

تشخیص خودکار خطواره‌ها در تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی با استفاده از تبدیل رادون

صادق کریم‌پولی^{۱*}؛ سعید عباس‌زاده^۲؛ اقبال امینی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه زنجان، s.karimpouli@znu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه زنجان

(دریافت ۳ خرداد ۱۳۹۳، پذیرش ۲۶ مهر ۱۳۹۴)

چکیده

آگاهی از سیستم خطواره‌های هر منطقه شامل گسل‌ها و شکستگی‌ها در مطالعات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و از همه مهم‌تر اکتشاف ذخایر معدنی مفید است. به‌طور معمول، نقشه خطواره‌ها از داده‌های مکانی مانند عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شوند. با وجود آن که استخراج بصری خطواره‌ها متداول‌ترین روش است اما روش‌های خودکار تشخیص خطواره‌ها تا حدود زیاد می‌تواند خطای کاربر را کاهش دهد و حتی خطواره‌هایی را که با چشم به راحتی قابل تشخیص نیستند، مشخص کند. بهترین نوع این روش‌ها، آن‌هایی هستند که فیلترهای بهبود لبه را با الگوریتم‌های تشخیص خط تلفیق می‌کنند. در این مطالعه، الگوریتم ساده‌ای ارائه شده که از یک اپراتور مشتق کلی با هسته گوسی به عنوان فیلتر آشکارساز لبه و از تبدیل رادون برای استخراج عوارض خطی در یک تصویر شبکه‌بندی شده بهره می‌برد. این روش روی یک تصویر ساده اما با سطح بالایی از نوفه بررسی شد که نتایج قابل قبولی ارائه کرد. روش پیشنهادی همچنین روی تصویر ماهواره لندست (TM) از فلات ماسه‌سنگی شکسته شده در ایالت شمالی استرالیا، عکس هوایی رنگی از جنوب نوادا و یک عکس دستی با دوربین معمولی نیز پیاده‌سازی شد و نتایج آن با یک روش دیگر مقایسه گردید. نتایج روش پیشنهادی، به تنهایی موید کارا بودن و قابلیت مؤثر آن در تشخیص خطواره است. مقایسه این روش با یک روش مشابه دیگر نشان می‌دهد که با وجود داشتن الگوریتمی ساده و حجم کم محاسبات، نتایج روش ارائه شده تا حدود زیادی قابل مقایسه با روش‌های پیچیده است. البته، نقطه ضعف این روش در مشخص کردن خطواره‌های پیوسته و نقطه قوت آن در تعیین خطواره‌های غیرخطی است.

کلمات کلیدی

خطواره- عکس هوایی- تصاویر ماهواره‌ای- مشتق گوسی- تبدیل رادون.

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

نقشه خطوط‌های منطقه اغلب با استفاده از الگوریتم‌های مناسب از داده‌های مکانی استخراج می‌شوند. این نقشه‌ها برای شناخت عوارض زمین‌شناسی (گسل‌ها)، توپوگرافی (سیستم زهکشی) و نیز خطوط‌های غیر زمین‌شناسی (مرز زمین‌های کشاورزی و ساختمان‌ها) استفاده می‌شوند. شناخت خطوط‌ها به منظور بررسی الگوهای گسل فعال در مناطقی که دارای دسترسی دشوار است [۱]، مطالعه منابع آب [۲] و نیز اکتشاف ذخایر معدنی [۳] مفید است.

تعاریف مختلفی برای خطوط وجود دارد. اولری و همکاران [۴] خطوط را این چنین تعریف کرده‌اند: یک عارضه خطی ساده یا پیچیده از سطح که اجزا آن در یک مسیر مستقیم و یا اندکی خمیده قرار دارند. خطوط الگویی متفاوت از عارضه‌های مجاور دارد و به احتمال زیاد نشان‌دهنده برخی از پدیده‌های زیرسطحی است. وودراف و همکاران [۵] خطوط را عارضه‌ای تعریف کرده‌اند که: ۱. در تصویر سطح زمین قابل تشخیص است، ۲. خطی و پیوسته است، ۳. دارای ابتدا، انتها و مرزهای جانبی مشخص است، ۴. نسبت طول به عرض بالایی دارد و از این رو دارای جهت مشخصی است و ۵. مربوط به ساختارهای زمین‌شناسی است. حریری [۶] بیان کرد که خطوط عارضه‌ای خطی است که در میان پدیده‌های قابل مشاهده در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به صورت اشکال خطی دیده می‌شود. خطوط‌ها به صورت خطوط مستقیم یا منحنی با طول‌های متفاوت ظاهر می‌شوند و اغلب مربوط به شکستگی‌ها و مرزهای سنگی هستند. البته خطوط‌ها در برخی موارد در مطالعات زمین‌ریخت‌شناسی نیز به کار می‌روند که در این صورت از اختلاف رنگ آن‌ها استفاده می‌شود. در یک تعریف جامع‌تر، هونگ و همکاران [۷] بیان کردند که خطوط از طریق موارد زیر شناخته می‌شود: ۱. دره‌ها و رودها ۲. سطح هم‌تراز ۳. تغییرات در تن رنگ خاک ۴. مناطق دارای پوشش گیاهی ۵. تغییر در نوع پوشش گیاهی و ارتفاع آن و ۶. تغییرات سریع توپوگرافی. همه این پدیده‌ها ممکن است در نتیجه عوارض ساختاری مانند چین‌ها، گسل‌ها، دسته درزه‌ها، شکستگی‌ها یا ترک‌ها ایجاد شده باشند. در برخی از موارد ممکن است خطوط با عارضه‌هایی مانند جاده‌ها، خطوط لوله یا راه آهن اشتباه گرفته شوند.

