





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد لرزه شناسی

معرفی هیستوگرام گرادیان جهتی به عنوان نشانگر در تفسیر داده های

لرزه ای بازتابی

نگارنده: سید اسماعیل حسینی فرد

اساتید راهنما

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر علیرضا احمدی فرد

بهمن ۱۳۹۵

تقدیم به

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم
که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می‌دانم.

پدر، مهربانی‌مشفق، برادر و حامی.

همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

برادر و خواهرانم همراهان همیشگی و پشتوانه‌های

زندگیم.

تشکر و قدر دانی

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها و زحمات اساتید محترم و گرانقدر جناب آقای دکتر امین روشندل کاهو و دکتر علیرضا احمدی فرد که از ابتدای راه و در طی انجام این تحقیق، با راهنمایی‌های خود مرا در نگارش این اثر یاری نمودند و جناب آقایان دکتر مهرداد سلیمانی منفرد و دکتر علی نجاتی کلاته که زحمت داوری این اثر را برعهده گرفته اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده:

گنبد‌های نمکی از مهم‌ترین رویدادهای زمین‌شناسی هستند که شناسایی و تعیین محل دقیق آن‌ها در داده‌های لرزه‌ای بازتابی، یک عامل مهم در توصیف مخازن هیدروکربن است. مرزها و کف گنبدنمکی اغلب دارای بازتاب‌های ضعیفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی هستند و به ندرت قابل شناسایی و تفسیر می‌باشند. به دلیل ماهیت داده‌های لرزه‌ای، شناسایی گنبد‌های نمکی و تعیین محل دقیق آن‌ها به تنهایی از روی داده لرزه‌ای فرایندی دشوار و بسیار زمانبر است. نشانگرهای لرزه‌ای، ابزاری هستند که اطلاعات نهفته در داده‌های لرزه‌ای را آشکار می‌نمایند و امکان تفسیر کمی را در اختیار مفسر لرزه‌نگاری فراهم می‌آورند. در این پایان‌نامه، روش هیستوگرام گرادیان جهتی به‌عنوان ابزاری جهت محاسبه نشانگر لرزه‌ای برای شناسایی و تعیین موقعیت گنبد‌های نمکی در داده لرزه‌ای بازتابی معرفی می‌گردد. هدف اصلی در الگوریتم هیستوگرام گرادیان جهتی استخراج ویژگی‌های دلخواه از داده‌ها است که برای تشخیص اجسام مختلف استفاده می‌شود. روش هیستوگرام گرادیان جهتی بر روی داده‌های لرزه‌ای شامل گنبدنمکی اعمال می‌شود و با استفاده از مشخصه‌های آماری که به‌عنوان نشانگر معرفی می‌شوند، گنبدنمکی از سایر رویدادها متمایز می‌شود. به این ترتیب، تصویر دقیقی از گنبدنمکی به‌دست خواهد آمد که کار تفسیر لرزه‌ای را آسان می‌کند. بررسی نتایج به دست آمده و مقایسه این نشانگر با نشانگرهای بافتی متداول نشان می‌دهد که نشانگر هیستوگرام گرادیان جهتی می‌تواند به عنوان یک نشانگر مناسب برای شناسایی گنبد‌های نمکی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: لرزه‌نگاری بازتابی، گنبدنمکی، هیستوگرام گرادیان جهتی، نشانگر لرزه‌ای، پردازش تصویر.

فهرست مطالب

۱- کلیات.....	۱
۱-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۲
۲-۱- پیشینه تحقیق.....	۷
۳-۱- هدف از انجام این پایاننامه.....	۸
۴-۱- ساختار پایاننامه.....	۸
۲- مفهوم کلی نشانگرها و معرفی نشانگرهای بافتی.....	۱۱
۱-۲- نشانگرهای لرزه‌ای.....	۱۲
۱-۱-۲- نشانگرهای فیزیکی.....	۱۲
۱-۱-۱-۲- نشانگرهای پس از برانبارش.....	۱۳
۲-۱-۱-۲- نشانگرهای قبل از برانبارش.....	۱۹
۲-۱-۲- نشانگرهای هندسی.....	۱۹
۱-۲-۱-۲- نشانگرهای شیب و آزمون.....	۲۰
۲-۲-۱-۲- نشانگر همدوسی.....	۲۱
۲-۲- دسته‌بندی کلی نشانگرها بر اساس دامنه لرزه‌ای.....	۲۲
۳-۲- نشانگرهای بافتی.....	۲۳
۱-۳-۲- مفهوم بافت لرزه‌ای.....	۲۳
۲-۳-۲- نشانگرهای بافتی زمان-فرکانس.....	۲۳
۳-۳-۲- نشانگر سوبل.....	۲۶
۴-۳-۲- نشانگرهای بافتی جهت‌گرایی، همواری و محتوای لبه.....	۲۹
۱-۴-۳-۲- نشانگر جهت‌گرایی.....	۲۹

۳۰	۲-۴-۳-۲- نشانگر همواری
۳۱	۲-۴-۳-۳- نشانگر محتوای لبه
۳۳	۲-۳-۵- نشانگر گرادیان بافت (GoT)
۳۵	۲-۳-۶- نشانگر بافتی ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری (GLCM)
۳۹	۳- مفهوم <i>HOG</i> و تئوری آن
۴۰	۳-۱- مقدمه
۴۰	۳-۲- تئوری <i>HOG</i>
۴۱	۳-۲-۱- محاسبه گرادیان
۴۳	۳-۲-۲- تقسیم سلولی تصویر
۴۴	۳-۲-۳- هیستوگرام جهت‌دار سلول
۴۵	۳-۲-۴- بهنجار کردن و همپوشانی سلول‌ها
۴۹	۴- معرفی نشانگرهای بافتی مبتنی بر روش <i>HOG</i>
۵۰	۴-۱- مقدمه
۵۱	۴-۲- <i>HOG</i> و بافت
۵۵	۴-۳- نشانگرهای مبتنی بر <i>HOG</i>
۵۵	۴-۳-۱- نشانگر میانگین
۵۷	۴-۳-۲- نشانگر میانه
۶۰	۴-۳-۳- نشانگر انحراف معیار
۶۲	۴-۳-۴- نشانگر واریانس
۶۴	۴-۳-۵- نشانگر چولگی (عدم تقارن)
۶۷	۴-۳-۶- نشانگر کشیدگی
۷۰	۴-۳-۷- نشانگر بیشینه مقدار

۷۲.....	۴-۳-۸- نشانگر کمینه مقدار.....
۷۵.....	۴-۳-۹- نشانگر گستره.....
۷۷.....	۴-۳-۱۰- نشانگر دامنه بین چارکی.....
۸۰.....	۴-۳-۱۱- نشانگر مد.....
۸۲.....	۴-۳-۱۲- نشانگر ترکیب میانگین، واریانس و گستره یا MVR.....
۸۵.....	۵- اعمال نشانگرهای بافتی مبتنی بر <i>HOG</i> بر روی داده‌های لرزه‌ای واقعی.....
۸۶.....	۵-۱- مقدمه.....
۸۷.....	۵-۲- اعتبار سنجی کار.....
۸۸.....	۵-۳- انتخاب طول پنجره تحلیل مناسب.....
۹۳.....	۵-۴- انتخاب تعداد ویژگی مناسب.....
۹۷.....	۵-۵- اعمال نشانگرها برای طول پنجره و تعداد ویژگی مناسب.....
۱۰۵.....	۵-۶- مقایسه نشانگرهای بافتی هیستوگرام گرادیان جهتی با سایر نشانگرهای متداول در شناسایی گنبدنمکی.....
۱۰۷.....	۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۱۰۸.....	۶-۱- نتایج.....
۱۰۹.....	۶-۲- پیشنهادات.....
۱۱۰.....	۷- منابع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: نمایش طرح‌وار تشکیل گنبدنمکی (رنگ مشکی نشان دهنده نمک است)
(Vendeville, 2002)..... ۳
- شکل ۲-۱: سه روش مختلف رسوخ نمک به روباره خود (نمک به رنگ سیاه). P، V و B به ترتیب نشان دهنده‌ی تنش بر اثر فشار نمک، گرانیروی نمک و قدرت شکنندگی روباره می‌باشد
(Warren, 2006)..... ۴
- شکل ۳-۱: مقایسه تغییرات چگالی (گرم بر سی سی) با افزایش عمق برای سنگ نمک و شیل
(Warren, 2006)..... ۵
- شکل ۴-۱: کاربردهای مختلف گنبدنمکی (ندیمی, ۱۳۸۸)..... ۶
- شکل ۱-۲: الف) یک مقطع لرزه‌ای پس از برانبارش و مهاجرت داده شده شامل گسل ب) نتیجه اعمال نشانگر پوش سیگنال برای مقطع ورودی (الف)..... ۱۴
- شکل ۲-۲: نتیجه اعمال نشانگر مشتق پوش سیگنال برای شکل ۱-۲ (الف)..... ۱۵
- شکل ۳-۲: نتیجه اعمال نشانگر مشتق دوم پوش سیگنال برای شکل ۱-۲ (الف)..... ۱۶
- شکل ۴-۲: نتیجه اعمال نشانگر فاز لحظه‌ای برای شکل ۱-۲ (الف)..... ۱۸
- شکل ۵-۲: نتیجه اعمال نشانگر فرکانس لحظه‌ای برای شکل ۱-۲ (الف)..... ۱۹
- شکل ۶-۲: تعریف شیب و آزمون که برای محاسبه نشانگرهایی به همین نام‌ها استفاده می‌شود (Chopra and Marfurt, 2007)..... ۲۰
- شکل ۷-۲: الف) یک برش قائم از داده سه‌بعدی لرزه‌ای ب) یک برش افقی از همان داده سه‌بعدی لرزه‌ای ج) نشانگر شیب برای شکل (الف)، د) نشانگر شیب برای شکل (ب)، ه) نشانگر آزمون برای شکل (الف) و و) نشانگر آزمون برای شکل (ب) (Chopra and Marfurt, 2007)..... ۲۱
- شکل ۸-۲: الف) مقطع لرزه‌ای ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر همدوسی (Chopra and Marfurt, 2007)..... ۲۲
- شکل ۹-۲: الف) یک مقطع عمقی لرزه‌ای. محدوده گنبدنمکی 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)..... ۲۵

- شکل ۲-۱۰: الف) قطعه زمانی ورودی، گنبدنمکی با رنگ مشکی مشخص شده است. ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر فیلتر گابور با $\mu_0 = 0.2M$ (Berthelot et al., 2013). ۲۵
- شکل ۲-۱۱: 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. ۲۷
- شکل ۲-۱۲: 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. ۲۸
- شکل ۲-۱۳: 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). ۳۰
- شکل ۲-۱۴: الف) داده ورودی لرزه‌ای. نتایج اعمال نشانگرهای ب) جهت‌گرایی ج) همواری د) محتوای لبه و ه) ترکیب سه نشانگر برای داده لرزه‌ای ورودی (الف). ۳۲
- شکل ۲-۱۵: 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). ۳۳
- شکل ۲-۱۶: 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). ۳۴
- شکل ۲-۱۷: نمایش طرح‌وار محاسبه ماتریس GLCM در راستاهای مختلف با دورافت یک (صیادی، ۱۳۹۳). ۳۶
- شکل ۲-۱۸: الف) داده لرزه‌ای ورودی ب) نشانگر بافتی همبستگی ج) نشانگر بافتی همگنی د) نشانگر بافتی انرژی. ۳۸
- شکل ۳-۱: نتیجه اعمال گرادیان در دو جهت عمودی و افق بر روی یک تصویر واقعی در مقیاس خاکستری. الف) تصویر اصلی، ب) گرادیان عمودی و ج) گرادیان افقی. ۴۲

شکل ۳-۲: نتیجه اعمال گرادیان بر روی تصویر اولیه. الف) بزرگی گرادیان ب) جهت گرادیان
 حاصل ۴۳

شکل ۳-۳: تقسیم تصویر ورودی به نواحی کوچکتر به نام سلول ۴۳

شکل ۳-۴: اعمال روش HOG بر روی تصویر ورودی شکل ۳-۱ برای نمایش هیستوگرامهای
 سلول با ابعاد سلول ۱۲۰ و بدون بهنجارش ۴۵

شکل ۳-۵: نتیجه اعمال HOG بر روی تصویر ورودی شکل ۳-۱ ۴۶

شکل ۳-۶: فرآیند استخراج ویژگیها در روش HOG الف) بخشی از یک تصویر در مقیاس
 خاکستری با تعداد 8×8 پیکسل با مقادیر تصادفی. ب) بردارهای گرادیان محاسبه شده برای هر پیکسل
 ج) نتیجه HOG برای اندازه سلول 2×2 و تعداد ۵ بین بدون بهنجارش د) نتیجه نهایی HOG برای
 اندازه سلول 2×2 و تعداد ۵ بین بهنجار شده در بلوکهای 2×2 و با همپوشانی 1×1 ۴۷

شکل ۴-۱: نحوه حرکت پنجره تحلیل 3×3 مرکزی بر روی داده لرزه‌ای، برای محاسبه نشانگر
 بافتی بر مبنای روش HOG ۵۱

شکل ۴-۲: ساختارهای متفاوت زمین‌شناسی با بافت‌های مختلف برای اعمال روش HOG
 انتخاب شده‌اند که شامل الف) بازتابنده افقی، ب) بازتابنده با شیب پایین رونده، ج) منطقه داخل
 گنبدنمکی و د) مرز چپ گنبدنمکی ۵۲

شکل ۴-۳: چهار منطقه مورد نظر جدا شده و روش HOG با پارامترهای اندازه سلول 31×31 ،
 تعداد ۹ ویژگی و بدون بهنجار کردن الف) بازتابنده افقی، ب) بازتابنده با شیب پایین رونده، ج) منطقه
 داخل گنبدنمکی و د) مرز چپ گنبدنمکی ۵۳

شکل ۵-۱: داده لرزه ورودی برای اعمال نشانگرهای HOG، مرزها و کف گنبد قابل شناسایی
 نیستند ۸۶

شکل ۵-۲: ترکیب دو نشانگر فاز لحظه‌ای برای نشان دادن مرزها و محدوده کف گنبد،
 مستطیل‌های قرمز محدوده کف گنبد و دایره‌های سبز محدوده مرزهای کناری گنبد را نشان
 می‌دهد ۸۸

شکل ۵-۳: پنج منطقهای لرزه‌ای جدا شده از داده گنبدنمکی. الف) منطقه بازتابنده افقی،
 ب) بازتابنده با شیب پایین رونده، ج) گنبدنمکی، د) زیرگنبدنمکی و ه) مرز سمت چپ گنبدنمکی ۸۹

شکل ۴-۵: نتایج اعمال نشانگر انحراف معیار برای تعداد ویژگی ۷ و طول پنجره تحلیل مختلف:	
الف) ۵ (ب) ۱۵ (ج) ۳۱ (د) ۶۱.....	۹۲
شکل ۵-۵: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی‌های مختلف:	
الف) ۷ ویژگی، (ب) ۱۵ ویژگی، (ج) ۲۵ ویژگی و (د) ۴۵ ویژگی.....	۹۶
شکل ۶-۵: نتیجه اعمال روش HOG با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۷ برای نشانگرهای	
الف) میانگین (ب) IQR (ج) انحراف معیار (د) واریانس.....	۹۸
شکل ۷-۵: نتیجه اعمال روش HOG با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۷ برای نشانگرهای	
الف) بیشینه مقدار (ب) کمینه مقدار (ج) گستره (د) مد.....	۹۹
شکل ۸-۵: نتیجه اعمال روش HOG برای نشانگرهای الف) میانه با طول پنجره ۳۱ و تعداد	
ویژگی ۱۵ (ب) کشیدگی با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۵ (ج) چولگی با طول پنجره ۳۱ و تعداد	
ویژگی ۵.....	۱۰۰
شکل ۹-۵: الف) نتیجه اعمال روش HOG با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۵ برای نشانگر	
MVR (ب) نتیجه اعمال عملگر ریختشناسی بر روی MVR.....	۱۰۱
شکل ۱۰-۵: الف) داده ورودی لرزهای شامل گنیدنمکی. (ب) نشانگر فاز لحظهای (ج) نتیجه	
اعمال نشانگر MVR با طول پنجره ۳۱ و تعداد ۷ ویژگی (د) نتیجه اعمال عملگر ریختشناسی بر	
روی MVR.....	۱۰۴
شکل ۱۱-۵: الف) نشانگر فاز لحظهای (ب) نشانگر MVR بعد از اعمال ریخت شناسی (ج)	
ترکیب نشانگرهای جهت‌گرایی ، همواری و محتوای لبه (د) نشانگر سوبل متوازن (ه) نشانگر انرژی	
GLCM.....	۱۰۶

فهرست جداول

جدول ۱-۲: روابط ریاضی برای محاسبه نشانگرهای GLCM.....	۳۷
جدول ۲-۲: پارامترهای مورد استفاده در محاسبه نشانگرهای GLCM.....	۳۷
جدول ۱-۴: مقادیر هیستوگرام‌های به دست آمده برای چهار ساختار مشخص شده در مقطع	
لرزه‌ای.....	۵۳
جدول ۲-۴: محاسبه پارامترهای آماری برای مقادیر چهار منطقه جدول ۱-۴ که در شکل ۲-۴	
نشان داده شده‌اند.....	۵۵
جدول ۳-۴: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد	
ویژگی مختلف.....	۵۶
جدول ۴-۴: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و	
تعداد ویژگی مختلف.....	۵۶
جدول ۵-۴: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی	
مختلف.....	۵۷
جدول ۶-۴: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف	
پنجره و تعداد ویژگی مختلف.....	۵۷
جدول ۷-۴: محاسبه نشانگر میانه برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد	
ویژگی مختلف.....	۵۸
جدول ۸-۴: محاسبه نشانگر میانه برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد	
ویژگی مختلف.....	۵۹
جدول ۹-۴: محاسبه نشانگر میانه برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی	
مختلف.....	۵۹
جدول ۱۰-۴: محاسبه نشانگر میانه برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف	
پنجره و تعداد ویژگی مختلف.....	۶۰
جدول ۱۱-۴: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره	
و تعداد ویژگی مختلف.....	۶۱

- جدول ۴-۱۲: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۱
- جدول ۴-۱۳: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۲
- جدول ۴-۱۴: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۲
- جدول ۴-۱۵: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۳
- جدول ۴-۱۶: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۳
- جدول ۴-۱۷: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۴
- جدول ۴-۱۸: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۴
- جدول ۴-۱۹: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۵
- جدول ۴-۲۰: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۶
- جدول ۴-۲۱: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۶
- جدول ۴-۲۲: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۷
- جدول ۴-۲۳: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۷
- جدول ۴-۲۴: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف. ۶۸

جدول ۴-۲۵: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد	۶۹
ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۲۶: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف	۶۹
پنجره و تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۲۷: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره	۷۰
و تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۲۸: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف	۷۱
پنجره و تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۲۹: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد	۷۱
ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۰: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی	۷۲
مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۱: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره	۷۳
و تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۲: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف	۷۳
پنجره و تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۳: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد	۷۴
ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۴: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی	۷۴
مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۵: محاسبه نشانگر گستره برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و	۷۵
تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۶: محاسبه نشانگر گستره برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و	۷۶
تعداد ویژگی مختلف.....	
جدول ۴-۳۷: محاسبه نشانگر گستره برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی	۷۶
مختلف.....	

جدول ۴-۳۸: محاسبه نشانگر گستره برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۷۷
جدول ۴-۳۹: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۷۸
جدول ۴-۴۰: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۷۸
جدول ۴-۴۱: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۷۹
جدول ۴-۴۲: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۷۹
جدول ۴-۴۳: محاسبه نشانگر مد برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۰
جدول ۴-۴۴: محاسبه نشانگر مد برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۱
جدول ۴-۴۵: محاسبه نشانگر مد برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۱
جدول ۴-۴۶: محاسبه نشانگر مد برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۲
جدول ۴-۴۷: محاسبه نشانگر MVR برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۳
جدول ۴-۴۸: محاسبه نشانگر MVR برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۳
جدول ۴-۴۹: محاسبه نشانگر MVR برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۴
جدول ۴-۵۰: محاسبه نشانگر MVR برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.	۸۴

- جدول ۵-۱: طول پنجره تحلیل ۵ و تعداد ویژگی ۷ ۹۰
- جدول ۵-۲: طول پنجره تحلیل ۹ و تعداد ویژگی ۷ ۹۰
- جدول ۵-۳: طول پنجره تحلیل ۱۵ و تعداد ویژگی ۷ ۹۰
- جدول ۵-۴: طول پنجره تحلیل ۲۵ و تعداد ویژگی ۷ ۹۱
- جدول ۵-۵: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۷ ۹۱
- جدول ۵-۶: طول پنجره تحلیل ۶۱ و تعداد ویژگی ۷ ۹۱
- جدول ۵-۷: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۵ ۹۳
- جدول ۵-۸: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۷ ۹۴
- جدول ۵-۹: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۱۳ ۹۴
- جدول ۵-۱۰: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۱۷ ۹۴
- جدول ۵-۱۱: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۲۵ ۹۵
- جدول ۵-۱۲: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۵۵ ۹۵

کوتاه نوشت‌ها

کوتاه‌نوشت لاتین	لاتین	توضیح
HOG	Histogram of Oriented Gradient	هیستوگرام گرادیان جهتی
GLCM	Gray level co-occurrence matrix	ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری
MVR	Mean, Variance and Range mixture attribute	نشانگر ترکیب میانگین، واریانس و گستره

فصل اول

کلیات

۱-۱- ضرورت انجام تحقیق

امروزه شناسایی گنبد‌های نمکی یکی از چالش برانگیزترین بخش‌ها در تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی می‌باشد. محققان با استفاده از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی (لرزه‌شناسی، گرانی سنجی و...) به دنبال ابزارهای جدیدی هستند که بتوانند به خوبی لبه‌ها و کف گنبدنمکی را مشخص کنند. گنبدنمکی توده‌ای از نمک است که به دلیل چگالی پایین در لایه‌های بالایی و روباره^۱ خود نفوذ کرده و به سمت بالا حرکت می‌کند (Mohr et al., 2007). در ایران، جریان نمک که در اصطلاح به آن نمک‌ریز^۲ گفته می‌شود، در ارتفاعی بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در کمربند چین خورده زاگرس بالا آمده است (Warren, 2006). نمک به دلیل چگالی پایین‌تر نسبت به مواد اطراف و فشار همه جانبه توسط لایه‌های اطراف و فوقانی شروع به بالا رفتن می‌کند. 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^۳، توسعه تاقدیس^۴، گسل تراستی^۵ 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 (Pearson, 2012). در شکل ۱-۱ مراحل تشکیل یک گنبدنمکی به‌طور طرح‌وار نشان داده شده است (Vendeville, 2002).

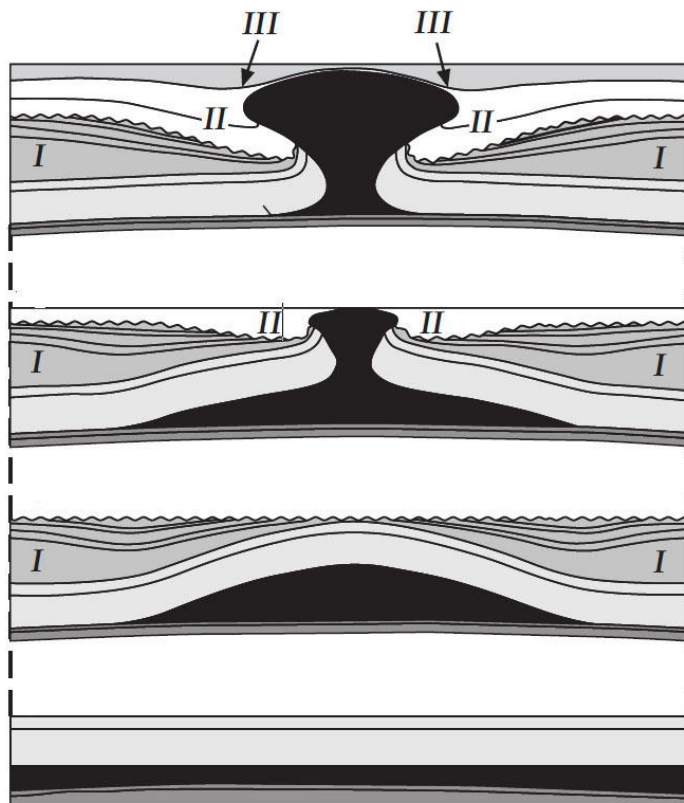
^۱ Overburden

^۲ Namakiers

^۳ extension fractures

^۴ developing anticline

^۵ thrust fault



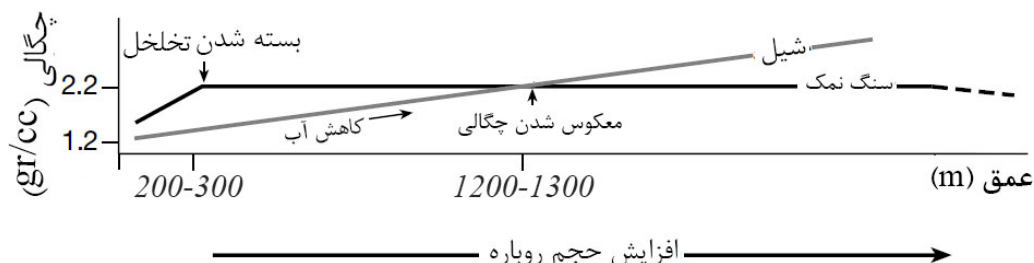
شکل ۱-۱: نمایش طرح‌وار تشکیل گنبدنمکی (رنگ مشکی نشان دهنده نمک است)
(Vendeville, 2002)

نمک به سه روش به روباره خود نفوذ می‌کند (۱) دوباره فعال شده، (۲) فعال و (۳) غیر فعال. در مرحله فعال شده (شکل ۱-۲ سمت چپ)، نمک به فضاهایی که توسط انبساط بوجود آمده است نفوذ می‌کند و با حرکت رو به بالای خود یک ساختار بادبزنی شکل از گسل‌های نرمال را شکل می‌دهند. مرحله فعال (شکل ۱-۲ وسط) زمانی اتفاق می‌افتد که روباره نازک باشد. در این صورت فشار نمک از شکنندگی روباره بیشتر خواهد بود و در آن رسوخ می‌کند. تشکیل گسل‌های شعاعی از نتایج اصلی این فرآیند است. همچنین در این مورد گسل‌های تراسی^۱ و تک‌شیب^۲ نیز تشکیل می‌شوند. در مرحله غیرفعال (شکل ۱-۲ سمت راست)، پس از آنکه گنبد از سطح آب بالاتر رود به یک گنبد غیرفعال تبدیل می‌شود و لبه‌هایش گسترش می‌یابد. در این مورد هیچ گونه شکستگی و گسل خوردگی به وجود نمی‌آید (Warren, 2006).

^۱ Thrust

^۲ Monocline

بیشتری برخوردار است. پس از بین رفتن تخلخل مؤثر که در اعماق ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری اتفاق می‌افتد، چگالی نمک تقریباً روند ثابتی را با افزایش عمق از خود نشان می‌دهد (از ۱۰۰-۲۰۰ متری تا ۶-۷ کیلومتری) که این خواص در شکل ۳-۱ نشان داده شده است (Warren, 2006).

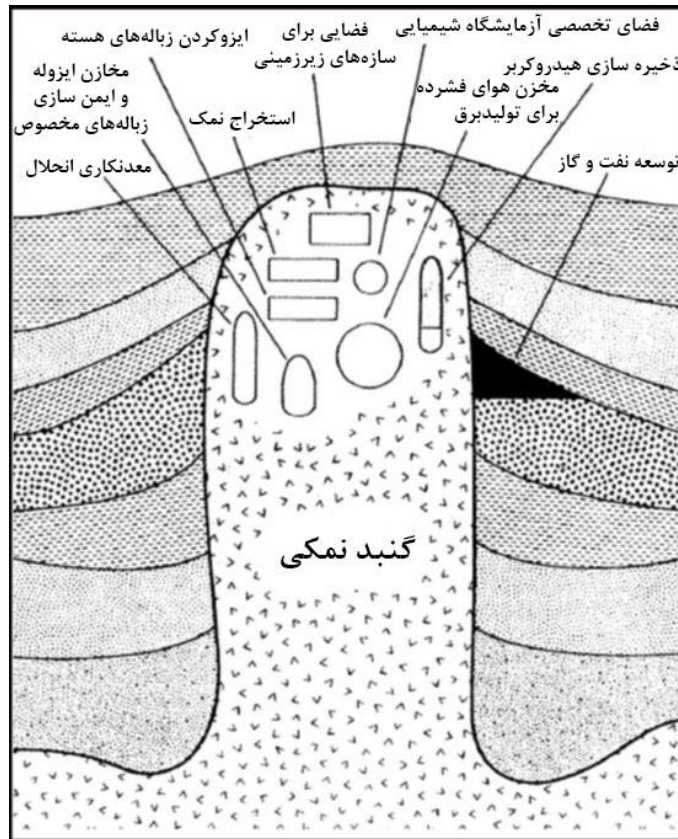


شکل ۳-۱: مقایسه تغییرات چگالی (گرم بر سی سی) با افزایش عمق برای سنگ نمک و شیل (Warren, 2006).

در مقایسه با چگالی خیلی پایین نمک، سرعت انتشار موج در آن نسبت به نواحی اطراف خیلی بیشتر است. در مدل سازی‌های مرسوم برای نمک معمولاً فرض می‌شود که نمک خالص بوده و موج حجمی P در آن با سرعت ثابت ۴۵۰۰ متر بر ثانیه حرکت می‌کند، ولی در عمل توده نمکی خالص نیست و باید یک بازه از سرعت را در نظر گرفت، این بازه برای موج حجمی P معمولاً از ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر بر ثانیه تغییر می‌کند (Warren, 2006, Jones and Davison, 2014). همان‌طور که مشهود است، این سرعت از سنگ‌های احاطه کننده و لایه‌های رسوبی اطراف نمک خیلی بیشتر است و تباین سرعت زیادی را ایجاد می‌کند. این سرعت زیاد باعث می‌شود که موج لرزه‌ای درون نمک سریع‌تر حرکت کند و زمان رسید موج به ژئوفون خیلی کمتر باشد. این عامل باعث می‌شود که کف گنبد بالاتر از مکان واقعی خود مشاهده شود (Pearson, 2012). اگر مدل سرعت به‌درستی به روزآوری شده باشد با استفاده از روش‌های مختلف کوچ لرزه‌ای این تصحیح بر روی داده‌ها اعمال شده و کف گنبد نمکی به مکان واقعی خود باز می‌گردد. در تصویر سازی لرزه‌ای برای تعیین مدل سرعت صحیح نیاز به مشخص کردن دقیق مرزهای گنبد نمکی است (Berthelot et al., 2013).

امروزه شناسایی گنبد نمکی به منظور پیدا کردن مخازن نفت و گاز طبیعی در اکتشافات هیدروکربنی، ذخیره‌سازی هیدروکربن (به ویژه گاز در مناطق سردسیر که فاقد ذخایر طبیعی گاز هستند)، منبع گوگرد طبیعی، منبع نمک طبیعی، مکانی برای نگهداری زباله‌های خطرناک

مانند زباله‌های هسته‌ای، معدنکاری انحلال و ایجاد فضایی برای سازه‌های زیرزمینی و ایجاد مخزن هوای فشرده برای تولید برق از توجه بسیاری برخوردار است (شکل ۱-۴) (Allen et al., 1982, Pearson, 2012, ندیمی, ۱۳۸۸).



شکل ۱-۴: کاربردهای مختلف گنبدنمکی (ندیمی, ۱۳۸۸).

