

Automatic lineament extraction from ASTER images using the Hough transform, JabalBarez 1:100000 sheet

Mahyadin Mohammadpour¹, Khaled Alahveisi², Abbas Bahroudi^{1,3*}

1- School of Mining Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran

2- Mining Department, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Department of Geoscience, University of Calgary, 2500 University Drive NW, Calgary, AB, Canada

Keywords: Automatic lineament extraction, Edge detection, CANNY algorithm, Hough transform, Jebal-Barez

1-Introduction

The detection and extraction of geological lineaments are commonly applicable to the selection of right places for structures such as dams, bridges and roads (Charnpratheep et al., 1997; Mukherjee, 1999; Şener et al., 2011), water resources and hydrogeology studies (Chowdary et al., 2009; Krishnamurthy et al., 1996) and mineral exploration (Cooper, 2010; Lee et al., 2012). Due to the lack of access to some regions, as well as the need for time and cost to study large regions, researchers need to utilize more satellite imagery in geology and mineral exploration (Karimpour and Malekzadeh Shafaroudi, 2016). There are three methods, visual, semi-automatic, and automatic, for processing satellite images to detect lineaments (Rahnama and Gloaguen, 2014). Lineaments entirely determined in automatic methods. This method uses linear object algorithms such as Hough and Radon Transform algorithms. The success of automatic extraction of lineaments depends on the reliability and accuracy of the edge detection mechanism (Karantzalos and Argialas, 2006; Wladis, 1999). The automatic methods save time and cause the objectivity in improving the process of lineament extraction (Masoud and Koike, 2011; Rahnama and Gloaguen, 2014). Zhang et al. (2006) utilized the Radon transform for automatic extraction of lineaments (Zhang et al., 2006). Biswas and Sil (2012) developed the improved Canny edge detection algorithm to detect lines and development photos on the image (Biswas and Sil, 2012). Rahnama and Gloaguen (2014) analyzed lineaments on satellite images and implemented a Digital Elevation Model (DEM) using the Hough Transform algorithm (Rahnama and Gloaguen, 2014). Sanjay and Naoghare (2015) utilized the Canny method using two thresholds in the detection of lines (Sanjay and Naoghare, 2015). Among various methods to extract lineaments, those methods which are based on a combination of edge detector filters and Hough transform, yield the reliable and better results (Argialas et al., 2004; Fitton and Cox, 1998). The present research sought to use the optimized Canny algorithm and linear Hough transform as fully automatic methods to detect geological lineaments. This method applied on images of the ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensor on Jebal-e-Barez geological map. This Map is vital in terms of porphyry copper mineralization that is controlled mainly by tectonic fractures.

2-Methodology

The present study aimed to provide an optimized method for precise extraction of lineaments using satellite images. The proposed algorithm consisted of several implemented steps in MATLAB, as shown in Figure 1. First, the radiometric and geometric pre-processing carried out on satellite images, and then images were developed (become apparent) using the contrast stretching. The operation softened and reduced noise on images, and appropriate images obtained for Canny filtering. Edges of images were then detected, and the entry of false edges to the next stage was prevented by applying thresholds by Hysteresis method using Canny algorithms. Hough Transform was used to detect lines. Then tectonic lineaments developed at the post-processing stage; and the subsequent tectonic relationship with porphyry copper mineralization was then examined (Fig. 1).

* Corresponding author: bahroudi@ut.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2019.25774.1850