همه این موارد بیان‌گر آن است که خطوط‌ها عوارضی مبهم هستند و تشخیص آن‌ها در همه موارد به سهولت امکان‌پذیر نیست. تناژ رنگی در امتداد یک خطواره یکنواخت باقی می‌ماند، اما ویژگی‌های لبه آن ممکن است متفاوت باشد. سه ویژگی عمده خطوط‌ها عبارتند از: ۱. در یک همسایگی کم، یک طرف خطواره تیره‌تر از طرف دیگر است، ۲. واریانس تناژ رنگ در عرض خطواره اغلب بیشتر از جهت امتداد آن است و ۳. هر چند ممکن است جهت خطواره عوض شود، اما تغییرات پیکسل‌هایی که در امتداد آن هستند کم و بیش با هم یکسان است [۸].

به طور کلی روش‌های استخراج خطوط‌ها از تصاویر ماهواره‌ای به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱. استخراج بصری: که در آن کاربر با توجه به تجربه، اطلاعات زمین‌شناسی و برخی از روش‌های پردازش تصویر، محل خطوط‌ها را در تصویر به طور دستی مشخص می‌کند. اطلاعات خطوط‌ها را می‌توان به صورت بصری، با استفاده از روش‌های بهبود تصویر و یا فیلترهای جهتی و غیر جهتی مانند آنالیز مولفه‌های اصلی، لاپلاس و سوبل^۱ افزایش داد. ۲. استخراج نیمه خودکار: در پردازش تصاویر دیجیتال، الگوریتم‌های مختلفی برای بهبود و آشکارسازی لبه وجود دارد. از جمله آن‌ها می‌توان به فیلترهای استارت، سوبل، کنی^۲، فیلترهای مورفولوژیکی و الگوریتم ادیسون اشاره کرد [۷]. در این گونه روش‌ها، کاربر پس از اعمال فیلترهای مناسب از روش استخراج بصری به تشخیص و استخراج خطوط‌ها می‌پردازد. ۳. استخراج خودکار: در این گونه روش‌ها، با استفاده از دنبال کردن لبه‌ها مانند جستجوی گراف [۹]، الگوریتم ردیابی قطعه‌ای [۱۰] و یا الگوریتم استخراج عارضه مانند تبدیل هاف^۳ (یا تبدیل رادون^۴) [۱۱] استفاده می‌شود.

روش‌های استخراج بصری از جمله متداول‌ترین روش‌های تشخیص خطوط‌ها هستند [۱۲]. اما همواره خطای کاربر امری اجتناب‌ناپذیر است. برای کاهش این خطا، روش‌های استخراج نیمه‌خودکار و خودکار، کاربر را در تشخیص تمامی خطوط‌ها هدایت می‌کنند. در این بین روش‌هایی که بر پایه تلفیقی از فیلترهای آشکارساز لبه و استخراج خودکار هستند، بهترین نتیجه را ارائه می‌کنند [۱۲]. آرجیلااس و ماورانتر [۱۳] با مقایسه برخی از این روش‌ها بیان کردند که روش‌های تلفیقی بر پایه تبدیل هاف [۱۲] بهترین عملکرد را در استخراج خطوط‌ها داشته‌اند.

۲-۲- تبدیل رادون

تبدیل رادون (که بسیار شبیه به تبدیل هاف است) کاربردهای فراوانی در علوم مختلف از جمله فیزیک، ژئوفیزیک و الکترونیک دارد. از جمله کاربردهای آن در پردازش تصاویر دیجیتال تطبیق الگو و تشخیص اشکال مختلف از تصویر است که در این زمینه بسیار شبیه به تبدیل هاف عمل می‌کند. با این وجود، روابط تبدیل رادون درک بهتری از مبانی ریاضی در اختیار می‌گذارد [۱۷]. تبدیل رادون $(\check{h}(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2))$ یک تابع خط $(h(x, y))$ در حالت عمومی آن به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۸]:

$$\check{h}(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \delta(\alpha_0 - \alpha_1 x - \alpha_2 y) dx dy \quad (3)$$

که در آن $\delta(?)$ تابع دلتای دیراک است. این تابع برای تمامی نقاطی که در معادله خط مورد نظر صدق می‌کنند برابر یک و برای بقیه نقاط صفر است [۱۲]. برای تابع خط $(\alpha_1 x + \alpha_2 y = \alpha_0)$ ، تبدیل رادون به وسیله پارامترهای زیر قابل تعریف است:

$$(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2) = (c, k, 1) \quad (4)$$