گنبدنمکی یکی از مهم‌ترین تله‌های نفت و گاز در طبیعت هستند. گنبدنمکی به عنوان یک ماده انعطاف پذیر می‌تواند حرکت کرده و در لایه‌های رسوبی اطراف خود تغییر شکل ایجاد کنند و تله‌های نفتی را شکل دهد و همچنین خاصیت ناتراوای نمک نقش پوش سنگ را ایفا می‌کند. ایران از لحاظ رسوبات تبخیری بسیار غنی است و بهترین نمونه‌های گنبدنمکی 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

نفی مشخص است، به طوری که اطلاعات لرزه نگاری یکی از داده های اصلی در تعیین مخازن به شمار می رود (پاژنگ و همکاران، ۱۳۹۴).

به دلیل اینکه خواص فیزیکی گنبدنمکی با رسوبات اطراف اختلاف زیادی دارد، روش های ژئوفیزیکی مانند روش های لرزه ای، روش های گرانی سنجی، روش های مغناطیسی و روش های الکتریکی قادر به شناسایی آن هستند (Dubey et al., 2014, Avdeeva et al., 2012).

به دلیل شیب بسیار زیاد دیواره جانبی گنبدنمکی که در بعضی موارد به ۹۰ درجه نیز می رسد و همچنین به خاطر طبیعت نمک که باعث اتلاف بسیار زیاد انرژی امواج لرزه ای در آن می شود، امواج بازتابی دارای دامنه های بسیار ضعیف هستند یا حتی بازتابی در گیرنده ها ثبت نمی شود. به همین دلیل، تعیین دقیق مرزها فرآیندی بسیار دشوار خواهد بود که باعث تفسیر اشتباه و بروز مشکلاتی در فرآیندهای بعدی می شود (Telford et al., 1990, Kearey et al., 2013).

نشانگر لرزه ای یک اندازه گیری کمی از مشخصه لرزه ای هدف مورد علاقه است. نشانگرهای لرزه ای رایج، از روابط ریاضی بر اساس خواص فیزیکی و هندسی زیرسطحی برای آشکارسازی ویژگی های مورد نظر استفاده می کنند. نشانگرهای لرزه ای ابزار مفیدی برای توصیف ویژگی های زمین شناسی در تفسیر داده های لرزه ای هستند که اطلاعات پنهان داده های لرزه ای را آشکار می کنند (صیادی، ۱۳۹۳).

۲-۱- پیشینه تحقیق

نشانگرهای لرزه ای زیادی برای شناسایی و برجسته کردن عوارض زمین شناسی مختلف از جمله گنبد های نمکی، گسل ها، کانال های مدفون و غیره وجود دارند. نشانگرهای لرزه ای که برای شناسایی گنبدنمکی استفاده می شوند، بیشتر بر مبنای بافت هستند. تا کنون تعداد زیادی از نشانگرهای بافتی مورد مطالعه قرار گرفته اند که از جمله جدیدترین آن ها، نشانگرهای بافتی بر مبنای ماتریس هم رخداد سطح خاکستری^۱، نشانگرهای بر مبنای فرکانس، نشانگرهای شیب و

^۱ Gray level co-occurrence matrix

شبهات (Berthelot et al., 2013)، نشانگر جهت‌گرایی^۱، نشانگر همواری^۲، نشانگر محتوای لبه^۳ (Hegazy and AlRegib, 2014)، نشانگر سوبل^۴ (Aqrawi et al., 2011) و نشانگر گرادیان بافت سه‌بعدی (Shafiq et al., 2015) می‌باشند.

هستوگرام گرادیان جهتی^۵ (HOG) ابزاری برای توصیف ویژگی‌هاست که در علوم کامپیوتر و پردازش تصویر برای تشخیص اشیاء استفاده شده است (Chen et al., 2014, Shen et al., 2009, Chandrasekhar et al., 2015, et al.). در ژئوفیزیک از این روش فقط برای شناسایی مین‌های مدفون توسط روش رادار نفوذی زمین^۶ استفاده شده است (Torriane et al., 2014). هدف اصلی در الگوریتم HOG استخراج ویژگی‌های دلخواه از داده‌هاست که برای تشخیص اجسام مختلف استفاده می‌شود (Dalal and Triggs, 2005).

۱-۳- هدف از انجام این پایان‌نامه

در این پایان‌نامه سعی می‌شود از روش HOG، به‌عنوان ابزاری جهت محاسبه نشانگر لرزه‌ای برای شناسایی گنبدهای نمکی مختلف استفاده شود. با استخراج نشانگرهای جدید مبتنی بر HOG و اعمال آن بر داده‌های لرزه‌ای بازتابی، می‌توان رویدادهای مختلف نظیر گنبدنمکی را شناسایی نمود. نشانگرهای مبتنی بر HOG برای اولین بار در این پایان‌نامه معرفی می‌شوند.

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه پیش رو در شش فصل تنظیم شده است. در فصل اول ضمن ارایه یک مقدمه، به بیان مسأله و روش پاسخ به آن پرداخته شده است. در فصل دوم در ابتدا مفهوم کلی نشانگرهای لرزه‌ای توضیح داده می‌شود و سپس نشانگرهای بافتی مختلف همراه با ذکر چند مثال برای شناسایی گنبدنمکی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در فصل سوم مفهوم کلی روش هستوگرام

^۱ Directionality

^۲ Smoothness

^۳ Edge content

^۴ Sobel

^۵ Histogram of Oriented Gradient

^۶ Ground Penetrating Radar

گرادین جهتی و تئوری آن با ذکر چند مثال غیر لرزه‌ای مورد بحث قرار خواهد گرفت. در فصل چهارم نشانگرهای بافتی جدید بر مبنای هیستوگرام گرادین جهتی معرفی می‌شوند، این نشانگرها با استفاده از استخراج ویژگی‌هایی (این ویژگی‌ها توسط روش‌های آماری استخراج می‌شوند) از خروجی روش هیستوگرام گرادین جهتی به دست می‌آیند. تئوری و روش استفاده از هر کدام از این نشانگرها همراه با ذکر چند مثال به طور مفصل توضیح داده خواهد شد. در فصل پنجم نشانگرهای استخراج شده از روش HOG بر داده‌های گنبدنمکی اعمال می‌شود. برای تعیین صحت نتایج حاصل از نشانگر پیشنهادی، این نشانگر با سایر نشانگرهای مرسوم که برای شناسایی گنبدنمکی استفاده شده‌اند، مقایسه می‌شود.

فصل دوم:

مفهوم کلی نشانگرها و معرفی

نشانگرهای بافتی

۱-۲- نشانگرهای لرزه‌ای

نشانگرهای لرزه‌ای اطلاعاتی هستند که با استفاده از اندازه‌گیری‌های مستقیم یا با استفاده از استدلال تجربی یا منطقی از داده‌های لرزه‌ای به دست می‌آیند. نشانگرهای ردلرزه مختلط در آغاز دهه هفتاد میلادی معرفی شدند و محبوبیت زیادی پیدا کردند. 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. نشانگرهای ردلرزه مختلط ابتدا به عنوان ابزار نمایشی مفید برای تفسیر داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند (Taner, 2001).

مطالعه و تفسیر نشانگرهای لرزه‌ای برخی از اطلاعات کیفی از هندسه و پارامترهای فیزیکی زیر سطح زمین را فراهم می‌کند. توجه به این نکته ضروری است که محتوای دامنه داده لرزه‌ای، فاکتور اصلی برای تعیین پارامترهای فیزیکی مانند مقاومت صوتی^۱، ضرایب بازتاب، سرعت‌ها، ضریب جذب و غیره می‌باشد، در حالی که محتوای فازی فاکتور اساسی در تعیین شکل بازتابنده‌ها، پیکربندی هندسی و غیره استفاده می‌شود (Taner, 2001, Berthelot et al., 2013). تعداد زیاد نشانگرهای لرزه‌ای معرفی شده، باعث شده است که استفاده از آن‌ها همراه با پیچیدگی‌های فراوانی همراه شود. تقسیم‌بندی نشانگرها به منظور استفاده هدفمند بسیاری از مشکلات پیش روی استفاده از آن‌ها را مرتفع ساخت. نشانگرهای لرزه‌ای را به روش‌های مختلفی می‌توان دسته‌بندی کرد. در حالت کلی نشانگرهای لرزه‌ای به دو دسته‌ی نشانگرهای فیزیکی و نشانگرهای هندسی تقسیم می‌شود (Subrahmanyam and Rao, 2008).

۱-۱-۲- نشانگرهای فیزیکی

نشانگرهای فیزیکی، نشانگرهایی هستند که به طور مستقیم با انتشار موج، سنگ‌شناسی و سایر پارامترها در ارتباط هستند. این نشانگرهای فیزیکی خود به دو دسته نشانگرهای قبل از برانبارش و نشانگرهای پس از برانبارش تقسیم می‌شوند که هر کدام از این‌ها به دو زیردسته نشانگرهای لحظه‌ای و نشانگرهای موجک تقسیم می‌شوند. نشانگرهای لحظه‌ای

^۱ Acoustic impedance

به صورت نمونه به نمونه محاسبه می شوند و بیانگر تغییرات پیوسته خصوصیات در امتداد محور زمان می باشند. در طرف دیگر نشانگرهای موجک نشان دهنده ویژگی های موجک و طیف دامنه اش می باشند. در ادامه تعدادی از نشانگرهای فیزیکی مورد بحث قرار می گیرند (Taner, 2001, Subrahmanyam and Rao, 2008).

۲-۱-۱-۱- نشانگرهای پس از برانبارش

نشانگرهای پس از برانبارش از داده های برانبارش شده به دست می آیند. دسته مهمی از نشانگرهای این بخش از سیگنال لرزه ای مختلط به دست می آیند. مفهوم ردلرزه مختلط^۱ توسط تانر^۲ در سال ۱۹۷۹ معرفی شد. رد لرزه مختلط به صورت رابطه (۱-۲) تعریف می شود (Proakis and Manolakis, 2007).

$$Ct(t) = T(t) + iH(t) \quad (1-2)$$

در رابطه (۱-۲)، $Ct(t)$ ردلرزه مختلط، $T(t)$ ردلرزه، $H(t)$ تبدیل هیلبرت $T(t)$ می باشد که $H(t)$ به اندازه ۹۰ درجه با $T(t)$ اختلاف فاز دارد.

الف) نشانگر پوش سیگنال (E) یا قدرت بازتاب

پوش سیگنال (E) با استفاده از تئوری ردلرزه مختلط مطابق رابطه (۲-۲) محاسبه می شود (Taner et al., 1979, Zhang and Bentley, 2000).

$$E(t) = \sqrt{T^2(t) + H^2(t)} \quad (2-2)$$

پوش حاصل از سیگنال لرزه ای در فرکانس پایین ظاهر شده و فقط دارای دامنه مثبت است. این نشانگر اغلب ویژگی های اصلی لرزه ای را برجسته می کند. پوش سیگنال نشان دهنده انرژی لحظه ای است که دامنه اش متناسب با ضریب بازتاب است. از کاربردهای پوش سیگنال می توان به مشخص کردن ناپیوستگی ها، تغییرات سنگ شناسی، گسل ها، تغییرات در نهشته های رسوبی (دگرشیب ها^۳)، اثر هم کوکی^۴ محل اجتماع گاز، تغییرات محلی در ناحیه گسل خوردگی و مرز

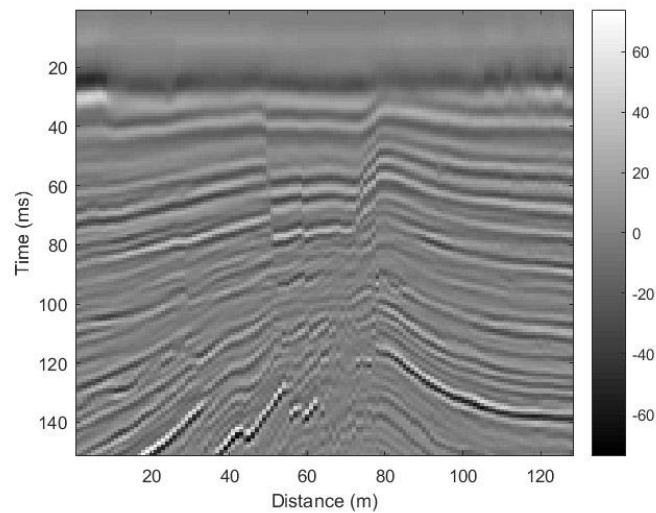
^۱ Complex traces

^۲ Tanner

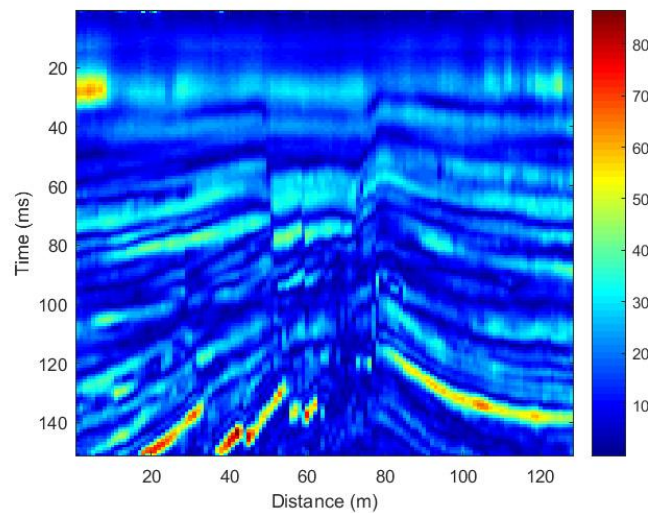
^۳ Unconformities

^۴ Tuning effect

سکانس‌ها اشاره کرد. همچنین به دلیل تناسب با بازتاب‌پذیری^۱ برای تحلیل بی‌هنجاری‌های AVO^۲ مناسب است البته در این حالت بر روی داده‌های پیش از برانبارش اعمال می‌شود (Sacrey and Roden, 2014). این نشانگر بر روی یک داده لرزه‌ای که شامل چندین گسل نرمال^۳ است، اعمال شده است که نتایج آن در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۱-۲: (الف) یک مقطع لرزه‌ای پس از برانبارش و مهاجرت داده شده شامل گسل (ب) نتیجه اعمال نشانگر پوش سیگنال برای مقطع ورودی (الف).

^۱ Reflectivity

^۲ Amplitude Versus Offset

^۳ Normal fault

ب) نشانگر مشتق پوش سیگنال^۱ (RE)

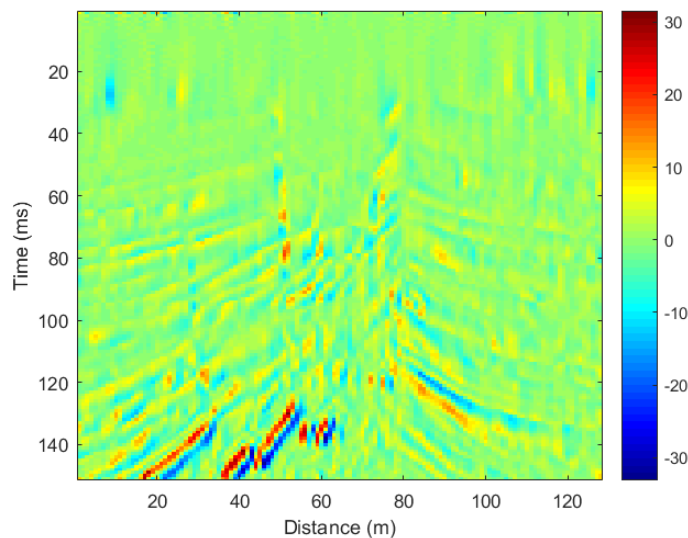
این نشانگر همان طور که از نامش پیداست، مشتق زمانی پوش سیگنال می باشد که با استفاده از رابطه (۳-۲) محاسبه می شود (Zhang and Bentley, 2000, Taner, 2001).

$$RE(t) = \frac{dE(t)}{dt} \quad (3-2)$$

از این نشانگر برای برجسته کردن موارد زیر استفاده می شود (Chopra and Marfurt, 2007):

- تغییر در بازتاب پذیری،
- تغییر در جذب انرژی،
- تغییرات شدید^۲ سطوح مشترک،
- ناپیوستگی ها^۳.

شکل ۲-۲، نتیجه اعمال نشانگر مشتق پوش سیگنال برای شکل ۱-۲ (الف) می باشد.



شکل ۲-۲: نتیجه اعمال نشانگر مشتق پوش سیگنال برای شکل ۱-۲ (الف).

^۱ Envelope Derivative

^۲ Sharp

^۳ Discontinuities

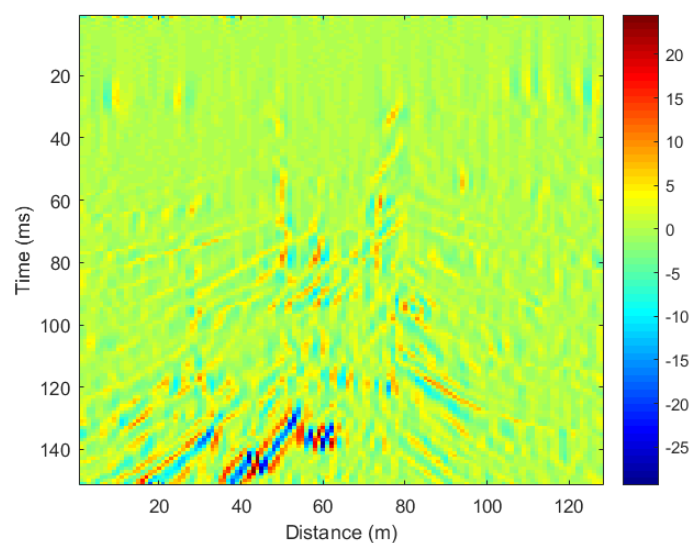
ج) نشانگر مشتق دوم پوش سیگنال

این نشانگر با استفاده از رابطه (۴-۲) به دست می آید (Taner et al., 1979, White, 1991).

$$DDE(t) = \frac{d^2 E(t)}{dt^2} \quad (4-2)$$

مشتق دوم پوش دامنه به خوبی سطوح مشترک و محل تغییرات زمین شناسی را مشخص می کند. این نشانگر به دلیل این که به دامنه حساسیت زیادی ندارد، توانایی برجسته کردن رویدادهای ضعیف را نیز دارد. کاربرد این نشانگر در موارد زیر است (Chopra and Marfurt, 2007, Taner, 2001):

- نشان دادن تمام سطوح مشترک بازتابنده های موجود در داده لرزه ای که پهنای باند وسیع دارند،
 - نشان دادن تغییرات شدید رویدادها،
 - نشان دادن تغییرات شدید سنگ شناسی،
 - نمایش خیلی خوب تصاویر زیرسطحی، در داده لرزه ای که پهنای باند وسیع دارند.
- نشانگر مشتق دوم پوش سیگنال برای شکل ۱-۲ اعمال شده است که نتایج آن در شکل ۳-۲ مشاهده می شود.



شکل ۳-۲: نتیجه اعمال نشانگر مشتق دوم پوش سیگنال برای شکل ۱-۲ (الف).

د) نشانگر فاز لحظه‌ای^۱

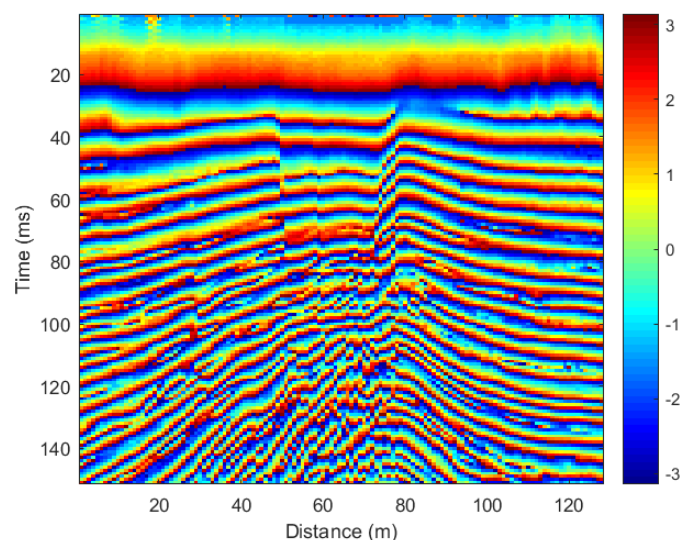
نشانگر فاز لحظه‌ای طبق رابطه (۵-۲) قابل محاسبه است (White, 1991, Hardage, 1979, Taner et al., 2010).

$$\phi(t) = \tan^{-1} \left| \frac{H(t)}{T(t)} \right| \quad (5-2)$$

فاز لحظه‌ای در زاویه بین π تا $-\pi$ محاسبه می‌شود. این نشانگر مستقل از دامنه است و پیوستگی و ناپیوستگی‌ها و همچنین بازتابنده‌ها را به خوبی مشخص می‌کند. از ویژگی‌های این نشانگر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Chopra and Marfurt, 2007, Taner, 2001):

- یکی از بهترین نشانگرهای نشان‌دهنده پیوستگی عرضی،
 - بازگوکننده اجزای فازی انتشار موج،
 - قابل استفاده برای محاسبه سرعت فاز،
 - آشکارسازی رویدادهای بازتابی با دامنه ضعیف،
 - بازتابنده را با جزئیات بالا نشان می‌دهد،
 - در محاسبات نشانگر فرکانس لحظه‌ای قابل استفاده است.
- شکل ۲-۴، نتیجه اعمال نشانگر مشتق پوش سیگنال برای شکل ۱-۲ (الف) می‌باشد.

^۱ Instantaneous Phase



شکل ۲-۴: نتیجه اعمال نشانگر فاز لحظه‌ای برای شکل ۱-۲ (الف).

ه) نشانگر فرکانس لحظه‌ای^۱

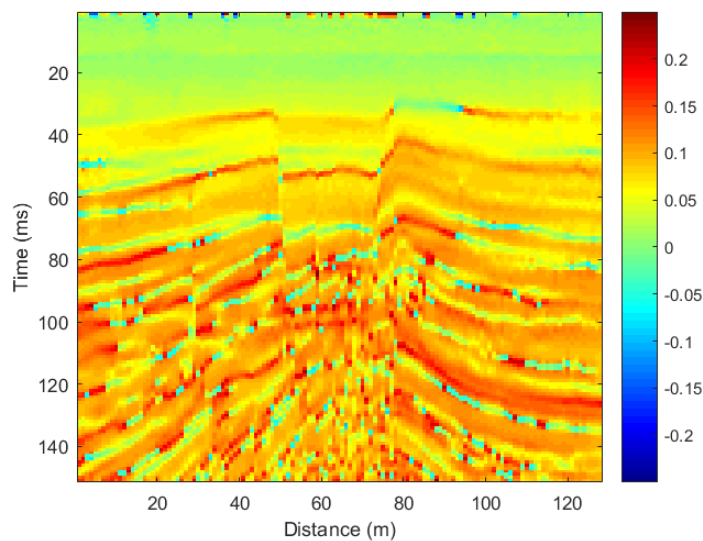
این نشانگر با استفاده از محاسبه مشتق زمانی فاز لحظه‌ای مطابق با رابطه (۲-۶) به دست می‌آید که نرخ تغییرات فاز را نشان می‌دهد (Ulrych et al., 2007, Subrahmanyam and Rao, 2008).

$$F(t) = \frac{d(\phi(t))}{dt} \quad (۲-۶)$$

فرکانس لحظه‌ای دامنه میانگین موجک را نشان می‌دهد که در موارد زیر کاربرد دارد (Subrahmanyam and Rao, 2008):

- جهت محاسبه ضخامت لایه‌ها و همچنین پارامترهای سنگ‌شناسی
- جهت محاسبه نرخ ماسه به شیل،
- لبه‌های لایه‌های نازک با مقاومت صوتی پایین را مشخص می‌کند،
- نشان دهنده هیدروکربن با استفاده از بی‌هنجاری فرکانس پایین،
- نشان دهنده ناحیه شکسته شده که به عنوان منطقه فرکانس پایین ظاهر می‌شود،
- نشان دهنده منطقه بازتاب‌های آشفته.

^۱ Instantaneous Frequency



شکل ۲-۵: نتیجه اعمال نشانگر فرکانس لحظه‌ای برای شکل ۲-۱ (الف).

۲-۱-۱-۲- نشانگرهای قبل از برانبارش

در این حوزه، داده‌ها به صورت نقطه عمقی مشترک^۱ (CDP) هستند (Subrahmanyam and Rao, 2008). این نوع داده‌ها دارای اطلاعات مربوط به دورافت و آزیموت می‌باشند. محاسبات مربوط به این نشانگر با توجه به حجم زیاد داده ورودی بسیار زیاد است و به همین دلیل برای مطالعات ابتدایی عملی نیست. با این وجود، این داده‌ها حاوی اطلاعات خیلی مهمی هستند که به‌طور مستقیم به محتوای سیال^۲ و جهت شکستگی مربوط می‌شود. همه نشانگرهای AVO^۳ و سرعت‌ها در این گروه قرار می‌گیرند (Images, 2003, Sacrey and Roden, 2014).

۲-۱-۲- نشانگرهای هندسی

هدف اصلی در محاسبه نشانگرهای هندسی یافتن خواص هندسی در داده‌های لرزه‌ای است (Chopra and Marfurt, 2005). سخت‌ترین قسمت در محاسبه نشانگرهای هندسی، پیدا

^۱ Common depth gather

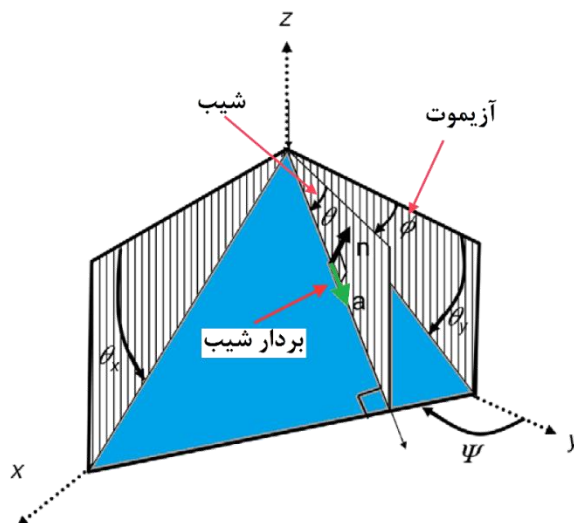
^۲ Fluid content

^۳ Amplitude versus offset

کردن ارتباط هندسی بین چندین هزار ردلرزه است. در این دسته از نشانگرها، نشانگرهایی مانند شیب^۱، آزمون^۲، همدوسی^۳ و انحنا^۴ قرار می‌گیرند (Aboaba, 2015).

۲-۱-۲-۱- نشانگرهای شیب و آزمون

در شکل ۲-۶ تعریف شیب و آزمون نشان داده شده است. نشانگر شیب با در نظر گرفتن چند ردلرزه نزدیک به هم، شیب رویدادهای لرزه‌ای را اندازه‌گیری می‌کند. نشانگر آزمون نیز به همین ترتیب زاویه یکی از محورهای اصلی را با جهت بیشترین شیب اندازه‌گیری می‌کند (Subrahmanyam and Rao, 2008, Sacrey and Roden, 2014). نشانگرهای شیب و آزمون بر یک برش قائم و افقی داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی اعمال شده است که نتایج در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.

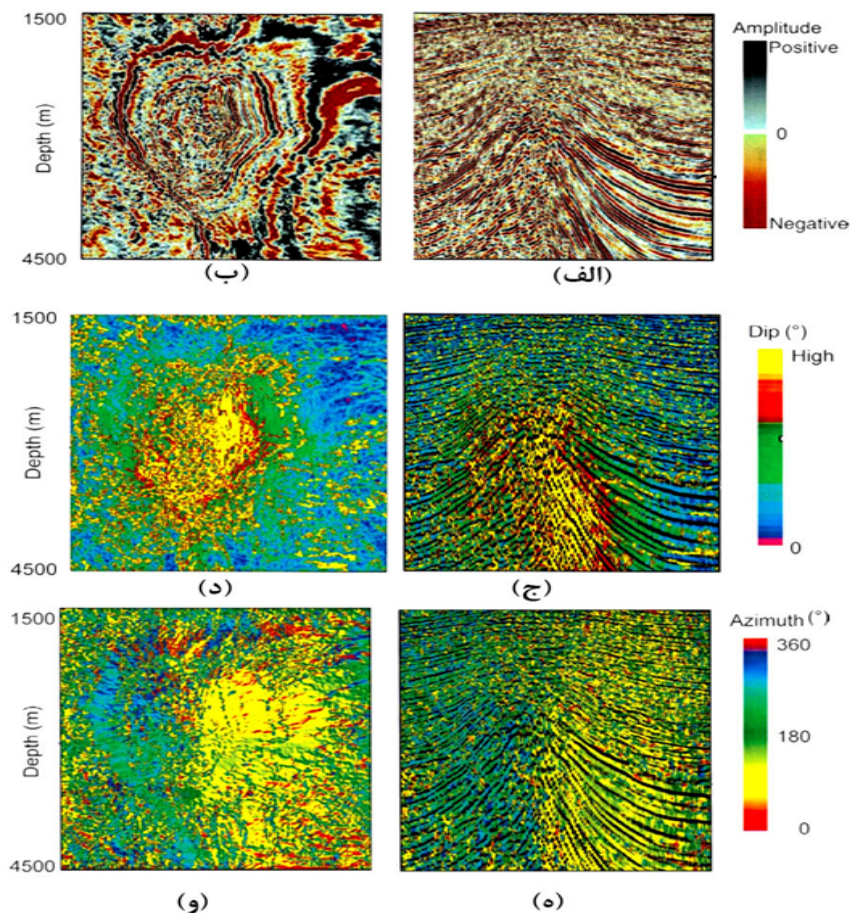


شکل ۲-۶: تعریف شیب و آرموت که برای محاسبه نشانگرهایی به همین نام‌ها استفاده می‌شود (Chopra and Marfurt, 2007).

 $\backslash \text{Dip}$ γ Azimuth

Coherency

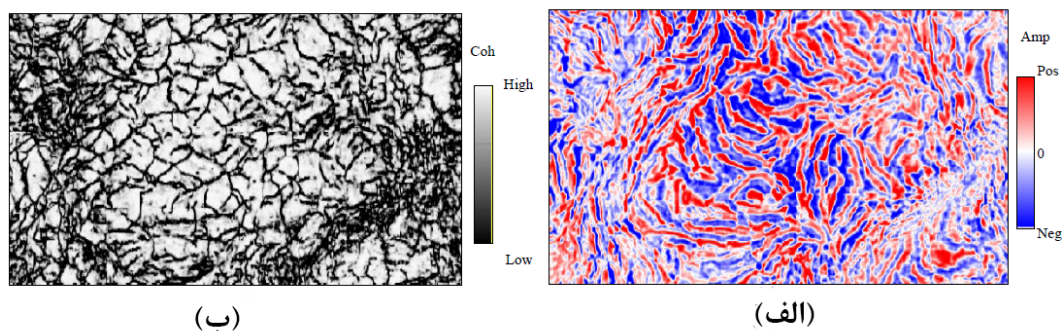
^f *Curvature*



شکل ۷-۲: (الف) یک برش قائم از داده سه‌بعدی لرزه‌ای (ب) یک برش افقی از همان داده سه‌بعدی لرزه‌ای (ج) نشانگر شیب برای شکل (الف)، (د) نشانگر شیب برای شکل (ب)، (ه) نشانگر آزیموت برای شکل (الف) و (و) نشانگر آزیموت برای شکل (ب) (Chopra and Marfurt, 2007).