Received 2018-05-08

Accepted 2019-10-05

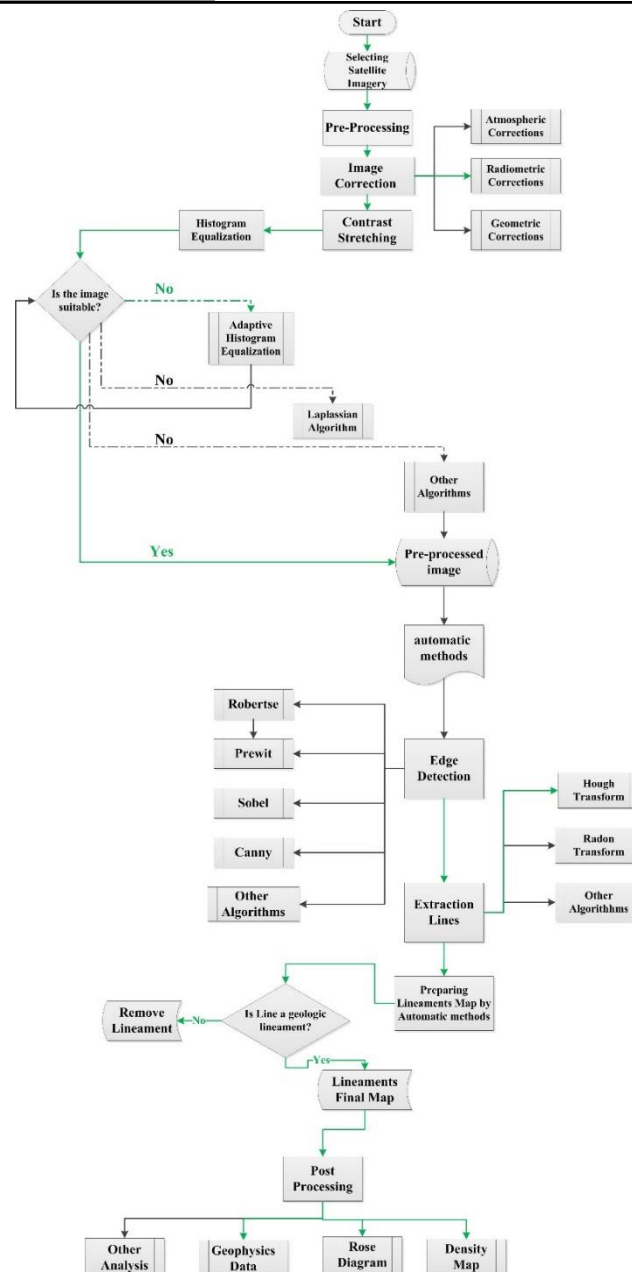


Fig. 1. Chart of implementation of proposed method in the research.

3- Results and discussion

Lines of ASTER sensor images were extracted by applying the Hough transform after implementation of different stages of study according to the chart (Fig. 1), and then lineaments relating to faults were detected in the region. Figure 2 shows the final fault map of region extracted from the application of a fully automatic method. Rose diagram relating to Jebel Barez mining area was drawn after determining lineaments, and it showed the dominance of regional faults trend the Northwest-Southeast. The map of the density of regional lineaments was drawn in ArcGIS, and well-known mineral indices in the region were compared to the map. 17 out of 22 indices had a high density (77.2%). It confirmed the close relationship between the densities of faults with porphyry copper indices. High-density regions are essential in terms of exploration, and thus, exploration proposed for discovering copper deposits in these regions. Results of this study were matched with ground-based faults. Results of the algorithm had an overlapping of 63.65% with faults in the geological map. This value is desirable considering that some faults of the region are hidden and others are probable.

