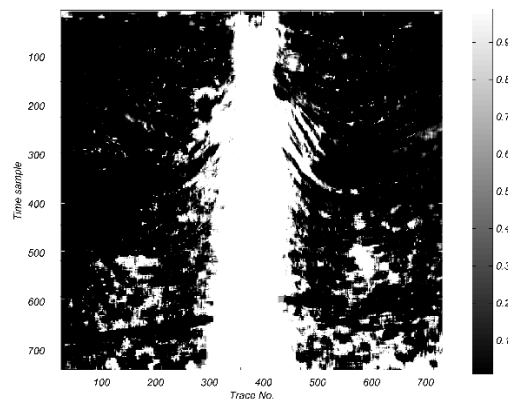
شکل (۶-۴) نتیجه تلفیق نشانگرهای فازی را با استفاده از عمل‌گر فازی *and* می‌باشد. چون این عمل‌گر مقادیر مینیمم را انتخاب می‌کند، لذا همان‌طور که در تصویر ۶-۴ قابل مشاهده می‌باشد، مقادیر گنبد نمکی در تصویر محو شده است.

۲-۵-۴ عمل‌گر اجتماع فازی

این عمل‌گر طبق رابطه (۱۳-۴) تعریف می‌شود (نوروزی، ۱۳۹۳؛ Zimmermann, 1996):

$$\mu_{combination}(\mu_A, \mu_B, \dots, \mu_n) = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B, \dots, \mu_n) \quad (13-4)$$

در رابطه (۱۳-۴) μ_A ، μ_B و μ_C مانند رابطه (۱۳-۴) می‌باشد. شکل (۷-۴) نتیجه تلفیق نشانگرهای فازی را با استفاده از عمل‌گر فازی *or* می‌باشد.



شکل ۷-۴: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عمل‌گر اجتماع فازی.

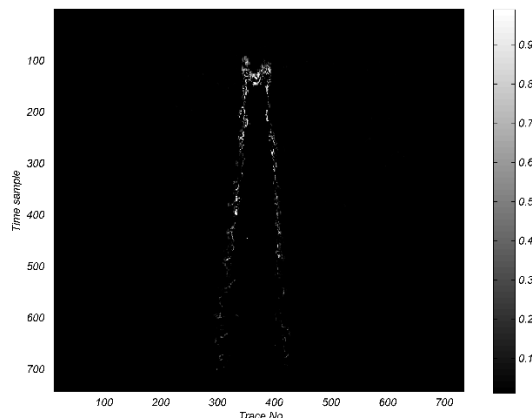
عمل‌گر اجتماع فازی دقیقاً برعکس عمل‌گر اشتراک بوده و مقادیر ماکزیمم نقشه‌های شاهد موجود را انتخاب می‌کند، بنابراین طبق شکل ۷-۴ این عمل‌گر به خوبی گنبد نمکی را نشان داده ولی در تشخیص مرزهای اطراف گنبد نمکی ضعیف عمل کرده و برخی از شیب‌های مربوط به لایه‌بندی رسوبات در برگیرنده را نیز به عنوان نمک تشخیص داده است.

۳-۵-۴ عمل گر ضرب فازی^۱

یکی از عمل‌گرهای مهم منطق فازی، عمل گر ضرب جبری فازی می‌باشد که با استفاده از آن ترکیب لایه‌های اطلاعاتی (در این تحقیق منظور از لایه‌های اطلاعاتی همان نشانگرهای لرزه‌ای می‌باشد) صورت می‌گیرد. در این عمل گر لایه‌ها در هم ضرب شده و لایه خروجی اعداد به سمت صفر میل می‌کنند، که این روند ناشی از ضرب چندین عدد کم‌تر از یک می‌باشد (Bonham-Carter, 1995). در نتیجه تعداد پیکسل کم‌تری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. این عمل گر به صورت رابطه (۴-۱۴) تعریف می‌شود (Zimmermann, 1996; Bonham-Carter, 1995):

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (۴-۱۴)$$

در رابطه فوق $\mu_{combination}$ بیانگر مقدار عضویت در نقشه فاکتور i ام است.



شکل ۴-۸: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عمل گر ضرب فازی.

با استفاده از این عمل گر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی کوچک می‌شود. به عبارت دیگر ترکیب لایه‌های اطلاعاتی اثر کاهشی^۲ خواهد داشت، بنابراین عوامل هم‌دیگر را تضعیف می‌کنند (Zimmermann, 1996; Bonham-Carter, 1995). همان‌طور که در شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود به

^۱ Fuzzy Product

^۲ Decreasing

دلیل اینکه نشانگرهای لریزه‌ای قبل از مرحله تلفیق با استفاده از عمل‌گرها، به فضای وزنی در بازه $[0,1]$ انتقال یافته‌اند، وقتی در یکدیگر ضرب شوند عوامل همدیگر را تضعیف می‌کنند و تصویر خوبی نتیجه نخواهد شد.

۴-۵-۴ عمل‌گر جمع فازی^۱

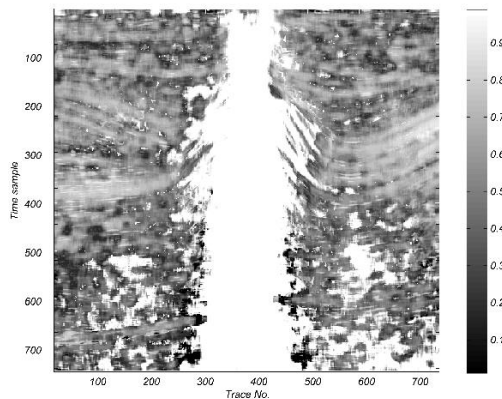
نتیجه خروجی در این عمل‌گر همیشه بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی در لایه اطلاعاتی می‌باشد. در واقع شواهد همدیگر را تقویت کرده و تاثیر مثبت بیش‌تری را نسبت به حالت جداگانه (منفرد) خود اعمال می‌کنند (Bonham-Carter, 1995). به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف عمل‌گر ضرب فازی ارزش پیکسل به سمت ۱ میل می‌کند. این عمل باعث شده تا تعداد پیکسل بیش‌تری در کلاس خیلی خوب قرار بگیرد. رابطه (۴-۱۵) عمل‌گر جمع فازی را نشان می‌دهد (Zimmermann, 1996):

$$\mu_{combination} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right) \quad (۱۵-۴)$$

در رابطه (۴-۱۵) عضویت فازی در نقشه نهایی بزرگ می‌شود، لذا ترکیب عوامل، اثر افزایشی^۲ خواهد داشت. همان‌طور که در شکل ۴-۹ مشاهده می‌شود، به دلیل جمع شدن تمام لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر، نتیجه نهایی حاصل از تلفیق به سمت عدد ۱ میل کرده و گنبد نمکی را به خوبی نمی‌توان از لایه بندی تفکیک کرد.