۲-۲-۱-۲- نشانگر همدوسی

از آنجایی که نشانگر همدوسی بر مبنای بیشترین شباهت استوار است، یکی از ابزارهای مناسب برای شناسایی گسل‌ها و کانال‌های مدفون می‌باشد. در این نشانگر مقادیر با دامنه کم متناظر با ناپیوستگی در داده و مقادیر با دامنه بالا پیوستگی در داده را نشان می‌دهد (Taner, 2001, Subrahmanyam and Rao, 2008, Images, 2003). در شکل ۸-۲ کاربرد این نشانگر برای شناسایی گسل و شکستگی‌ها نشان داده شده است.



شکل ۸-۲: الف) مقطع لرزه‌ای (ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر همدوسی (Chopra and Marfurt, 2007)

۲-۲- دسته‌بندی کلی نشانگرها بر اساس دامنه لرزه‌ای

نشانگرهای لرزه‌ای زیادی وجود دارند که بر اساس دامنه لرزه‌ای کار می‌کنند و هدف از استفاده از آنها، آسان کردن تفسیر ساختاری، چینه‌شناسی و تعیین تخلخل می‌باشد. بر این اساس نشانگرهای لرزه‌ای به چهار دسته زیر تقسیم می‌شوند (Chopra and Marfurt, 2014).

- دسته اول نشانگرهایی هستند که از سیگنال تحلیلی به‌دست آمده از دامنه لرزه‌ای استفاده کرده و به تفسیر و تعیین عوارض زمین‌شناسی کمک می‌کند. طبقه محاسبه این نشانگرها در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد.
- دسته دوم نشانگرهایی که از تبدیل دامنه لرزه‌ای به مقاومت صوتی یا سرعت به‌دست می‌آیند. این نشانگرها به نشانگرهای معکوس‌سازی مقاومت لرزه‌ای^۱ معروف هستند که حاوی اطلاعاتی مانند سنگ‌شناسی هستند که می‌توان با داده‌های چاه وفق داده شود.
- دسته سوم از نشانگرها، تغییرات جانبی شکل موج را در یک پنجره تحلیل بررسی می‌کند. نشانگرهای هندسی در این نوع دسته جای می‌گیرند که شامل نشانگرهای شیب، آزیموت، همدوسی و انحنای^۲ هستند که به‌طور مکرر برای شناسایی گسل‌ها، شکستگی‌ها و چین خوردگی استفاده می‌شوند. تعدادی از این نشانگرهای در بخش‌های قبلی توضیح داده شدند.

^۱ Seismic impedance inversion attributes

^۲ Curvature

- دسته چهارم از نشانگرها که تا کنون کمتر در کارهای تفسیری استفاده شده‌اند، نشانگرهای بافتی می‌باشند. بافت لرزه‌ای شکل دهنده اساس تفسیر چینه‌ای در لرزه‌شناسی است.

۳-۲- نشانگرهای بافتی

۳-۲-۱- مفهوم بافت لرزه‌ای

تحلیل بافت به معنای استخراج ویژگی‌های بافتی از یک تصویر است. در علوم مختلف تعاریف مختلفی برای بافت آورده شده است. در کل بافت اشاره به خواص فیزیکی یک شیء یا ظاهر تصویر دارد. در تحلیل تصویر، بافت به عنوان یک تابع فضایی تعریف می‌شود که اختلاف شدت روشنایی را اندازه‌گیری می‌کند. بافت لرزه‌ای به معنی بزرگی و 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).

۳-۲-۲- 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 به دست آمده از فیلتر گابور^۵ 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

^۱ Classification

^۲ Segmentation

^۳ Synthesis

^۴ Shape

^۵ Gabor filters

(u', v') ، فیلتر گابور با زاویه θ و فیلتر شعاعی F_R طبق رابطه (۷-۲) تعریف می‌شود (Berthelot et al., 2013).

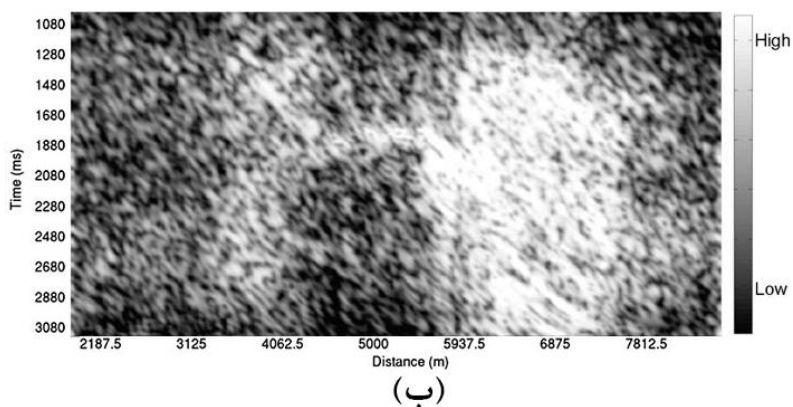
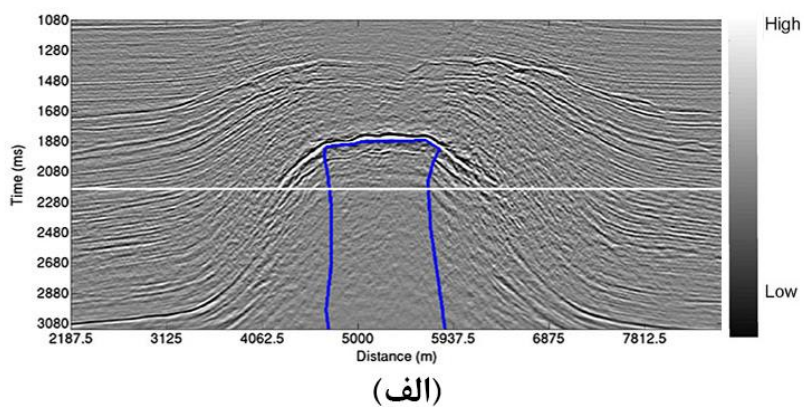
$$H(u', v') = \frac{8\sigma_u\sigma_v}{\pi} \left(\exp \left\{ \frac{-1}{2} \left[\frac{(u' - F_R)^2}{\sigma_u^2} + \frac{V^2}{\sigma_v^2} \right] \right\} + \exp \left\{ \frac{-1}{2} \left[\frac{(u' + F_R)^2}{\sigma_u^2} + \frac{V^2}{\sigma_v^2} \right] \right\} \right) \quad (7-2)$$

در رابطه (۷-۲) $u' = u \cos \theta + v \sin \theta$ ، $v' = -u \sin \theta + v \cos \theta$ 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 پهنای فیلتر از پهنای باند فیلتر شعاعی B_R بر حسب اکتاو^۱ و زاویه پهنای فیلتر B_θ بر حسب درجه طبق رابطه (۸-۲) استفاده شود (Berthelot et al., 2013).

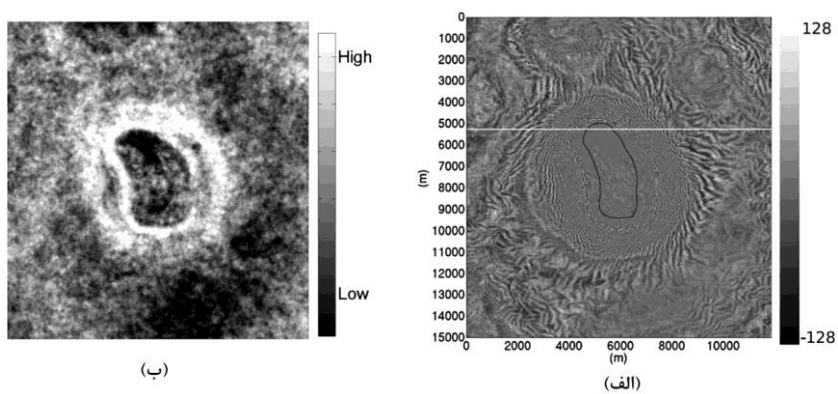
$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{-2\log(1/2)}} \frac{2^{B_R} - 1}{2^{B_R} + 1} F_R, \quad \sigma_v = \frac{\tan(B_\theta / 2)}{\sqrt{-2\log(1/2)}} F_R. \quad (8-2)$$

نشانگرهای گابور برای استخراج اطلاعات مربوط به رویدادهای تناوبی مناسب هستند. از آنجایی که در دو مقطع عمقی و برش زمانی لرزه‌ای، رویدادهای بازتابنده با شیب پایین رونده به صورت تناوبی است، بعد از اعمال این نشانگر خود را با مقادیر بالا نشان می‌دهند. برای یک مقطع عمقی (شکل ۹-۲ الف)) نشانگر فیلتر گابور با $\theta = -45$ و $\mu_0 = 0.15M$ اعمال شده است که نتایج آن در شکل ۹-۲ ب) مشاهده می‌شود. همچنین برای یک مقطع زمانی نشانگر فیلتر گابور برای $\mu_0 = 0.2M$ اعمال شده است که در شکل ۹-۲ ب) نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، در هر دو مورد رویدادهای بازتابنده با شیب پایین رونده از سایر رویدادها متمایز شده‌اند.

^۱ Octave



شکل ۹-۲: الف) یک مقطع عمقی لرزه‌ای. محدوده گنبدنمکی 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 ۱۰-۲: الف) قطعه زمانی ورودی، گنبدنمکی با رنگ مشکی مشخص شده است. ب) نتیجه بعد از اعمال نشانگر فیلتر گابور با $\mu_0 = 0.2M$ (Berthelot et al., 2013).

۲-۳-۳- 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 (۹-۲) استفاده می‌شود (Sobel, 2014).

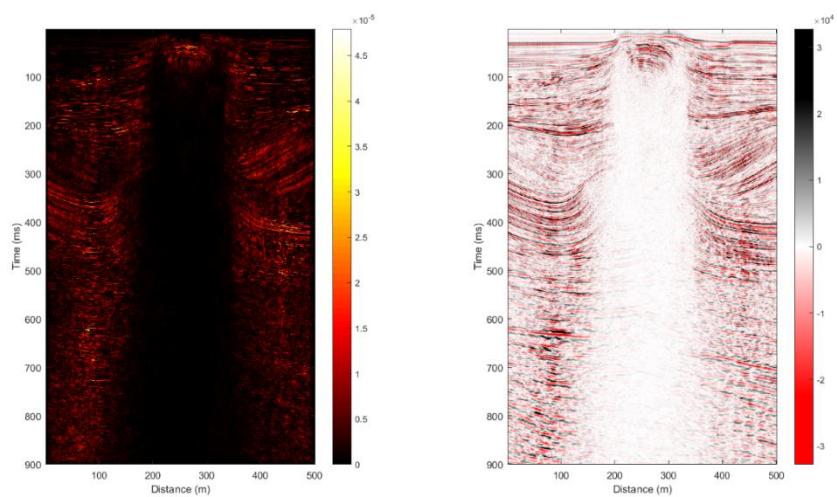
$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A, \quad (9-2)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A$$

که A تصویر ورودی و $(*)$ عملگر هم‌امیخت است. عملگر سوبل به‌صورت 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 (۱۰-۲) محاسبه می‌شود (نجاتی کلاته و روشندل کاهو، ۱۳۹۱).

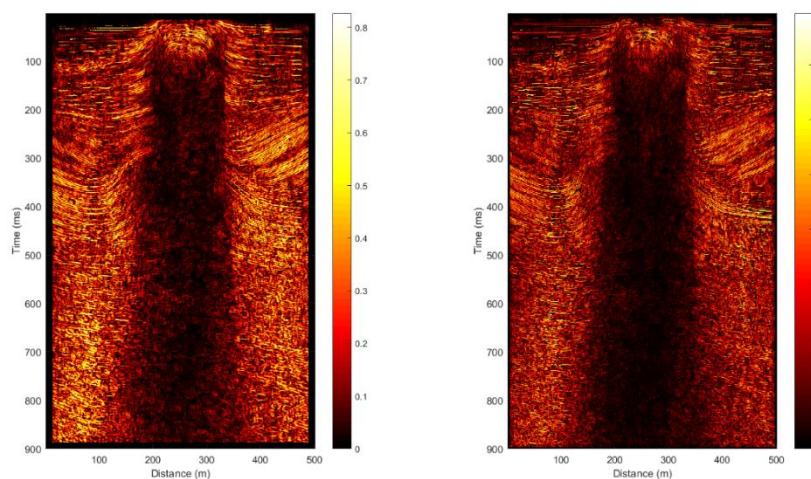
$$|G|_b = \frac{|G|}{k + \sqrt{H_x^2(|G|) + H_y^2(|G|) + |G|^2}} \quad (10-2)$$

H_x و H_y به‌ترتیب 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 به‌منظور شناسایی گنبدنمکی بر روی یک مقطع عمقی با در نظر گرفتن شیب ساختارها و یک برش زمانی اعمال شده است که نتایج آن در شکل ۱۱-۲ و شکل ۱۲-۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این نشانگر توانایی تشخیص لبه‌های گنبدنمکی را تا حد قابل قبولی داشته است.



(ب)

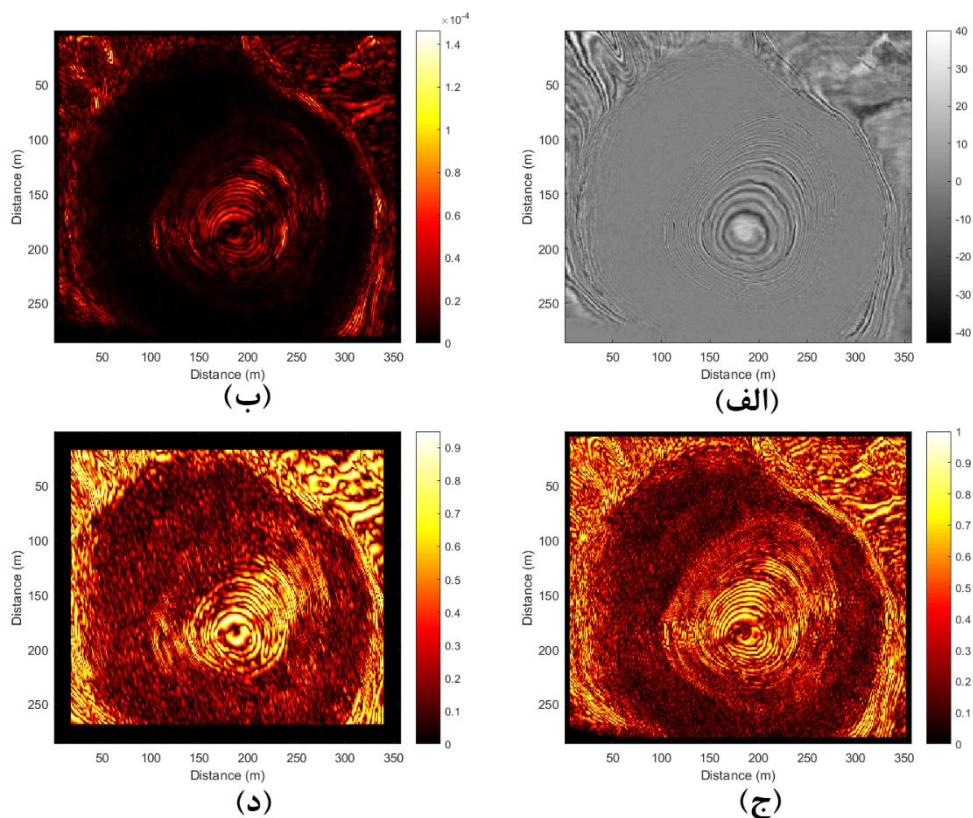
(الف)



(د)

(ج)

شکل ۱۱-۲: الف) داده لرزه‌ای دوبعدی ب) نشانگر سوئل دوبعدی متداول با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۳ ج) نشانگر سوئل دوبعدی متوازن با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۳ د) نشانگر سوئل دوبعدی متوازن با احتساب شیب رویدادها برای طول پنجره ۹.



شکل ۲-۱۲: (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.

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 اعظم‌پور (۱۳۹۳) مراجعه شود. در انتخاب پنجره مناسب بایستی به ابعاد گنبدنمکی، 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 (اعظم‌پور، ۱۳۹۳).

۲-۳-۴- نشانگرهای بافتی جهت گرایی^۱، همواری^۲ و محتوای لبه^۳

این نشانگرها دارای محاسبات خیلی کمی بوده و با صرف زمان اندکی می توان برای تشخیص بافت گنبدنمکی از سایر بافت ها 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 گنبدنمکی استفاده کرد (Hegazy and AlRegib, 2014).

۲-۳-۴-۱- نشانگر جهت گرایی

در بافت های غیر نمکی که بازتابنده افقی و شیب دار را شامل می شود، بافت جهتی است اما در بافت نمک به علت همگن بودن آن، جهت گرایی وجود ندارد. این موضوع به خوبی در شکل ۲-۱۳ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می شود، دو پنجره مربعی شکل از مقطع لرزه ای دوبعدی که حاوی گنبدنمکی است انتخاب شده اند به گونه ای که یکی درون ناحیه گنبدنمکی 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 می شود، نمودار مربوط به پنجره خارج از گنبد یک جهت یافتگی واضح دارند در صورتی که در نمودار پنجره درون گنبدنمکی، چنین جهت یافتگی وجود ندارند. با استفاده از این واقعیت، برای یک پنجره تحلیل $W_{x,y}$ ، نشانگر جهت گرایی طبق رابطه (۲-۱۱) محاسبه می شود (Hegazy and AlRegib, 2014).

$$D[x, y] = 1 - \frac{\min(\Lambda_1[x, y], \Lambda_2[x, y])}{\max(\Lambda_1[x, y], \Lambda_2[x, y])} \quad (2-11)$$

که در این رابطه $\Lambda_1[x, y]$ و $\Lambda_2[x, y]$ مقادیر ویژه^۴ ممان تانسور اینرسی^۵ $I[x, y]$ می باشند که به صورت رابطه (۲-۱۲) تعریف می شود.

$$I[x, y] = \sum_{[i, j] \in W_{x,y}} \begin{bmatrix} (G_y[i, j] - \bar{G}_y)^2 & (G_x[i, j] - \bar{G}_x)(G_y[i, j] - \bar{G}_y) \\ (G_x[i, j] - \bar{G}_x)(G_y[i, j] - \bar{G}_y) & (G_x[i, j] - \bar{G}_x)^2 \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

^۱ Directionality

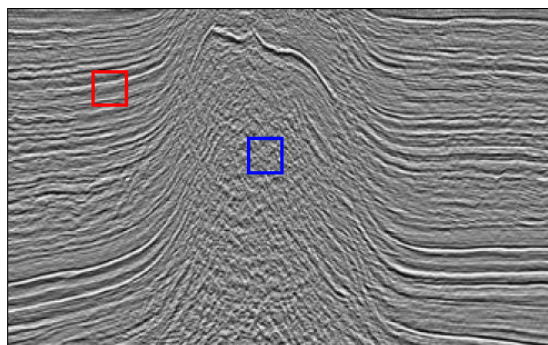
^۲ Smoothness

^۳ Edge content

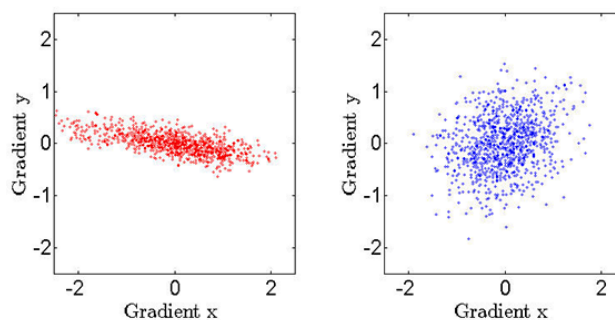
^۴ Eigenvalues

^۵ 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 جهت گرایی برای این مناطق یک و برعکس برای منطقه نمک مقدار این نشانگر صفر خواهد بود.



(الف)



(ب)

(ج)

شکل ۲-۱۳: (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).

۲-۳-۴-۲- نشانگر همواری

از آن جایی که نشانگر جهت گرایی 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 (۲-۱۳) معرفی می‌شود (Hegazy and AlRegib, 2014).

$$S[x,y] = - \sum_{[i,j] \in W_{x,y}} |G[i,j]| \quad (13-2)$$

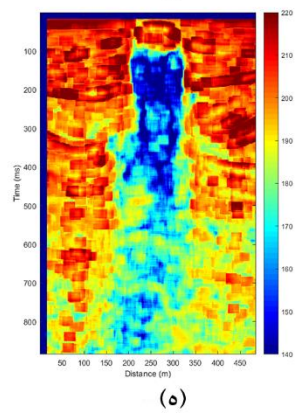
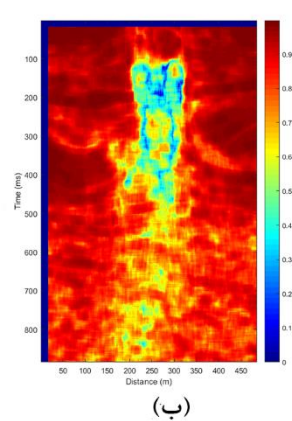
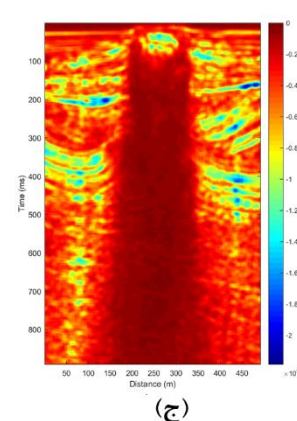
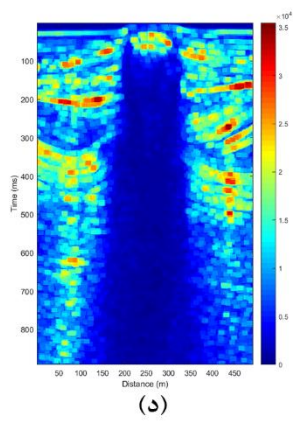
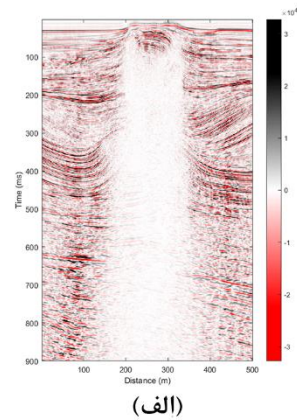
در رابطه فوق $|G[i,j]| = \sqrt{(G_x[i,j])^2 + (G_y[i,j])^2}$ بزرگی گرادیان در هر نقطه است. این نشانگر در بافت نمکی دارای مقدار زیاد (به خاطر علامت منفی) و در بافت غیر نمک دارای مقادیر کم است.

۲-۳-۴-۳- 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 (۲-۱۴) به دست می آید (Hegazy and AlRegib, 2014).

$$E[x,y] = \max_{[i,j] \in W_{x,y}} |G[i,j]| - \min_{[i,j] \in W_{x,y}} |G[i,j]| \quad (14-2)$$

این سه نشانگر مکمل یکدیگر هستند بنابراین نیاز است که برای بهبود نتایج با هم ترکیب شوند. در نهایت با ترکیب این سه نشانگر می توان تصویر صحیحی از بافت گنبدنمکی به دست آورد. در شکل ۲-۱۴ نتیجه اعمال این سه نشانگر و همچنین ترکیب آن ها بر روی یک مقطع لرزه ای شامل گنبدنمکی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود ترکیب این سه نشانگر به مراتب نتایج بهتری نسبت به نتایج هر یک از نشانگرها به تنهایی داشته است.



شکل ۲-۱۴: الف) داده ورودی لرزه‌ای. نتایج اعمال نشانگرهای ب) جهت‌گرایی ج) همواری د) محتوای لبه و ه) ترکیب سه نشانگر برای داده لرزه‌ای ورودی (الف).

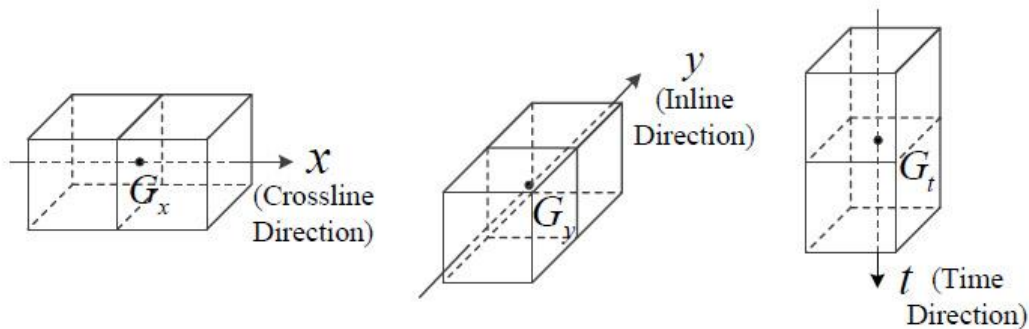
۲-۳-۵- نشانگر گرادیان بافت^۱ (GoT)

نشانگر گرادیان بافت، تغییرات بافت را در امتداد سه محور توصیف می‌کند. برای یک نقطه معلوم، نشانگر 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 (۲-۱۵) محاسبه می‌کند (Shafiq et al., 2015).

$$G_i = d(W_{i-}, W_{i+}), i \in \{x, y, t\}, \quad (2-15)$$

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

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 ۲-۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۵: موقعیت مکعب‌های همسایه در هنگام محاسبه گرادیان بافت در سه جهت، G_x ، G_y ، G_t گرادیان در جهت محور x ، G_y گرادیان در جهت محور y و G_t گرادیان در جهت محور t (Shafiq et al., 2015).

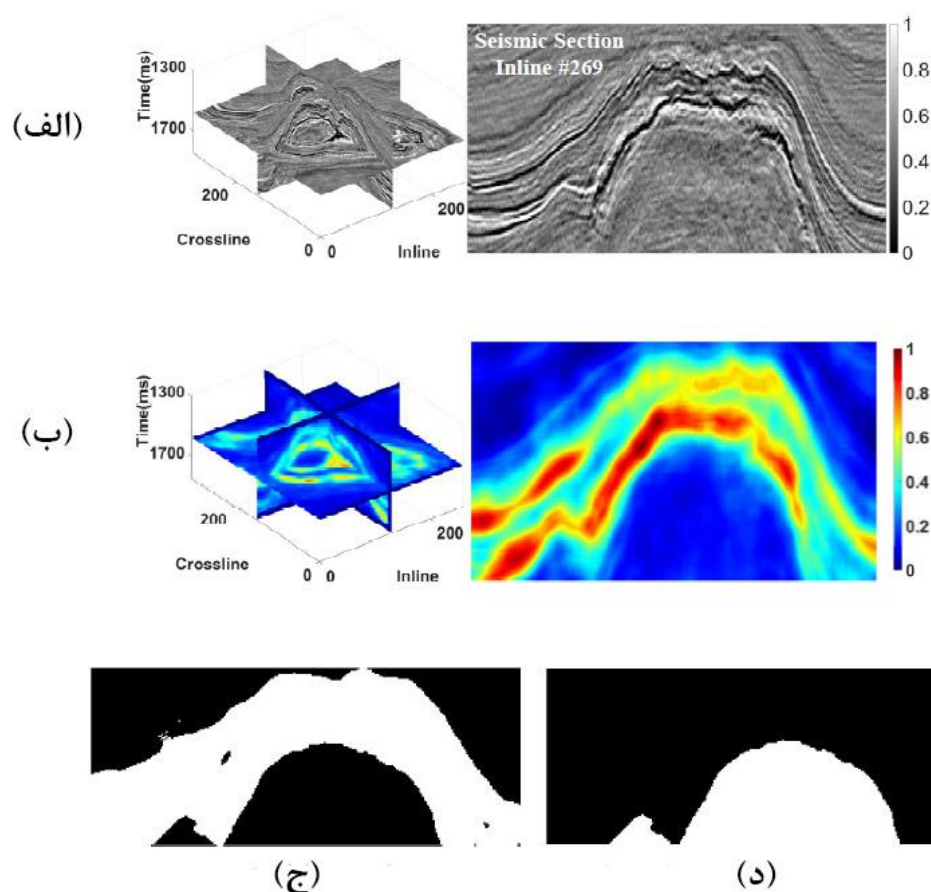
برای افزایش دقت برای محاسبه نشانگر گرادیان بافت، بهتر است نوع وزن دار شده آن به کار برده شود که طبق رابطه (۲-۱۶) محاسبه می‌شود (Shafiq et al., 2015).

$$G_i = \frac{\sum_{n=1}^N \omega_n}{\sum_{n=1}^N \omega_n} \cdot d(W_{i-}^n, W_{i+}^n), i \in \{x, y, t\} \quad (2-16)$$

^۱ Gradient of Texture

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 ۱۶-۲ الف)) اعمال شده است که در شکل ۱۶-۲ (ب) نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۶-۲ (ج) مرزهای پیشنهادی گنبد با رنگ سفید و در شکل ۱۶-۲ (د) محدوده نمک با رنگ سفید مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این روش یکی از روش‌های مناسب در تشخیص گنبدنمکی است که به‌خوبی مرزهای آن را مشخص کرده است (Shafiq et al., 2015).



شکل ۱۶-۲: 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).

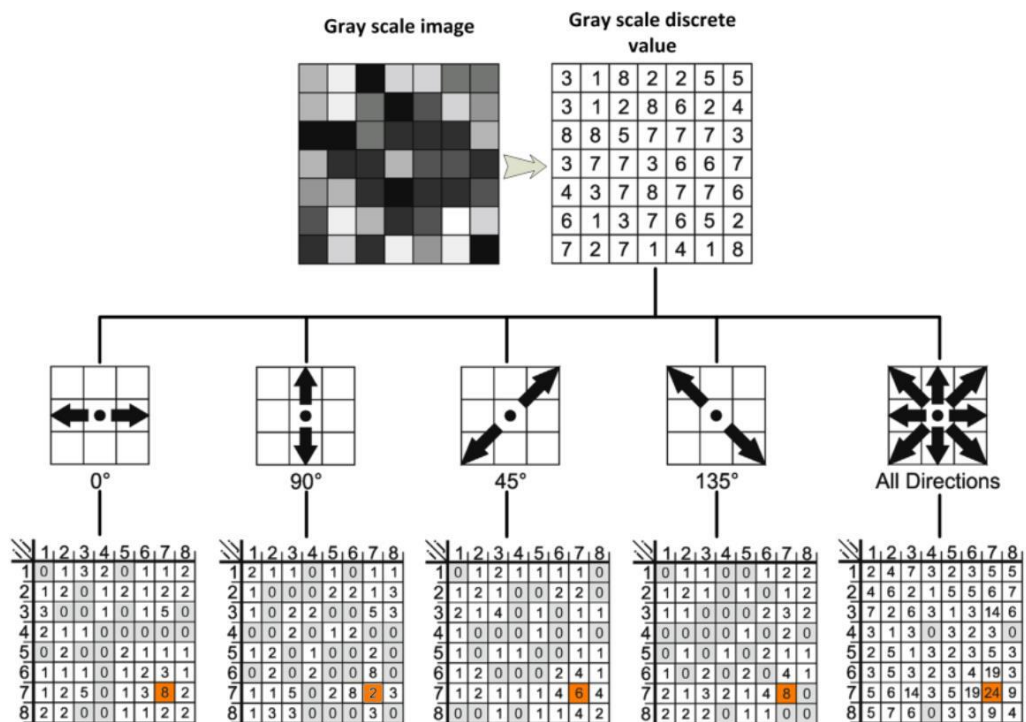
۲-۳-۶- نشانگر بافتی ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری (GLCM)

ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری اولین بار برای استخراج خواص بافتی یک تصویر و طبقه‌بندی آن معرفی شد (Haralick et al., 1973). ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری، بستگی فضایی سطوح خاکستری در یک تصویر را بررسی می‌کند. برای تصویر ورودی I با ابعاد $k_1 \times k_2$ با n سطح خاکستری، GLCM ماتریس مربعی $G_{n \times n}$ است که هر عنصر آن تعداد رویداد جفت سطوح خاکستری در عنصرهایی از تصویر است که در جهت $\theta = \{0, 45, 90, 135\}$ و با فاصله افقی dx و با فاصله قائم dy از یکدیگر قرار گرفته‌اند و به‌صورت رابطه (۲-۱۷) تعریف می‌شود (Berthelot et al., 2013, Eichkitz et al., 2015, Eichkitz et al., 2013).