که در آن (k, c) معادل پارامترهای معادله عمومی خط است. همان‌طور که از روابط فوق استنباط می‌شود، تبدیل رادون یک خط را از فضای متغیرها (x, y) به فضای پارامترها (k, c) انتقال می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، روشن است که یک نقطه در فضای متغیرها (p_1, p_2) تشکیل یک خط در فضای پارامترها (P_1, P_2) می‌دهد و برعکس. یعنی، برای هر نقطه (l) از فضای پارامترها یک خط (L) در فضای متغیرها وجود دارد. نکته آن است که همه نقاطی که در فضای متغیرها روی یک خط واقع می‌شوند $(P_1 \dots P_n)$ در فضای پارامترها یک دسته خطوط را تشکیل می‌دهند که همگی از یک نقطه مشترک (l) می‌گذرند. مختصات محل نقطه تقاطع خطوط در فضای پارامترها (k_1, c_1) است که در واقع همان پارامترهای ناشناخته خط مورد نظر در فضای متغیرها است. تعریف دیگر خط که در بسیاری از علوم مانند توموگرافی و نجوم استفاده می‌شود، به فرم زیر است:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (5)$$

که در اینجا پارامترهای تبدیل رادون $(\rho, \cos \theta, \sin \theta)$ هستند:

$$\check{h}(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \quad (6)$$

الگوریتم ارائه شده در این مطالعه مشابه الگوریتم [۱۲] است. از جمله تفاوت‌های این دو روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱. استفاده از مشتق کلی تصویر در یک هسته گوسی^۵ که روشی مناسب برای بهبود و آشکارسازی لبه در عکس‌های هوایی به شمار می‌رود، ۲. استفاده از تبدیل رادون که بسیار شبیه تبدیل هاف است، ۳. استفاده از شبکه‌بندی (یا موزاییک‌سازی) تصویر به جای روش چند مقیاسی^۶. این کار باعث می‌شود که به جای اجرای چند باره الگوریتم و تلفیق نتایج، در یک بار اجرای برنامه نتایج نهایی تولید شوند و نیز خطواره‌های غیرخطی بهتر مشخص شوند و ۴. الگوریتم بسیار ساده و حجم کم محاسبات. در ادامه بحث، ابتدا مبانی روش پیشنهادی شرح داده شده و سپس با معرفی الگوریتم، ضمن مقایسه نتایج آن با روش [۱۲] نقاط قوت و ضعف آن بررسی شده است.

۲- مبانی روش

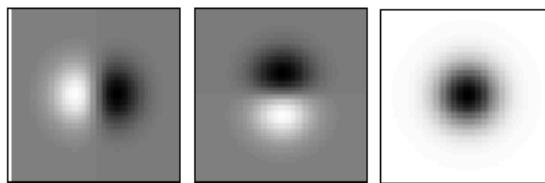
۲-۱- مشتق گوسی

مار و هیلدرث [۱۴] بیان کردند که تغییرات تصویر در یک لبه در حوزه‌های مختلفی اتفاق می‌افتد. بنابراین یک فیلتر نرم‌کننده بهینه مورد نیاز است تا تغییرات را هم در حوزه مکان و هم در حوزه فرکانس در نظر بگیرد. کنی [۱۵] یک اپراتور تشخیص لبه بهینه براساس تقریبی از مشتق اول توسط تابع گوسی زیر ارائه کرد:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

برای آشکارسازی لبه کافیسیت از تابع زیر در یک هسته با اندازه $n \times n$ و در دو جهت مشتق گرفته شود (شکل ۱- الف و ب) و سپس اندازه آن در مرکز هسته محاسبه شود (شکل ۱- ج) [۱۶]:

$$|\nabla g| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$



شکل ۱: اپراتور مشتق جهتی (الف و ب) و مشتق کلی (ج) با هسته گوسی (مقدار سلول‌های سیاه ۱ و سفید ۱ - است) [۱۶].

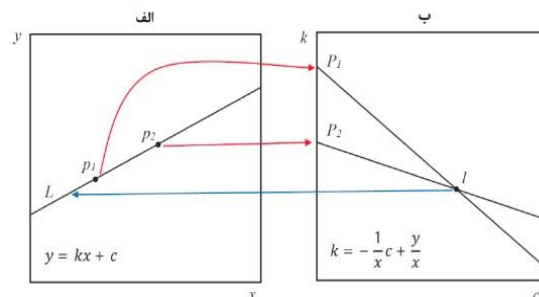
می‌شوند. پس از شبکه‌بندی، برای بهبود و آشکارسازی هر چه بیشتر لبه‌ها از مشتق کلی تصویر با یک هسته گوسی استفاده می‌شود. البته باید اشاره شود که چون الگوریتم‌های تشخیص لبه فقط به مقدار رقومی سلول‌های تصویر در یک هسته یا پنجره بستگی دارد، ترتیب انجام این دو مرحله مهم نیست. مرحله تبدیل رادون، خود شامل سه زیر مرحله است. این زیر مراحل روی هر یک از شبکه‌های تصویر پیاده شده و در پایان، مکان خطوط در آن‌ها به دست می‌آید. از کنار هم قرار گرفتن نتایج آن‌ها، تصویر کلیه خطواره‌ها بازسازی می‌شود. این زیر مراحل عبارتند از: ۱. تبدیل رادون معادله خط، ۲. تعیین بیشینه مقادیر تصویر تبدیل یافته و ۳. تبدیل رادون معکوس.