^۱ Fuzzy Sum

^۲ Increasing



شکل ۹-۴: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عمل‌گر جمع فازی.

۵-۵-۴ عمل‌گر فازی گاما^۱

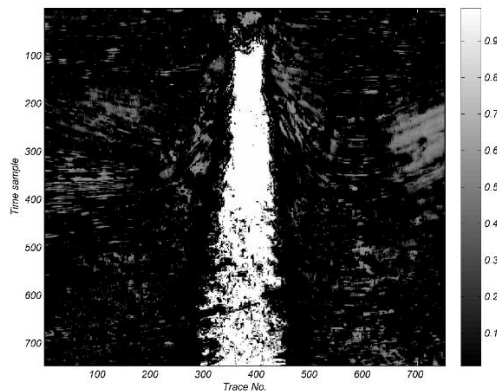
برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عمل‌گر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عمل‌گر جمع فازی، عمل‌گر دیگری به نام عمل‌گر گامای فازی معرفی شد که حد فاصل ضرب و جمع جبری فازی می‌باشد این عمل‌گر طبق رابطه (۴-۱۶) تعریف می‌شود (نوروزی، ۱۳۹۳؛ Bonham-Zimmermann, 1996; Carter, 1995):

$$\mu_{combination} = [1 + \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)]^\gamma \times [\prod_{i=1}^n \mu_i]^{1-\gamma} \quad (۴-۱۶)$$

که در آن $\mu_{combination}$ خروجی نهایی حاصل از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی از گامای فازی و γ پارامتر تعیین شده در محدوده صفر و یک است. وقتی γ برابر با یک باشد ترکیب اعمال شده همان جمع جبری فازی و زمانی که مقدار γ برابر صفر باشد ترکیب اعمال شده همان ضرب جبری فازی می‌باشد. انتخاب صحیح گاما مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهشی ضرب جبری را کنترل می‌کند (نوروزی، ۱۳۹۳؛ Bonham-Carter, Zimmermann, 1996; Carter, 1995). همان‌طور که در شکل ۴-۱۱ دیده می‌شود، نتیجه حاصل از تلفیق با استفاده از عمل‌گر گامای فازی توانسته است اثر کاهشی عمل‌گر ضرب فازی و نتیجه افزایشی جمع فازی را تا حدود زیادی کنترل

^۱ Fuzzy Gamma

کند و گنبد نمکی را به بهترین نحوه نمایش دهد.



شکل ۴-۱۰: مقطع حاصل از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عملگر فازی گاما.

۴-۶ مدل سازی و تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای به روش ارزش منتظره

اخیرا، *Yousefi and Carrenza (2015 a)* در مطالعه خود مفهوم مقدار مورد انتظار را به کار برده‌اند، تا به این طریق عدم قطعیت ویژگی‌های زمین‌شناسی ثبت شده را مدل سازی کنند، زیرا مفهوم ارزش منتظره در مدل سازی سیستم‌های ناشناخته و سنجش اهمیت نسبی متغیرها، استفاده شده است (*b; Yousefi and Carrenza, 2015; Xu, 2007; Wang and Chin, 2011*).

مقدار مورد انتظار در حقیقت میانگین وزن دار تمامی مقادیر ممکن است و هر مقدار ممکن را که متغیر تصادفی بتواند به خود اختصاص دهد، در وزن محاسبه شده ضرب می شوند. در نهایت محصول این عملیات با یکدیگر جمع می شوند تا مقدار مورد انتظار حاصل شود (*Yousefi and Carrenza, 2015*) *b*. در این تحقیق وزن‌های مورد استفاده در مدل سازی به روش ارزش منتظره با استفاده از توابع لجستیکی (*Yousefi et al., 2014*) محاسبه شدند.

از آنجایی که در این روش، محدوده مطالعه به سلول‌های واحد یا پیکسل‌هایی به عنوان مقادیر تقسیم می‌شود، تابع مقدار مورد انتظار برای هر پیکسل از تصویر به شکل زیر نمایش داده می‌شود (*Yousefi and Carrenza, 2015b*):

$$Ep = \frac{\sum_1^n F_i I_i}{\sum_I^n F_i} \quad (17-4)$$

مقدار Ep برای هر پیکسل، برابر مجموع حاصل ضرب F_i و I_i در هر نقشه شاهد، تقسیم بر مجموع وزن‌های F_i ، برای هر نقشه شاهد می‌باشد. در رابطه (۱۷-۴) مقدار پیشگویی مورد انتظار یک سلول واحد است و I_i مقدار سلول واحد در نقشه شاهد نام می‌باشد و F_i نیز یک مقدار فازی مشخص است که به صورت پیوسته و از طریق یک تابع لجستیکی محاسبه شده است. در این روش، هر لایه شاهد یک ماتریس با عناصر مشخص است که این عناصر در حقیقت مقادیر معلومی هستند. اگر X یک ماتریکس $m \times n$ باشد، سپس ماتریکس مقدار مورد انتظار $Ep[X]$ به صورت ماتریس مقادیر مورد انتظار طبق رابطه ۱۸-۴ تعریف می‌شود (Yousefi and Carrenza, ۲۰۱۵ b):

$$Ep[X] = E \left[\begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix} \right] = \left[\begin{pmatrix} Ep[X_{11}] & Ep[X_{12}] & \dots & Ep[X_{1n}] \\ Ep[X_{21}] & Ep[X_{22}] & \dots & Ep[X_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Ep[X_{m1}] & Ep[X_{m2}] & \dots & Ep[X_{mn}] \end{pmatrix} \right] \quad (18-4)$$