(۲-۱۷)

$$G(i, j) = \sum_{x=1}^{k_1} \sum_{y=1}^{k_2} \begin{cases} 1, & I(x, y) = i \text{ And } I(x+dx, y+dy) = j \\ 0, & I(x, y) \neq i \text{ Or } I(x+dx, y+dy) \neq j \end{cases}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

که i و j متغیرهایی بین ۱ تا n ، $I(x, y)$ پیکسل مرکزی و $I(x+dx, y+dy)$ پیکسل‌های مجاور پیکسل مرکزی را نشان می‌دهد. برای داشتن درک بهتر از ماتریس GLCM در شکل ۲-۱۷ برای یک تصویر با تعداد پیکسل 8×8 ماتریس GLCM در راستاهای مختلف و دورافت ۱ اعمال شده است.



شکل ۲-۱۷: نمایش طرح‌وار محاسبه ماتریس *GLCM* در راستاهای مختلف با دورافت یک (صیادی، ۱۳۹۳).

مجموعه‌ای از روابط ریاضی وجود دارد که نشانگرهای بافتی *GLCM* از آن‌ها استخراج می‌شود. حدود ۱۴ عدد از این روابط برای استخراج نشانگرهای بافتی استفاده شده‌اند که با پیدا کردن روابط ریاضی جدیدتر می‌توان بر تعداد این نشانگرها افزود. به منظور محاسبه نشانگرهای بافتی، ماتریس *GLCM* باید با استفاده از رابطه (۲-۱۸) به‌نجار شود (ابراهیمی، ۱۳۹۵).

$$p(i, j) = \frac{G(i, j)}{R} \quad (2-18)$$

که *R* مجموع تمام مقادیر ماتریس *GLCM* می‌باشد. در جدول ۲-۱ تعداد ۵ مورد از نشانگرهای بافتی مبتنی بر *GLCM* به‌همراه روابط آن‌ها آورده شده است. همچنین در بعضی از نشانگرها پارامترهای ریاضی به‌کار رفته است که این پارامترها در جدول ۲-۲ توضیح داده شده است (صیادی، ۱۳۹۳).

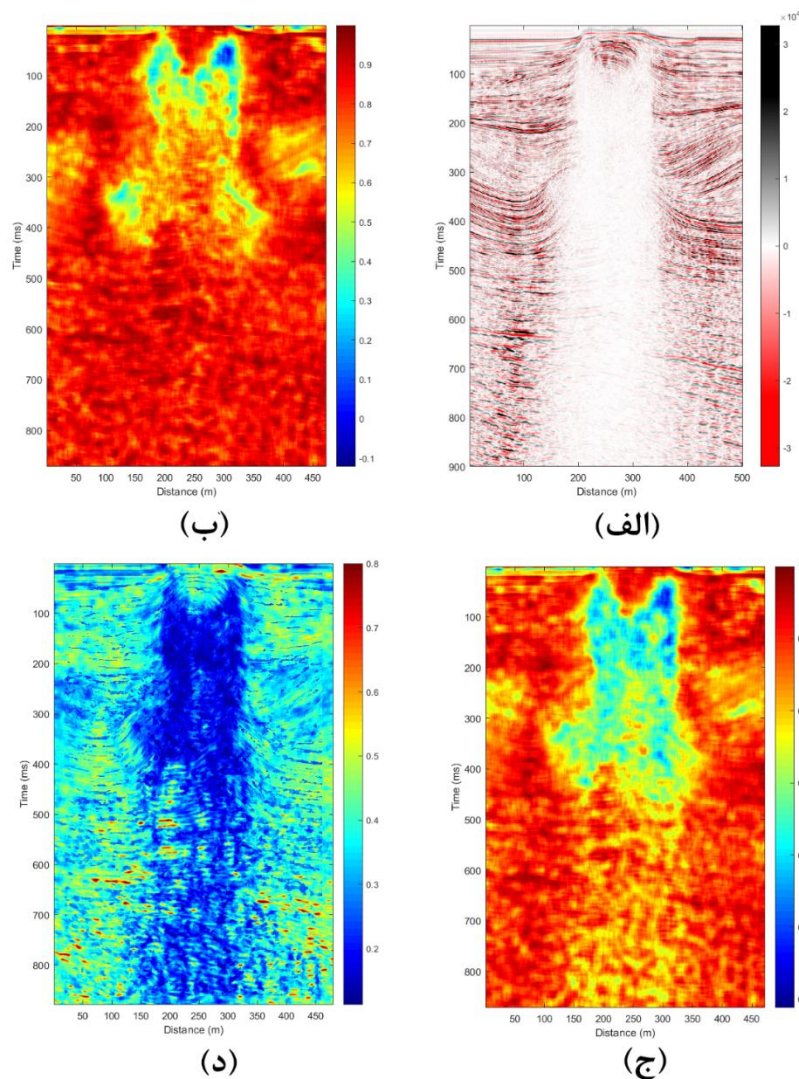
جدول ۱-۲: روابط ریاضی برای محاسبه نشانگرهای GLCM.

رابطه	نشانگر
$Intensity = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} ij p(i, j)$	نشانگر شدت
$Correlation = \left(\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (ij) p(i, j) - \mu_x \mu_y \right) / \sigma_x \sigma_y$	نشانگر همبستگی
$Energy = \left(\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (p(i, j))^2 \right)^{1/2}$	نشانگر انرژی
$Entropy = - \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) \log(p(i, j))$	نشانگر آنتروپی
$Homogeneity = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j)$	نشانگر همگنی

جدول ۲-۲: پارامترهای مورد استفاده در محاسبه نشانگرهای GLCM.

$p_x(i) = \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j)$
$p_y(j) = \sum_{i=1}^{N_g} p(i, j)$
$\mu_x = \sum_{i=1}^{N_g} i \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) = \sum_{i=1}^{N_g} i p_x(i, j)$
$\mu_y = \sum_{j=1}^{N_g} j \sum_{i=1}^{N_g} p(i, j) = \sum_{j=1}^{N_g} j p_y(j, i)$
$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^{N_g} (i - \mu_x)^2 \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) = \sum_{j=1}^{N_g} (p_x(i) - \mu_x(i))^2$
$\sigma_y^2 = \sum_{j=1}^{N_g} (j - \mu_y)^2 \sum_{i=1}^{N_g} p(i, j) = \sum_{j=1}^{N_g} (p_y(j) - \mu_y(j))^2$

نشانگرهای بافتی GLCM یکی از ابزارهای مناسب برای شناسایی گنبدنمکی در داده‌های لرزه‌ای می‌باشند. برای روشن شدن موضوع، تعدادی از این نشانگرها که گنبدنمکی را با دقت تفکیک خوبی شناسایی می‌کنند، اعمال شده است. در شکل ۲-۱۸ (الف) یک داده لرزه‌ای که شامل گنبدنمکی است مشاهده می‌شود. در شکل ۲-۱۸ برای داده مذکور ۳ نشانگر بافتی همبستگی، همگنی و انرژی مبتنی بر GLCM با در نظر گرفتن شیب ساختارها برای طول پنجره ۱۱ و تعداد ۱۶ سطح خاکستری نشان داده شده است. این نشانگرها بازتابنده‌ها را از محدوده نمکی متمایز ساخته و مرزهای جانبی را به خوبی تشخیص داده‌اند، همچنین نشانگرهای همبستگی و همگنی، تا حدودی کف گنبد را مشخص کرده‌اند.



شکل ۲-۱۸: (الف) داده لرزه‌ای ورودی (ب) نشانگر بافتی همبستگی (ج) نشانگر بافتی همگنی (د) نشانگر بافتی انرژی.

مفهوم HOG و تئوری آن

توصیف‌گرهای^۱ هیستوگرام گرادیان جهتی یا توصیف‌گرهای HOG، توصیف‌گرهای ویژگی هستند که در پردازش تصویر و علوم کامپیوتر، به منظور 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 این ویژگی‌ها توسط هیستوگرام گرادیان جهتی به دست می‌آید. سرانجام این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی و شناسایی اشیاء 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 بهنجار 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 به وجود می‌آید. برای افزایش عملکرد روش، هیستوگرام‌های محلی با انجام محاسبات و اندازه‌گیری شدت در یک ناحیه بزرگتر در تصویر به نام بلوک، بهنجار می‌شوند (Dalal and Triggs, 2005).

۳-۲- تئوری HOG

روش HOG به دنبال یافتن ویژگی‌هایی است که بر مبنای زاویه گرادیان و توزیع دامنه محاسبه می‌شود. این ویژگی‌ها با توجه به تغییرناپذیری طبیعی گرادیان نسبت به تغییرات کوچک در رنگ تصویر مقاوم هستند. برای استخراج ویژگی‌ها توسط روش HOG، چهار مرحله محاسبات

^۱ Descriptors

^۲ Navneet Dalal

^۳ Bill Triggs

^۴ Gradient Direction

^۵ Edge Orientation

باید انجام شود که شامل ۱- محاسبه گرادیان ۲- تقسیم سلولی تصویر ۳- هیستوگرام جهت‌دار سلول ۴- بهنجار کردن و همپوشانی سلول‌ها (Dalal and Triggs, 2005, Torrione et al., 2014, Bertozzi et al., 2007, Chen et al., 2014). در ادامه هر یک از مراحل چهارگانه به صورت مفصل همراه با مثال توضیح داده خواهد شد.

۳-۲-۱- محاسبه گرادیان

اولین قدم برای محاسبه هیستوگرام گرادیان جهتی، محاسبه مقادیر گرادیان است. معمول‌ترین روش برای این منظور، اعمال مشتق نقطه‌ای گسسته مرکزی^۱ یک بعدی در دو جهت افقی و عمودی است. گرادیان در دو راستای x (افقی) و y (عمودی) برای تصویر I به ترتیب با G_x و G_y بیان می‌شود، با اعمال فیلترهای تخمین گرادیان $d_x = [-1, 0, 1]$ و $d_y = [-1, 0, 1]^T$ بر روی تصویر I طبق رابطه (۳-۱) محاسبه می‌شود (Dalal and Triggs, 2005, Torrione et al., 2014).

$$\begin{aligned} G_x &= I * d_x \\ G_y &= I * d_y \end{aligned} \quad (3-1)$$

که (*) نشان دهنده عملگر هم‌امیخت^۲ می‌باشد.

برای مثال گرادیان در دو جهت عمودی و افقی بر روی یک تصویر در مقیاس خاکستری^۳ با استفاده از نرم افزار MATLAB اعمال شده که نتایج در شکل ۳-۱ مشاهده می‌شود.

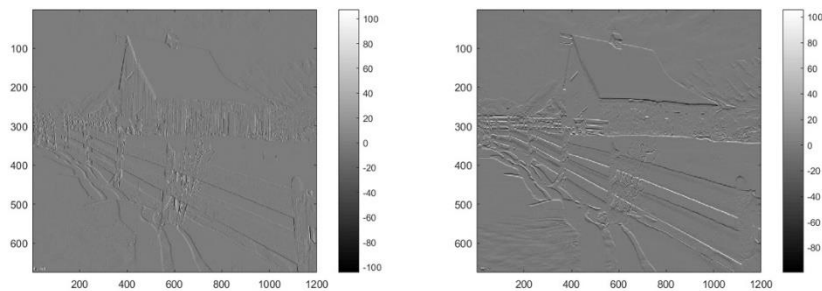
^۱ Centered point discrete derivative

^۲ Convolution

^۳ Gray scale



(الف)



(ج)

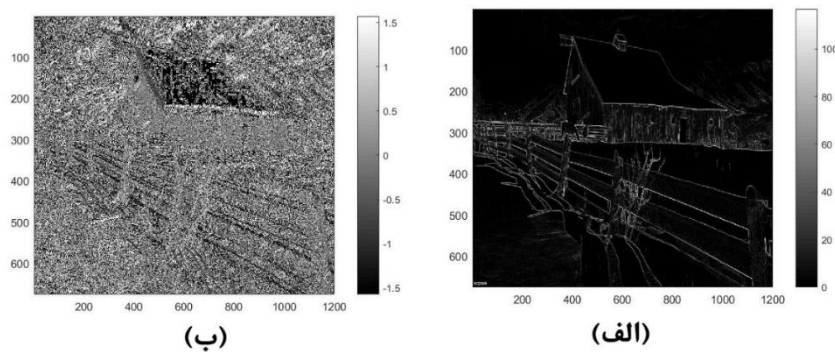
(ب)

شکل ۳-۱: نتیجه اعمال گرادیان در دو جهت عمودی و افق بر روی یک تصویر واقعی در مقیاس خاکستری. (الف) تصویر اصلی، (ب) گرادیان عمودی و (ج) گرادیان افقی.

پس از به دست آوردن گرادیان در دو جهت عمودی و افقی، اندازه و زاویه گرادیان حاصل برای هر پیکسل طبق رابطه (۳-۲) و (۳-۳) به دست می آید که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است (Lee and Mokji, 2014, Torriione et al., 2014, Shen et al., 2015).

$$|G(i, j)| = \sqrt{G_x^2(i, j) + G_y^2(i, j)} \quad (۳-۲)$$

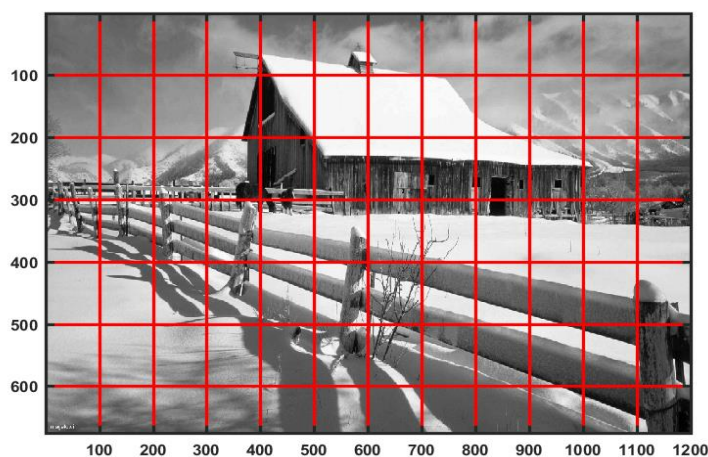
$$\theta(i, j) = \angle G(i, j) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y(i, j)}{G_x(i, j)} \right) \quad (۳-۳)$$



شکل ۲-۳: نتیجه اعمال گرادین بر روی تصویر اولیه. الف) بزرگی گرادین ب) جهت گرادین حاصل.

۲-۲-۳- تقسیم سلولی تصویر

قدم بعدی در این روش ساخت سلول است. برای این کار تصویر ورودی به قسمت‌های محلی کوچکتر مستطیلی تقسیم می‌شود. در این تقسیم‌بندی، درون هر سلول تعدادی پیکسل قرار می‌گیرند که اندازه هر سلول را تعداد پیکسل‌های واقع در آن مشخص می‌کند (Lee and Mokji, 2014, Dalal and Triggs, 2005). به عنوان مثال اگر گفته شود که تصویر ورودی به سلول‌های 8×8 تقسیم شده است، به این معنی است که در این سلول ۶۴ پیکسل وجود دارد. در شکل ۳-۳، شکل ۱-۳ الف) به سلول‌های 100×100 تقسیم شده است.



شکل ۳-۳: تقسیم تصویر ورودی به نواحی کوچکتر به نام سلول.

۳-۲-۳- هیستوگرام جهت‌دار سلول

همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد، پس از محاسبه گرادیان، برای هر پیکسل تصویر یک جهت و یک اندازه گرادیان وجود دارد. در این صورت هر پیکسل مانند یک پیکان در سلول ظاهر می‌شود. در مرکز هر سلول یک محور مختصات فرضی قرار می‌گیرد که از سمت راست محور افقی، به صورت ۰ تا ۳۶۰ درجه (کل محور مختصات) یا ۰ تا ۱۸۰ درجه (از سمت راست محور تا سمت چپ آن) درجه‌بندی می‌شود. با توجه به انجام بررسی‌های متعدد تقسیم سلول بین زاویه ۰ تا ۱۸۰ درجه بهترین عملکرد را داشته است (Dalal and Triggs, 2005). بین ۰ تا ۱۸۰ درجه به نواحی با زاویه یکسان تقسیم می‌شود که این نواحی اندازه بین^۱ نامیده می‌شود که در این پایان‌نامه از این به بعد به عنوان بردار ویژگی‌ها نام برده می‌شود. در هر سلول، اندازه و بزرگی گرادیان پیکسل‌هایی که در هر کدام از این نواحی قرار دارند با هم جمع می‌شوند و هیستوگرام آن زاویه را به وجود می‌آورند. به عنوان مثال اگر سلول بین ۰ تا ۱۸۰ تقسیم شده باشد و اندازه بین ۹ باشد، هر ناحیه ۲۰ درجه را شامل می‌شود. در صورتی که جهت گرادیان دو پیکسل در زاویه بین ۰ تا ۲۰ درجه باشد، اندازه این گرادیان این پیکسل‌ها با هم جمع شده و مجموع این اندازه‌ها خود را در زاویه ۲۰ درجه نشان می‌دهند، برای سایر جهت‌ها نیز به این صورت می‌باشد. اگر n_θ تعداد بین فرض شود، مقدار زاویه برای هر کدام از بین‌ها به صورت $\{\phi_k\} = \{180k/n_\theta\}$ $k = 0 \dots n_\theta$ تعریف می‌شود. در روش HOG، هر سلول در پایان محاسبات به عنوان یک پیکسل در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در این محاسبات هر سلول به صورت یک ماتریس سه‌بعدی عمل می‌کند که عناصر آن عبارتند از زاویه، بزرگی و اندازه بین. برای آن که مشخص شود گرادیان هر پیکسل در کدام یک از زوایای بین قرار دارد، رابطه (۳-۴) تعریف می‌شود (Lee and Mokji, 2014, Torrione et al., 2014).

$$V(i, j, k) = |G(i, j)| \delta(\phi_{k-1} < \theta(i, j) \leq \phi_k), k = 1 \dots n_\theta \quad (۳-۴)$$

^۱ Bin size

در صورتی که زاویه گرادیان پیکسل درون زاویه بین و بین قبلی قرار گرفته باشد، مقدار $\delta(x)$ برابر یک و در غیر این صورت مقدار $\delta(x)$ برابر صفر خواهد بود. در نهایت هیستوگرام هر سلول، c ، طبق رابطه (۵-۳) به دست می آید (Torriione et al., 2014).

$$H_1(c, k) = \sum_{(i, j) \in c} V(i, j, k) \quad (5-3)$$

در هنگام نمایش این هیستوگرام‌ها در یک سلول، در صورتی که سلول بین ۰ تا ۱۸۰ درجه تقسیم شده باشد، مشاهده می شود که این هیستوگرام‌ها بین ۰ تا ۳۶۰ درجه گسترش یافته‌اند. این بدان جهت است که هیستوگرام‌های زوایای ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه به طور متقارن برای ۰ تا ۱۸۰ تکرار می شود. برای شکل ۳-۳ هیستوگرام‌های سلول با ابعاد سلول ۱۲۰ و بدون بهنجارش، محاسبه و رسم شده است که در شکل ۴-۳ مشاهده می شود.



شکل ۴-۳: اعمال روش HOG بر روی تصویر ورودی شکل ۳-۱ برای نمایش هیستوگرام‌های سلول با ابعاد سلول ۱۲۰ و بدون بهنجارش.

۴-۲-۳- بهنجار کردن و همپوشانی سلول‌ها

از آنجایی که تغییرات محلی در روشنایی محیط تصویر می تواند اثر مهمی بر روی ویژگی‌های HOG بگذارد، بنابراین نیاز است که در یک ناحیه محلی به نام بلوک^۱، سلول‌های هیستوگرام بهنجار شوند. بهنجار کردن سلول‌ها عملکرد روش HOG را افزایش می دهد (Baş, ۲۰۱۲).

^۱ Block

(2015, Torrione et al., 2014). اگر B ابعاد بلوک احاطه کننده سلول‌ها فرض شود، طبق رابطه

(۶-۳) هیستوگرام‌های سلول به‌هم‌نگار می‌شوند (Torrione et al., 2014).

$$H(c, k) = \frac{H_1(c, k)}{\sum_{c_i \in B} \sqrt{\sum_{k=1}^{n_B} H_1^2(c_i, k) + \varepsilon}} \quad (۶-۳)$$

که ثابت کوچک ε برای جلوگیری از بی‌نهایت شدن عبارت آمده است.

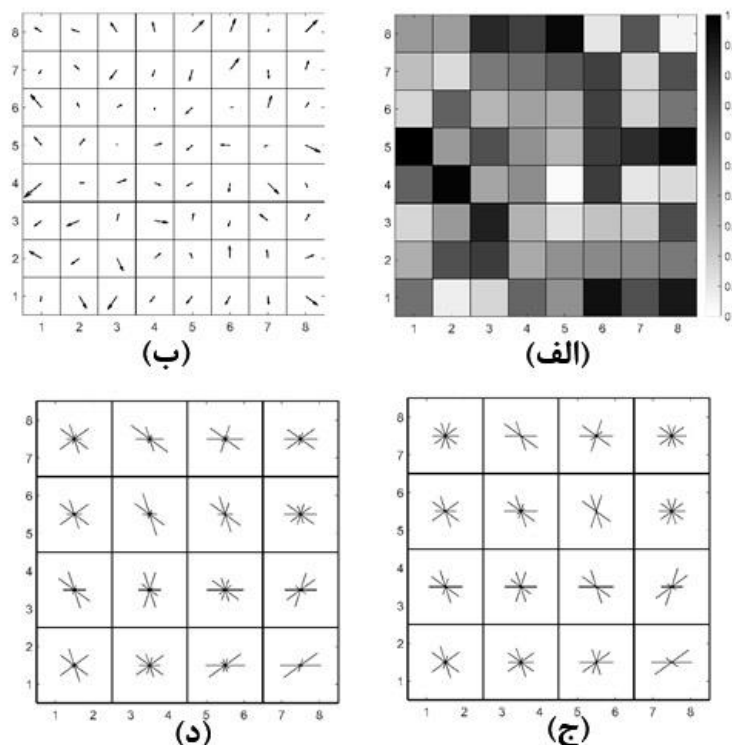
اندازه بلوک را تعداد سلول‌های واقع در آن مشخص می‌کند، به‌عنوان مثال اگر اندازه بلوک 3×3 در نظر گرفته شود، تعداد ۹ سلول را در بر می‌گیرد. همچنین با همپوشانی بین بلوک‌ها می‌توان دقت کار را افزایش داد (Dalal and Triggs, 2005). در شکل ۳-۵ هیستوگرام گرادیان جهتی با ابعاد بلوک 2×2 ، اندازه سلول 120×120 و تعداد ۷ بین نشان داده شده است.



شکل ۳-۵: نتیجه اعمال HOG بر روی تصویر ورودی شکل ۳-۱.

در مثال پیش رو تمامی پارامترهای توضیح داده شده در روش HOG، به‌طور واضح توصیف شده و کاملاً درک خواهد شد. در شکل ۳-۶ (الف) یک ماتریس 8×8 که عناصر آن به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند (اعداد بین ۰ و ۱) مشاهده می‌شود. این ماتریس به‌عنوان یک بخش از یک تصویر در نظر گرفته می‌شود و هر کدام از عناصر این ماتریس (تصویر) به‌عنوان یک پیکسل در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۳-۶ (ب) بردار گرادیان هر پیکسل طبق روابط ۳-۱ تا ۳-۳ محاسبه و رسم شده است. در این مثال اندازه سلول 2×2 و تعداد ۵ بین در نظر گرفته شده

است. در شکل ۳-۶ (ج) نتیجه هیستوگرام گرادیان جهتی سلول‌ها بدون بهنجار شدن نشان داده شده است. در شکل ۳-۶ (د) نتیجه HOG برای حالتی که سلول‌ها در بلوک‌های 2×2 و با همپوشانی 1×1 بهنجار شده‌اند، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود هر چهار پیکسل از تصویر یک سلول در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که هیستوگرام‌های حالت بهنجار شده دقت بالاتری نسبت به حالت بدون بهنجارش دارند.



شکل ۳-۶: فرآیند استخراج ویژگی‌ها در روش HOG (الف) بخشی از یک تصویر در مقیاس خاکستری با تعداد 8×8 پیکسل با مقادیر تصادفی. (ب) بردارهای گرادیان محاسبه شده برای هر پیکسل (ج) نتیجه HOG برای اندازه سلول 2×2 و تعداد ۵ بین بهنجارش (د) نتیجه نهایی HOG برای اندازه سلول 2×2 و تعداد ۵ بین بهنجار شده در بلوک‌های 2×2 و با همپوشانی 1×1 .

فصل چهارم

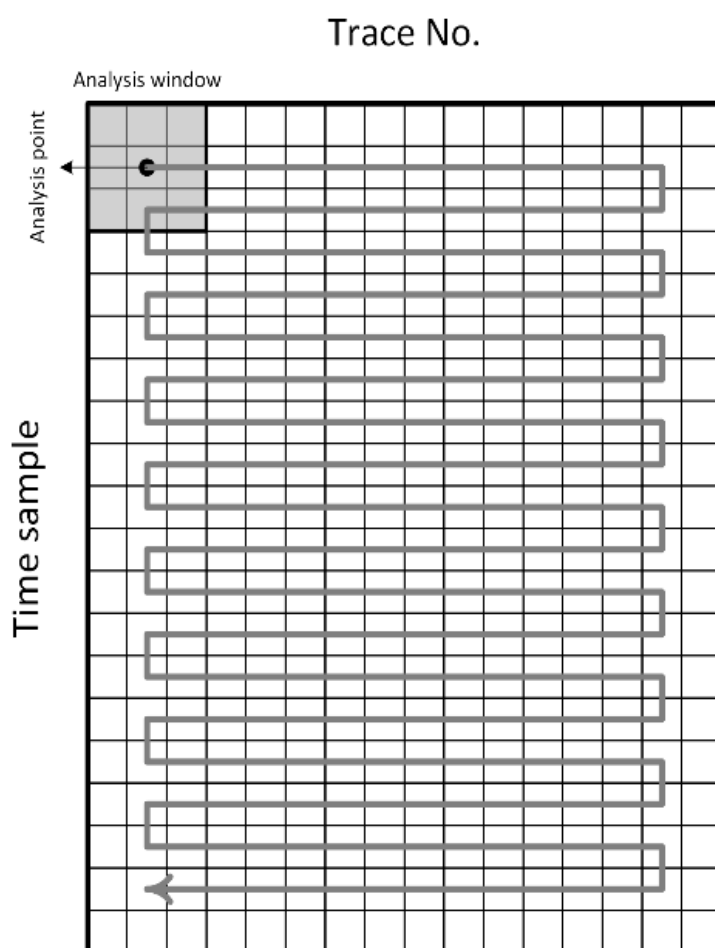
معرفی نشانگرهای بافتی مبتنی بر

روش HOG

بر اساس ویژگی‌های به‌دست 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 به کار برد، استفاده از مشخصه‌های آماری برای استخراج نشانگرها از ویژگی‌های به‌دست آمده از HOG می‌باشد.

از آنجایی که هر سلول در روش HOG در نهایت تبدیل به یک پیکسل در تصویر خروجی می‌شود، بنابراین استفاده از سلول‌های بزرگ قدرت تفکیک خروجی را به شدت کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از این اتفاق باید از یک پنجره تحلیل محلی به عنوان سلول استفاده کرد و از آنجایی که روشنایی در تصویر لرزه‌ای حاوی اطلاعات از ساختار و بافت می‌باشد، ابعاد بلوک برابر با یک سلول و همچنین برابر یک بلوک در نظر گرفته می‌شود تا هیستوگرام گرادیان جهتی بهنجار شود و به منظور بررسی کل داده لرزه‌ای، پنجره محلی مورد استفاده به صورت متحرک بوده و با حرکت بر روی داده لرزه‌ای تمام مقطع لرزه‌ای را آنالیز می‌نماید. در این حالت در هر جابه‌جایی، آنالیز HOG بر روی پنجره انجام می‌شود و در نهایت مشخصه‌های آماری و نشانگر بافتی مورد نظر از ویژگی‌های HOG استخراج و به مرکز پنجره نسبت داده می‌شود.

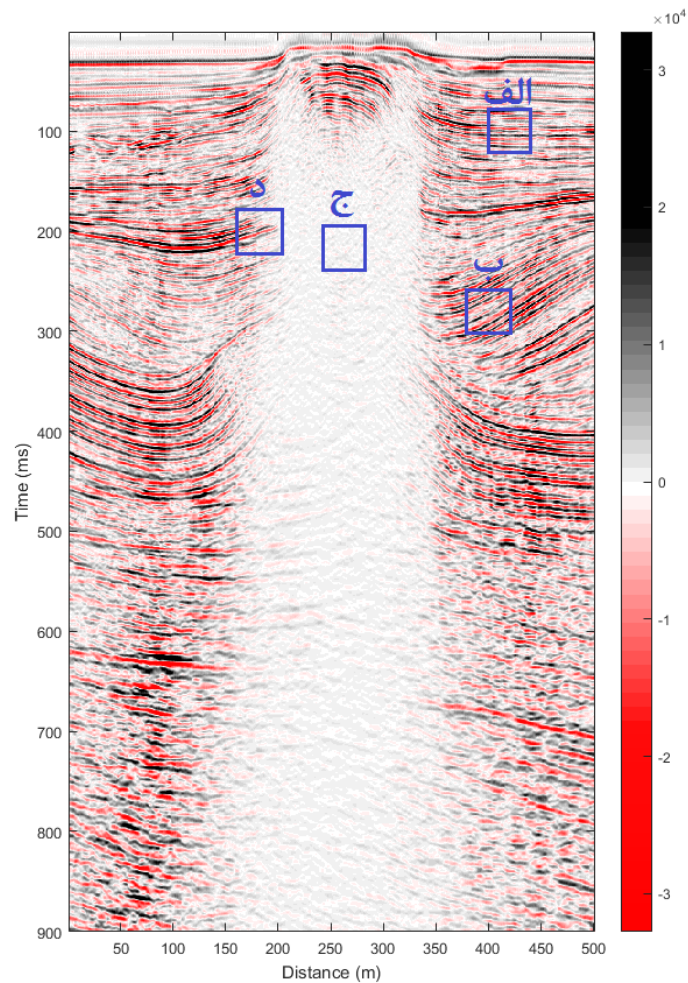
در انتخاب اندازه پنجره تحلیل باید دقت شود که اندازه پنجره به تجربه بستگی دارد و برای داده‌های مختلف، متفاوت خواهد بود (Chopra and Marfurt, 2007). در حالت کلی ابعاد پنجره بایستی به گونه‌ای باشد که ملاحظات مطرح شده در فصل قبل را مد نظر قرار بدهد. در شکل ۴-۱ نحوه حرکت پنجره تحلیل به‌طور طرح‌وار نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: نحوه حرکت پنجره تحلیل 3×3 مرکزی بر روی داده لرزه‌ای، برای محاسبه نشانگر بافتی بر مبنای روش HOG

۴-۲- HOG و بافت

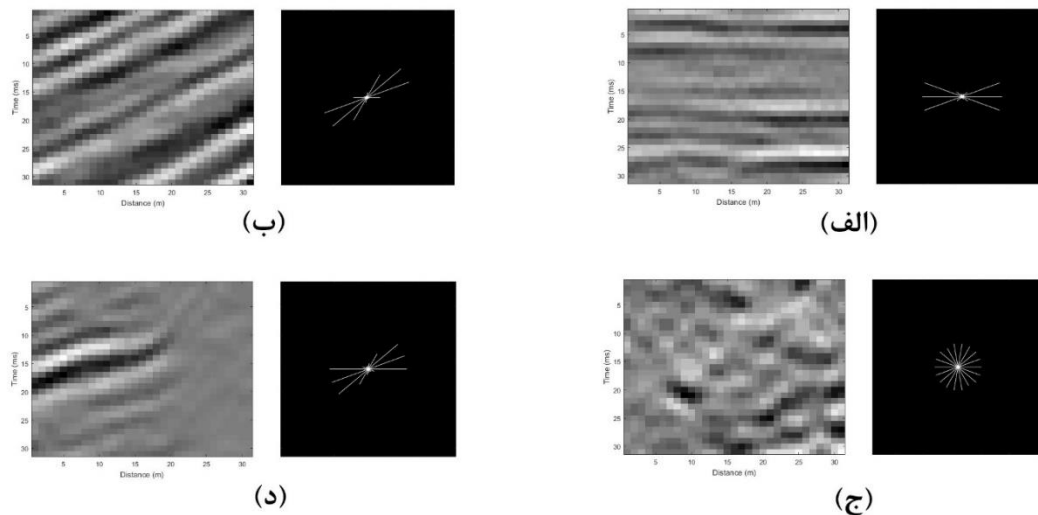
برای بررسی اثر بافت‌های مختلف لرزه‌ای بر روی ویژگی‌های HOG، از یک مقطع لرزه‌ای که دارای عارضه زمین‌شناسی گنبدنمکی می‌باشد، استفاده می‌شود. از مقطع لرزه‌ای شکل ۴-۲، پنجره‌هایی به اندازه 31×31 به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که هر کدام دارای بافت متفاوتی هستند. پنجره (الف) دارای بافت بازتابنده افقی، پنجره (ب) دارای بافت بازتابنده با شیب پایین رونده، پنجره (ج) دارای بافت گنبدنمکی و پنجره (د) دارای بافت مرز گنبدنمکی می‌باشد که در شکل ۴-۲ مشخص شده‌اند. انتخاب این ناحیه‌ها برای آزمایش و بررسی به این دلیل است که این ناحیه‌ها، بافت‌های غالب در داده‌های لرزه‌ای که شامل گنبدنمکی هستند، می‌باشند.