شکل ۳: فلوجارت روش ارائه شده جهت تشخیص خطواره‌های تصویر براساس تبدیل رادون.

در این روش بیشینه مقادیر تصویر تبدیل یافته با تعیین یک حد آستانه صورت می‌گیرد. کم یا زیاد در نظر گرفتن حد آستانه تاثیر مستقیم در نتایج نهایی دارد. این مقدار بسته به کیفیت و بزرگنمایی تصویر و ساختارهای پیچیده موجود در آن از تصویری به تصویر دیگر متفاوت است. در این مقاله تعیین این حدود به صورت دستی و با نظر کاربر به روش آزمایش و خطا تنظیم می‌-

با توجه به این رابطه، هر نقطه از فضای متغیرها تشکیل یک منحنی در فضای پارامترها می‌دهد.

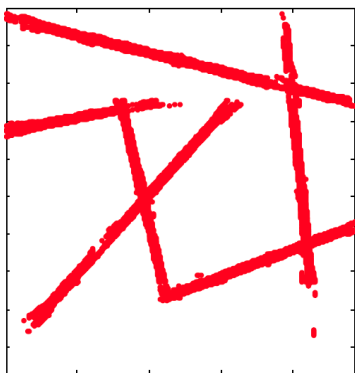


شکل ۲: نمایش شماتیک تبدیل رادون یک خط: الف- فضای متغیرها، ب- فضای پارامترها.

در مورد تبدیل رادون یک تصویر گسسته با مقیاس خاکستری باید اشاره کرد که مقدار عددی منحنی (یا خط) متناظر با هر سلول انتقال یافته از تصویر در فضای پارامترها برابر مقدار آن سلول است. همچنین، فضای پارامترها یک فضای جمع‌کننده مقادیر است. این به آن معناست که مقادیر سلول‌ها در نقاط تقاطع منحنی با یکدیگر جمع می‌شود. برای مثال، چنانچه در شکل (۲-الف) ارزش سلول‌های سیاه رنگ را یک و سلول‌های سفید رنگ را صفر در نظر بگیریم، مقدار هر خط تبدیل یافته (شکل ۲-ب) برابر یک و مقدار نقطه تقاطع آن‌ها (l) به علت عبور دو خط برابر مجموع مقادیر آن‌ها یعنی ۲ است. در این صورت مسئله تبدیل رادون به مسئله پیدا کردن نقاط بیشینه مقدار محلی در فضای پارامترها کاهش می‌یابد [۱۲]. یافتن بیشینه مقدار محلی [۱۹]، الگوریتم‌های تکراری یافتن بیشینه مقدار، حذف شکل (خط) مربوطه [۱۲] و استفاده از حد آستانه [۲۰] از جمله روش‌هایی هستند که در این زمینه به کار گرفته می‌شوند.

۳- معرفی روش

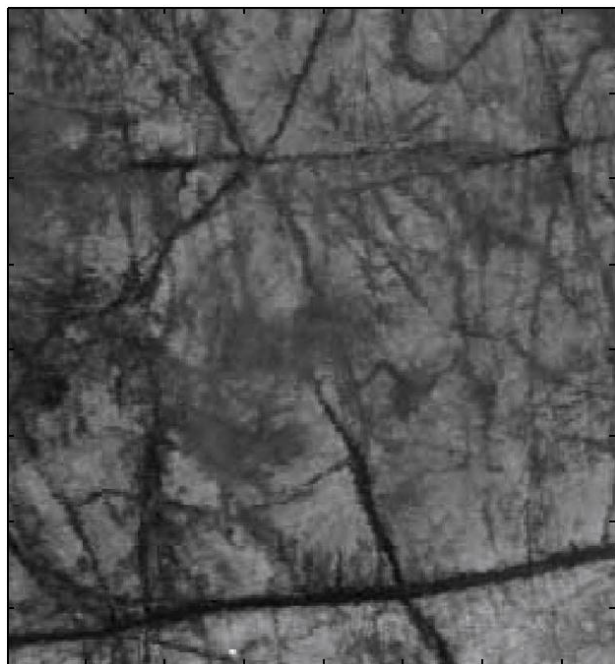
الگوریتم ارائه شده (شکل ۳) برای تشخیص خودکار خطواره در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای شامل دو مرحله اساسی پیش‌پردازش و تبدیل رادون است. در مرحله پیش‌پردازش ابتدا تصویر توسط کاربر شبکه‌بندی می‌شود. تعیین تعداد این شبکه‌ها توسط کاربر این امکان را فراهم می‌آورد تا با توجه به هدف مطالعه، مقیاس خطواره‌های مورد نظر تعیین شود. هر چه تعداد شبکه‌ها زیاده‌تر باشد، خطواره‌هایی با مقیاس کوچک‌تر مشخص



شکل ۵: نتایج روش ارائه شده برای تشخیص خطواره‌های موجود در شکل ۴.