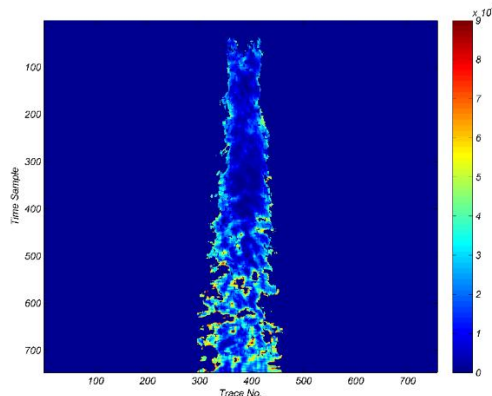
بنابراین، همان‌طور که مقدار مورد انتظار هر پیکسل بر اساس وزن‌های مشخص مقادیر شاهد محاسبه می‌شود، این مقادیر محاسبه شده را می‌توان به صورت نقشه در آورد و هر پیکسل در حوزه مطالعه را می‌توان برای پیشگویی شناسایی گنبد نمکی، طبقه بندی نمود.

در مورد مطالعه فعلی، میزان Ep برای یک پیکسل خاص که همان $E[X_{kl}]$ (و $k=1-m$ و $l=1-n$)، برای پیشگویی گنبد نمکی به شکل رابطه (۱۹-۴) تعریف می‌شود:

$$Ep_{Salt\ dome} = \frac{F_{Enr} I_{Enr} + F_{Clust} I_{Clust} + F_{Ent} I_{Ent} + F_{Var} I_{Var} + F_{Simi} I_{Simi} + F_{Disi} I_{Disi} + F_{Inte} I_{Inte} + F_{Cont} I_{Cont}}{F_{Enr} + F_{Clust} + F_{Ent} + F_{Var} + F_{Simi} + F_{Disi} + F_{Inte} + F_{Cont}} \quad (19-4)$$

در این رابطه I_{Enr} مقدار نشانگر بافتی انرژی و I_{Clust} مقدار نشانگر بافتی برتری خوشه را نشان می‌دهد.

I_{Ent} نشانگر آنتروپی و به ترتیب I_{Cont} , I_{Inte} , I_{Disi} , I_{Simi} , I_{Var} نشانگرهای بافتی واریانس، شباهت، عدم شباهت، شدت، تباین و مقادیر F ، وزن فازی نظیر هر کدام از نشانگرهاست که از طریق تابع لجستیکی بدست می آیند.



شکل ۴-۱۱: تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از روش مقدار مورد انتظار.

مزیت این روش مقدار مورد انتظار در مقایسه با روش‌های دیگر مثلاً شاخص هم‌پوشانی این است که عدم قطعیت را در نظر گرفته و در پیش‌بینی دخالت می‌دهد. همانطور که در نتیجه بدست آمده در شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌شود، روش مقدار مورد انتظار به خوبی توانسته است مرزهای جانبی گنبد نمکی را شناسایی و نمک را از غیر نمک جداسازی نماید.

۴-۷ ترکیب منطقی نشانگرهای فازی با استفاده از روش میانگین هندسی

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر *GIS*، مانند نقشه‌های معدنی پیشگو، به دنبال ترکیب اطلاعات از معیارهای مختلف برای دستیابی به یک مدل ارزیابی واحد برای حل مشکلات خاص در حوزه علوم زمین هستند (Yousefi and Carranza, 2015 b). در این تحقیق روش میانگین هندسی برای شناسایی مرز گنبد نمکی به عنوان یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر *GIS* معرفی می‌شود.

مسائل مربوط به تصمیم‌گیری چند معیاره از مسائل مهم تحقیقاتی در حوزه تصمیم‌گیری در شرایط

عدم قطعیت هستند که در آن‌ها متغیرهای مبهم وجود دارند. تکنیک‌ها و روش‌های موجود برای تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS به صورت گسترده به منظور حل مشکلات مشخصی در زمینه علوم زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجایی که مدیریت منابع طبیعی دچار انواع مختلفی از عدم قطعیت شده است، اینگونه روش‌ها قبل از هر چیز با ترکیب اطلاعات از چندین معیار و تبدیل آن‌ها به یک مدل ارزیابی واحد، عدم قطعیت را مدل‌سازی می‌کنند (Yousefi and Carranza, 2015 b).

شناسایی مرز گنبد نمکی یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره به شمار می‌رود، زیرا به دنبال آن است که با تحلیل نشانگرهای لرزه‌ای مختلف و تولید لایه‌های شاهد وزن‌دار (نشانگرهای لرزه‌ای فازی شده)، اطلاعات حاصل از این لایه‌ها را به صورت یک مدل واحد که در نهایت نشان دهنده مرزهای گنبد نمکی باشد را ارائه دهد. برای مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره (در این مطالعه، یعنی استفاده از چندین نشانگر لرزه‌ای بافتی)، که در آن وزن‌ها مبهم هستند و بنابراین متغیرهای عدم قطعیت بدون هیچ‌گونه وزن اثبات شده‌ای حاضر هستند، روش‌های گروهی تحلیل تصمیم‌گیری با استفاده از مقدار مورد انتظار یا میانگین هندسی توسعه یافته‌اند (Yousefi and Carranza, 2015 b).

۱-۷-۴ تئوری روش

از آنجایی که میزان ویژگی‌های هندسی در این روش در هم ضرب می‌شوند، نیازی به تبدیل مقادیر به واحد یکسان نیست و در نتیجه ساختار اطلاعات فضایی تغییری پیدا نمی‌کنند. در عین حال، نشانگرهای لرزه‌ای ورودی در ابتدا به صورت فازی در می‌آیند تا برای وزن دهی مناسب از طریق روش وزن دهی فازی پیوسته، متناسب و آماده شوند. همان‌طور که در فصل قبل مشاهده شد، تعداد هشت نشانگر بافت لرزه‌ای استفاده شده است، که با توابع لجستیکی فازی سازی شده‌اند.