شکل ۴-۲: ساختارهای متفاوت زمین‌شناسی با بافت‌های مختلف برای اعمال روش *HOG* انتخاب شده‌اند که شامل (الف) بازتابنده افقی، (ب) بازتابنده با شیب پایین رونده، (ج) منطقه داخل گنبدنمکی و (د) مرز چپ گنبدنمکی.

روش *HOG* با پارامترهای اندازه سلول 31×31 ، تعداد ۹ بین و ابعاد بلوک 1×1 و بدون همپوشانی بر روی هرکدام از پنجره‌ها اعمال شد که نتایج آن در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به دلیل اینکه پنجره‌های مورد نظر دارای بافت مختلفی می‌باشند، هیستوگرام‌های گرادیان جهتی محاسبه شده آن‌ها نیز متفاوت است. بر اساس هیستوگرام‌های گرادیان جهتی رسم شده برای مناطق بازتابنده افقی شکل ۴-۳ (الف) و بازتابنده شیب‌دار شکل ۴-۳ (ب)، هیستوگرام‌ها دارای جهت یافتگی در راستای شیب بازتابنده هستند. در پنجره درون نمک به دلیل این که دارای بافت کاملاً همگنی است، هیستوگرام آن (شکل ۴-۳

(ج) جهت یافتگی خاصی ندارد و در همه جهت‌ها دارای دامنه یکسانی می‌باشند. در مورد پنجره منطبق بر مرز گنبدنمکی، چون بافت آن ترکیبی از بافت بازتابنده و بافت نمکی است، بنابراین هیستوگرام آن (شکل ۴-۳ (د)) نیز ترکیبی از هیستوگرام‌های بازتابنده شیب‌دار و گنبدنمکی می‌باشد. مقادیر ۹ ویژگی هر کدام از هیستوگرام‌ها برای چهار پنجره مذکور در جدول ۴-۱ آمده است.



شکل ۴-۳: چهار منطقه مورد نظر جدا شده و روش HOG با پارامترهای اندازه سلول 31×31 ، تعداد ۹ ویژگی و بدون بهنجار کردن (الف) بازتابنده افقی، (ب) بازتابنده با شیب پایین رونده، (ج) منطقه داخل گنبدنمکی و (د) مرز چپ گنبدنمکی.

جدول ۴-۱: مقادیر هیستوگرام‌های به دست آمده برای چهار ساختار مشخص شده در مقطع لرزه‌ای.

شماره ویژگی‌ها									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.0211	0.0407	0.0954	0.5702	0.5702	0.5702	0.1031	0.0436	0.0335	الف
0.0727	0.3733	0.6387	0.6387	0.1893	0.0436	0.0261	0.0237	0.0284	ب
0.3364	0.3364	0.3364	0.3364	0.3364	0.3364	0.3364	0.308	0.3364	ج
0.0843	0.2506	0.5522	0.5522	0.5522	0.0911	0.0514	0.042	0.0518	د

همانطور که مشاهده می‌شود، با اینکه ویژگی‌های HOG برای هر الگوی بازتاب، توزیع مختلفی از خود نشان می‌دهند، با این وجود نمی‌توان به‌طور مستقیم از آن برای تفسیر مقطع لرزه‌ای استفاده کرد. بنابراین بایستی از این ویژگی‌ها استفاده شود و مشخصه‌هایی از آن‌ها استخراج شود که بافت‌های مختلف را به‌طور کامل از هم تفکیک کند. در این پایان‌نامه تعدادی نشانگر بافتی مبتنی بر ویژگی‌های روش HOG معرفی می‌شود که از ویژگی‌های HOG استخراج می‌شود و منجر به تشخیص بافت‌های مختلف از هم می‌شود. در جدول ۴-۲ مشخصه‌های آماری مختلف برای هر یک از چهار پنجره نشان داده شده در شکل ۴-۲ محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که هر مشخصه آماری در نواحی داخل و خارج گنبدنمکی دارای مقادیر مختلفی هستند. برای منطقه‌ای که در روی مرز گنبدنمکی قرار گرفته است، مقادیر مشخصه‌های آماری محاسبه شده بین دو ناحیه درون و خارج گنبدنمکی می‌باشد. بنابراین، می‌توان از مشخصه‌های آماری برای استخراج نشانگرهای مبتنی بر HOG استفاده کرد. بنابراین می‌توان گفت که هیستوگرام گرادیان جهتی توانایی ایجاد تباین بین نمک و بازتابنده‌های در برگیرنده آن را دارد. ولی همان‌طور که در فصل اول توضیح داده شد، کف گنبدنمکی به علت آنکه بافت خیلی مشابه به گنبدنمکی دارد و اکثر نشانگرهایی که تا کنون برای شناسایی گنبدنمکی استفاده شده‌اند در تشخیص کف گنبدنمکی ناتوان بوده‌اند. در بخش بعدی توانایی جداسازی گنبدنمکی از بازتابنده‌ها و تعیین مرزهای جانبی و تحتانی گنبدنمکی با معرفی نشانگرهای مبتنی بر HOG بررسی می‌شود.

جدول ۲-۴: محاسبه پارامترهای آماری برای مقادیر چهار منطقه جدول ۱-۴ که در شکل ۲-۴ نشان داده شده‌اند.

چولگی ^۲	کشیذگی ^۱	واریانس	کمینه	بیشینه	میانه	میانگین		
0.6745	1.5008	0.0671	0.0295	0.5762	0.0964	0.227	الف	منطقه
1.0721	2.4227	0.0749	0.0178	0.6727	0.0446	0.2112	ب	
-2.4749	7.125	0.0001	0.308	0.3364	0.3364	0.3333	ج	
0.5974	1.4677	0.0614	0.0303	0.5616	0.0809	0.2379	د	

۳-۴- نشانگرهای مبتنی بر HOG

۱-۳-۴- نشانگر میانگین

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). اگر n تعداد ویژگی‌ها و F بزرگی بردار ویژگی‌ها در نظر گرفته شود در این صورت نشانگر میانگین برای هر پنجره تحلیل طبق رابطه (۱-۴) محاسبه می‌شود.

$$Mean = \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(i) \quad (1-4)$$

نشانگر میانگین برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۳-۴ برای اندازه‌های مختلف پنجره با تعداد ویژگی مختلف محاسبه گردید که در جدول ۳-۴ تا جدول ۶-۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر میانگین برای ناحیه نمک از نواحی شامل بازتابنده 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

^۱ Kurtosis

^۲ Skewness

همین دلیل مقدار میانگین آن‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

جدول ۳-۴: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانگین	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.3614	0.3614	0.3585	0.3628	0.3624	0.3518	0.3476	0.3376	0.3024	5	تعداد ویژگی
0.2723	0.2723	0.2713	0.276	0.2761	0.2679	0.2638	0.2524	0.2183	7	
0.2219	0.2219	0.2222	0.2269	0.2277	0.2213	0.2166	0.2052	0.1709	9	
0.1913	0.1913	0.1909	0.1962	0.1961	0.1909	0.1863	0.1741	0.1406	11	
0.1708	0.1708	0.1704	0.1759	0.1752	0.1694	0.1656	0.1541	0.1259	13	
0.1561	0.1561	0.1557	0.1612	0.1604	0.1549	0.151	0.1423	0.1183	15	

جدول ۴-۴: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانگین	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.3342	0.334	0.3352	0.3379	0.345	0.3426	0.336	0.3285	0.329	5	تعداد ویژگی
0.2592	0.2559	0.2541	0.253	0.2573	0.2526	0.2507	0.245	0.2687	7	
0.2127	0.2095	0.2102	0.2111	0.2173	0.2127	0.211	0.2038	0.2161	9	
0.1844	0.182	0.1823	0.1825	0.1872	0.1836	0.1826	0.1797	0.1802	11	
0.1643	0.1623	0.1642	0.1653	0.1703	0.1667	0.1646	0.1596	0.1634	13	
0.1529	0.151	0.1507	0.1501	0.1529	0.1493	0.15	0.1458	0.1451	15	

جدول ۴-۵: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانگین	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4408	5	تعداد ویژگی
0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.3777	0.3773	0.3678	7	
0.3333	0.3333	0.3333	0.3332	0.3333	0.3333	0.3322	0.3299	0.3122	9	
0.3015	0.3015	0.3015	0.3013	0.3011	0.2999	0.298	0.2948	0.2773	11	
0.2771	0.277	0.2768	0.2761	0.2763	0.2757	0.2733	0.2705	0.2414	13	
0.2576	0.2575	0.2573	0.2568	0.2568	0.2559	0.2526	0.2504	0.219	15	

جدول ۴-۶: محاسبه نشانگر میانگین برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانگین	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.3778	0.3727	0.3667	0.3566	0.3294	0.3181	0.3146	0.3112	0.311	5	تعداد ویژگی
0.2986	0.2947	0.2909	0.2832	0.2663	0.2595	0.2531	0.2461	0.239	7	
0.2534	0.2491	0.2451	0.2379	0.2201	0.2137	0.2111	0.2092	0.2122	9	
0.225	0.2216	0.2179	0.2118	0.195	0.1869	0.181	0.1775	0.176	11	
0.2012	0.1977	0.1941	0.188	0.1736	0.1694	0.1658	0.1598	0.1541	13	
0.1846	0.1812	0.1779	0.1723	0.1572	0.151	0.1488	0.1475	0.1455	15	

۴-۳-۲- نشانگر میانه

میانه در آمار و نظریه احتمالات نوعی سنجش گرایش به مرکز است (Weisberg, 1992). میانه عددی است که یک جمعیت آماری و یا یک توزیع احتمالی را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند. اگر تعداد جمعیت آماری زوج باشد، میانه با میانگین دو عضو جمعیت که در وسط جمعیت آماری قرار دارند، محاسبه می‌شود. به میانه چارک دوم نیز گفته می‌شود، یعنی اگر

داده‌های مرتب شده براساس مقدار به قسمت‌هایی شامل چهارک اول، Q_1 (عددی که 25 درصد داده‌ها از آن کوچکتر هستند)، چهارک دوم Q_2 (عددی که 50 درصد داده‌ها از آن کوچکتر هستند) که میانه نامیده می‌شود و چهارک سوم Q_3 (عددی که 75 درصد داده‌ها از آن کوچکتر هستند) (Hyndman and Fan, 1996). برای محاسبه میانه ابتدا باید مقادیر بردار ویژگی‌ها به‌طور صعودی یا نزولی مرتب شوند. اگر $F_{sort}(i)$ مرتب شده بردار ویژگی‌ها باشد، در این صورت نشانگر میانه برای یک پنجره تحلیل طبق رابطه (۲-۴) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{If } i \text{ even} \rightarrow x = \frac{i}{2} \rightarrow \text{Median} &= \frac{F_{sort}(x) + F_{sort}(x+1)}{2} \\ \text{If } i \text{ odd} \rightarrow x = \frac{i}{2} \rightarrow \text{Median} &= F_{sort}(x - 0.5) \end{aligned} \quad (2-4)$$

نشانگر میانه برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۳-۴ برای اندازه‌های مختلف پنجره و با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است. همان‌طور که در جدول ۷-۴ تا جدول ۱۰-۴ مشاهده می‌شود، به دلیل همگن بودن بافت در داخل نمک، تمامی مقادیر میانه برای ناحیه نمک از نواحی شامل بازتابنده و مرزها بیشتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

جدول ۷-۴: محاسبه نشانگر میانه برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانه	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.4381	0.4256	0.3936	0.4086	0.3758	0.3139	0.2504	0.2288	0.0654	5	تعداد ویژگی
0.0592	0.0619	0.0642	0.0737	0.072	0.0623	0.0567	0.0438	0.0399	7	
0.0734	0.0768	0.0838	0.0963	0.0934	0.0707	0.0546	0.0332	0.0175	9	
0.0398	0.0427	0.0452	0.0505	0.0476	0.0363	0.0428	0.0411	0.0254	11	
0.0497	0.0525	0.052	0.0642	0.0511	0.046	0.0466	0.0394	0.0018	13	
0.0314	0.0341	0.0378	0.0432	0.0399	0.0331	0.0365	0.0278	0.0072	15	

جدول ۴-۸: محاسبه نشانگر میانه برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانه	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.2255	0.2306	0.2408	0.2546	0.2989	0.2794	0.2549	0.2054	0.1819		5
0.0603	0.0679	0.0706	0.0727	0.0979	0.0853	0.0897	0.0659	0.1263		7
0.0422	0.0429	0.0445	0.0445	0.0625	0.0498	0.0597	0.0336	0.1129		9
0.0334	0.0254	0.0254	0.0251	0.041	0.0307	0.0379	0.0217	0.0784		11
0.0317	0.0229	0.022	0.0221	0.0385	0.0271	0.037	0.019	0.0469		13
0.0288	0.0203	0.0194	0.0186	0.0325	0.024	0.0325	0.0244	0.0485		15

جدول ۴-۹: محاسبه نشانگر میانه برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانه	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4786		5
0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.3834	0.3864	0.4169		7
0.3333	0.3333	0.3333	0.3364	0.334	0.3343	0.3437	0.3467	0.4		9
0.3018	0.3021	0.3037	0.3064	0.3067	0.3097	0.3154	0.3294	0.3489		11
0.2838	0.285	0.2872	0.2878	0.2844	0.2857	0.2982	0.3118	0.3387		13
0.2693	0.2714	0.2731	0.2752	0.2702	0.2704	0.2836	0.2785	0.2767		15

جدول ۴-۱۰: محاسبه نشانگر میانه برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر میانه	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.3042	0.2911	0.2746	0.2555	0.1641	0.1168	0.0872	0.0645	0.1082	5	تعداد ویژگی
0.1352	0.1275	0.119	0.1034	0.0547	0.0531	0.057	0.0666	0.1227	7	
0.1317	0.1127	0.1036	0.0808	0.0535	0.0546	0.0536	0.0416	0.053	9	
0.1316	0.1135	0.1002	0.0775	0.0514	0.0535	0.0507	0.0294	0.0412	11	
0.1063	0.1024	0.0928	0.0698	0.0433	0.0446	0.0428	0.0388	0.0395	13	
0.0831	0.0777	0.0758	0.0676	0.0317	0.0331	0.0297	0.0261	0.0359	15	

۴-۳-۳- نشانگر انحراف معیار^۱

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، نشانه آن است که داده‌ها نزدیک به میانگین هستند و پراکندگی اندکی دارند؛ در حالی که انحراف معیار بزرگ بیانگر پراکندگی قابل توجه داده‌ها می‌باشد. نشانگر انحراف معیار برای هر پنجره تحلیل طبق رابطه (۴-۳) تعریف می‌شود (Korn and Korn, 2000).

$$STD = \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F(i) - \mu)^2} \quad (4-3)$$

نشانگر انحراف معیار برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ برای اندازه‌های مختلف پنجره و با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که در جدول ۴-۱۱ تا جدول ۴-۱۴ مشاهده می‌شود. 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.

^۱ Standard deviation

بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

جدول ۴-۱۱: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر انحراف معیار	تعداد ویژگی
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.2929	0.2944	0.2989	0.2924	0.293	0.3087	0.3146	0.3279	0.3683	5	
0.2829	0.2831	0.2842	0.2789	0.2788	0.2879	0.2924	0.3039	0.3333	7	
0.2641	0.2638	0.2635	0.259	0.2582	0.2644	0.2687	0.2786	0.3036	9	
0.2448	0.2444	0.2448	0.2401	0.2402	0.2448	0.2487	0.2582	0.2797	11	
0.2279	0.2274	0.2278	0.2232	0.2238	0.2286	0.2316	0.24	0.2572	13	
0.2133	0.2129	0.2132	0.2088	0.2094	0.2138	0.2168	0.223	0.2376	15	

جدول ۴-۱۲: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر انحراف معیار	تعداد ویژگی
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.3323	0.3325	0.331	0.3276	0.3181	0.3213	0.33	0.3393	0.3387	5	
0.2971	0.3005	0.3022	0.3033	0.299	0.3037	0.3056	0.3109	0.2871	7	
0.2722	0.275	0.2744	0.2736	0.2681	0.2722	0.2737	0.2798	0.2692	9	
0.2502	0.2521	0.2519	0.2517	0.2479	0.2508	0.2516	0.2539	0.2535	11	
0.2326	0.2341	0.2327	0.2318	0.2279	0.2307	0.2323	0.2361	0.2333	13	
0.2153	0.2168	0.217	0.2175	0.2154	0.2181	0.2176	0.2206	0.2211	15	

جدول ۴-۱۳: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر انحراف معیار	تعداد ویژگی
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0846	5	
0	0	0	0	0	0	0.0152	0.024	0.0941	7	
0	0	0	0.0095	0.0019	0.0029	0.0286	0.0505	0.1239	9	
0.001	0.002	0.0058	0.0116	0.0166	0.0322	0.0482	0.0663	0.1242	11	
0.012	0.0146	0.0188	0.0272	0.0246	0.031	0.0489	0.0639	0.1421	13	
0.0175	0.0192	0.0227	0.0282	0.028	0.0358	0.0553	0.065	0.1416	15	

جدول ۴-۱۴: محاسبه نشانگر انحراف معیار برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر انحراف معیار	تعداد ویژگی
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.2675	0.2764	0.2862	0.3018	0.3382	0.3514	0.3554	0.3591	0.3593	5	
0.2503	0.2556	0.2607	0.2703	0.2897	0.2968	0.3032	0.3098	0.3163	7	
0.2297	0.235	0.2396	0.2477	0.2655	0.2713	0.2736	0.2752	0.2726	9	
0.2106	0.2144	0.2186	0.2251	0.2412	0.2481	0.2529	0.2556	0.2568	11	
0.1987	0.2025	0.2062	0.2123	0.2251	0.2286	0.2314	0.2359	0.24	13	
0.1868	0.1904	0.1937	0.1991	0.212	0.2168	0.2184	0.2194	0.2208	15	

۴-۳-۴- نشانگر واریانس

یکی از مهمترین پارامترها در علم آمار، واریانس است و عبارت است از مربع انحراف معیار

برای هر پنجره تحلیل طبق رابطه (۴-۴) تعریف می‌شود (Korn and Korn, 2000).

$$Variance = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F(i) - \mu)^2 = \sigma^2 \quad (4-4)$$

نشانگر واریانس برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۳-۴ برای اندازه‌های مختلف پنجره و با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که در جدول ۴-۱۵ تا جدول ۴-۱۸ مشاهده می‌شود. تمامی مطالبی که در مورد انحراف معیار بیان شد در مورد واریانس نیز صادق است ولی با حساسیت بیشتر، زیرا واریانس با توان ۲ انحراف معیار مرتبط است. بنابراین، مقادیر واریانس برای ناحیه از نواحی شامل بازتابنده و مرزها کمتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

جدول ۴-۱۵: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر واریانس	تعداد ویژگی
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.0858	0.0867	0.0894	0.0855	0.0858	0.0953	0.0989	0.1075	0.1357	5	
0.0800	0.0801	0.0808	0.0778	0.0777	0.0829	0.0855	0.0923	0.1111	7	
0.0697	0.0696	0.0694	0.0671	0.0667	0.0699	0.0722	0.0776	0.0921	9	
0.0599	0.0597	0.0599	0.0576	0.0577	0.0599	0.0618	0.0667	0.0783	11	
0.0519	0.0517	0.0519	0.0498	0.0501	0.0522	0.0536	0.0576	0.0662	13	
0.0455	0.0453	0.0455	0.0436	0.0439	0.0457	0.0470	0.0497	0.0564	15	

جدول ۴-۱۶: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر واریانس	تعداد ویژگی
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.1104	0.1105	0.1096	0.1073	0.1012	0.1033	0.1089	0.1151	0.1147	5	
0.0883	0.0903	0.0913	0.092	0.0894	0.0922	0.0934	0.0966	0.0824	7	
0.0741	0.0756	0.0753	0.0748	0.0719	0.0741	0.0749	0.0783	0.0724	9	
0.0626	0.0635	0.0634	0.0634	0.0615	0.0629	0.0633	0.0645	0.0643	11	
0.0541	0.0548	0.0541	0.0537	0.0519	0.0532	0.054	0.0557	0.0544	13	
0.0464	0.047	0.0471	0.0473	0.0464	0.0476	0.0473	0.0486	0.0489	15	

جدول ۴-۱۷: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر واریانس	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0072	5	تعداد ویژگی
0	0	0	0	0	0	0.0002	0.0006	0.0089	7	
0	0	0	0.0895	0.0038	0	0.0008	0.0026	0.0154	9	
0.0011	0.0039	0.0335	0.1341	0.2742	0.001	0.0023	0.0044	0.0154	11	
0.143	0.2118	0.3519	0.7401	0.6036	0.001	0.0024	0.0041	0.0202	13	
0.3066	0.3676	0.5147	0.7936	0.7829	0.0013	0.0031	0.0042	0.02	15	

جدول ۴-۱۸: محاسبه نشانگر واریانس برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر واریانس	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.0716	0.0764	0.0819	0.0911	0.1144	0.1235	0.1263	0.1289	0.1291	5	تعداد ویژگی
0.0627	0.0653	0.068	0.0731	0.0839	0.0881	0.0919	0.096	0.1	7	
0.0528	0.0552	0.0574	0.0614	0.0705	0.0736	0.0748	0.0757	0.0743	9	
0.0443	0.046	0.0478	0.0507	0.0582	0.0616	0.064	0.0653	0.0659	11	
0.0395	0.041	0.0425	0.0451	0.0507	0.0522	0.0536	0.0557	0.0576	13	
0.0349	0.0363	0.0375	0.0396	0.0449	0.047	0.0477	0.0481	0.0488	15	

۴-۳-۵- نشانگر چولگی (عدم تقارن)

در آمار و نظریه احتمالات، چولگی نشان دهنده میزان عدم تقارن توزیع احتمالی است. اگر داده‌ها نسبت به میانگین متقارن باشند، چولگی برابر صفر خواهد بود (Von Hippel, 2005). نشانگر چولگی برای هر پنجره تحلیل طبق رابطه (۴-۵) تعریف می‌شود.

$$Skewness = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F(i) - \mu}{\sigma} \right)^3 \quad (5-4)$$

نشانگر چولگی برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۳-۴ برای اندازه‌های مختلف پنجره و با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که در جدول ۴-۱۹ تا جدول ۴-۲۲ نشان داده شده است. برای اندازه پنجره ۵ به بالا و تعداد ویژگی ۵، چون همه مقادیر بردارهای ویژگی در نمک یکسان بوده‌اند، چولگی تعریف نشده است (مقادیر NaN) اما برای تعداد ویژگی بیشتر مقادیر چولگی برای ناحیه نمک از نواحی شامل بازتابنده و مرزها کمتر خواهد بود، این تباین برای سایر تعداد ویژگی‌ها خود را به صورت مقدار منفی بزرگ نشان می‌دهد. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

جدول ۴-۱۹: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر چولگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
-0.076	-0.092	-0.049	-0.115	-0.033	0.101	0.2424	0.2583	0.399	5	تعداد ویژگی
0.3288	0.3362	0.3823	0.3424	0.3975	0.4955	0.6537	0.6767	0.9413	7	
0.6919	0.6884	0.6949	0.6745	0.7041	0.7665	0.9059	0.9637	1.3214	9	
0.9732	0.9671	0.9659	0.9432	0.9546	0.9735	1.0831	1.1614	1.6393	11	
1.1698	1.1594	1.1584	1.1153	1.1316	1.1405	1.2118	1.3202	1.8647	13	
1.287	1.2712	1.2653	1.1934	1.2054	1.22	1.2427	1.336	1.8747	15	

جدول ۴-۲۰: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر چولگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.2555	0.2451	0.2269	0.2047	0.12	0.1607	0.1977	0.2791	0.3008		5
0.5698	0.6616	0.7056	0.7549	0.7605	0.808	0.7834	0.8049	0.4096		7
1.0531	1.1003	1.0827	1.072	0.9944	1.045	1.0571	1.1174	0.9065		9
0.9539	0.9754	0.9726	0.9775	0.9596	0.9815	0.9708	1.0119	1.3615		11
1.1507	1.1651	1.1565	1.1779	1.1606	1.2103	1.2078	1.2597	1.1686		13
1.0919	1.1557	1.2073	1.2483	1.2575	1.3078	1.2928	1.4575	1.3818		15

جدول ۴-۲۱: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر چولگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	-1.5		5
1	1	1	1	1	1	-2.0412	-2.0412	-1.5417		7
NaN	NaN	NaN	-2.4749	-2.4748	-2.4749	-2.3195	-2.4749	-0.7937		9
-2.846	-2.846	-2.456	-1.814	-2.784	-2.846	-2.668	-1.700	-1.123		11
-1.470	-1.669	-1.552	-2.567	-3.000	-3.059	-1.469	-1.014	-0.620		13
-1.144	-0.9391	-1.0603	-1.5083	-1.9443	-2.5662	-1.7322	-1.531	-0.5853		15

جدول ۴-۲۲: محاسبه نشانگر چولگی برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر چولگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.2119	0.2291	0.2456	0.2579	0.3467	0.378	0.3963	0.4057	0.3735	5	تعداد ویژگی
0.2576	0.2647	0.2666	0.2716	0.3437	0.4496	0.6616	0.7975	0.8648	7	
0.5584	0.5772	0.5856	0.5973	0.6473	0.6716	0.6907	0.697	0.6673	9	
0.6183	0.6496	0.6754	0.6843	0.809	0.9068	0.9721	0.9932	0.9786	11	
0.7303	0.7697	0.7858	0.8265	0.8933	0.9218	1.0126	1.1434	1.2264	13	
0.8453	0.8979	0.9257	0.9605	1.0988	1.1652	1.1079	1.0654	1.1283	15	

۴-۳-۶- نشانگر کشیدگی

کشیدگی یا برجستگی توصیف کننده میزان قله‌ای بودن یک توزیع احتمالی است. به عبارت دیگر کشیدگی معیاری از تیزی منحنی در نقطه بیشینه است (Cramer, 1998). نشانگر کشیدگی برای هر پنجره تحلیل طبق رابطه (۴-۶) تعریف می‌شود.

$$Kurtosis = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F(i) - \mu}{\sigma} \right)^4 \quad (4-6)$$

نشانگر کشیدگی برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ برای اندازه‌های مختلف پنجره و با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۴-۲۳ تا جدول ۴-۲۶ مشاهده می‌شود. همانند چولگی، نشانگر کشیدگی نیز برای تمام پنجره‌ها و تعداد ویژگی ۵ به دلیل یکسان بودن همه مقادیر بردارهای ویژگی در نمک تعریف نشده است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای تا حدودی متمایز نمود.

جدول ۴-۲۳: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کشیدگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
1.3846	1.3399	1.3112	1.2612	1.2574	1.2495	1.2243	1.22	1.1715	5	تعداد ویژگی
1.1634	1.1785	1.2602	1.1969	1.2811	1.4296	1.6315	1.6581	1.8969	7	
1.4992	1.4989	1.5286	1.5007	1.5583	1.7146	2.0068	2.1332	2.7685	9	
2.0095	2.005	2.0047	1.9869	1.9947	2.0576	2.3238	2.5342	3.7054	11	
2.5013	2.4876	2.4864	2.428	2.4435	2.4512	2.6303	2.9287	4.5674	13	
2.8795	2.848	2.8311	2.6894	2.6861	2.7072	2.7238	3.0121	4.7888	15	

جدول ۴-۲۴: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کشیدگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
1.2203	1.2226	1.2266	1.231	1.2436	1.2389	1.2329	1.214	1.2211	5	تعداد ویژگی
1.5318	1.6482	1.6989	1.7501	1.7658	1.8037	1.7873	1.7982	1.4795	7	
2.4131	2.4783	2.4492	2.4226	2.2924	2.3569	2.406	2.4959	2.1396	9	
1.9902	2.0104	2.0084	2.0124	2.0001	2.0157	2.0089	2.1461	3.2117	11	
2.4717	2.4873	2.5306	2.6634	2.7112	2.8299	2.8041	2.9134	2.5652	13	
2.371	2.566	2.7229	2.802	2.822	2.9165	3.006	3.6359	3.0787	15	

جدول ۴-۲۵: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کشیدگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3.25	5	تعداد ویژگی
1	1	1	1	1	1	5.1667	5.1667	3.7991	7	
NaN	NaN	NaN	7.125	7.1249	7.125	5.1667	5.1667	1.8417	9	
9.1004	9.1003	7.5282	4.5399	8.8765	9.1	6.6272	7.125	3.0857	11	
3.6467	4.6124	4.1189	8.3802	10.3278	10.5895	8.4215	4.6376	1.5819	13	
2.7753	2.4834	2.7668	4.32	5.4289	8.3213	3.3528	2.3107	1.7394	15	

جدول ۴-۲۶: محاسبه نشانگر کشیدگی برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کشیدگی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
1.2372	1.2307	1.2283	1.2222	1.1937	1.182	1.1732	1.168	1.1845	5	تعداد ویژگی
1.1072	1.1031	1.1057	1.0998	1.1969	1.3661	1.646	1.7916	1.8598	7	
1.4621	1.4647	1.4669	1.4677	1.4864	1.4954	1.499	1.4996	1.501	9	
1.5807	1.6223	1.6606	1.6747	1.8647	1.9763	2.0083	2.0244	2.0153	11	
1.713	1.7762	1.7883	1.8691	1.9636	2.0382	2.2174	2.4405	2.5785	13	
2.0014	2.1039	2.1499	2.2291	2.4916	2.5878	2.353	2.1978	2.441	15	

۴-۳-۷- نشانگر بیشینه مقدار^۱

این نشانگر همان طور که از نامش پیداست، بیشترین مقدار بردارهای ویژگی حاصل از HOG را در یک پنجره تحلیل مشخص می کند. نشانگر بیشینه مقدار برای مناطق مختلف لرزه ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ برای اندازه های مختلف پنجره و با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۴-۲۷ تا جدول ۴-۳۰ نشان داده شده است. در نواحی شامل بازتابنده 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 مشاهده می شود، مقادیر بیشینه مقدار برای ناحیه نمک از نواحی شامل بازتابنده و مرزها کمتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت ها، در یک داده لرزه ای به خوبی متمایز نمود.