۴-۲- تصویر ماهواره‌ای

در این مطالعه برای مقایسه و ارزیابی روش پیشنهادی از تصویر مرجع [۱۲] (ناحیه A) استفاده شده است. این تصویر، بخشی از تصویر ماهواره لندست (TM) از فلات ماسه‌سنگی شکسته شده در ایالت شمالی استرالیا است (شکل ۶). این تصویر حاوی خطواره‌های خطی و تا حدودی غیرخطی است. البته لازم به ذکر است که چند مرحله پیش‌پردازشی برای بهبود کیفیت تصویر روی آن توسط فیتون و کاکس انجام گرفته که در مرجع [۱۲] آمده است.



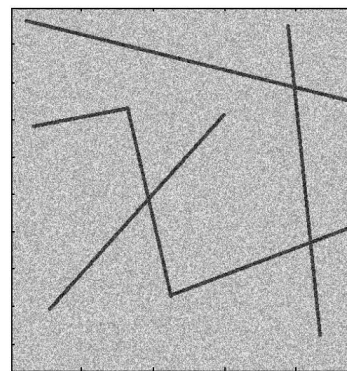
شکل ۶: تصویر ماهواره لندست (TM) از فلات ماسه‌سنگی شکسته شده در ایالت شمالی استرالیا [۱۲].

شود. ممکن است در مطالعات آتی این مرحله نیز به طور خودکار ارائه شود.

۴- نتایج

۴-۱- داده‌های مصنوعی

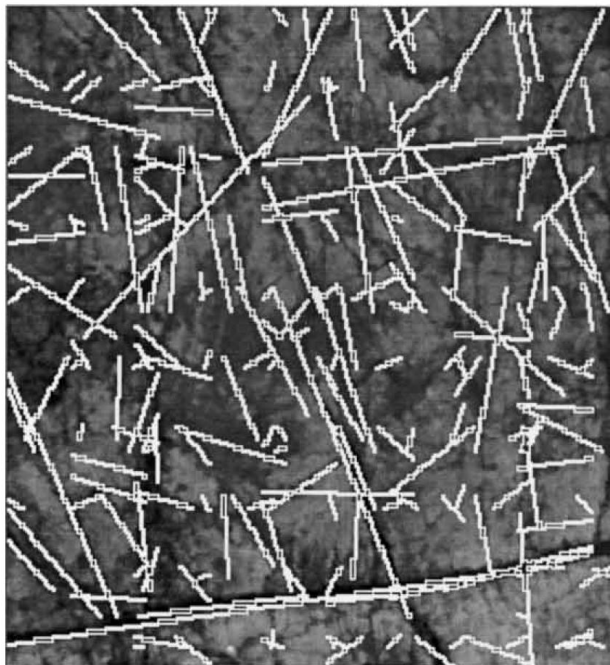
در ابتدا و برای بررسی الگوریتم پیشنهادی، از یک تصویر ساده حاوی چند خط متقاطع در نظر گرفته شد. سپس به این تصویر نوفه تصادفی با مقداری بین صفر تا ۱۰۰٪ بیشینه مقدار تصویر، اضافه شد (شکل ۴) تا میزان کارایی آن در مقابل سطح بالایی از نوفه سنجیده شود. این تصویر به صورت 3×3 شبکه‌بندی و با در نظر گرفتن حد آستانه ۸۰٪ برای تبدیل رادون معکوس، نتایج مربوطه تولید شد (شکل ۵). همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود، این روش تا حد زیادی توانسته تمامی خطوط موجود در تصویر را مشخص کند. همچنین نکته قابل توجه کارایی روش در مقابل سطح بالایی از نوفه است. دلیل این امر آن است که نوفه‌های تصادفی و عوارض ناپیوسته تحت تبدیل رادون و در فضای پارامترها، مقدار بیشینه محلی تشکیل نمی‌دهند (شکل ۲-ب). بنابراین با داشتن مقادیری کمتر از حد آستانه از نتایج نهایی کنار گذاشته می‌شوند.



شکل ۴: تصویر ساده حاوی چند خط متقاطع. به این تصویر از صفر تا ۱۰۰٪ نوفه تصادفی اضافه شده است.

امر یکی از ضعف‌های روش حاضر به شمار می‌رود. اما باید به این نکته اشاره کرد که شبکه‌بندی در مشخص کردن ساختارهای غیرخطی بسیار بهتر از روش چند مقیاسی عمل نموده و آن‌ها را بهتر مشخص می‌کند.

نتایج بالا بیان‌گر کارا بودن الگوریتم حاضر در تعیین خودکار خطواره‌ها است. این روش به کاربر کمک می‌کند تا خطواره‌های موجود در تصویر را با دقت هر چه بیشتر شناسایی کند و خطای دید را تا حد اکثر ممکن کاهش دهد.