میانگین هندسی عبارت است از ریشه n ام حاصل ضرب n عدد. میانگین هندسی یا G_A از مجموعه

داده (v_1, v_2, \dots, v_n) طبق معادله (۴-۲۰) حاصل می‌شود (Yousefi and Carranza, 2015 b):

$$G_A(v_1, v_2, \dots, v_n) = \left(\prod_{i=1}^n v_i \right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{v_1 v_2 \dots v_n} \quad (20-4)$$

در این معادله، لایه‌های اطلاعاتی شاهد با استفاده از وزن‌شان ارزیابی می‌شوند و میانگین هندسی را می‌توان به عنوان یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور یکپارچه‌سازی شواهد مختلف مورد استفاده قرار داد. از آنجایی که میانگین هندسی تنها برای اعداد مثبت قابل استفاده است و همچنین برخی مقادیر نشانگرهای مورد استفاده منفی هستند، لذا داده‌هایی که شامل مقادیر منفی باشند را می‌توان با استفاده از توابع لجیستیکی، به دامنه مثبت وارد کرد. در عین حال، مقادیر نشانگرها قبل از یکپارچه‌سازی، وزن داده می‌شوند.

پارامترهای موجود در معادله (۲۰-۴) به ازای یک سلول واحد یا یک پیکسل از حوزه مطالعه می‌باشد، مثلاً $v_1=f_1$ به عنوان وزن فازی مقدار شاخص مربوط (برای مثال نشانگر انرژی) در سلول شماره یک، $v_2=f_2$ به عنوان وزن فازی مقدار شاخص مربوط (مانند نشانگر برتری خوشه) در سلول شماره یک، و به همین شکل تا $v_n=f_n$ به عنوان وزن فازی مربوط به شاخص n ام در سلول شماره یک. بنابراین، f_i به عنوان یک وزن فازی مربوط به مقدار شاخص در سلول واحدی است، که میانگین هندسی محاسبه شده باشد. به همین دلیل میانگین هندسی باید در یک تصویر به عنوان ماتریکسی از پیکسل‌ها محاسبه شود که در آن میانگین هندسی طبق فرمول ۴-۲۱ محاسبه می‌شود (Yousefi and Carranza, 2015 b):

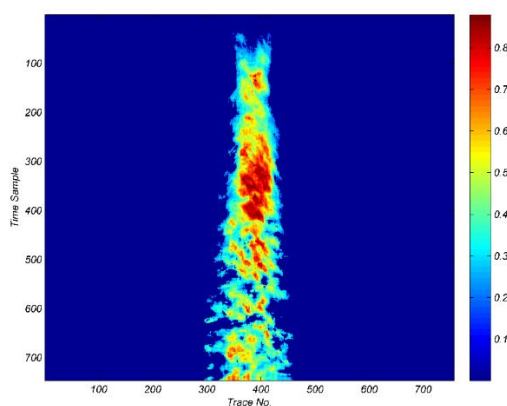
$$G_A[X] = G_A \left[\begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix} \right] = \left[\begin{pmatrix} G_A[X_{11}] & G_A[X_{12}] & \dots & G_A[X_{1n}] \\ G_A[X_{21}] & G_A[X_{22}] & \dots & G_A[X_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_A[X_{m1}] & G_A[X_{m2}] & \dots & G_A[X_{mn}] \end{pmatrix} \right] \quad (21-4)$$

در این تحقیق، تابع تغییر یافته میانگین هندسی برای شناسایی مرز گنبد نمکی برای یک سلول واحد خاص به این شکل (رابطه ۴-۲۲) تعریف می‌شود:

(۲۲-۴)

$$G_{A-salt\ dome}(F_{Enr}, F_{Clus}, F_{Ent}, F_{Var}, F_{Simi}, F_{Disi}, F_{Inte}, F_{Cont}) = \left(\prod_{i=1}^8 F_i \right)^{\frac{1}{8}} = \sqrt[8]{F_{Enr} F_{Clus} F_{Ent} F_{Var} F_{Simi} F_{Disi} F_{Inte} F_{Cont}}$$

که در آن $F_{Enr} F_{Clus} F_{Ent} F_{Var} F_{Simi} F_{Disi} F_{Inte} F_{Cont}$ به عنوان مدل مقدار مورد انتظار، مقادیر فازی نشانگرها در نقشه‌های شاهدهی هستند که از طریق تابع لجستیک محاسبه شده‌اند.



شکل ۱۲-۴: مدل پیشگویی میانگین هندسی برای شناسایی مرز گنبد نمکی.

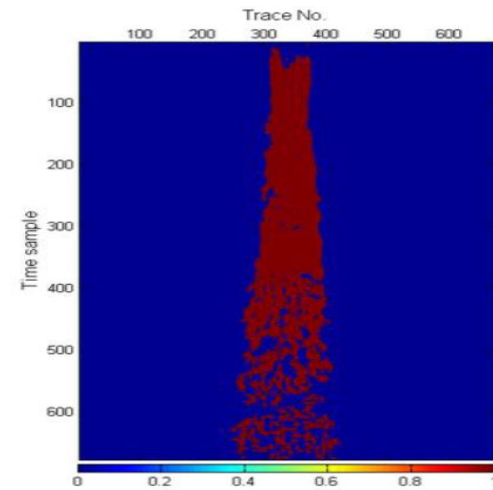
شکل ۱۲-۴ مدل پیشگویی میانگین هندسی برای شناسایی مرز گنبد نمکی می‌باشد.

از مقایسه شکل‌های ۴-۱۰، ۴-۹، ۴-۸، ۴-۷ و ۴-۶ نتیجه می‌شود که عملگر گامای فازی نسبت به سایر عملگرها در شناسایی مرز جانبی گنبد نمکی عملکرد بهتری داشته است. اما با مقایسه شکل‌های ۴-۱۲، ۴-۱۱ و ۴-۱۰ مشاهده می‌شود که روش مقدار مورد انتظار و میانگین هندسی در تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای و جداسازی محدوده گنبد نمکی از رسوبات اطرافش نسبت به روش گامای فازی قدرتمندتر عمل کرده‌اند.