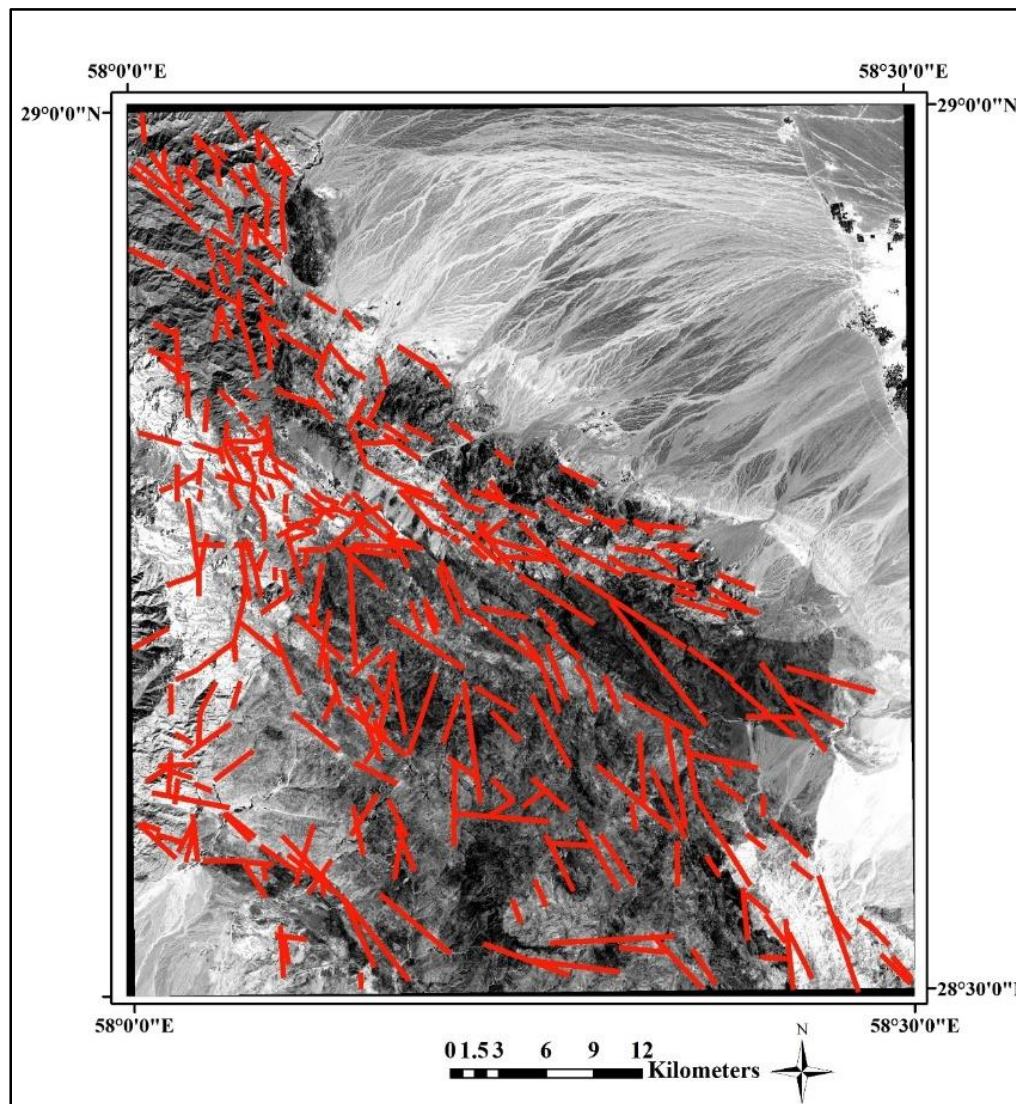


Fig. 2. Final map of extracted regional faults by application of a full-automatic method using the Canny edge detection and Hough Transform algorithms.

4- Conclusion

The following results were obtained from the present research:

- 1- In the process of extraction of lineaments from satellite images, fully automatic methods increased precision and saved time and cost in comparison to semi-automatic and visual methods.
- 2- Canny algorithm had better performance than other edge-detection algorithms probably due to the selection of dual thresholds and calculation of maximum local gradient of images in Canny algorithm.
- 3- Hough Transform was used for the automatic extraction of lines. This advantage of this method is that it does not consider gaps between lines and thus helps to detect faults.
- 4- The rose diagram shows the dominant directions of fault from the North West to South East in the same direction of main faults of Urumieh -Dokhtar belt. It confirms the influence of main faults on the porphyry copper mineralization.
- 5- 77.2% of mineral indices were located in areas with high density of faults, and it confirmed the association of structural factors with the mineralization.
- 6- The 63% compliance of extracted alignment of algorithm with geological faults indicates the correctness of process.

References

- Argialas, D., Mavrantza, O.D., Polytechniou H., 2004. Comparison of Edge Detection and Hough Transform Techniques for the Extraction of Geologic Features. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, p. 790–795.
- Biswas, R., Sil, J., 2012. An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Type-2 Fuzzy Sets. *Procedia Technology*, 4, 820–824. DOI:10.1016/j.protcy.2012.05.134.
- Charnpratheep, K., Zhou, Q., Garner, B., 1997. Preliminary landfill site selecting using fuzzy geographical information systems. *Waste Management & Research* 15, 197–215.
- Chowdary, V.M., Ramakrishnan, D., Srivastava, Y.K., Chandran. V., Jeyaram, A., 2009. Integrated water resource development plan for sustainable management of mayurakshi watershed, India using remote sensing and GIS. *Water Resources Management* 23, 1581–1602. DOI:10.1007/s11269-008-9342-9.
- Cooper, S. M., 2010. Potential field Investigation of the Liberia Basin , West Africa. *Journal of American Science* 6, 199–207.
- Duda, R. O., Hart. P.E., 1972. Use of the {H}ough transform to detect lines and cures in pictures. *Communications of the Association Computing Machinery* 15, 11–15. DOI:10.1145/361237.361242.
- Fitton, N. C., Cox, S. J. D., 1998. Optimising the application of the Hough transform for automatic feature extraction from geoscientific images. *Computers & Geosciences* 24, 933–951. DOI:10.1016/S0098-3004(98)00070-3.
- Karantzalos, K., Argialas, D., 2006. Improving edge detection and watershed segmentation with anisotropic diffusion and morphological levellings. *International Journal of Remote Sensing* 27, 5427–5434. DOI:10.1080/01431160600944010.
- Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., 2016. Satellite data processing in order to identify sodium and calcium bentonite deposits in eastern Iran. *Advanced Applied Geology* 6, 84–96. DOI:10.22055/AAG.2016.12636.
- Krishnamurthy, J., Venkatesa Kumar, N., Jayaraman, V., Manivel, M., 1996. An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and a geographical information system. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1867–1884. DOI:10.1080/01431169608948744.
- Lee, M., Morris, W., Harris, J., Leblanc, G., 2012. An automatic network-extraction algorithm applied to magnetic. *The Leading Edge*. No. January. p. 26–31.
- Masoud, A. A., Koike, K., 2011. Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66, 818–832. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2011.08.003.
- Mukherjee, S., 1999. Microzonation of seismic and landslide prone areas for alternate highway alignment in a part of western coast of India using remote sensing techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 27, 81–90. DOI:10.1007/BF02990804.
- Rahnama, M., Gloaguen, R., 2014. TecLines: A MATLAB-Based Toolbox for Tectonic Lineament Analysis from Satellite Images and DEMs, Part 1: Line Segment Detection and Extraction. *Remote Sensing* 6, 5938–5958. DOI:10.3390/rs6075938.
- Sanjay, P.R., Naoghare, M.M., 2015. Review on Determination of Edges by Automatic Threshold Value Generation. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* 4, 58–66.
- Şener, Ş., Sener, E., Karagüzel, R., 2011. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: A case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 173, 533–554. DOI:10.1007/s10661-010-1403-x.
- Wladis, D., 1999. Automatic Lineament Detection Using Digital Elevation Models with Second Derivative Filters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 65, 453–458.
- Zhang, L., Wu, J., Hao, T., Wang, J., 2006. Automatic lineament extraction from potential-field images using the Radon transform and gradient calculation. *Geophysics* 71, 31–40.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Mohammadpour, M., Alahveisi, K., Bahroudi, A., 2020. Automatic lineament extraction from ASTER images using the Hough transform, *JabalBarez* 1:100000 sheet. *Adv. Appl. Geol.* 9(4), 374–391.