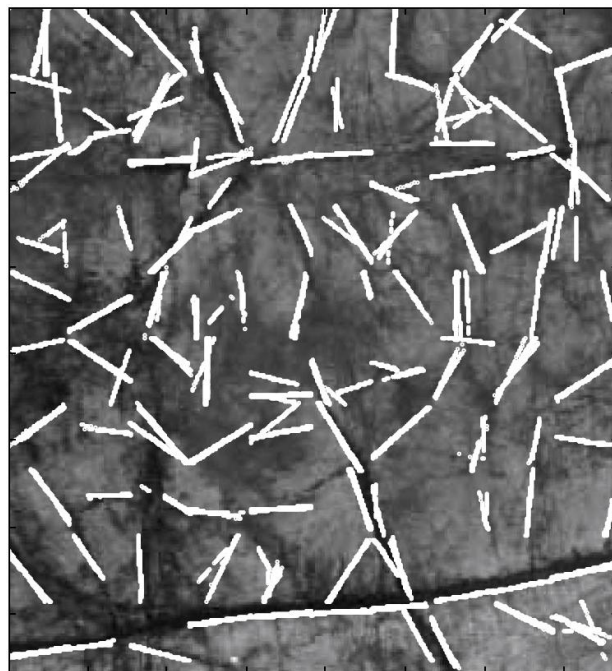


شکل ۸: نتایج روش [۱۲] برای تعیین خطواره‌های تصویر شکل (۶).

۴-۳- عکس هوایی

عکس هوایی حاضر از منطقه جنوب نوادا و به طور رنگی انتخاب شده است (شکل ۹). در این عکس خطواره‌های متنوعی از جمله درزه، شکستگی، گسل، لایه‌بندی و آبراهه‌های بسیاری دیده می‌شود. بعلاوه، وجود یک گسل امتداد لغز راست‌گرد نیز به خوبی در وسط آن نمایان است. از آنجایی که این روش بر پایه اختلاف و تغییرات ناگهانی رنگ (لبه‌ها) استوار می‌باشد، به راحتی قابل پیاده‌سازی بر روی عکس‌های رنگی است. این کار ممکن است به طرق مختلف صورت پذیرد، اما یک انتخاب ساده در نظر گرفتن یکی از طیف‌های قرمز، سبز یا آبی و پیاده‌سازی الگوریتم بر روی آن است. شکل ۱۰ نتایج روش حاضر در

الگوریتم پیشنهادی روی این تصویر پیاده‌سازی شد. البته همان طور که در قبل نیز اشاره شد، تعداد شبکه‌بندی و حد آستانه مناسب توسط کاربر و فعلاً با آزمایش و خطا تعیین می‌شود. به دلیل ریز بودن شکستگی‌های موجود در این تصویر، تعداد شبکه‌های مناسب 10×10 و حد آستانه بهینه ۹۰٪ در نظر گرفته شد. نتایج نهایی این روش در شکل (۷) آمده است. این شکل (و مقایسه آن با شکل ۶) نشان می‌دهد که روش حاضر، تا حدود زیادی خطواره‌های موجود در تصویر را تشخیص داده و محل آن‌ها را مشخص کرده است.



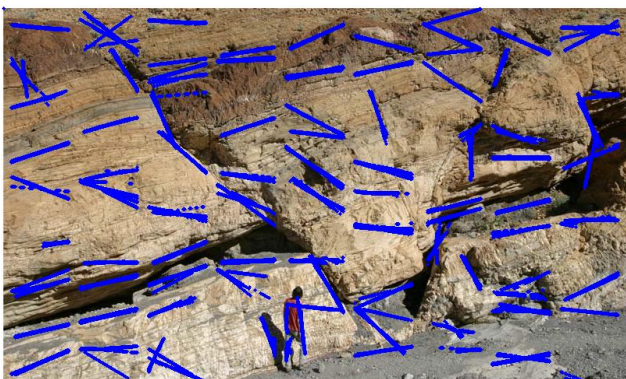
شکل ۷: نتایج الگوریتم ارائه شده در این مطالعه جهت تشخیص خطواره‌های تصویر شکل (۶).

از طرفی، برای مقایسه این نتایج با الگوریتم [۱۲]، نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است. مقایسه این دو نتیجه نشان می‌دهد که الگوریتم حاضر با وجود ساده‌تر بودن و حجم بسیار اندک محاسبات اختلاف فاحشی با نتایج [۱۲] ندارد. هر دو روش نسبت به دیگری در قسمت‌هایی از تصویر بهتر از دیگری عمل کرده است. شبکه‌بندی تصویر در روش حاضر در مقابل چند مقیاسی عمل کردن روش [۱۲] یکی از تفاوت‌های این دو روش است. همان گونه که در مقایسه نتایج دیده می‌شود، شبکه‌بندی باعث از دست رفتن پیوستگی در خطواره‌های بلند می‌شود و این

ای و عکس‌های هوایی، عکس‌هایی که به‌طور دستی و با دوربین-های معمولی نیز از منطقه گرفته می‌شوند، توسط این روش قابل پردازش هستند. از این رو، یک عکس از دره موزاییک کالیفرنیا انتخاب شده است (شکل ۱۱). در این نیز خطواره‌های بسیاری از جمله درزه، شکستگی، گسل و لایه‌بندی دیده می‌شود. شکل ۱۲ نتایج پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی روی این عکس است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، اغلب خطواره‌های مهم و غالب عکس تشخیص داده شدند. چون تشخیص خطواره در این روش بر پایه تغییرات ناگهانی در رنگ است، مرز سایه فرد ایستاده در تصویر نیز به عنوان خطواره‌هایی مشخص شده‌اند.