۴-۸ اعتبار سنجی کار

ماشین بردار پشتیبان یک روش طبقه‌بندی با نظارت است که از آن برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده

می‌کنند (Burgess, 1998). همواره برای اعتبار سنجی مدل‌های به دست آمده از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از GIS، طبقه‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای را با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در شکل ۴-۱۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱۳: مقطع حاصل از طبقه‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (صیادی، ۱۳۹۳). همان‌طور که از مقایسه شکل‌های حاصل از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عمل‌گرهای فازی و شکل ۴-۱۳ برداشت می‌شود، از میان عملگرهای فازی تنها عمل‌گر گامای فازی توانسته به خوبی نتیجه SVM، گنبد نمکی را شناسایی کند. همچنین با مقایسه کیفی مدل‌های بدست آمده از روش مقدار مورد انتظار و روش میانگین هندسی با نتیجه حاصل ماشین بردار پشتیبان، مشخص می‌شود که این دو روش جدید در تلفیق نشانگرها و شناسایی مرز جانبی گنبد نمکی قدرتمند عمل کرده‌اند.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و

پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش گردید که ابتدا با محاسبه نشانگرهای لرزه‌ای بافتی *GLCM* و سپس با استفاده از روش‌های مبتنی بر *GIS* در تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای، استراتژی جدیدی به منظور تعیین محدوده گنبد نمکی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی معرفی گردد. در این روش جدید، برخلاف سایر روش‌های متداول نیازی به داده برچسب خورده برای انجام فرایند آموزش الگوریتم نیست و الگوریتم مورد استفاده با کم‌ترین اطلاعات اولیه مورد نیاز قادر است، نشانگرهای مختلف لرزه‌ای مبتنی بر *GLCM* را با یکدیگر تلفیق نماید.

با توجه به اینکه برای اولین بار از تابع لجستیکی در فازی سازی نشانگرها استفاده شده است مقایسه نتایج انتقال (فازی سازی) با داده‌های اولیه نشانگرها ثابت می‌کند که مرز تشخیص بسیار بارزتر شده است.

با مقایسه نقشه‌های بدست آمده از تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از عمل‌گرهای فازی و نتیجه ماشین بردار پشتیبان، پیشنهاد می‌شود برای تلفیق نشانگرها از میان سایر عمل‌گرها، بهتر است از عملگر گامای فازی استفاده شود.

نتایج به دست آمده از تلفیق این نشانگرها با استفاده از روش‌های عمل‌گرهای فازی، مقدار مورد انتظار و میانگین هندسی بیان‌گر آن بودند که این روش‌ها با دقت بسیار خوبی توانسته‌اند محدوده گنبد نمکی را در داده‌های لرزه‌ای مشخص نماید. از میان روش‌های نام‌برده روش مقدار مورد انتظار و میانگین هندسی جدایش مرزهای گنبد نمکی را بارزتر کرده‌اند، اما عملگر گاما در شناسایی مرزها نسبت به دو روش مذکور کمی ضعیف‌تر عمل کرده و علاوه بر نمایش گنبد نمکی لایه بندی رسوبات اطراف را نیز نمایش می‌دهد.

همواره می‌توان با استفاده از سایر نشانگرهای بافتی در تلفیق نشانگرهایی که توانایی شناسایی گنبد نمکی در داده‌های لرزه‌ای را دارا می‌باشند، دقت نتیجه حاصل را بهبود بخشید.

۲-۵ پیشنهادات

(۱) مقاطع بدست آمده توسط روش‌های پیشنهادی مبتنی بر *GIS*، قابل مقایسه با نتایج حاصل از تلفیق نتایج با استفاده از الگوریتم با نظارت ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. لذا با توجه به اینکه این روش نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان نیازی به داده آموزشی ندارد پیشنهاد می‌شود به عنوان یک روش جایگزین برای تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای در نظر گرفته شود.

(۲) پیشنهاد می‌شود که به عنوان کارهای تحقیقاتی بعدی لازم است تابع لجستیکی در مورد سایر داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی که به صورت رقومی هستند مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

(۳) با توجه به زمان اجرای کم و برنامه نویسی ساده‌تر روش‌های مبتنی بر *GIS* نسبت به سایر روش‌ها، پیشنهاد می‌شود برای تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای از این روش جدید استفاده شود.

منابع

ابراهیمی، پ.، (۱۳۹۵)، کاربرد روش آدابوست در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

اعظم پور، ف.، روش‌ندل کاهو، ا.، احمدی فرد، ع. و حیدریان ع.، (۱۳۹۳)، نشانگر لرزه‌های سوبل متوازن برای شناسایی گنبد نمکی، اولین همایش ملی ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت و گاز، تهران، دانشگاه تهران.

امینی، ا.، (۱۳۸۷)، کاربرد منطق فازی در تعیین عیار و ارزیابی ذخایر معدنی، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

پاژنگ، س. کدخدایی، ع. زمانی، ب. برگریزان، م. یوسف‌پور، م. (۱۳۹۴)، معرفی ۱۷ گنبد نمکی مدفون و غیرمدفون براساس داده‌های لرزه‌ای در تنگه هرمز (بلوک E). پژوهش نفت، ۲۵، شماره ۸۴، ۱۵۰-۱۶۰.

نوروزی، ح.، (۱۳۹۳). اکتشاف آب زیرزمینی با استفاده از مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و تهیه نقشه‌های پتانسیل آب با تلفیق اطلاعات موجود به روش منطق فازی در GIS (مطالعه موردی دشت دامغان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

حسینی، ع.، (۱۳۹۰)، بررسی ناحیه‌ای گسترش مخازن بورگان در شمال غرب خلیج فارس براساس داده‌های لرزه‌ای و نمودارهای چاه پیمایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

حسینی، م.، (۱۳۸۶). تعیین میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالسنگ با استفاده از منطق فازی مطالعه موردی: معدن زغالسنگ تخت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

حسینی فرد، ا.، (۱۳۹۵). معرفی هیستوگرام گرادیان جهتی به عنوان نشانگر در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

رمضان‌نیا طلوتی، ر.، (۱۳۹۲). ارزیابی ریسک زمین‌شناسی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در تونل‌سازی مکانیزه (مطالعه موردی تونل انتقال آب نوسود). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

زارع تفت، م.، (۱۳۸۸)، آنالیز پایداری دیواره‌های مدل سنگ‌آهن چادرملو با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

صیادی، ع.، (۱۳۹۳)، کاربرد نشانگرهای بافتی بر مبنای ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

عطایی، م. (۱۳۹۰)، تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

کاسکو، ب.، (۱۳۷۷)، تفکر فازی، ترجمه غفاری، ع. و همکاران. انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. ص ۳۲۶.