جدول ۴-۲۷: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت بازتابنده افقی با اندازه ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بیشینه مقدار	تعداد ویژگی
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.7107	0.7007	0.6968	0.6688	0.6678	0.6764	0.6817	0.687	0.7053	5	
0.6072	0.6101	0.6233	0.6115	0.6244	0.6451	0.6665	0.6735	0.7056	7	
0.5729	0.5726	0.5897	0.5761	0.5947	0.6189	0.6461	0.6593	0.7052	9	
0.5692	0.5687	0.5687	0.5654	0.5662	0.5912	0.6215	0.6412	0.7056	11	
0.5632	0.5623	0.5624	0.5571	0.5584	0.5628	0.5961	0.6229	0.7015	13	
0.5535	0.552	0.5516	0.5431	0.5435	0.547	0.5596	0.5894	0.6785	15	

^۱ Maximum

جدول ۴-۲۸: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بیشینه مقدار	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.688	0.6873	0.6856	0.6829	0.6736	0.6794	0.6831	0.6915	0.6932	5	تعداد ویژگی
0.6588	0.6709	0.6762	0.6814	0.6805	0.6864	0.6851	0.6887	0.6934	7	
0.6709	0.6764	0.6744	0.6727	0.662	0.6686	0.6716	0.6801	0.6526	9	
0.5697	0.5717	0.5715	0.5718	0.5695	0.5718	0.5713	0.6068	0.6713	11	
0.5639	0.5675	0.589	0.6049	0.6086	0.6174	0.616	0.6233	0.5897	13	
0.554	0.5693	0.5751	0.5725	0.5561	0.5641	0.5917	0.6273	0.5651	15	

جدول ۴-۲۹: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بیشینه مقدار	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4786	5	تعداد ویژگی
0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.3834	0.3864	0.4169	7	
0.3333	0.3333	0.3333	0.3364	0.334	0.3343	0.3437	0.3467	0.4	9	
0.3018	0.3021	0.3037	0.3064	0.3067	0.3097	0.3154	0.3294	0.3683	11	
0.2838	0.285	0.2872	0.2878	0.2844	0.2857	0.2982	0.3118	0.3511	13	
0.2693	0.2714	0.2731	0.2752	0.2702	0.2704	0.2836	0.295	0.3563	15	

جدول ۴-۳۰: محاسبه نشانگر بیشینه مقدار برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بیشینه مقدار	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.6602	0.6655	0.6709	0.6781	0.6959	0.7011	0.7031	0.7044	0.7023		5
0.5648	0.5705	0.5753	0.5772	0.6149	0.6409	0.6718	0.6877	0.6959		7
0.5514	0.555	0.5576	0.5615	0.5704	0.5733	0.575	0.5756	0.5808		9
0.5246	0.5375	0.5408	0.5533	0.5791	0.5854	0.5718	0.5738	0.5732		11
0.499	0.5075	0.5106	0.5206	0.5386	0.5646	0.5716	0.5641	0.5719		13
0.4939	0.5029	0.5074	0.5158	0.5363	0.5431	0.5312	0.5287	0.5373		15

۴-۳-۸- نشانگر کمینه مقدار^۱

کمینه، کمترین مقدار موجود در داده را پیدا می‌کند. بنابراین نشانگر کمینه، کمترین مقدار بردارهای ویژگی حاصل از HOG را در یک پنجره تحلیل مشخص می‌کند. نشانگر کمینه مقدار برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ برای اندازه‌های مختلف پنجره و با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است. همان‌طور که در جدول ۴-۳۱ تا جدول ۴-۳۴ نشان داده شده است، مقادیر کمینه مقدار برای ناحیه نمک و تعداد ویژگی کوچک، از نواحی شامل بازتابنده و مرزها بیشتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

^۱ Minimum

جدول ۴-۳۱: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کمینه مقدار	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.0588	0.0547	0.0506	0.0575	0.0613	0.0429	0.0535	0.0353	0.0089	5	تعداد ویژگی
0.0354	0.0329	0.0288	0.0359	0.0387	0.0228	0.0319	0.0176	0	7	
0.0266	0.0246	0.0225	0.0295	0.0301	0.0133	0.0214	0.0177	0	9	
0.022	0.0204	0.0187	0.0244	0.0232	0.0065	0.0121	0	0	11	
0.0191	0.0173	0.0164	0.0214	0.0201	0.003	0.0066	0.0013	0	13	
0.017	0.0152	0.0147	0.0184	0.0186	0.0026	0.0048	0	0	15	

جدول ۴-۳۲: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کمینه مقدار	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.0299	0.0305	0.031	0.0343	0.0393	0.0343	0.023	0.0261	0.2497	5	تعداد ویژگی
0.0206	0.0213	0.0193	0.0224	0.0212	0.0258	0.0101	0.0127	0	7	
0.0181	0.0175	0.0167	0.0178	0.0172	0.0201	0.0089	0.0057	0	9	
0.0111	0.0114	0.0093	0.0109	0.0095	0.0122	0.0018	0.0048	0	11	
0.0104	0.0096	0.0092	0.0099	0.009	0.011	0.0028	0	0	13	
0.0085	0.0083	0.0071	0.0084	0.0069	0.0102	0.0003	0	0	15	

جدول ۴-۳۳: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کمینه مقدار	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.2895		5
0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.3433	0.3229	0.1711		7
0.3333	0.3333	0.3333	0.308	0.3282	0.3255	0.2573	0.1952	0.1011		9
0.2984	0.2955	0.2848	0.273	0.2515	0.2029	0.1555	0.1278	0		11
0.2489	0.2389	0.2294	0.1919	0.196	0.1737	0.1729	0.1424	0		13
0.2221	0.2158	0.2062	0.1821	0.1783	0.1414	0.1032	0.0751	0		15

جدول ۴-۳۴: محاسبه نشانگر کمینه مقدار برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر کمینه مقدار	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.1137	0.1055	0.0902	0.072	0.0341	0.0185	0.0244	0.0354	0		5
0.0628	0.0592	0.0518	0.0388	0.0193	0.0103	0.0162	0.0123	0		7
0.0519	0.0467	0.0392	0.0302	0.0164	0.006	0.0093	0.0039	0		9
0.0422	0.0415	0.0354	0.0246	0.009	0.0036	0.0044	0.0013	0		11
0.0348	0.0315	0.0246	0.0175	0.0086	0.0024	0.0021	0.0005	0		13
0.0323	0.0269	0.0213	0.0173	0.0069	0.0025	0.0017	0	0		15

۴-۳-۹- نشانگر گستره^۱

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. در مورد نشانگرهای بیشینه و کمینه مشاهده شد که در بافت نمک به دلیل همگنی مقادیر تقریباً یکسانی دارند بنابراین مقدار گستره برای بافت نمک کمترین مقدار خواهد بود. نشانگر گستره برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که در جدول ۴-۳۵ تا جدول ۴-۳۸ نشان داده شده است. مقادیر گستره برای ناحیه نمک و تعداد ویژگی کوچک، از نواحی شامل بازتابنده و مرزها کمتر است. بنابراین با استفاده از این ویژگی می توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

جدول ۴-۳۵: محاسبه نشانگر گستره برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر گستره	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.6519	0.6459	0.6462	0.6113	0.6065	0.6335	0.6282	0.6516	0.6964	5	تعداد ویژگی
0.5718	0.5771	0.5945	0.5756	0.5858	0.6222	0.6346	0.6559	0.7056	7	
0.5463	0.548	0.5672	0.5466	0.5646	0.6056	0.6247	0.6416	0.7052	9	
0.5472	0.5483	0.55	0.541	0.5429	0.5848	0.6094	0.6412	0.7056	11	
0.5441	0.545	0.546	0.5357	0.5382	0.5597	0.5895	0.6216	0.7015	13	
0.5365	0.5368	0.5369	0.5247	0.5249	0.5444	0.5548	0.5894	0.6785	15	

^۱ Range

جدول ۴-۳۶: محاسبه نشانگر گستره برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر گستره	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.6581	0.6567	0.6545	0.6486	0.6343	0.645	0.66	0.6654	0.693		5
0.6382	0.6497	0.6569	0.659	0.6593	0.6606	0.675	0.676	0.6934		7
0.6528	0.6589	0.6577	0.6549	0.6448	0.6485	0.6627	0.6744	0.6526		9
0.5586	0.5603	0.5622	0.5609	0.56	0.5595	0.5695	0.602	0.6713		11
0.5535	0.5579	0.5798	0.595	0.5996	0.6063	0.6133	0.6233	0.5897		13
0.5455	0.561	0.568	0.5641	0.5492	0.554	0.5914	0.6273	0.5651		15

جدول ۴-۳۷: محاسبه نشانگر گستره برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر گستره	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.2895		5
0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.3433	0.3229	0.1711		7
0.3333	0.3333	0.3333	0.308	0.3282	0.3255	0.2573	0.1952	0.1011		9
0.2984	0.2955	0.2848	0.273	0.2515	0.2029	0.1555	0.1278	0		11
0.2489	0.2389	0.2294	0.1919	0.196	0.1737	0.1729	0.1424	0		13
0.2221	0.2158	0.2062	0.1821	0.1783	0.1414	0.1032	0.0751	0		15

جدول ۴-۳۸: محاسبه نشانگر گستره برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر گستره	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.5465	0.5599	0.5808	0.6061	0.6619	0.6826	0.6788	0.669	0.7023	5	تعداد ویژگی
0.502	0.5113	0.5235	0.5383	0.5956	0.6306	0.6557	0.6754	0.6959	7	
0.4995	0.5083	0.5184	0.5313	0.554	0.5673	0.5657	0.5717	0.5808	9	
0.4825	0.496	0.5054	0.5286	0.5701	0.5818	0.5673	0.5725	0.5732	11	
0.4642	0.476	0.4861	0.5031	0.53	0.5621	0.5695	0.5636	0.5719	13	
0.4616	0.476	0.4862	0.4985	0.5293	0.5407	0.5295	0.5287	0.5373	15	

۴-۳-۱۰- نشانگر دامنه بین چارکی^۱

در آمار توصیفی، دامنه بین چارکی (به اختصار IQR) یکی از سنجش‌های پراکندگی است که برابر با فاصله بین چارک اول و سوم است (Upton and Cook, 1996). مفهوم چارک در بخش نشانگر میانه توضیح داده شد، بنابراین نشانگر دامنه بین چارکی برای هر پنجره تحلیل به صورت $(IQR = Q_3 - Q_1)$ تعریف می‌شود (Zwillinger and Kokoska, 1999). نشانگر دامنه بین چارکی برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که در جدول ۴-۳۹ تا جدول ۴-۴۲ مشاهده می‌شود. در ناحیه نمک به دلیل همگنی، تفاوت بین چارک اول و سوم نیز حداقل خواهد بود. بنابراین مقادیر دامنه بین چارکی برای ناحیه نمک (د) و تعداد ویژگی کوچک، از نواحی شامل بازتابنده و مرزها کمتر خواهد شد. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

^۱ Interquartile range

جدول ۴-۳۹: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بین چارکی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.6509	0.6538	0.6532	0.6484	0.634	0.6356	0.6505	0.6641	0.6359	5	تعداد ویژگی
0.5565	0.5546	0.5511	0.5454	0.5369	0.5373	0.5427	0.5492	0.5019	7	
0.3189	0.3127	0.3246	0.336	0.3629	0.3536	0.3385	0.3157	0.415	9	
0.4464	0.4404	0.441	0.4379	0.4348	0.4324	0.4378	0.3848	0.2113	11	
0.2552	0.2547	0.2584	0.2633	0.285	0.279	0.2706	0.2433	0.2508	13	
0.3217	0.2891	0.2491	0.2168	0.1919	0.1765	0.2141	0.2059	0.1238	15	

جدول ۴-۴۰: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بین چارکی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.6581	0.6567	0.6545	0.6486	0.6343	0.645	0.66	0.6654	0.693	5	تعداد ویژگی
0.6382	0.6497	0.6569	0.659	0.6593	0.6606	0.675	0.676	0.6934	7	
0.6528	0.6589	0.6577	0.6549	0.6448	0.6485	0.6627	0.6744	0.6526	9	
0.5586	0.5603	0.5622	0.5609	0.56	0.5595	0.5695	0.602	0.6713	11	
0.5535	0.5579	0.5798	0.595	0.5996	0.6063	0.6133	0.6233	0.5897	13	
0.5455	0.561	0.568	0.5641	0.5492	0.554	0.5914	0.6273	0.5651	15	

جدول ۴-۴۱: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بین چارکی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0473	5	تعداد ویژگی
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0734	7	
0	0	0	0	0	0	0.0041	0	0.2113	9	
0	0	0	0	0	0	0	0.0563	0.181	11	
0.0104	0.0128	0.0175	0.01	0	0	0.0183	0.1018	0.2572	13	
0.0213	0.0255	0.0275	0.0326	0.0073	0.0072	0.0534	0.0766	0.2577	15	

جدول ۴-۴۲: محاسبه نشانگر دامنه بین چارکی برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر بین چارکی	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.5188	0.5372	0.5532	0.5859	0.6449	0.6569	0.6557	0.66	0.6707	5	تعداد ویژگی
0.4785	0.49	0.5012	0.5178	0.5537	0.564	0.5589	0.5471	0.5395	7	
0.4897	0.4984	0.5059	0.5211	0.553	0.5607	0.5607	0.5603	0.5624	9	
0.4227	0.4155	0.4241	0.4188	0.4216	0.428	0.4481	0.4385	0.4509	11	
0.3951	0.3878	0.3936	0.3836	0.3869	0.3913	0.3447	0.2781	0.2143	13	
0.308	0.2949	0.2929	0.2799	0.2577	0.2492	0.2914	0.3307	0.2798	15	

۴-۳-۱۱- نشانگر مد^۱

مد در آمار و ریاضیات، به ارزش یا مقداری که بیشترین تکرار را در یک مجموعه داده آماری رخ دهد گفته می‌شود. برای محاسبه مد ابتدا باید مقادیر بردار ویژگی‌ها به‌طور صعودی یا نزولی مرتب شوند سپس مقداری که بیشترین تکرار را داشته باشد، به‌عنوان نشانگر مد برای هر پنجره تحلیل تعریف می‌شود.

نشانگر مد برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ با تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است، همان‌طور که در جدول ۴-۴ تا جدول ۴-۶ مشاهده می‌شود مقادیر مد برای ناحیه نمک (د) از نواحی شامل بازتابنده و مرزها کمتر است بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای متمایز نمود.

جدول ۴-۴: محاسبه نشانگر مد برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر مد	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
0.0588	0.0547	0.0506	0.0575	0.0613	0.0429	0.6817	0.687	0.7053	5	تعداد ویژگی
0.6072	0.6101	0.6233	0.6115	0.6244	0.6451	0.6665	0.6735	0.7056	7	
0.5729	0.5726	0.5897	0.5761	0.5947	0.6189	0.6461	0.6593	0	9	
0.5692	0.5687	0.5687	0.5654	0.5662	0.5912	0.6215	0.6412	0	11	
0.5632	0.5623	0.5624	0.5571	0.5584	0.5628	0.5961	0.6229	0	13	
0.5535	0.552	0.5516	0.5431	0.5435	0.547	0.5596	0.5894	0	15	

^۱ Mode

جدول ۴-۴: محاسبه نشانگر مد برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر مد	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.688	0.6873	0.6856	0.6829	0.6736	0.0343	0.6831	0.6915	0.6932		5
0.6588	0.6709	0.6762	0.6814	0.6805	0.6864	0.6851	0.6887	0		7
0.6709	0.6764	0.6744	0.6727	0.662	0.6686	0.6716	0.6801	0		9
0.5697	0.5717	0.5715	0.5718	0.5695	0.5718	0.5713	0.6068	0		11
0.5639	0.5675	0.589	0.6049	0.6086	0.6174	0.616	0.6233	0		13
0.554	0.5693	0.5751	0.5725	0.5561	0.5641	0.5917	0.6273	0		15

جدول ۴-۵: محاسبه نشانگر مد برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر مد	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4472	0.4786		5
0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.3834	0.3864	0.4169		7
0.3333	0.3333	0.3333	0.3364	0.334	0.3343	0.3437	0.3467	0.4		9
0.3018	0.3021	0.3037	0.3064	0.3067	0.3097	0.3154	0.3294	0.3683		11
0.2838	0.285	0.2872	0.2878	0.2844	0.2857	0.2982	0.3118	0.3511		13
0.2693	0.2714	0.2731	0.2752	0.2702	0.2704	0.2836	0.295	0.3563		15

جدول ۴-۴۶: محاسبه نشانگر مد برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر مد	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
0.6602	0.6655	0.6709	0.6781	0.6959	0.7011	0.7031	0.7044	0.7023		5
0.5648	0.5705	0.5753	0.5772	0.6149	0.6409	0.6718	0.6877	0.6959		7
0.5514	0.555	0.5576	0.5615	0.5704	0.5733	0.575	0.5756	0		9
0.5246	0.5375	0.5408	0.5533	0.5791	0.5854	0.5718	0.5738	0		11
0.499	0.5075	0.5106	0.5206	0.5386	0.5646	0.5716	0.5641	0		13
0.4939	0.5029	0.5074	0.5158	0.5363	0.5431	0.5312	0.5287	0		15

۴-۳-۱۲- نشانگر ترکیب میانگین، واریانس و گستره یا MVR

همان‌طور که در بخش نشانگرهای قبلی گفته شد، برای تعداد ویژگی کم، نشانگر میانگین در بافت نمک دارای بیشترین مقدار و نشانگرهای واریانس و گستره دارای کمترین مقدار هستند. بنابراین با ترکیب این سه نشانگر طبق رابطه (۴-۷)، بافت نمک با دقت خیلی بالایی از سایر بافت‌ها جدا می‌شود.

$$MVR = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(i)}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F(i) - \mu)^2\right) (\max(F(i)) - \min(F(i)))} \quad (۴-۷)$$

نشانگر MVR برای مناطق مختلف لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۴-۳ با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف محاسبه شده است که در جدول ۴-۴۷ تا جدول ۴-۵۰ مشاهده می‌شود. همان‌طور که گفته شد، مقادیر MVR برای ناحیه نمک (د) از نواحی شامل بازتابنده و مرزها خیلی بیشتر است که این تفاوت زیاد قدرت تفکیک این نشانگر را به شدت

افزایش می‌دهد. بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان بافت گنبدنمکی را از سایر بافت‌ها، در یک داده لرزه‌ای با دقت خیلی بالا متمایز نمود.

جدول ۴-۴۷: محاسبه نشانگر MVR برای بافت بازتابنده افقی با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر MVR	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
6.4803	6.4542	6.2084	6.9397	6.96	5.8249	5.5924	4.82	3.201	5	تعداد ویژگی
5.9546	5.8875	5.6501	6.1637	6.066	5.1933	4.8635	4.1669	2.7845	7	
5.8159	5.8163	5.6423	6.19	6.0498	5.2296	4.8007	4.1192	2.6298	9	
5.8206	5.8393	5.7926	6.2934	6.2566	5.4461	4.9442	4.0739	2.546	11	
6.0273	6.0595	6.0137	6.5918	6.5003	5.7922	5.2374	4.3024	2.7122	13	
6.3751	6.4201	6.3814	7.0504	6.9692	6.2232	5.7928	4.8566	3.0894	15	

جدول ۴-۴۸: محاسبه نشانگر MVR برای بافت بازتابنده شیبدار با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر MVR	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5		
4.6003	4.6013	4.6726	4.8547	5.3759	5.1444	4.6744	4.287	4.1385	5	تعداد ویژگی
4.6015	4.3625	4.2355	4.1718	4.3658	4.1454	3.9772	3.7501	4.7002	7	
4.3992	4.2055	4.2457	4.3071	4.6906	4.4276	4.2518	3.8618	4.5718	9	
5.2753	5.1125	5.1112	5.1349	5.4382	5.215	5.0647	4.6286	4.1755	11	
5.4898	5.3119	5.2296	5.1717	5.4682	5.1683	4.9747	4.5966	5.0929	13	
6.0459	5.7253	5.6363	5.6263	5.9986	5.667	5.3569	4.7784	5.2551	15	

جدول ۴-۴۹: محاسبه نشانگر MVR برای بافت نمک با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر MVR	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	325.848		5
Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	4.0926	1.0329	169.0182		7
Inf	Inf	Inf	1.3111	1.5216	4.3607	0.4698	0.0854	67.9922		9
8.3419	1.1792	4.7762	0.6726	0.002	0.0027	0.0803	0.0332	48.781		11
0.0055	0.0028	0.1359	0.0389	0.0005	0.0026	0.0912	0.0391	34.045		13
0.0018	0.0013	0.0747	0.0347	0.0004	0.0015	0.0459	0.0269	30.6723		15

جدول ۴-۵۰: محاسبه نشانگر MVR برای بافت مرز بین نمک و بازتابنده با اندازه‌ی مختلف پنجره و تعداد ویژگی مختلف.

اندازه پنجره									نشانگر MVR	
61×61	51×51	41×41	31×31	21×21	17×17	13×13	9×9	5×5	تعداد ویژگی	
9.6594	8.7137	7.711	6.4589	4.3501	3.7728	3.6697	3.6079	3.4307		5
9.4914	8.8249	8.1736	7.1981	5.328	4.6711	4.1993	3.7954	3.4323		7
9.6134	8.8751	8.2395	7.2969	5.6354	5.1166	4.9872	4.8322	4.9166		9
10.5163	9.7219	9.0202	7.9083	5.8827	5.217	4.9886	4.7454	4.6581		11
10.9786	10.1338	9.3897	8.2907	6.4638	5.7682	5.4347	5.0929	4.6791		13
11.4598	10.4957	9.7484	8.719	6.6107	5.9391	5.8945	5.7953	5.5541		15

فصل پنجم

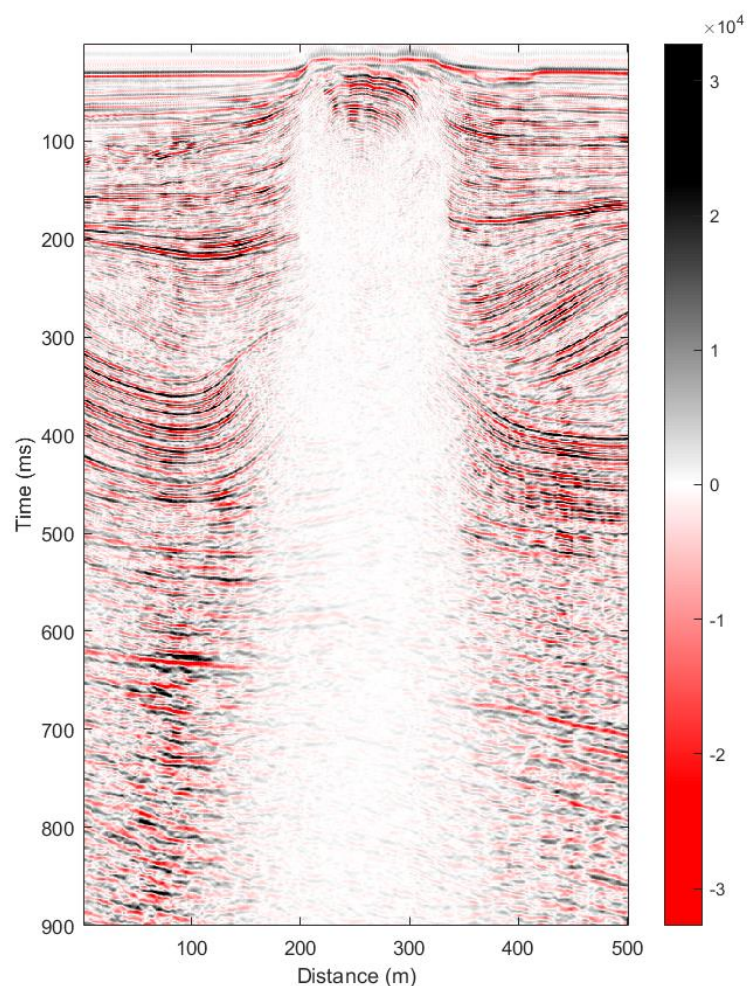
اعمال نشانگرهای بافتی مبتنی بر

HOG بر روی داده‌های لرزه‌ای

واقعی

۵-۱- مقدمه

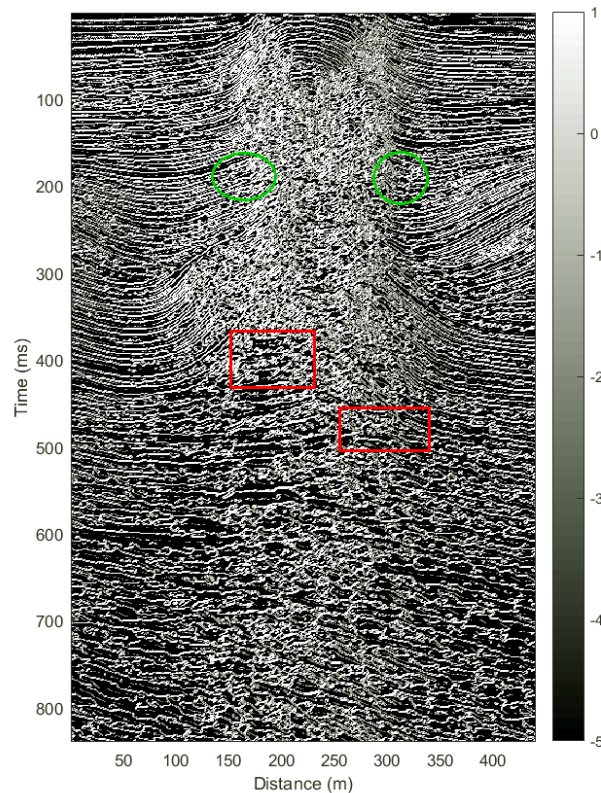
در فصل‌های قبل، نحوه عملکرد روش HOG در شرایط مختلف و پارامترهای متفاوت، هم برای کاربردهای عمومی هم برای کاربرد در لرزه‌شناسی، به‌طور کامل توضیح داده شد و مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل، نحوه عملکرد نشانگرهای بافتی معرفی شده مبتنی بر روش HOG که در فصل ۴ توضیح داده شدند، بر روی یک داده دوبعدی که شامل گنبدنمکی است (شکل ۵-۱)، به‌طور کامل شرح داده شده است. داده مذکور دارای ۹۰۰ نمونه زمانی برحسب میلی‌ثانیه و ۵۰۱ نمونه مکانی برحسب متر و گام نمونه برداری ۲ میلی‌ثانیه است.



شکل ۵-۱: داده لرزه ورودی برای اعمال نشانگرهای HOG، مرزها و کف گنبد قابل شناسایی نیستند.

۵-۲- اعتبار سنجی کار

در ابتدای کار برای اعتبارسنجی نشانگرهای معرفی شده، با اعمال نشانگر فاز لحظه‌ای، محدوده مرزها و کف گنبد توسط تفسیر کیفی شناسایی می‌شود. استفاده از نشانگر فاز لحظه‌ای از آن جهت است که نشانگر فاز لحظه‌ای به دامنه بازتاب‌ها بستگی ندارد و با دقت بسیار بالایی قادر به آشکارسازی بازتابنده‌های ضعیف واقع در زیر گنبدنمکی است. بنابراین، معیار قابل اعتمادی برای تخمین کف گنبد می‌باشد. در شکل ۵-۲ نتیجه اعمال نشانگر فاز لحظه‌ای بر روی داده ورودی شکل ۵-۱ مشاهده می‌شود. مناطقی که با دایره سبز مشخص شده‌اند، محدوده انتهایی بازتابنده‌ها را نشان می‌دهد. مناطقی که با مستطیل قرمز نشان داده شده‌اند، بازتابنده‌های زیر گنبدنمکی را نشان می‌دهند، همان‌طور که مشاهده می‌شود در بالای مستطیل هیچ‌گونه بازتابنده وجود ندارد در حالی که در زیر مستطیل بازتابنده‌ها به وضوح مشاهده می‌شوند. بنابراین کف گنبد هموار نبوده و در سمت چپ در حدود ۴۰۰ نمونه زمانی و در سمت راست در حدود ۵۰۰ نمونه زمانی مشاهده می‌شود.



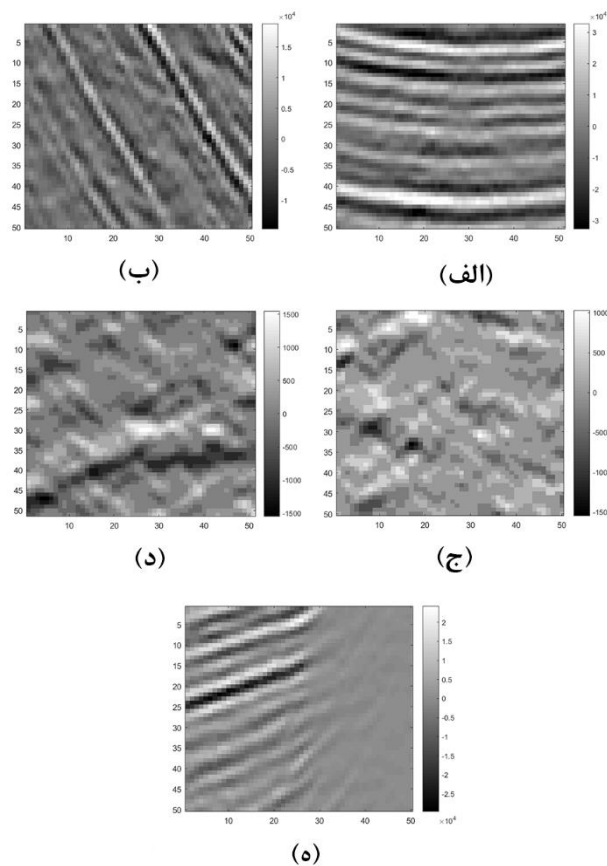
شکل ۵-۲: ترکیب دو نشانگر فاز لحظه‌ای برای نشان دادن مرزها و محدوده کف گنبد، مستطیل‌های قرمز محدوده کف گنبد و دایره‌های سبز محدوده مرزهای کناری گنبد را نشان می‌دهد.