DOI: 10.22055/aag.2019.25774.1850

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15065.html?lang=en

استخراج اتوماتیک خطواره‌های زمین‌شناسی از تصاویر ASTER با استفاده از تبدیل هاف، برگه

۱۰۰۰۰۰:۱ اقبال بارز

محی الدین محمدپور

دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

خالد اله ویسی

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

عباس بحرودی*

دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دانشکده علوم زمین، دانشگاه کلگری، کلگری، کانادا

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸

*bahroudi@ut.ac.ir

چکیده

منطقه جبال بارز در کمربند ماگمایی ارومیه - دختر قرار دارد و کانه‌زایی‌های مس پورفیری موجود در منطقه ارتباط زیادی با گسل‌ها و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی دارند. تعداد و محل شکستگی‌ها و خطواره‌ها، راهنمای مناسبی برای اکتشاف کانه‌زایی مس پورفیری می‌باشند. در این تحقیق از یک الگوریتم تمام اتوماتیک جهت استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای ASTER استفاده شد، بطوریکه مهمترین هدف این الگوریتم، شناسایی دقیق لبه‌ها و نرخ خطای کم است. برای بهبود تشخیص لبه، حالت بهینه الگوریتم کنی و برای آشکارسازی خطواره‌ها، تبدیل هاف اعمال شد، در نهایت پس از بررسی بر روی خطواره‌های تعیین شده، گسل‌های نهایی و مرتبط با کانه‌زایی شناسایی و نقشه آن تهیه شد. با توجه به نمودار رزیدیاگرام دو سیستم گسله بارزسازی شد که سیستم گسله اصلی دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد و سیستم گسله با امتداد شمالی = جنوبی سهم ناچیزی از کل شکستگی‌های منطقه را تشکیل می‌دهد. نقشه چگالی گسل‌ها، منطقه را از نظر کانه‌زایی مس پورفیری پر پتانسیل ارزیابی کرد. برای بررسی موفقیت‌سنجی تصاویر ASTER در استخراج عوارض خطی و گسل‌های منطقه، این گسل‌ها با گسل‌های نقشه زمین‌شناسی مقایسه شد که ۶۳/۰۵ درصد از آنها با گسل‌های زمین شناسی همپوشانی داشتند.

کلمات کلیدی: گسل، مس پورفیری، استخراج اتوماتیک خطواره، تشخیص لبه، الگوریتم کنی، تبدیل هاف، جبال بارز

مقدمه

نسبت به عکس‌های هوایی اطلاعات بیشتری را در اختیار ما قرار می‌دهند (Rahnama and Gloaguen, 2014a).