کلر، ج.، کلیر، س.، یوان، ب.، (۱۳۸۱). تئوری مجموعه‌های فازی، ترجمه فاضل زرنندی، م.، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ص ۲۷۴.

فولادی منصوری، م.، فرخ زاده، ب. و یوسفی، م.، (۱۳۹۵)، ارائه شبکه استنتاج الگوهای پتانسیل‌یابی مکانی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش فازی داده-محور، پنجمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستدارن محیط زیست - انجمن حمایت از طبیعت ایران.

مدنی، ح. (۱۳۹۰)، مبانی اکتشاف مواد معدنی، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، تهران.

نجاتی کلاته، ع.، و روشندل کاهو، ا. (۱۳۹۱)، توازن داده‌های میدان پتانسیل با استفاده از تبدیل هیلبرت. فیزیک زمین و فضا، ۳۸، شماره ۴، ۱۴۵-۱۵۳.

معظم، س.، (۱۳۹۴). شناسایی مناطق امیدبخش معدنی ورقه یکصد هزار طارم، با استفاده از داده‌های

ماهواره‌ای، مغناطیس هوایی و ژئوشیمی در سامانه اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

ندیمی، م. م. ف. ص. (۱۳۸۸)، استفاده از گنبد‌های نمکی ایران برای تولید بهینه الکتربیسپته. نشریه، انرژی ایران، ۳۰، ۴۵.

نعیمی، ف. (۱۳۹۰)، بررسی توزیع تخلخل به کمک نشانگرهای لرزه‌ای در یکی از مخازن نفتی جنوب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

تشنه لب، م. و همکاران. (۱۳۸۹)، سیستم‌های فازی و کنترل فازی. (ترجمه) انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. چاپ ششم. ص ۲۳.

یوسفی، م. (۱۳۹۱). بهبود مدل‌های پتانسیل معدنی به منظور افزایش موفقیت اکتشاف. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه صنعتی شاهرود.

یوسفی، م. و ریاحی، م. (۱۳۹۴)، کاربرد نشانگر بافت لرزه‌ای در تعیین محدوده کانال رسوبی، دومین همایش پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری، بصورت الکترونیکی، شرکت علم محوران آسمان.

Al-Dossary, S. and Marfurt, K. J., (2006), Multispectral estimates of reflector curvature and rotation, Geophysics, 71, P41-P51.

Allen, R. D., T. J. Doherty, and R. L. Thoms. (1982), Geotechnical factors and guidelines for storage of compressed air in solution-mined salt cavities.

Amin, A., and Deriche, M., (2015) a. A hybrid approach for salt dome detection in 2D and 3D seismic data, in Proc. IEEE ICIP. pp. 2537–2541.

Amin, A., and Deriche, M., (2015) b. A new approach for salt dome detection using a 3D multidirectional edge detector, Appl. Geophys., vol. 11. 3, pp. 334–342.

Amin, A., and Deriche, M., (2016). Salt-Dome Detection Using a Codebook-Based Learning Model. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 11, 1636-1640.

- Agrawi, A. A., Boe, T. H. and Barros, S. (2011). *Detecting salt domes using a dip guided 3D Sobel seismic attribute*, in *Proc. SEG Annu. Meet.* pp. 1014–1018.
- Asadi Haroni, H., Hale, M., (1999), "Integrated analysis of aeromagnetic, Landsat TM and mineral occurrence data for epithermal gold exploration in northwest Iran", *13th international Conference on Applied Geologic Remote Sensing, Vancouver, British Columbia, Canada, 8p.*
- Avdeeva, A., D. Avdeev, and M. Jegen. (2012), *Detecting a salt dome overhang with magnetotellurics: 3D inversion methodology and synthetic model studies.* *Geophysics*, **77**, no. 4, E251-E263.
- Baglio, S., Fortuna, L., Graziani, S., and Muscato, G. (1994). *Membership function shape and the dynamic behaviour of fuzzy systems. International journal of adaptive control and signal processing*, **8**(4), 369-377.
- Bahorich, M. S. and Farmer, S. L., (1995), *3-D seismic coherency for faults and stratigraphic features*, *The Leading Edge*, 1053-1058.
- Berthelot, A., Solberg, A. H. S., and Gelius, L.-J. (2013). *Texture attributes for detection of salt. Journal of Applied Geophysics*, **88**(0), 52-69.
- Biondi, L. J. B. and Shragge, J., (2004). *Image segmentation for tracking salt boundaries*, in *Proc. SEG Annu. Meet.*, pp. 1–4.
- Bonham - Carter, G. F., (1995). *Geological applications of GIS mineral potential mapping*, *Cooperative Research Center for Australian Mineral Exploration Technologies, (CRCAMET), Department of Exploration Geophysics, Curtin University of Technology. Western Australia.*
- Burges, C. J. C., (1998), *A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition: Kluwer Academic Publishers, Boston. Manufactured in The Netherlands.* **2**, 121-167.
- Brown, A., 2001- *Understanding seismic attributes: Geophysics*, **66**: 47-49.
- Carranza, E. J. M. (2008). *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS (Vol. 11).* Elsevier.
- Chandrasekhar, V., G. Takacs, D. Chen, S. Tsai, R. Grzeszczuk, and B. Girod. (2009),

- Chog: Compressed histogram of gradients a low bit-rate feature descriptor. Paper read at Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on.*
- Chen, P.-Y., C.-C. Huang, C.-Y. Lien, and Y.-H. Tsai. (2014), An efficient hardware implementation of HOG feature extraction for human detection. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15, no. 2,656-662.*
- Chopra, S. and Marfurt, K. J., (2005), Seismic attributes - A historical perspective: Geophysics, 70, 3S0–28S0.*
- Chopra, S., and Marfurt, K. J., (2007), Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization: SEG.*
- Clapp, L. J. R. G. and Biondi, B., (2006). Parallel implementation of image segmentation for tracking 3D salt boundaries, presented at the 68th Annual International Meeting, EAGE, Expanded Abstracts.*
- Clausi, D. A., and Jernigan, M. E., (1998), A fast method to determine cooccurrence texture features, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 36 (1), 298-300.*
- Connors, R.W., Trivedi, M.M., Harlow, C.A., (1984), Segmentation of a high-resolution urban scene using texture operators: Computer Vision, Graphics, and Image Processing 25, 273–310.*
- Cramer, D. (1998), Fundamental statistics for social research. Step-by-step calculations and computer techniques using SPSS for Windows. London and New York: Routledge.*
- Dalal, N., and B. Triggs. (2005), Histograms of oriented gradients for human detection. Paper read at Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on.*
- Deutsch, C. (1989). Calculating effective absolute permeability in sandstone/shale sequences. SPE Formation Evaluation, 4 (03), 343-348.*