۵-۳- انتخاب طول پنجره تحلیل مناسب

در فصل قبل به صورت نظری درباره نحوه تعیین اندازه پنجره تحلیل بحث شد و بیان شد که اندازه پنجره باید به گونه‌ای باشد که نسبت به تغییرات ساختاری هدف حساس باشد. تعیین اندازه مناسب پنجره تا حدود زیادی به تبحر و تجربه و همچنین آزمایش و بررسی احتیاج دارد. برای بررسی طول پنجره تحلیل مناسب، ۵ نقطه در مرکز بافت‌های مختلف از داده لرزه‌ای انتخاب می‌شود که این بافت‌ها شامل منطقه (الف) بازتابنده افقی، (ب) شیب پایین رونده، (ج) گنبدنمکی، (د) زیرگنبدنمکی و (ه) مرز سمت چپ گنبدنمکی (شکل ۵-۳). این نقاط طوری انتخاب شده‌اند که با بزرگ در نظر گرفتن طول پنجره تحلیل به بافت بعدی تجاوز نکند. تعدادی از نشانگرهای معرفی شده برای طول پنجره‌های ۵، ۹، ۱۵، ۲۵، ۳۱ و ۶۱ و تعداد ویژگی‌های یکسان (به طور مثال برابر ۷ در نظر گرفته می‌شود) بر روی این پنج منطقه اعمال می‌شود که نتایج محاسبات در جدول ۵-۱ تا جدول ۵-۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده

می‌شود، تباین بافت نمک از سایر بافت‌های بازتابنده و مرزها، برای طول پنجره‌های تحلیل مختلف روند افزایشی دارد، تا اینکه در طول پنجره تحلیل ۲۵ تا ۳۱ به بیشترین مقدار خود رسیده و از آن به بعد این تباین کاهش می‌یابد.

در طول پنجره تحلیل پایین تفاوت نمک و زیر نمک بیشتر می‌شود و زمانی که طول پنجره تحلیل خیلی زیاد (پنجره تحلیل ۶۱ در جدول ۵-۶) در نظر گرفته شود، نشانگرها بافت زیر نمک را به عنوان نمک شناسایی می‌کنند.



شکل ۵-۳: پنج منطقه‌ای لرزه‌ای جدا شده از داده گنبدنمکی. (الف) منطقه بازتابنده افقی، (ب) بازتابنده با شیب پایین رونده، (ج) گنبدنمکی، (د) زیر گنبدنمکی و (ه) مرز سمت چپ گنبدنمکی.

جدول ۵-۱: طول پنجره تحلیل ۵ و تعداد ویژگی ۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.2482	0.0186	0.0949	0.6553	0	0.3655	1.2314	0.6553	0.5565	0
ب	0.3016	0.1788	0.0606	0.6046	0.0472	0.3225	1.3113	0.5575	0.4649	0.6046
ج	0.3639	0.4269	0.0122	0.4269	0.1636	-1.1108	2.4397	0.2634	0.1332	0.4269
د	0.2829	0.1232	0.0734	0.7200	0.002	0.5577	1.7933	0.718	0.4002	0.0985
ه	0.269	0.1324	0.0824	0.6484	0.006	0.4943	1.5061	0.6424	0.5432	0.6484

جدول ۵-۲: طول پنجره تحلیل ۹ و تعداد ویژگی ۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.2704	0.0512	0.0815	0.5983	0.0333	0.3077	1.1230	0.565	0.5417	0.5983
ب	0.2963	0.1554	0.0643	0.5637	0.0334	0.2081	1.1458	0.5303	0.4855	0.5637
ج	0.3679	0.4309	0.0089	0.4309	0.2284	-0.8632	1.8468	0.2025	0.1568	0.4309
د	0.3584	0.3043	0.0169	0.4973	0.2073	0.1496	1.2018	0.2901	0.2393	0.4973
ه	0.2524	0.082	0.0924	0.6840	0.0076	0.7774	1.7795	0.6764	0.5359	0.6840

جدول ۵-۳: طول پنجره تحلیل ۱۵ و تعداد ویژگی ۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.2836	0.1411	0.0729	0.5692	0.0172	0.2293	1.1246	0.5521	0.52	0.5692
ب	0.299	0.1765	0.0625	0.5617	0.0485	0.1948	1.1509	0.5133	0.491	0.5617
ج	0.3727	0.4148	0.0047	0.4148	0.2369	-1.3133	3.2332	0.178	0.0732	0.4148
د	0.3732	0.418	0.0043	0.4245	0.2696	-0.5626	1.6611	0.1549	0.1042	0.4245
ه	0.2748	0.0947	0.0787	0.6286	0.0254	0.4074	1.3194	0.6033	0.5296	0.6286

جدول ۴-۵: طول پنجره تحلیل ۲۵ و تعداد ویژگی ۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.2855	0.1079	0.0717	0.5699	0.0355	0.2535	1.1104	0.5345	0.5147	0.5699
ب	0.2925	0.1188	0.0670	0.5676	0.0533	0.2588	1.1064	0.5144	0.4967	0.5676
ج	0.3763	0.3970	0.0016	0.397	0.2956	-1.4776	3.6047	0.1015	0.033	0.397
د	0.3767	0.3971	0.0012	0.3971	0.3043	-1.5822	4.0897	0.0928	0.0255	0.3971
ه	0.2845	0.1230	0.0723	0.588	0.0343	0.2727	1.1288	0.5537	0.5166	0.588

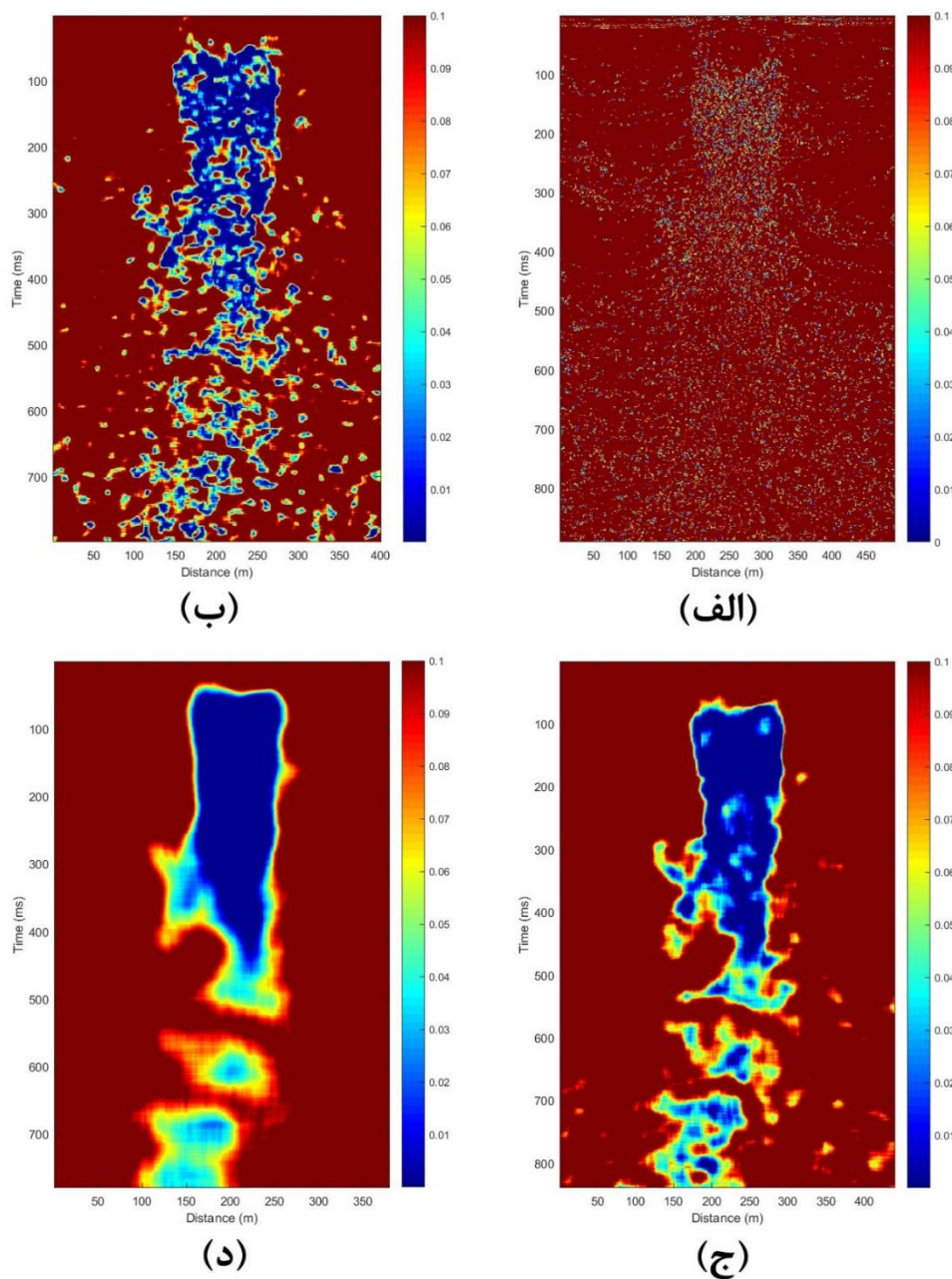
جدول ۵-۵: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.282	0.1063	0.074	0.5712	0.0314	0.259	1.1059	0.5398	0.5237	0.5712
ب	0.2984	0.1366	0.0629	0.5646	0.0634	0.2504	1.1127	0.5013	0.4834	0.5646
ج	0.3776	0.385	0.0004	0.385	0.3331	-2.0413	5.1667	0.0519	0	0.385
د	0.3773	0.3905	0.0007	0.3905	0.3236	-1.5677	3.877	0.067	0.0194	0.3905
ه	0.2875	0.1278	0.0703	0.5701	0.0415	0.2596	1.1036	0.5286	0.5071	0.5701

جدول ۶-۵: طول پنجره تحلیل ۶۱ و تعداد ویژگی ۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.2727	0.0804	0.08	0.5742	0.0216	0.2747	1.0938	0.5527	0.5396	0.5742
ب	0.3011	0.148	0.061	0.5632	0.0678	0.2491	1.1133	0.4955	0.4762	0.5632
ج	0.378	0.378	0.0001	0.378	0.378	1	1	0	0	0.378
د	0.378	0.378	0.0001	0.378	0.378	1	1	0	0	0.378
ه	0.2919	0.12	0.0674	0.5681	0.0526	0.2651	1.1014	0.5155	0.4957	0.5681

نشانگر انحراف معیار، برای پنجره‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است تا از لحاظ تجربی اثر اندازه پنجره تحلیل بر روی نتایج نهایی بررسی شود و پنجره مناسب، انتخاب گردد. در شکل ۴-۵ نتیجه اعمال نشانگر انحراف معیار برای طول پنجره تحلیل ۵، ۱۵، ۳۱ و ۶۱ و تعداد ویژگی ۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۵: نتایج اعمال نشانگر انحراف معیار برای تعداد ویژگی ۷ و طول پنجره تحلیل مختلف: (الف) ۵ (ب) ۱۵ (ج) ۳۱ (د) ۶۱.

همانطور که مشاهده می‌شود که اگر طول پنجره تحلیل کم باشد خروجی نشانگر چندان واضح و قابل تفسیر نیست. در مقابل استفاده از طول پنجره خیلی بزرگ، هدف‌های ریز در داده لرزه‌ای از بین می‌روند و مرزهای گنبدنمکی هموار و مات می‌شوند. بنابراین پنجره‌های خیلی بزرگ، با هموار کردن مرزهای ساختار هدف، تعیین دقیق مرز را دچار مشکل می‌کنند. با بررسی و آزمایش طول پنجره‌های مختلف مشخص شد که طول پنجره بین ۲۱ تا ۴۱ مناسب‌ترین بازه برای انتخاب پنجره تحلیل می‌باشد.

۴-۵- انتخاب تعداد ویژگی مناسب

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد انتخاب تعداد ویژگی مناسب در تشخیص بافت نمک از بافت‌های دیگر کمک شایانی می‌کند. برای بررسی تعداد ویژگی‌ها در محاسبه نشانگرهای معرفی شده، روش HOG با تعداد ویژگی ۵، ۷، ۱۳، ۱۷، ۲۵ و ۵۵ برای طول پنجره ۳۱ بر روی پنج منطقه (الف)، (ب)، (ج)، (د) و (ه) که در شکل ۵-۳ نشان داده شده است، اعمال شده است که نتایج آن در جدول ۵-۷ تا جدول ۵-۱۲ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت و مشاهده می‌شود، در تعداد ویژگی کم برای تمامی نشانگرها تباین بافت نمک از بافت‌های بازتابنده و مرز بیشتر است و با افزایش تعداد ویژگی این تباین به شدت کاهش می‌یابد. در مورد زیرگنبد در تعداد ویژگی کم هیچ تفاوتی بین نمک و زیر نمک دیده نمی‌شود ولی با افزایش تعداد ویژگی‌ها این تباین رفته رفته افزایش می‌یابد.

جدول ۵-۷: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۵.

مد	IQR	گستره	کشیدگی	چولگی	کمینه	بیشینه	واریانس	میانه	میانگین	
الف	0.0517	0.5183	0.5352	1.1687	-0.4066	0.0517	0.5868	0.081	0.5665	0.3678
ب	0.6633	0.4885	0.5649	1.2607	0.2557	0.0984	0.6633	0.0713	0.2655	0.3782
ج	0.4473	0	0	NaN	NaN	0.4473	0.4473	0	0.4473	0.4473
د	0.4473	0	0	NaN	NaN	0.4473	0.4473	0	0.4473	0.4473
ه	0.6488	0.5628	0.5706	1.2504	-0.0337	0.0782	0.6488	0.08	0.38	0.3689

جدول ۵-۸: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.282	0.1063	0.074	0.5712	0.0314	0.259	1.1059	0.5398	0.5237	0.5712
ب	0.2984	0.1366	0.0629	0.5646	0.0634	0.2504	1.1127	0.5013	0.4834	0.5646
ج	0.3776	0.385	0.0004	0.385	0.3331	-2.0413	5.1667	0.0519	0	0.385
د	0.3773	0.3905	0.0007	0.3905	0.3236	-1.5677	3.877	0.067	0.0194	0.3905
ه	0.2875	0.1278	0.0703	0.5701	0.0415	0.2596	1.1036	0.5286	0.5071	0.5701

جدول ۵-۹: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۱۳.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.1743	0.0662	0.0389	0.5034	0.0144	0.8462	2.0232	0.489	0.309	0.5034
ب	0.1843	0.0876	0.0351	0.4688	0.0258	0.7695	1.7911	0.443	0.3773	0.4688
ج	0.2468	0.3067	0.0062	0.3067	0.0925	-0.6977	1.8609	0.2142	0.1392	0.3067
د	0.2668	0.3262	0.0063	0.3262	0.1011	-0.9511	2.5412	0.2251	0.1205	0.3262
ه	0.1751	0.0736	0.0387	0.4795	0.0192	0.867	1.9397	0.4603	0.379	0.4795

جدول ۵-۱۰: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۱۷.

	میانگین	میانه	واریانس	بیشینه	کمینه	چولگی	کشیدگی	گستره	IQR	مد
الف	0.157	0.053	0.0364	0.4556	0.0005	0.7705	1.7985	0.4552	0.3811	0.4556
ب	0.1739	0.0872	0.0304	0.435	0.0151	0.5958	1.6695	0.42	0.3373	0.435
ج	0.2157	0.2804	0.0132	0.3174	0.0107	-0.5384	1.6123	0.3068	0.2139	0.3174
د	0.2247	0.2526	0.0089	0.3194	0.0279	-0.6147	2.2751	0.2916	0.1669	0.3194
ه	0.1497	0.0375	0.0388	0.5192	0.0059	1.1642	2.6567	0.5133	0.2435	0.5192

جدول ۵-۱۱: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۲۵.

مد	IQR	گستره	کشیدگی	چولگی	کمینه	بیشینه	واریانس	میانه	میانگین	
0.4001	0.248	0.4001	2.1803	0.9526	0	0.4001	0.0256	0.0303	0.1244	الف
0.374	0.2807	0.3718	1.9153	0.7982	0.0023	0.374	0.0223	0.0613	0.1365	ب
0.2991	0.2425	0.2991	1.2706	0.0193	0	0.2991	0.0149	0.1279	0.1605	ج
0.3265	0.2139	0.3265	1.5356	0.1487	0	0.3265	0.013	0.1406	0.1662	د
0.4513	0.1391	0.4496	3.0758	1.333	0.0018	0.4513	0.0275	0.0282	0.1167	ه

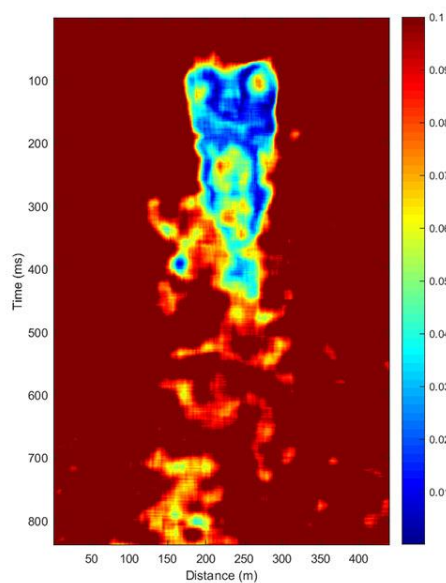
جدول ۵-۱۲: طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۵۵.

مد	IQR	گستره	کشیدگی	چولگی	کمینه	بیشینه	واریانس	میانه	میانگین	
0	0.1252	0.3254	2.6806	1.1641	0	0.3254	0.0149	0.0197	0.0879	الف
0.3088	0.1646	0.3088	2.4032	1.0385	0	0.3088	0.0134	0.0367	0.0956	ب
0	0.1833	0.3019	2.167	0.8403	0	0.3019	0.0129	0.0562	0.0984	ج
0	0.1248	0.3465	3.4963	1.2992	0	0.3465	0.0114	0.0425	0.0841	د
0.3561	0.0731	0.3561	3.597	1.5297	0	0.3561	0.0161	0.0169	0.081	ه

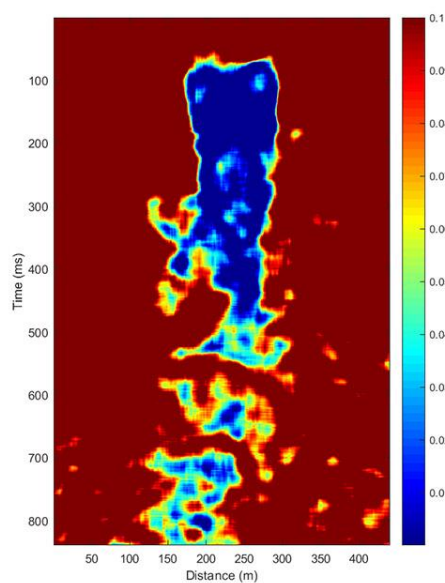
برای بررسی تعداد ویژگی‌ها در تصویر خروجی نشانگر، نشانگر انحراف معیار با طول پنجره

۳۱ و تعداد ویژگی ۷، ۱۵، ۲۵ و ۴۵ بر روی یک داده لرزه‌ای (شکل ۵-۱) اعمال شده است که

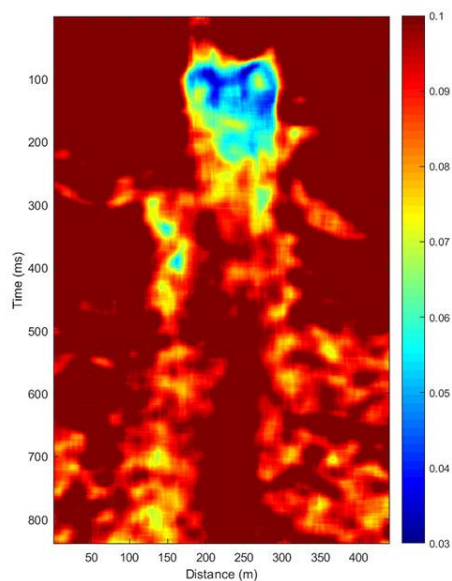
در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.



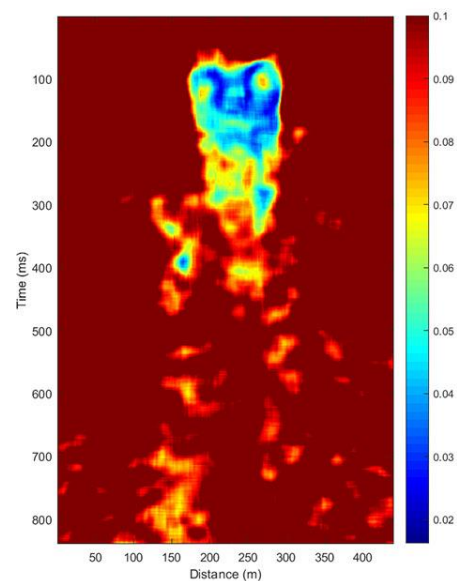
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

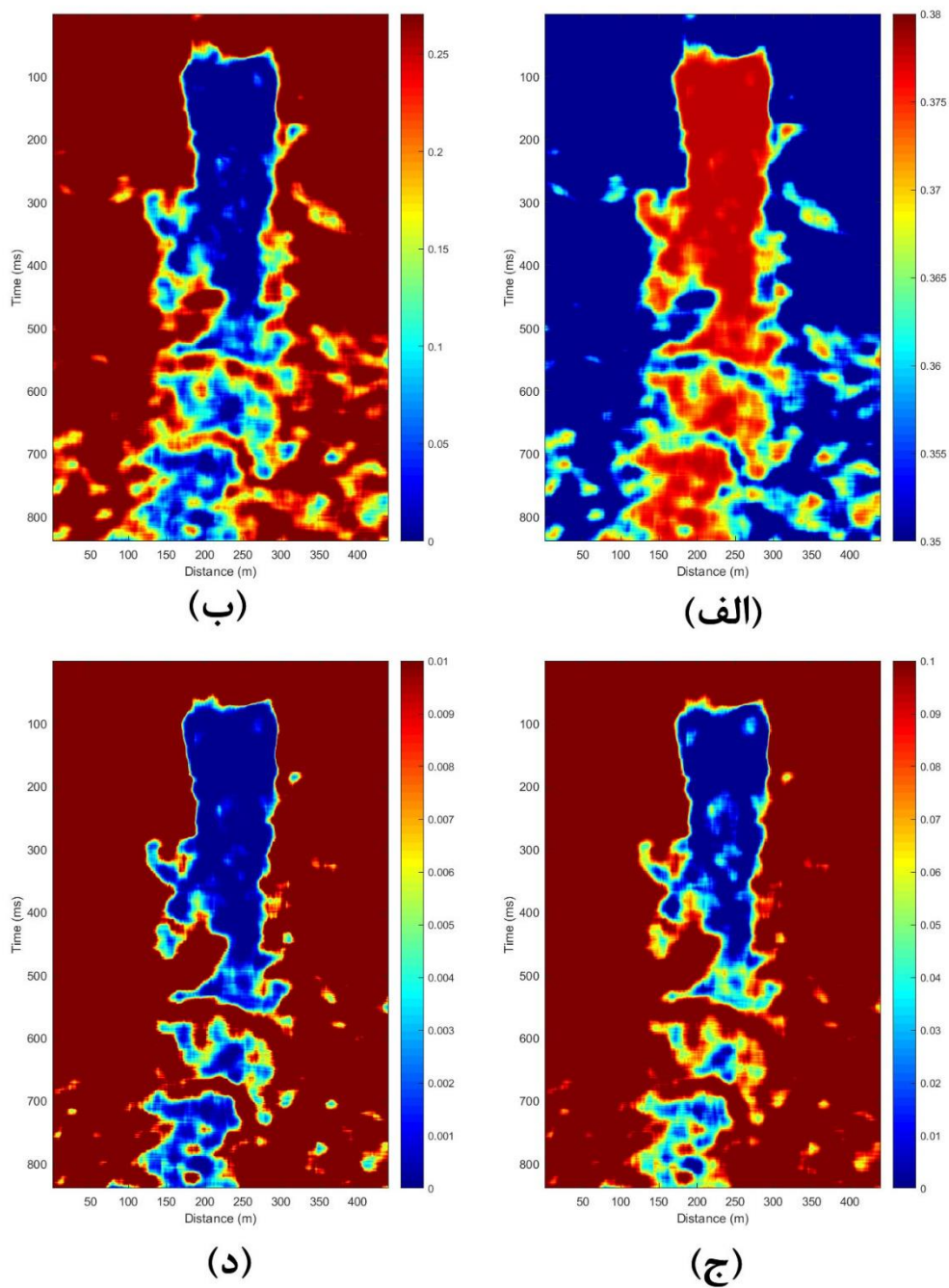
شکل ۵-۵: محاسبه نشانگر انحراف معيار برای طول پنجره تحليل ۳۱ و تعداد ویژگی‌های مختلف: (الف) ۷ ویژگی، (ب) ۱۵ ویژگی، (ج) ۲۵ ویژگی و (د) ۴۵ ویژگی.

با مقایسه تعداد ویژگی‌های مختلف در محاسبه نشانگر انحراف معیار در شکل ۵-۵ می‌توان فهمید که هرچه تعداد ویژگی‌ها کمتر باشد، وضوح و کیفیت نشانگر محاسبه شده بیشتر خواهد بود. اما در صورتی که تعداد ویژگی‌ها خیلی کم باشد توانایی تفکیک گنبد از زیر گنبد

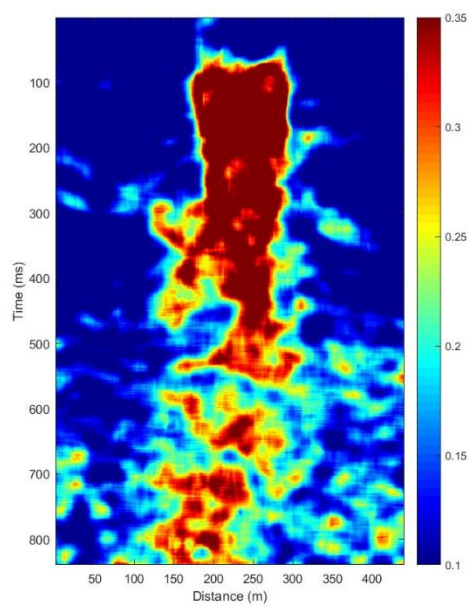
ناممکن خواهد شد و به اشتباه زیر گنبد را نیز به عنوان گنبد شناسایی می کند. همچنین همان طور که قبلاً گفته شد، تعداد ویژگی بیشتر به معنای افزایش زمان محاسبات است و همان طور که در شکل ۵-۵ مشاهده می شود با افزایش تعداد ویژگی، قدرت تفکیک به شدت کاهش می یابد و نمی توان مقطع خروجی نشانگر را تفسیر کرد. بنابراین در انتخاب تعداد ویژگی باید دقت شود که نه آن قدر کم باشد که زیر نمک را به عنوان نمک شناسایی کند و نه آن قدر زیاد باشد که قسمت اعظم بافت نمک را بافت غیر نمک تعیین کند. بررسی های انجام شده نشان داد که تعداد ویژگی بین ۵ تا ۱۱ بهترین نتایج را به همراه داشته است.

۵-۵- اعمال نشانگرها برای طول پنجره و تعداد ویژگی مناسب

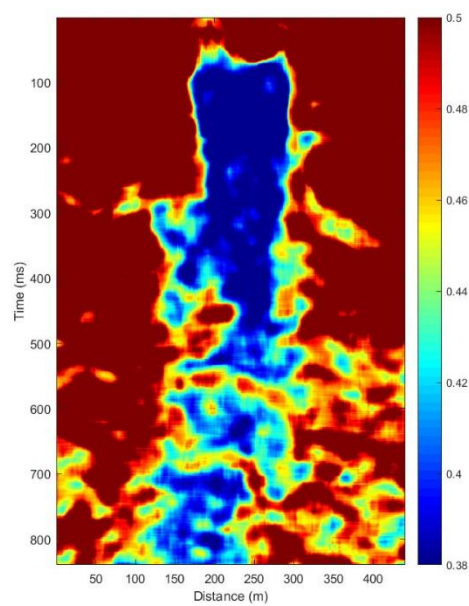
همان طور که در بخش های قبلی توضیح داده شد انتخاب طول پنجره و تعداد ویژگی مناسب قبل از اعمال نشانگرها بر روی داده لرزه ای ضروری است. با توجه به نکاتی که در این مورد بیان شد، طول پنجره تحلیل ۳۱ و تعداد ویژگی ۷ به عنوان بهترین حالت برای اکثر نشانگرها انتخاب شده است اما در مورد بعضی نشانگرها پارامترهای متفاوتی انتخاب شده است که در قسمت هر کدام توضیح داده می شود. نشانگرهای معرفی شده برای داده لرزه ای شکل ۵-۱ در شکل ۵-۶ تا شکل ۵-۹ محاسبه و نشان داده شده است که این نشانگرها، هر کدام به روش خاص خود بازتابنده های موجود در داده لرزه ای را از بقیه داده ها جدا و یا مستقیماً بافت نمک را برجسته سازی می کنند.



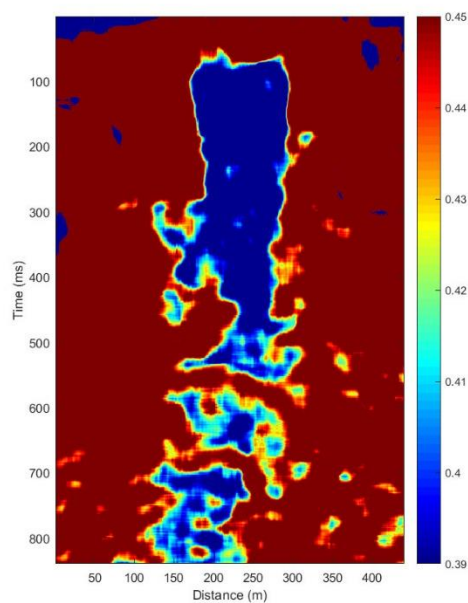
شکل ۵-۶: نتیجه اعمال روش *HOG* با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۷ برای نشانگرهای الف) میانگین ب) *IQR* ج) انحراف معیار د) واریانس.



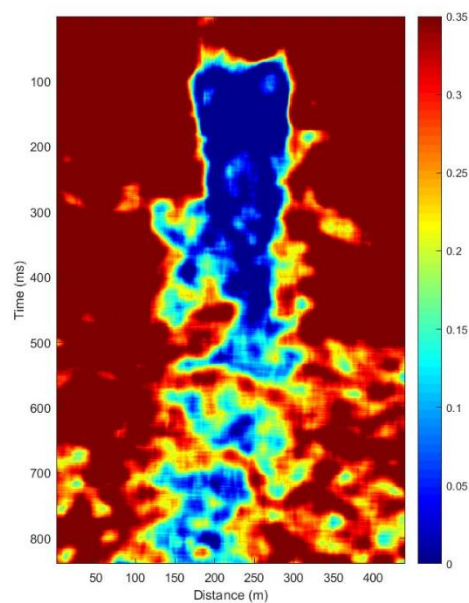
(ب)



(الف)

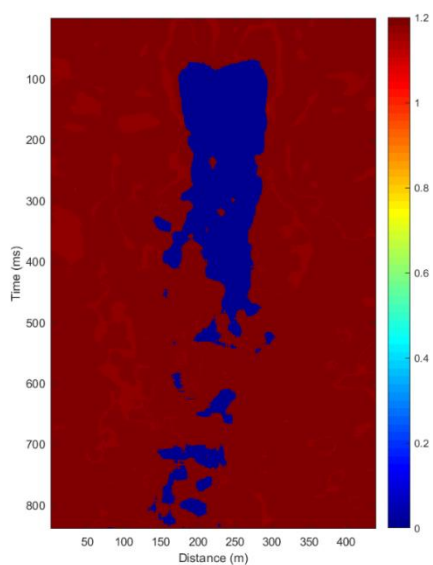


(د)

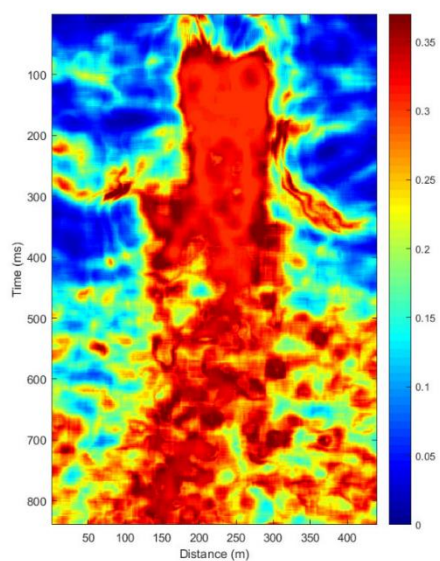


(ج)

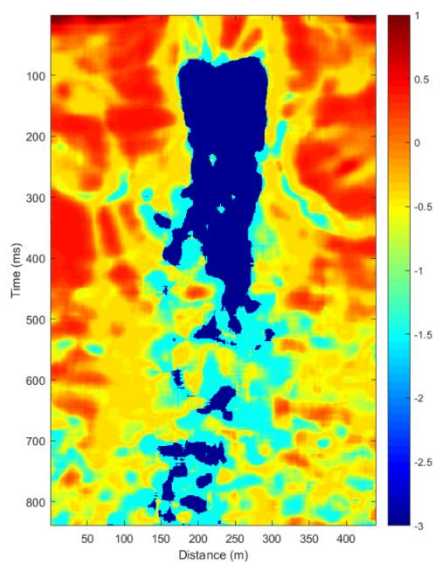
شکل ۵-۷: نتیجه اعمال روش *HOG* با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۷ برای نشانگرهای الف) بیشینه مقدار ب) کمینه مقدار ج) گستره د) مد.