از دیدگاه پردازش تصاویر، مسئله آشکارسازی خطواره‌ها، عبارت است از آشکارسازی پاره‌خط‌های مستقیم در تصاویر ماهواره‌ای که معرف خطواره‌ها باشند (Karimpouli 2016). برای تشخیص خطواره‌ها سه روش بصری، نیمه اتوماتیک و اتوماتیک وجود دارد (Rahnama and Gloaguen, 2014a; Karimpouli 2016). روش بصری، معمولترین روش تشخیص خطواره است (Karimpouli 2016). در این روش با بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای توسط یک زمین‌شناس باتجربه، و همچنین پی جویی صحرایی و بررسی زمین‌شناسی منطقه، شکل کاملی از خطواره‌ها، بر روی نقشه رسم می‌شود (Rahnama and Gloaguen, 2014a). در روش‌های نیمه اتوماتیک از فیلترهایی همچون استارت، سوبل، کنی، فیلترهای مورفلوژیکی و الگوریتم ادیسون استفاده می‌شود اما این روش نیز مانند روش بصری، به تجربه و تخصص کاربر نیاز دارد. (Gustafsson, 1994; Rahnama and Gloaguen, 2014b). در روش‌های اتوماتیک، خطواره‌ها بطور کاملاً اتوماتیک تعیین می‌شوند. در این روش از الگوریتم‌های تعیین عوارض خطی، همچون تبدیل هاف و رادون استفاده می‌شود. موفقیت استخراج اتوماتیک خطواره‌ها بستگی به قابلیت اطمینان و دقت مکانیزم

شناسایی و استخراج خطواره‌ها معمولاً برای تعیین مکان مناسب سازه‌ها از قبیل سدها، پل‌ها و جاده‌ها (Charnpratheep et al., 1997; Mukherjee, 1999; Şener et al., 2011) منابع آب و تحقیقات هیدروژئولوژی (Krishnamurthy et al., 1996; Chowdary et al., 2009; Mohammadzadeh et al., 2017) و اکتشافات معدنی (Cooper, 2010; Lee et al., 2012; Nakini et al., 2016) بسیار زیادی دارند. عدم دسترسی به بعضی مناطق و همچنین نیاز به صرف هزینه و زمان بسیار برای مطالعه مناطق وسیع، محققان را به استفاده هر چه بیشتر از تصاویر ماهواره‌ای در زمینه‌های زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی وادار می‌کند (Karimpour and Malekzadeh Shafaroudi, 2016). با انتشار اولین تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال ۱۹۷۲، استفاده از علم دورسنجی در مطالعات زمین افزایش یافت، و امروزه این تصاویر به صورت گسترده جهت مطالعات زمین‌شناسی به کار می‌روند (Rangzan et al., 2017). تصاویر ماهواره‌ای از طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس به دست می‌آیند، به همین دلیل به عنوان بهترین ابزار برای تشخیص و تفکیک خطواره‌ها در نظر گرفته می‌شوند، و

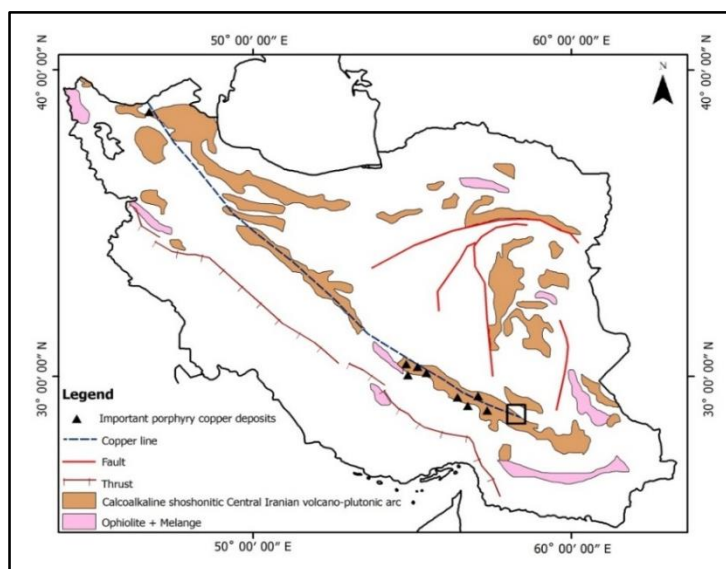
تجربه کاربر در استخراج خطواره‌های زمین‌شناسی و مرتبط با کانه‌زایی دخیل می‌باشد. این روش نسبت به روش بصری سریعتر و دقیق‌تر می‌باشد اما نسبت به روش تمام اتوماتیک زمان اجرا و میزان خطا بیشتر می‌باشد (Gustafsson, 1994; Rahnema and Gloaguen, 2014b). به همین دلیل، در این تحقیق سعی شده است که از حالت بهینه الگوریتم کنی و تبدیل هاف خطی به عنوان یک روش تمام اتوماتیک، برای آشکارسازی خطواره‌های زمین‌شناسی استفاده شود، بطوریکه اولین و مهمترین هدف آن نرخ خطای کم است و لبه‌ها در آن بخوبی شناسایی شوند. برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جبال بارز از لحاظ کانه‌زایی‌های مس پورفیری دارای اهمیت می‌باشد و این کانی‌سازی‌ها ارتباط زیادی با گسل‌ها و ساختارهای تکتونیکی دارند. تعداد و محل شکستگی‌ها و خطواره‌ها، راهنمای مناسبی برای اکتشاف کانه‌زایی مس پورفیری در این منطقه می‌باشند. بنابراین الگوریتم پیشنهادی بر روی تصویر سنجنده ASTER حاصل از منطقه جبال‌بارز، اجرا می‌شود.

منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه، برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جبال بارز می‌باشد که در محدوده طول‌های جغرافیایی $58^{\circ}00'00''$ تا $58^{\circ}30'00''$ و عرض‌های جغرافیایی $28^{\circ}30'00''$ تا $29^{\circ}00'00''$ در جنوب شرق ایران و استان کرمان واقع شده است. شهر جبال‌بارز در حدود ۴۶ کیلومتری شمال شهر جیرفت و در راه اصلی جیرفت - کرمان و در خاور بخش جبال‌بارز قرار دارد. شکل ۱ موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه را در ایران نشان می‌دهد. در این تحقیق از تصاویر سنجنده ASTER ماهواره TERRA مربوط به سال ۲۰۰۷. به علت قدرت تفکیک مکانی (۱۵ متر) و طیفی بالا و همچنین کاربرد وسیع این تصاویر خصوصاً در زمین‌شناسی و تفکیک آلتراسیون‌ها که خود از مهمترین شاخصه‌های کانی‌سازی‌های مختلف محسوب می‌شود، استفاده شده است.

تشخیص لبه دارد (Wladis, 1999; Karantzalos and Argialas, 2006) روش‌های اتوماتیک منجر به صرفه‌جویی در وقت و عینیت بهبود فرایند استخراج خطواره می‌شوند (Masoud and Koike, 2011; Rahnema and Gloaguen, 2014b). همچنین خطواره‌هایی را که با چشم قابل رویت نیستند می‌توان شناسایی کرد (Sarp, 2005). روش‌های اتوماتیک استخراج خطواره‌ها، بجای استخراج مستقیم کنتورهای لبه، به برجسته کردن پیکسل‌های لبه در تصویر می‌پردازد (Masoud and Koike, 2011; Rahnema and Gloaguen, 2014b). در تحقیقات مختلف از روشهای مختلفی در جهت استخراج خطواره‌ها استفاده شده است. Zhang و همکاران (۲۰۰۶) از تبدیل رادون برای استخراج اتوماتیک خطواره‌ها استفاده کردند. Sil و Biswas (۲۰۱۲)، الگوریتم تشخیص لبه کنی بهبود یافته را جهت شناسایی خطوط و بارز کردن عکس‌ها بر روی تصویر اعمال نمودند. Rani و Sharma (۲۰۱۲)، برای بارزسازی خطوط بیضی در اجسام مختلف، الگوریتم کنی را بکار بردند. Rahnema و Gloaguen (۲۰۱۴) آنالیز خطواره‌ها را بر روی تصاویر ماهواره‌ای و تصویر مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با استفاده از روش تبدیل هاف اجرا نمودند. Sanjay و Naoghare (۲۰۱۵) از روش کنی با بکارگیری دو حد آستانه در بارزسازی خطوط استفاده کردند. در بین روش‌های متنوعی که برای استخراج خطواره‌ها وجود دارد، روش‌هایی که بر اساس تلفیقی از فیلترهای آشکارساز لبه و تبدیل هاف هستند، بهترین نتیجه را ارائه می‌کنند (Fitton and Cox 1998; Argialas et al., 2004; Karimpouli 2016).

با توجه تحقیقات انجام شده، برای اجرای روش سنتی به زمان زیادی احتیاج است و امکان خطا به دلیل تخمینی و تجربی بودن روش زیاد است. برای کاهش این خطا و به منظور صرف زمان کمتر و رسیدن به نتایج دقیق و واقعی‌تر روش‌های استخراج نیمه خودکار و خودکار، کاربر را در تشخیص هر چه دقیق‌تر خطواره‌ها کمک می‌کنند. در روش‌های نیمه خودکار، گرچه لبه‌ها بعضاً با دقت بالایی استخراج می‌شوند اما همانند روش بصری تخصص و



شکل ۱- موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق ایران و کمربند آتشفشانی سهند بزمان

Fig. 1. Location of the studied area in the southeastern of Iran and Sahand-Bazman volcanic belt.