- Dercole, C., Groves, D. I., and Knox-Robinson, C. M. (2000). *Using fuzzy logic in a Geographic Information System environment to enhance conceptually based prospectivity analysis of Mississippi Valley-type mineralisation. Australian Journal of Earth Sciences, 47(5), 913-927.*
- Dubey, C. P., H.-J. Götze, S. Schmidt, and V. M. Tiwari. (2014). *A 3D model of the Wathlingen salt dome in the Northwest German Basin from joint modeling of gravity, gravity gradient, and curvature. Interpretation, 2, no. 4, SJ103-SJ115.*
- Eichkitz, C. G., Amtmann, J., and Schreilechner, M. G., (2013). *Calculation of grey level co-occurrence matrix-based seismic attributes in three dimensions. Computers & Geosciences, 60(0), 176-183.*
- Eichkitz, C. G., J. Davies, J. Amtmann, M. G. Schreilechner, and P. de Groot. (2015), *Grey level co-occurrence matrix and its application to seismic data. first break, 33 , no. 3, 71-77.*
- Gadkari, D., (2000), *Image quality analysis using GLCM: B.S.E.E. University of Pune. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Modeling and Simulation in the College of Arts and Sciences at the University of Central Florida.*
- Gonzalez, R. C., and Woods, R. E., (2008), *Digital Image Processing: Pearson/Prentice Hall.*
- Gresztenkorn, A. and Marfurt, K. J., (1999), *Eigenstructure-based coherence computations as an aid to 3-D structural and stratigraphic mapping: Geophysics, 64, 1468-1479.*
- Haralick, R. M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. H., (1973). *Textural Features for Image Classification. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, SMC-3(6), 610-621.*
- Hampson, D. P., James S. S., and John A. Q., (2001). *Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data. Geophysics 66. 1: 220-236.*
- Hegazy, T., and Alregib, GH, (2014). *Texture attributes for detecting salt bodies in*

seismic data. Center of Energy and Geo Processing (CeGP), Georgia Institute of technology.

Jackson, MPA T., and Talbot C. J. (1986) External shapes, strain rates, and dynamics of salt structures. Geological Society of America Bulletin 97.3: 305-323.

Jing, Z. Yanqing, Z. Zhigang, C. and Jianhua, L., (2007). Detecting boundary of salt dome in seismic data with edge detection technique, SEG Tech. Program Expanded Abstracts, Tulsa, OK, USA.

Kaymak, U. (1998). Fuzzy decision making with control applications. PhD Thesis, Delft University of Technology. The Netherlands.

Kearey, P., M. Brooks, and I. Hill. (2013), An introduction to geophysical exploration: John Wiley & Sons.

Kentwell, D.J.- Bloom, L. M. Comber, G. A., (1999), Improvements in Grade Tonnage Curve Prediction via Sequential Gaussian Fractal Simulation, Mathematical geology, v.31, n.3.

Korn, G. A., and T. M. Korn. (2000), Mathematical handbook for scientists and engineers: Definitions, theorems, and formulas for reference and review: Courier Corporation.

Kuchta, Mark E., (1990). Improved Mine Planning Using Geostatistics and Fractal Geometry for Geologic Modeling, Lulea, Sweden.

Levin, Harold L., (2009). The earth through time. John Wiley & Sons. Eighth Edition. Chapter 13 - page 4.

Lindseth, R. O. (1979). Synthetic sonic logs-a process for stratigraphic interpretation. Geophysics, 44(1), 3-26.

Long, Z., Alaudah, Y., Qureshi, M. A., Farraj, M. A., Wang, Z., Amin, A., ... and AlRegib, G., (2015). Characterization of migrated seismic volumes using texture attributes: a comparative study. In SEG Technical Program Expanded Abstracts 2015 (pp. 1744-1748). Society of Exploration Geophysicists.

- Love, P. L., and Simaan, M., (1984). *Segmentation of stacked seismic data by the classification of image texture. SEG Technical Program Expanded Abstracts. Society of Exploration Geophysicists.* 480-482.
- Marfurt, K. J., Kirlin, R. L., Farmer, S. L., and Bahorich, M. S., (1998), *3-D seismic attributes using a running window semblance-based algorithm, Geophysics*, 63, 1150-1165.
- Meldahl, P., Heggland, R., Bril, B. & de Groot, P., 2001- *Identifying faults and gas chimneys using multiattributes and neural networks: The Leading Edge*, 20: 474–482.
- Oldenburg, D. W., Scheuer, T., and Levey, S. (1983). *Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms. Geophysics*, 48(10), 1318-1337.
- Pearson, K. (2012), *Geologic models and evaluation of undiscovered conventional and continuous oil and gas resources: Upper Cretaceous Austin Chalk. US Geological Survey.*
- Piegat, A. (2001). *Fuzzy Modeling and Control (Studies in Fuzziness and Soft Computing). Physica*, 742.
- Porwal, A., (2006). *Ph.D. Thesis. Mineral Potential Mapping with Mathematical Geological Models, University of Utrecht, The Netherlands, ITC (International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation) Publication No. 130, Enschede, 289 pp.*
- Ronen, S., Hattori, M. and Corbett, C. (1994). *Seismic-guided estimation of log properties (Part 2: Using artificial neural networks for nonlinear attribute calibration). The Leading Edge*, 13(6), 674-678.
- Schultz, P. S., Ronen, S., Hattori, M. and Corbett, C. (1994 a). *Seismic-guided estimation of log properties (Part 1: A data-driven interpretation methodology). The leading Edge*, 13(5), 305-310.
- Schultz, P. S., Ronen, S., Hattori, M., Mantran, P. and Corbett, C. (1994 b). *Seismic-guided estimation of log properties (Part 3: A controlled study). The Leading Edge*, 13(7), 770-776.