(ب)

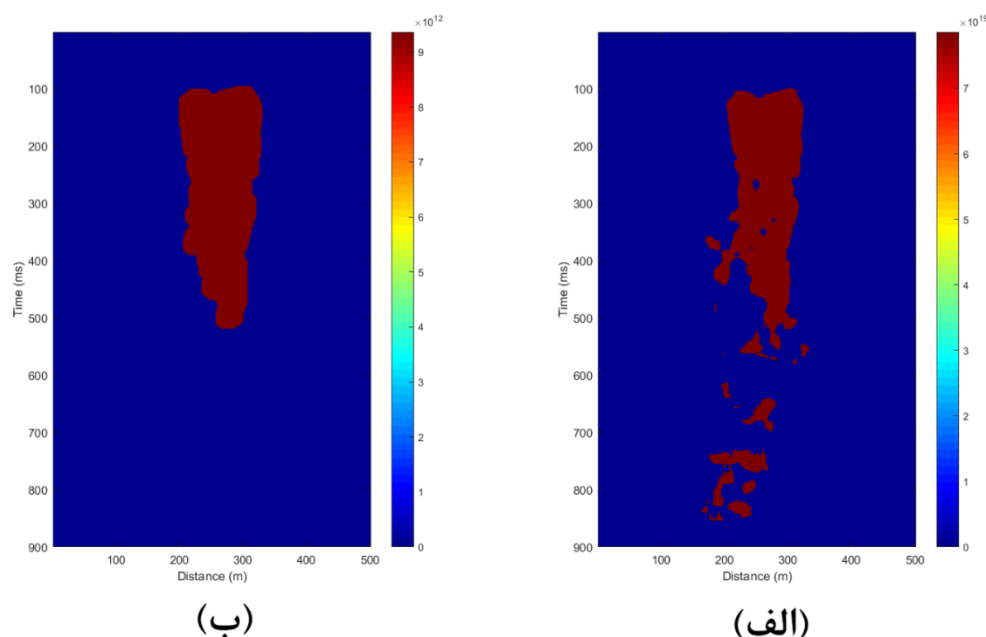


(الف)



(ج)

شکل ۵-۸: نتیجه اعمال روش *HOG* برای نشانگرهای الف) میانه با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۵،
 ب) کشیدگی با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۵، ج) چولگی با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۵.



شکل ۵-۹: الف) نتیجه اعمال روش *HOG* با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۵ برای نشانگر *MVR*
 ب) نتیجه اعمال عملگر ریخت‌شناسی بر روی *MVR*.

با توجه به داده‌های جدول ۴-۳ تا جدول ۴-۶ و شکل ۵-۶ (الف) مشاهده می‌شود که نشانگر میانگین توانسته بافت نمک را از مناطق بازتابنده و زیر نمک جدا کند. این نشانگر مرز چپ کف گنبد را با دقت مناسبی تفکیک کرده، اما در تشخیص کف گنبد در سمت راست تا حدودی ضعیف عمل کرده است. به‌طور کلی این نشانگر قابلیت جداسازی نمک از زیر نمک را دارا می‌باشد. نشانگر *IQR* در شکل ۵-۶ (ب) نشان داده شده است (منطبق بر جدول ۴-۳۹ تا جدول ۴-۴۲)، همانطور که برای نشانگر میانگین گفته شد، این نشانگر نیز بافت نمک را از بازتابنده‌ها و زیر نمک به‌خوبی از هم جدا کرده است ولی در تفکیک کف گنبد در سمت راست ضعیف عمل کرده است.

با توجه به نتایج جدول ۴-۱۱ تا جدول ۴-۱۴، با محاسبه نشانگر انحراف معیار (شکل ۵-۶ ج)) مشاهده می‌شود که نه تنها از لحاظ جانبی گنبدنمکی را از بازتابنده‌های اطراف جدا کرده بلکه با دقت خیلی بالایی توانسته مرز کف گنبد را نیز مشخص کند. با توجه به جدول ۴-۱۵ تا جدول ۴-۱۸، در شکل ۵-۶ (د) نشانگر واریانس محاسبه شده است، همانطور که مشاهده می‌شود

این نشانگر نیز در تشخیص بافت نمک از بازتابنده‌ها و زیر نمک با دقت بالایی عمل کرده است، اما نسبت به نشانگر انحراف‌معیار برای تشخیص کف گنبد ضعیف‌تر عمل کرده است.

با توجه به جدول ۴-۲۷ تا جدول ۴-۳۰ در شکل ۵-۷ (الف) نشانگر بیشینه مقدار محاسبه شده است، همانطور که مشاهده می‌شود این نشانگر با قدرت تفکیک زیاد توانسته بافت نمک را از نواحی شامل بازتابنده و زیر نمک متمایز کند. بنابراین این نشانگر را می‌توان به‌عنوان یکی دیگر نشانگرهای مناسب برای شناسایی بازتابنده در نظر گرفت اما در تفکیک کف گنبد تا حدودی ضعیف عمل کرده است. در شکل ۵-۷ (ب) نشانگر کمینه مقدار محاسبه شده است (منطبق بر نتایج جدول ۴-۳۱ تا جدول ۴-۳۴)، همانطور که مشاهده می‌شود نتایج این نشانگر نیز همانند نشانگر بیشینه مقدار می‌باشد که توانسته با دقت خیلی بالایی بافت گنبدنمکی را از بافت بازتابنده و زیر گنبد متمایز کند.

با توجه به جدول ۴-۳۵ تا جدول ۴-۳۸، محاسبه نشانگر گستره برای بافت نمک کمترین مقادیر را دارا می‌باشد که در شکل ۵-۷ (ج) مشاهده می‌شود. این نشانگر نسبت به دو نشانگر بیشینه مقدار و کمینه مقدار قوی‌تر عمل کرده و با دقت خیلی بالایی توانسته بافت نمک را هم از بازتابنده‌ها هم از زیر نمک تفکیک کند. این نشانگر نیز مانند نشانگر انحراف‌معیار، ابزاری قدرتمند برای تعیین کف گنبدنمکی می‌باشد. در شکل ۵-۷ (د) نشانگر مد محاسبه شده است (منطبق بر نتایج جدول ۴-۴۳ تا جدول ۴-۴۶)، همانطور که مشاهده می‌شود این نشانگر با دقت خیلی بالایی مرزهای جانبی شامل بازتابنده‌ها و زیر نمک را از بافت نمک تفکیک کرده است. این نشانگر در تعیین کف گنبد با قدرت تفکیک خیلی زیاد برای سمت چپ آن و با دقت کمتر در سمت چپ گنبد عمل کرده است.

با توجه به محاسبات جدول ۴-۷ تا جدول ۴-۱۰ در شکل ۵-۸ (الف) نشانگر میانه با طول پنجره ۳۱ و تعداد ویژگی ۱۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این نشانگر مرزهای جانبی گنبدنمکی موفق عمل کرده است اما در آشکارسازی کف گنبد ناتوان بوده است.

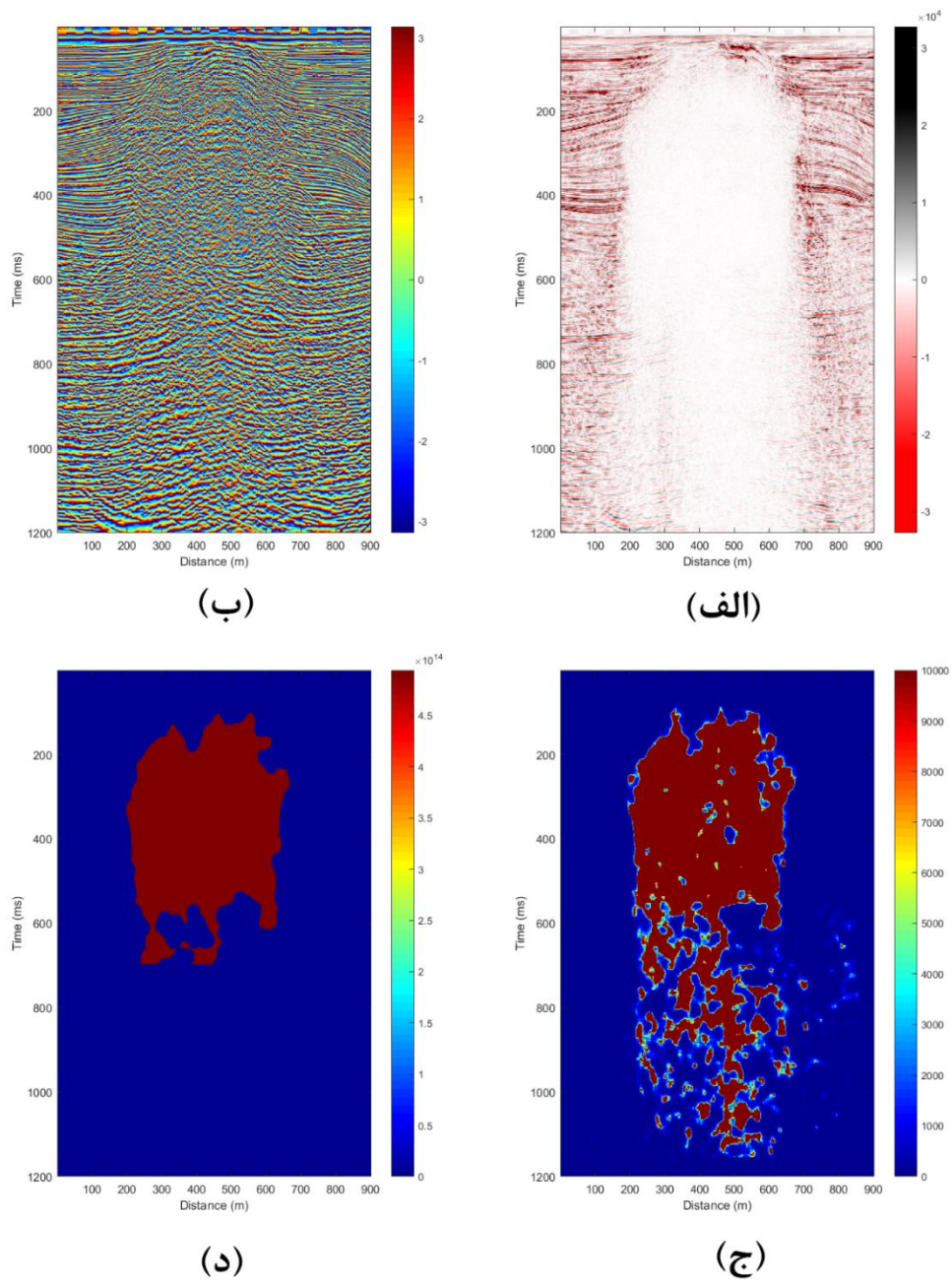
با توجه به نتایج جدول ۴-۲۳ تا جدول ۴-۲۶ در شکل ۵-۸ (ب) نشانگر کشیدگی محاسبه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این نشانگر با دقت خیلی بالایی توانسته مرزهای جانبی گنبد را مشخص کند، همچنین این نشانگر کف گنبد را با دقت خیلی بیشتر از نشانگرهای قبلی متمایز کرده است. در شکل ۵-۸ (ج) نشانگر چولگی نشان داده شده است (منطبق بر نتایج جدول ۴-۱۹ تا جدول ۴-۲۲)، این نشانگر نیز در تفکیک بافت نمک از بافت بازتابنده با دقت خیلی زیاد

عمل کرده و به خوبی توانسته مرزها را نشان دهد. در مورد کف گنبد نیز مانند نشانگر کشیدگی به خوبی توانسته مرز گنبد با کف آن را مشخص کند.

با توجه به نتایج جدول ۴-۴۷ تا جدول ۴-۵۰ در شکل ۵-۹ (الف) نشانگر ترکیب میانه، واریانس و گستره (MVR) محاسبه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این نشانگر قدرتمندترین نشانگر برای شناسایی گنبدنمکی است. این نشانگر با دقت عالی توانسته مرزهای جانبی گنبدنمکی را مشخص کند و بافت نمک به خوبی از بافت بازتابنده‌ها تفکیک شده است. این نشانگر در تشخیص کف گنبد نیز موفق بوده و توانسته با دقت بالا گنبد را از زیر گنبد متمایز سازد. از آنجایی که در خروجی نشانگرها اغتشاش و بی‌نظمی در اطراف و زیر گنبد وجود دارد، از یکی از ابزارهای پردازش تصویر به نام ریخت‌شناسی^۱ استفاده می‌شود. عملیات ریخت‌شناسی، به عملیاتی گفته می‌شود که بر روی تصویر اعمال شده و هدف از آن ایجاد تغییر و یا تصحیح در اجزا داخل یک تصویر است (Efford, 2000). نتیجه حاصل عملگر ریخت‌شناسی در شکل ۵-۹ (ب) نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می‌شود محدوده گنبدنمکی به خوبی مشخص شده است.

با توجه به دقت بالای نشانگر MVR، این نشانگر بر روی یک داده لرزه‌ای دیگر که شامل گنبدنمکی بوده و دارای ۱۲۰۰ نمونه زمانی برحسب میلی‌ثانیه و ۹۰۰ نمونه مکانی برحسب متر و گام نمونه‌برداری ۲ میلی‌ثانیه است، اعمال می‌شود. در شکل ۵-۱۰ (الف) داده مذکور نشان داده شده است که در ابتدا نشانگر فاز لحظه‌ای، سپس نشانگر MVR و سپس نتیجه اعمال عملگر ریخت‌شناسی به ترتیب در شکل ۵-۱۰ (ب)، (ج) و (د) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نشانگر MVR به خوبی توانسته مرزها و کف گنبد را شناسایی کند، در ادامه کار این نشانگر با سایر نشانگرهای متداول مقایسه خواهد شد.

^۱ Morphology

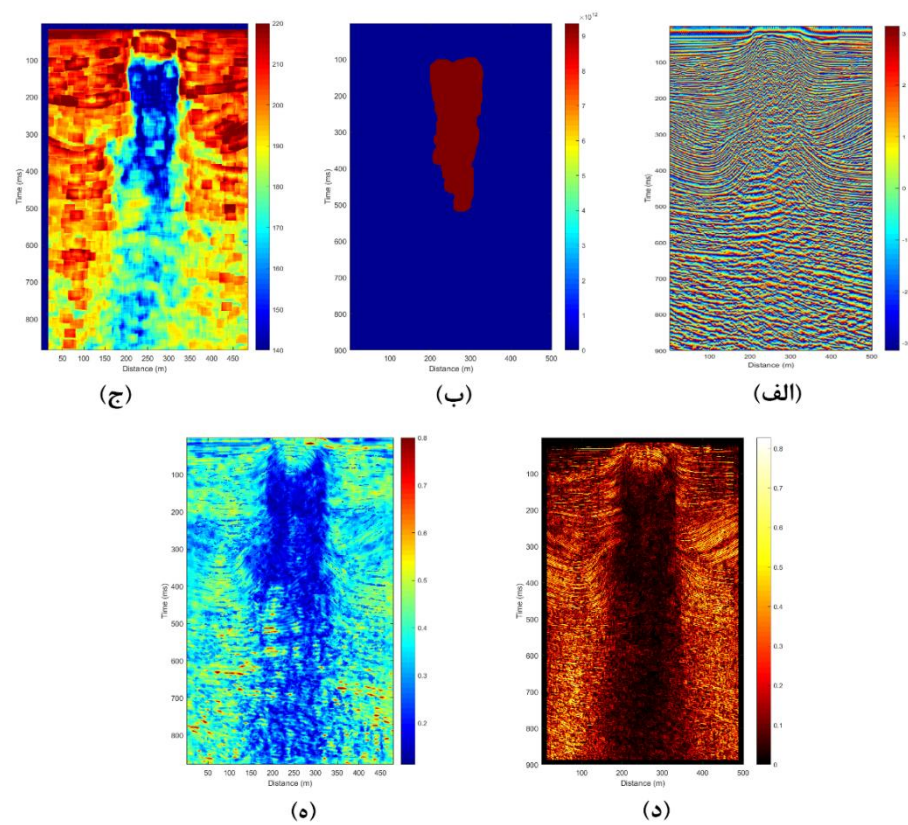


شکل ۵-۱۰: الف) داده ورودی لرزه‌ای شامل گنیدنمکی. ب) نشانگر فاز لحظه‌ای ج) نتیجه اعمال نشانگر MVR با طول پنجره ۳۱ و تعداد ۷ ویژگی د) نتیجه اعمال عملگر ریخت‌شناسی بر روی MVR .

۵-۶- مقایسه نشانگرهای بافتی هیستوگرام گرادیان جهتی با سایر نشانگرهای

متداول در شناسایی گنبدنمکی

همانطور که در بخش قبل مشاهده شد، نشانگرهای مبتنی بر هیستوگرام گرادیان جهتی در شناسایی گنبدنمکی با دقت خیلی بالایی عمل کردند. نتایج نشان داد که نشانگر MVR از سایر نشانگرهای مستخرج شده بهتر عمل کرده است و از دقت بیشتری برخوردار است بنابراین به منظور مقایسه با سایر نشانگرها، از این نشانگر استفاده خواهد شد. برای بررسی صحت نتایج نشانگر MVR با نشانگر فاز لحظه‌ای، نشانگر سوبل، نشانگر انرژی GLCM و ترکیب نشانگرهای جهت‌گرایی، همواری و محتوای لبه مقایسه می‌شود. در شکل ۵-۱۱ نشانگرهای ذکر شده نشان داده شده است. در شکل ۵-۱۱ (الف) نشانگر فاز لحظه‌ای، شکل ۵-۱۱ (ب) نشانگر MVR، شکل ۵-۱۱ (ج) ترکیب نشانگرهای جهت‌گرایی، همواری و محتوای لبه، شکل ۵-۱۱ (د) نشانگر سوبل متوازن و شکل ۵-۱۱ (ه) نشانگر انرژی GLCM نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تمامی نشانگرها تا حدودی مرزهای کناری و مرز بین نمک و زیر نمک را تشخیص داده‌اند، اما نشانگر MVR این کار را با وضوح و دقت بهتری انجام داده است. بنابراین نشانگرهای مستخرج از هیستوگرام گرادیان جهتی ابزاری مناسب در داده‌های لرزه‌ای بازتابی برای شناسایی گنبدهای نمکی می‌باشند.



شکل ۵-۱: الف) نشانگر فاز لحظه‌ای ب) نشانگر MVR بعد از اعمال ریخت شناسی ج) ترکیب نشانگرهای جهت‌گرایی، همواری و محتوای لبه د) نشانگر سوپل متوازن ه) نشانگر انرژی GLCM.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتایج

در این پایان‌نامه با استفاده از روش هیستوگرام گرادیان جهتی که یکی از روش‌های تشخیص چهره در تصویر است، تعداد زیادی نشانگر بافتی برای تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی محاسبه شد. نشانگرهای معرفی شده بر مبنای هیستوگرام گرادیان جهتی به‌عنوان ابزار مناسب برای تعیین مرزها و ناپیوستگی‌های ساختاری در داده‌های لرزه‌ای بازتابی دو بعدی استفاده گردید. با محاسبه این نشانگرها و بررسی آن‌ها برای پارامترهای مختلف نتیجه گرفته شد که:

۱. تعداد ویژگی انتخاب شده باید مناسب باشد تا هم بتواند مرزهای جانبی گنبدنمکی را به‌خوبی تفکیک کند هم در تشخیص کف گنبد موثر باشد.

۲. طول پنجره تحلیل متناسب با اندازه داده ورودی انتخاب شود تا قدرت تفکیک کافی برای شناسایی عوارض و ساختارها به‌وجود بیاید.

۳. اگر طول پنجره تحلیل کم باشد، خروجی نشانگر کیفیت خیلی پایینی خواهد داشت و باعث افزایش نوفه می‌شود. در مقابل استفاده از طول پنجره خیلی بزرگ، هدف‌های کوچک مقیاس در داده لرزه‌ای از بین می‌روند و مرزهای ساختار هموار و مات می‌شود.

با اعمال این نشانگرها بر روی داده گنبدنمکی مرزها و کف آن به‌خوبی مشخص شده و تصویر دقیقی از این ساختار به دست می‌آید. نتایج اعمال نشانگرهای معرفی شده بر روی گنبدنمکی به صورت زیر خلاصه می‌شود.

۱. نشانگرهای معرفی شده برای تفکیک و جداسازی مرزهای جانبی، یعنی تفکیک گنبدنمکی از بازتابنده، قدرتمند عمل کرده‌اند.

۲. برخی از این نشانگرها از قبیل نشانگر انحراف‌معیار، کشیدگی، چولگی و MVR علاوه بر مرزهای جانبی در آشکار سازی کف گنبدنمکی نیز نتایج بسیار دقیقی به‌همراه داشته‌اند.

۳. مقایسه نشانگرهای مستخرج از روش هیستوگرام گرادیان جهتی با نشانگرهای بافتی متداول، دقت و صحت بالای این نشانگرها را برای شناسایی گنبد نمکی نشان می‌دهد.

۶-۲- پیشنهادات

۱. استفاده از روابط ریاضی و آماری دیگر برای استخراج ویژگی‌های روش HOG برای شناسایی گنبدنمکی.
۲. تعمیم نشانگرهای مبتنی بر روش HOG در فضای سه‌بعدی به‌منظور به‌کارگیری این نشانگر در داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی.
۳. اعمال نشانگرهای معرفی شده برای شناسایی کانال‌های مدفون، گل‌فشان‌ها، دوکش‌های گازی و گسل‌ها.
۴. اعمال نشانگرهای معرفی شده بر روی خروجی نشانگرهای دیگر مانند GLCM، سوبل و غیره.
۵. استفاده از داده‌های نشانگرهای بافتی بر مبنای HOG به‌عنوان ورودی و داده‌های تمرینی در ماشین‌های طبقه‌بند مانند SVM، AdaBoost و شبکه عصبی.
۶. ترکیب نشانگرهای مبتنی بر HOG با GLCM و یافتن ارتباط بین ویژگی‌های نشانگر HOG با زوایای نشانگر GLCM.

منابع

ابراهیمی، پ. (1395)، کاربرد روش آداپوست در طبقه‌بندی افق لرزه‌ای بر مبنای تخلخل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

اعظم‌پور، ف. (1393)، نشانگر لرزه‌ای سوبل متوازن برای شناسایی گنبدنمکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود. پاژنگ، س. کدخدایی، ع. زمانی، ب. برگریزان، م. یوسف‌پور، م. (1394)، معرفی 17 گنبد نمکی مدفون و غیرمدفون بر اساس داده‌های لرزه‌ای در تنگه هرمز (بلوک E). پژوهش نفت، 25، شماره 84، 150-160.

صیادی، ع. (1393)، کاربرد نشانگرهای بافتی بر مبنای ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک گروه نفت و ژئوفیزیک، صنعتی شاهرود.

نجاتی‌کلاته، ع. و روشندل‌کاهو، ا. (1391)، توازن داده‌های میدان پتانسیل با استفاده از تبدیل هیلبرت. فیزیک زمین و فضا، 38، no. 4، 145-153.

ندیمی، م. م. ف. ص. (1388)، استفاده از گنبد‌های نمکی ایران برای تولید بهینه الکتریسیته. نشریه انرژی ایران، 30، no. 45.

Aboaba, O. A. (2015), Prestack and Poststack Attribute Analysis of the Jeju Basin, Korea. MSc. thesis, CONOCOPHILLIPS SCHOOL OF GEOLOGY AND GEOPHYSICS, UNIVERSITY OF OKLAHOMA.

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. Pacific Northwest Lab., Richland, WA (USA).

Amin, A., and M. Deriche. (2015), A hybrid approach for salt dome detection in 2D and 3D seismic data. Paper read at Image Processing (ICIP), 2015 IEEE International Conference on.

Aqrawi, A. A., T. H. Boe, and S. Barros. (2011), Detecting salt domes using a dip guided 3D Sobel seismic attribute. Paper read at 2011 SEG Annual Meeting.

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.

Başa, B. (2015), Implementation of Hog Edge Detection Algorithm Onfpga's. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 174, 1567-1575.

Berthelot, A., A. H. Solberg, and L.-J. Gelius. (2013), Texture attributes for detection of salt. **Journal of Applied Geophysics**, 88, 52-69.

- Bertozzi, M., A. Broggi, M. Del Rose, M. Felisa, A. Rakotomamonjy, and F. Suard. (2007), A pedestrian detector using histograms of oriented gradients and a support vector machine classifier. Paper read at 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference.
- 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 K. J. Marfurt. (2005), Seismic attributes—A historical perspective. **Geophysics**, **70**, no. 5,350-2850.
- Chopra, S., and K. J. Marfurt. (2007), Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization.
- Chopra, S., and K. J. Marfurt. (2014), Extracting Information from Texture Attributes. **Search and Discovery Article**.
- 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.
- 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.
- Efford, N. (2000), **Digital image processing: a practical introduction using java (with CD-ROM)**: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Eichkitz, C. G., J. Amtmann, and M. G. Schreilechner. (2013), Calculation of grey level co-occurrence matrix-based seismic attributes in three dimensions. **Computers & Geosciences**, **60**,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.
- Haralick, R. M., K. Shanmugam, and I. H. Dinstein. (1973), Textural features for image classification. **Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on**, no. 6,610-621.
- Hardage, B. (2010), GC Instantaneous Seismic Attributes Calculated by the Hilbert Transform.
- Hegazy, T., and G. AlRegib. (2014), Texture attributes for detecting salt bodies in seismic data. Paper read at 2014 SEG Annual Meeting.
- Hyndman, R. J., and Y. Fan. (1996), Sample quantiles in statistical packages. **The American Statistician**, **50**, no. 4,361-365.
- Images, R. S. (2003), Seismic trace attributes and their projected use in prediction of rock properties and seismic facies. **Houston, Texas**,1-4.
- Jones, I. F., and I. Davison. (2014), Seismic imaging in and around salt bodies. **Interpretation**, **2**, no. 4,SL1-SL20.
- Kearey, P., M. Brooks, and I. Hill. (2013), **An introduction to geophysical exploration**: John Wiley & Sons.

- Korn, G. A., and T. M. Korn. (2000), **Mathematical handbook for scientists and engineers: Definitions, theorems, and formulas for reference and review**: Courier Corporation.
- Lee, K., and M. Mokji. (2014), Automatic target detection in GPR images using Histogram of Oriented Gradients (HOG). Paper read at 2nd International Conference on Electronic Design.
- Mohr, M., J. K. Warren, P. A. Kukla, J. L. Urai, and A. Irmen. (2007), Subsurface seismic record of salt glaciers in an extensional intracontinental setting (Late Triassic of northwestern Germany). **Geology**, **35**, no. 11,963-966.
- Pearson, K. 2012, Geologic models and evaluation of undiscovered conventional and continuous oil and gas resources: Upper Cretaceous Austin Chalk. US Geological Survey.
- Proakis, J. G., and D. G. Manolakis. (2007), **Digital Signal Processing; Principles, Algorithms, and Applications**, Upper Saddle River, EUA: Prentice-Hall.
- Sacrey, D., and R. Roden. (2014), Understanding Attributes and Their Use in the Application of Neural Analysis—Case Histories Both Conventional and Unconventional. **Search and Discovery Article**, **41473**.
- Shafiq, M. A., Z. Wang, A. Amin, T. Hegazy, M. Deriche, and G. AlRegib. (2015), Detection of salt-dome boundary surfaces in migrated seismic volumes using gradient of textures. Paper read at 2015 SEG Annual Meeting.
- 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.
- Sobel, I. (2014), History and definition of the sobel operator. **Retrieved from the World Wide Web**.
- Solberg, A. H., and L. J. Gelius. (2011), New texture attributes from local 2D Fourier spectra. Paper read at 2011 SEG Annual Meeting.
- Subrahmanyam, D., and P. Rao. (2008), Seismic attributes—A review. Paper read at 7th International Conference & Exposition of Petroleum Geophysics.
- Taner, M. T. (2001), Seismic attributes. **CSEG recorder**, **26**, no. 7,48-56.
- Taner, M. T., F. Koehler, and R. Sheriff. (1979), Complex seismic trace analysis. **Geophysics**, **44**, no. 6,1041-1063.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff. (1990) **Applied geophysics**. Vol. 1: 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.
- Ulrych, T., M. Sacchi, M. Graul, and M. T. Taner. (2007), Instantaneous attributes: the what and the how*. **Exploration Geophysics**, **38**, no. 4,213-219.
- Upton, G., and I. Cook. (1996), **Understanding statistics**: Oxford University Press.
- Vendeville, B. C. (2002), A new interpretation of Trusheim's classic model of salt-diapir growth.
- 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.
- Weisberg, H. (1992), **Central tendency and variability**: Sage.
- White, R. E. (1991), Properties of instantaneous seismic attributes. **The Leading Edge**, **10**, no. 7, 2.32-6
- Zhang, J. J., and L. R. Bentley. (2000), Complex seismic trace analysis and its application to time-lapse seismic surveys. **CREWES, Geology and Geophysics, University of Calgary**.
- Zwillinger, D., and S. Kokoska. (1999), **CRC standard probability and statistics tables and formulae**: Crc Press.

Abstract

Salt domes are most important Geological events that identifying and determining the exact location of them in seismic reflection data is an important factor for characterizing hydrocarbon reservoirs. Boundaries and sub salt are often a poor reflection on seismic data and they are rarely detectable. Because of the nature of seismic data, identifying salt domes and determine the exact location of the seismic data is very time consuming and difficult process. Seismic attributes are tools that will reveal hidden information in seismic data and are able to provide quantitative interpretation of the seismic interpreter. In this thesis, the Histogram of Oriented Gradient (HOG) propose as a seismic attribute to identify and locate fault and salt domes in reflection seismic data. The main objective of the HOG algorithm is extract the desired characteristics of the data that used to detect various objects. HOG method applied on seismic data includes fault and salt dome and with using statistical features that introduce as seismic attributes, distinguish faults and salt dome texture from other textures. Thus, an accurate picture will achieves from faults and salt dome that makes it easy to seismic interpretation. Review the achieved results and comparing these attribute with common texture attributes show that the HOG attribute can be used as an appropriate attributes for identifying salt domes in reflection seismic data.

Keyword: Seismic reflection, Salt dome, Histogram of Oriented Gradient, Seismic attribute, Image processing.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc Thesis in Seismic Exploration

**Introduction of Histogram of Oriented Gradients as
seismic attributes in interpretation of reflection seismic
data**

By: Seyed Esmaeil Hoseini Fard

Supervisor:

Dr.Amin Roshandel Kahoo

Dr.Alireza Ahmadi fard

February 2017