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

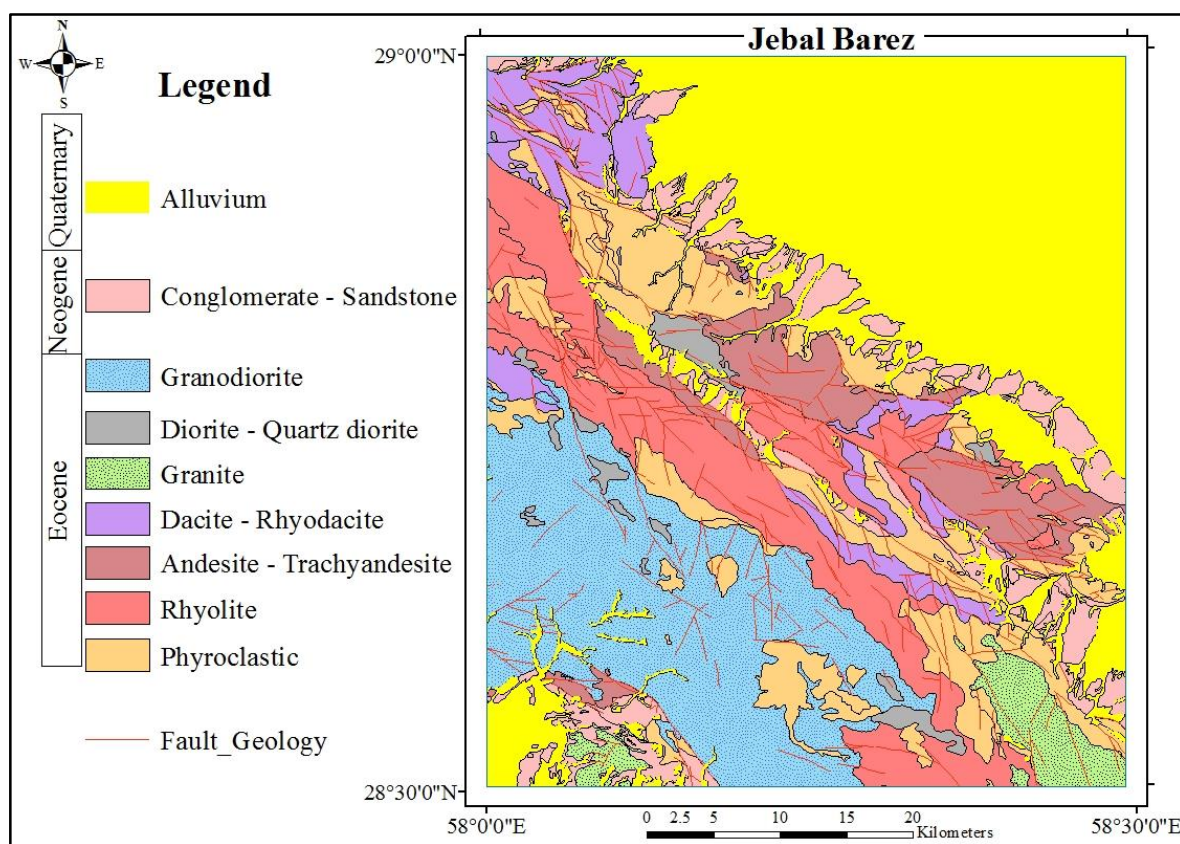
به طور کلی تاریخچه مطالعات زمین شناسی برگه جبال بارز و تهیه نقشه زمین شناسی آن به انجام طرح اکتشافات معدنی شهر بایک تا حنا توسط کارشناسان کشور یوگسلاوی سابق در سال ۱۹۷۳ میلادی برمی گردد (Beograd-Yugoslavia, 1973). منطقه جبال بارز بخشی از کمربند آتشفشانی سهند - بزمان را تشکیل می دهد، این کمربند آتشفشانی بصورت رشته کوهی است که از سنگ های آذرین و آذرآواری بیرونی و درونی تشکیل شده است. که در شرق کوه های زاگرس و موازی با آن قرار دارد و با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی از کوه سهند در آذربایجان تا کوه بزمان در بلوچستان در جنوب شرق ایران کشیده شده است (شکل ۱). این رشته کوه عمدتاً در فازهای آتشفشانی و دوره ترشیاری و فازهای آتشفشان خیزی و پولوتونیک دوره ائوسن تشکیل شده است. فعالیت های آتشفشانی در منطقه جبال بارز از اواخر دوره کرتاسه شروع شده و در دوره ائوسن به اوج خود رسیده است.