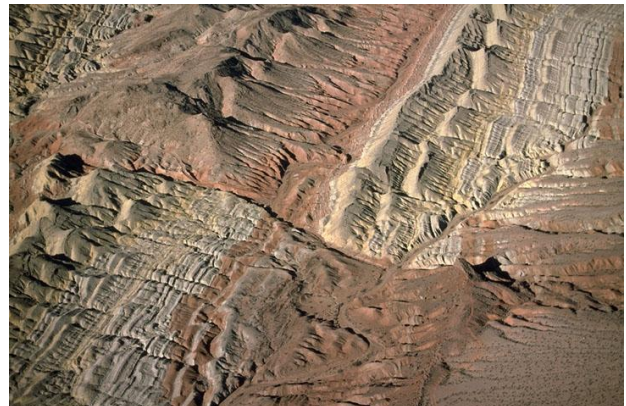


شکل ۱۱: عکس دستی با یک دوربین معمولی از دره موزاییک کالیفرنیا.

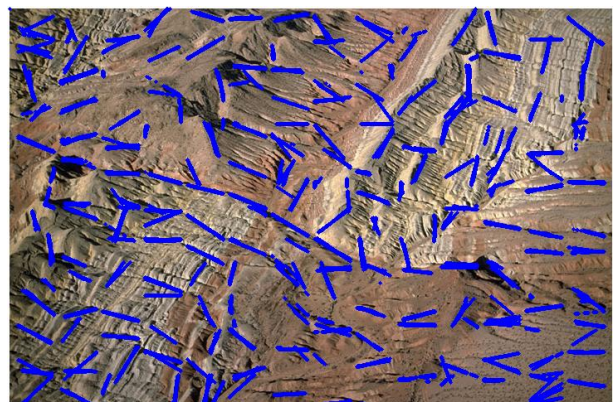


شکل ۱۲: نتایج الگوریتم پیشنهادی روی عکس دستی با یک دوربین معمولی در شکل ۱۱.

تشخیص خطواره‌های عکس هوایی شکل ۹ با این رویکرد را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل بر می‌آید، اغلب خطواره‌های مهم و غالب موجود در عکس هوایی که روند کلی منطقه را نیز کنترل می‌کنند، مشخص شده‌اند. همچنین گسل امتداد لغز به خوبی تشخیص داده شده و رنگی بودن عکس نیز مشکلی ایجاد نکرد. در واقع و در مرحله مقدماتی اکتشاف مواد معدنی یا هیدروکربن‌ها و با وجود داده‌های با بزرگنمایی کم، هدف چنین مطالعاتی تعیین روندهای کلی و چگالی خطواره‌های موجود در منطقه است که کنترل کننده کانی‌زایی یا تجمع هیدروکربن به شمار می‌آیند. با چنین فرضی، دیده می‌شود که اهداف مورد نظر در این نتایج به خوبی حاصل شده‌اند.



شکل ۹: عکس هوایی از منطقه جنوب نوادا.



شکل ۱۰: نتایج الگوریتم پیشنهادی روی عکس هوایی شکل ۹.

۵- نتیجه گیری

خطواره‌ها، عوارض خطی هستند که به‌طور معمول در اثر وجود گسل‌ها، شکستگی‌ها، لایه‌بندی یا سیستم زهکشی در عکس‌های هوایی یا تصاویر ماهواره‌ای دیده می‌شوند. با وجود آن که

۴-۴- عکس دستی با دوربین معمولی

همان‌طور که در بخش معرفی نیز اشاره، الگوریتم حاضر در واقع مستقل از مقیاس تصویر است. بنابراین علاوه بر تصاویر ماهواره-

- [2]. Waters, P.; 1990; "Methodology of lineament analysis for hydrogeological investigations", Chapter 11 in Satellite Remote Sensing for Hydrology and Water Management (E.C. Barret, C.H. Power, and A. Micallef, editors), Gordon and Breach Science Publications, New York, pp. 197-214.
- [3]. Rowan, L. C., E. H., Lathram; 1980; "Mineral exploration", Chapter 17 in Remote Sensing in Geology (B.S. Siegal and A.R. Gillespie, editors), John Willey & Sons, New York, pp. 553-605.
- [4]. O'Leary, D. W., J. D. Friedman, H. A., Pohn; 1976; "Lineament, linear, lineation: some proposed new definitions for old terms", GSA Bulletin, 87(10): 1463-1469.
- [5]. Woodruff, K., Talley, J., Miller, J.; 1982; "Selection of sites for high productivity well. Maryland America. Abstracts with Programs". N. E. Geol. Soc. Am., Baltimore.
- [6]. Hariri, M.; 1995; "Lineaments studies and fracture control on the Tertiary gold-silver deposits, northern Black Hills, South Dakota, USA", PhD Thesis. South Dakota School of Mines and Technology.
- [7]. Hung, L. Q., Batelaan, O., De Smedt, F.; 2005; "Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam", Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V, edited by Manfred Ehlers, Ulrich Michel, Proc. of SPIE Vol. 5983, 59830T.
- [8]. Sukumar, M., Venkatesan, N., N. K. Babu; 2014; "A Review of Various Lineament Detection Techniques for High Resolution Satellite Image", International Journal of Advanced Research in computer Science and Software Engineering.
- [9]. Wang, J., P. J., Howarth; 1990; "Use of the Hough transform in automated lineament detection", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28, 561-566.
- [10]. Koike, K., Nagano, S., and Ohmi, M.; 2005; "Lineament analysis of satellite images using a Segment Tracing Algorithm (STA)", Comput. Geosci., 21(9), 1091-1104.
- [11]. Karnieli, A., Meisels, A., Fisher, L., and Arkin, Y.; 1996; "Automatic extraction and evaluation of geological linear features from digital remote sensing data using a hough transform", 62, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, USA.
- [12]. Fitton, N. C., S. J. D., Cox; 1998; "Optimizing the application of the Hough Transform for the automatic feature extraction from geoscientific images", Computers and Geosciences, 24, pp. 933-951.