- Shafiq, M. A., Wang, A. Amin, Z., Hegazy, T., Deriche, M., and AlRegib, G., 2015. *Detection of salt-dome boundary surfaces in migrated seismic volumes using gradient of textures*, SEG Tech. Program Expand. Abstracts, Tulsa, OK, USA, pp. 1811–1815.
- Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., (1995). *Exploration Seismology*: Cambridge University Press.
- Shen, W., X. Ding, C. Liu, C. Fang, and B. Xiong. (2015), *New Method of Ground Target Recognition Based on Stable Edge Weighted HOG*. *Procedia Engineering*, 99, 1126-1131.
- Solberg, A. H., and L. J. Gelius. (2011), *New texture attributes from local 2D Fourier spectra*. Paper read at 2011 SEG Annual Meeting.
- Taner, M. T., Koehler, F. and Sheriff, R. E., (1979), *Complex seismic trace analysis: curvature* *Geophysics*, 44, 1041–1063.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff. (1990), *Applied geophysics*. Vol. 1: Cambridge university press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*: Cambridge University Press.
- Torrione, P. A., K. D. Morton, R. Sakaguchi, and L. M. Collins. (2014), *Histograms of oriented gradients for landmine detection in ground-penetrating radar data*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52, no. 3, 1539-1550.
- Twiss, Robert J., and Eldridge M. Moores. (1992) *Structural geology*. Macmillan,.
- Von Hippel, P. T. (2005), *Mean, median, and skew: Correcting a textbook rule*. *Journal of Statistics Education*, 13, no. 2, n2.
- Warren, J. K. (2006), *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*: Springer Science & Business Media.
- Wang, Y.M., Chin, K.S., (2011). *Fuzzy data envelopment analysis: a fuzzy expected value*

- approach. Expert Syst. Appl. 38,11678–11685.*
- Weisberg, H. (1992), *Central tendency and variability: Sage.*
- Xiong W., Z. H. Wan, X. L. Bai, H. G. Xing, H. G. Zuo, K. H. Zhu and S. G. Yang, (2014). *AdBoost-based Multi-attribute Classification Technology and Its Application.6 Conference and Exhibition, EAGE, Amsterdam RAI, The Netherlands.*
- Xu, Z.S., (2007). *Models for multiple attribute decision-making with intuitionistic fuzzy information. Int. J. Uncertain Fuzziness and Knowl.-Based Syst. 15, 285–297.*
- Xu, Z., Shang, S., Qian, W., and Shu, W. (2010). *A method for fuzzy risk analysis based on the new similarity of trapezoidal fuzzy numbers. Expert Systems with Applications, 37(3), 1920-1927.*
- Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A. and Carranza, E.J.M. 2014. *Application of staged factor analysis and logistic function to create a fuzzy stream sediment geochemical evidence layer for mineral prospectivity mapping. Geochemistry: Exploration, Environmental, Analysis 14, 45-58.*
- Yousefi, M, and Carranza, E.J.M., (2015), a. *Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping. Computers & Geosciences 74, 97-109.*
- Yousefi, M, and Carranza, E. J. M. (2015), b. *Geometric average of spatial evidence data layers: a GIS-based multi-criteria decision-making approach to mineral prospectivity mapping. Computers & Geosciences, 83, 72-79.*
- Yousefi, M., and Vesa N., (2016). *Data-driven logistic-based weighting of geochemical and geological evidence layers in mineral prospectivity mapping. Journal of Geochemical Exploration 164: 94-106.*
- Zhang, Y. and Halpert, A., (2012). *Enhanced interpreter-aided salt boundary extraction using shape deformation, in Proc. SEG Tech. Program Expand. Abstracts, pp. 1–5.*
- Zimmermann, H.J., (1996). *Fuzzy Set Theory and its Applications, third edition, Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, 399 pp,1991.*

Abstract

Nowadays, salt domes are of different uses, e.g. hydrocarbon storage, exploration of hydrocarbon resources, nuclear wastes isolation, dissolution mining, forming space for underground constructions, and forming compressed air chamber, to name but a few. Therefore, identifying salt domes as underground constructions seems to be important. With respect to the fact that characteristics of salt domes are different from their sediments, and keeping in mind the high rate of wave propagation in salt in relation to the sediments of dome surroundings, a proper border is made for seismic wave reflection. Among the geophysical methods, reflection seismography is one of the best methods which is able to identify salt domes. Due to the high damping rate of seismic energy in salt and the difference in high rate of wave propagation in salt in relation to the sediments of dome surrounding, realizing the exact borders of salt domes makes the direct identification of salt domes and their borders based on the reflection seismography difficult. As a tool for deriving seismic material characteristics, seismic attributes can be highly helpful in explaining and identifying salt domes and their borders. An important category of seismic attributes used in identification of salt domes are those textural attributes which are based on Gray Level Co-Occurrence Matrix. Gray Level Co-Occurrence Matrix is a valid tool for image processing which extracts textural features of an image. Noting the textural difference between a salt dome and its surrounding constructions, the attribute can distinguish the salt dome from the other constructions. Moreover, noting that every attribute contains special data, the combination and integration of attributes can act as a suitable tool to provide comprehensive data for an analyst of the field. Multimarker compound technology can be applied with different purposes in seismology. The aim of the present study was to integrate seismic attributes

using GIS-based methods in order to identify the borders of salt domes. In so doing, a number of highly useful textural seismic attributes were applied for seismic data in order to identify the boundary of salt domes and the results of each attributes was investigated separately. In the next step of the study, after making weighted seismic attributes, the layers were integrated using expected value method, fuzzy operators, and geometric mean, finally constituting a unique model containing data from all separated attributes, and resulted in identifying the exact boundary of salt dome with greater precision. The results of the real data indicated that applying

the fuzzy weighting method and the integration of attributes using GIS-based data could thoroughly identify the lateral boundaries of salt domes.

Keywords: Gray Level Co-Occurrence Matrix, textual marker, salt dome, GIS, fuzzy weighting, logistic functions



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Petroleum Engineering - Exploration

Feasibility recognition of boundary salt dome using intraction of seismic attributes in GIS And comparing its results with SVM.

By:

Rashid Chambari

Supervisors:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Mahyar Yousefi

Adviser:

Dr. Mehrdad Soleimani Monfared

September 2017