متداول‌ترین روش تشخیص خطواره‌ها استخراج بصری است، اما روش‌های خودکار تأثیر بسزایی در کاهش خطای کاربر دارند. در این مطالعه، از یک اپراتور مشتق کلی با هسته گوسی برای آشکارسازی لبه استفاده شده است. این کار باعث افزایش اختلاف خطواره‌های تصویر نسبت به بقیه قسمت‌ها می‌شود. برای استخراج عوارض خطی تصویر از تبدیل رادون استفاده شده است. الگوریتم ارائه شده در این مطالعه بسیار ساده‌تر از روش‌های معمول است. با این وجود نتایج آن روی داده‌های ساده مصنوعی حتی با سطح بالایی از نوفه بسیار مناسب است. برای بررسی کارایی این روش و مقایسه آن با روش‌های دیگر تصویر استفاده شده در مرجع [۱۲] در این مطالعه نیز استفاده شد. نتایج حاکی از قابل مقایسه بودن الگوریتم ارائه شده با روش‌های پیچیده متداول است. روش پیشنهادی روی یک عکس هوایی رنگی و یک عکس دستی نیز پیاده‌سازی شد. نتایج نشان دهنده کارایی و قابلیت مؤثر تشخیص مؤثر خطواره‌های این تصاویر بوده است. البته باید اشاره کرد که این روش در مشخص کردن خطواره‌های پیوسته نسبت به روش [۱۲] ضعیف‌تر عمل کرده حال آن که تعیین خطواره‌های غیرخطی از نقاط قوت آن است. به‌عنوان کارهای آتی پیشنهاد می‌شود از روش‌های مؤثرتر بهبود و آشکارسازی لبه استفاده شود. همچنین به نظر می‌رسد با به کار بردن روش‌هایی کارا تر برای تعیین نقاط بیشینه محلی در تصویر تبدیل یافته، نتایج این روش بهبود یابد. برای رفع مشکل پیوستگی نیز می‌توان از یک شبکه‌بندی با هم‌پوشانی بین سلولی استفاده کرد.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از دکتر فتحیان‌پور و یک داور محترم دیگر تشکر نمایند که با نظرات علمی و پیشنهادات ارزشمند خود در بهبود هر چه بیشتر این کار نقشی اساسی داشته‌اند.

۷- مراجع

- [1]. Tibaldi, A., Ferrari, L.; 1991; "Multisource remotely sensed data, field checks and seismicity for the definition of active tectonics in Ecuadorian", Andes, Int. J. Remote Sensing, 12: 2344-2358.

- [13]. Argialas, D. P., Mavrantza, O. D.; 2004; "Comparison of edge detection and Hough Transform techniques for the extraction of geologic features", Proceedings of the XXth ISPRS Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, 1682-1750.
- [14]. Marr, D., E., Hildreth; 1980; "Theory of edge detection" Proc. R. Soc. Lond. A, Math. Phys. Sci., vol. B 207, pp. 187-217.
- [15]. Canny, J.; 1986; "A computational approach to edge detection" IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, pp. 679-698.
- [16]. Lindberg, T.; 1996; "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", In: Proc. CERN School of Computing, Egmond aan Zee, The Netherlands.
- [17]. Van Ginkel, M., C.L. Luengo Hendriks, L.J. van Vliet; 2004; "A short introduction to the Radon and Hough transforms and how they relate to each other", Quantitative Imaging Group Technical Report Series, Delft University of Technology, Number QI-2004-01.
- [18]. Toft, P.; 1996; "The Radon Transform, Theory and Implementation", Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, P326.
- [19]. Shapiro, L., Stockman, G.; 2001; "Computer Vision", Prentice-Hall Inc.
- [20]. Cooper, G. R. J.; 2006; "Geophysical applications of the Hough Transform", South African J. Geol., 109, 555-560.

¹ Sobel

² Canny

³ Hough Transform (HT)

⁴ Radon Transform (RT)

⁵ Gaussian kernel total drivation

⁶ Multi-scale method