این منطقه را از نظر زمین ریخت شناسی می توان به دو محدوده مجزا با روند شمال غربی - جنوب شرقی تقسیم نمود. بخش بالایی منطقه جزئی از دشت بزم می باشد که با ضخامت قابل ملاحظه ای از قله سنگ ها و رسوبات عهد حاضر پوشیده شده است. بخش پایینی برگه نیز که جزئی از حوزه ساختاری کوه های جبال بارز محسوب می شود، عمدتاً متشکل از سنگ های آذرین خروجی و درونی می باشد (Beograd-Yugoslavia, 1973). دگرسانی های منطقه بیشتر در اطراف توده های نیمه عمیق و شکستگی های

اصلی به وجود آمده اند. از دگرسانی های موجود در محدوده می توان به انواع پروپلیتیک، آرژلیک، سیلیسی، کواتز سیلیسی، پتاسیک، آلونیتی و اکسیدی اشاره کرد. در مناطقی که واحدهای آندزیتی تحت تأثیر محلول های هیدروترمال قرار گرفته اند، بیشتر دگرسانی پروپلیتیک دیده شده است.

فعالیت های آتشفشانی در منطقه جبال بارز از اواخر دوره کرتاسه شروع شده و در دوره ائوسن به اوج خود رسیده است. در دوره ائوسن و در اثر فعالیت های آتشفشانی شدید در شرایط کششی پوسته زمین، مقادیر زیادی از رسوبات آذرآواری و میان لایه های گدازه ای تشکیل شده اند. اکثر واحدهای آذرآواری بصورت لایه ای بوده و توالی و نوع رسوب گذاری نشان می دهد که محیط رسوب گذاری نیمه عمیق بوده و ضخامت زیاد رسوبات دلالت بر وجود فرونشست در طی رسوب گذاری و تشکیل سیستم گسله در منطقه دارد. طبق پژوهش های Ghomian (۲۰۰۰) منطقه جبال بارز از نظر زمین ساختی دارای دو سیستم گسله اصلی یکی با امتداد شمال غربی و دیگری با امتداد شمال شرقی تشخیص داده شده است. به طور کلی وضعیت ساختاری در این منطقه به دلیل چین خوردگی ها و گسل خوردگی های متعدد و همچنین در اثر توده های نفوذی بسیار پیچیده است.

منطقه جبال بارز از نظر متالوژنیک بخشی از کمربند مس ایران مرکزی است. این کمربند به دلیل داشتن کانی زایی مس و همچنین به صورت محدودتر کانی زایی سرب و روی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. در شکل ۲ نقشه زمین شناسی منطقه جبال بارز نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه جبال بارز برگرفته از (Beograd-Yugoslavia, ۱۹۷۳).

Fig. 2. Geological map of Jabal-Barez area. Retrieved from Beograd-Yugoslavia (1973).

روش کار

هدف از این تحقیق ارائه روشی بهینه جهت استخراج هر چه دقیق تر خطوطاره‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است از حالت بهینه الگوریتم کنی و تبدیل هاف خطی برای آشکارسازی خطوطاره‌ها استفاده شود، الگوریتم پیشنهادی شامل چندین مرحله می‌باشد که در محیط متلب پیاده‌سازی شده است، که مراحل اجرای روش در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ابتدا بر روی تصویر ماهواره‌ای پیش پردازش‌های رادیومتریک و هندسی انجام می‌شود، پس از آن تصویر با استفاده از روش کشش کنتراست، بارزتر (آشکارتر) می‌شود این عملیات جهت نرم سازی و کاهش نویز در تصویر انجام می‌شود، و تصویر مناسبی جهت اعمال فیلتر کنی فراهم می‌شود، در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم کنی، لبه‌های تصویر شناسایی می‌شود، سپس با اعمال حدود آستانه‌ای به روش هیستریسیس از ورود لبه‌های کاذب به مرحله بعد جلوگیری به عمل آورده و در مرحله تشخیص خطوط از تبدیل هاف استفاده می‌شود و سپس در مرحله پست پردازش ابتدا خطوطاره‌های زمین ساختی، بارزسازی می‌شود و پس از آن ارتباط تکنیکی منطقه با کانه‌زایی مس پورفیری مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۳). در ادامه نحوه اعمال الگوریتم‌ها و مراحل اجرای تحقیق تشریح می‌گردد.

اولین مرحله پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای انجام تصحیحات رادیومتریک می‌باشد. تصحیح رادیومتریک شامل تصحیح خطای سنجنده و اتمسفریک است. در تصحیح اتمسفریک هدف تبدیل داده‌های رادیانس به

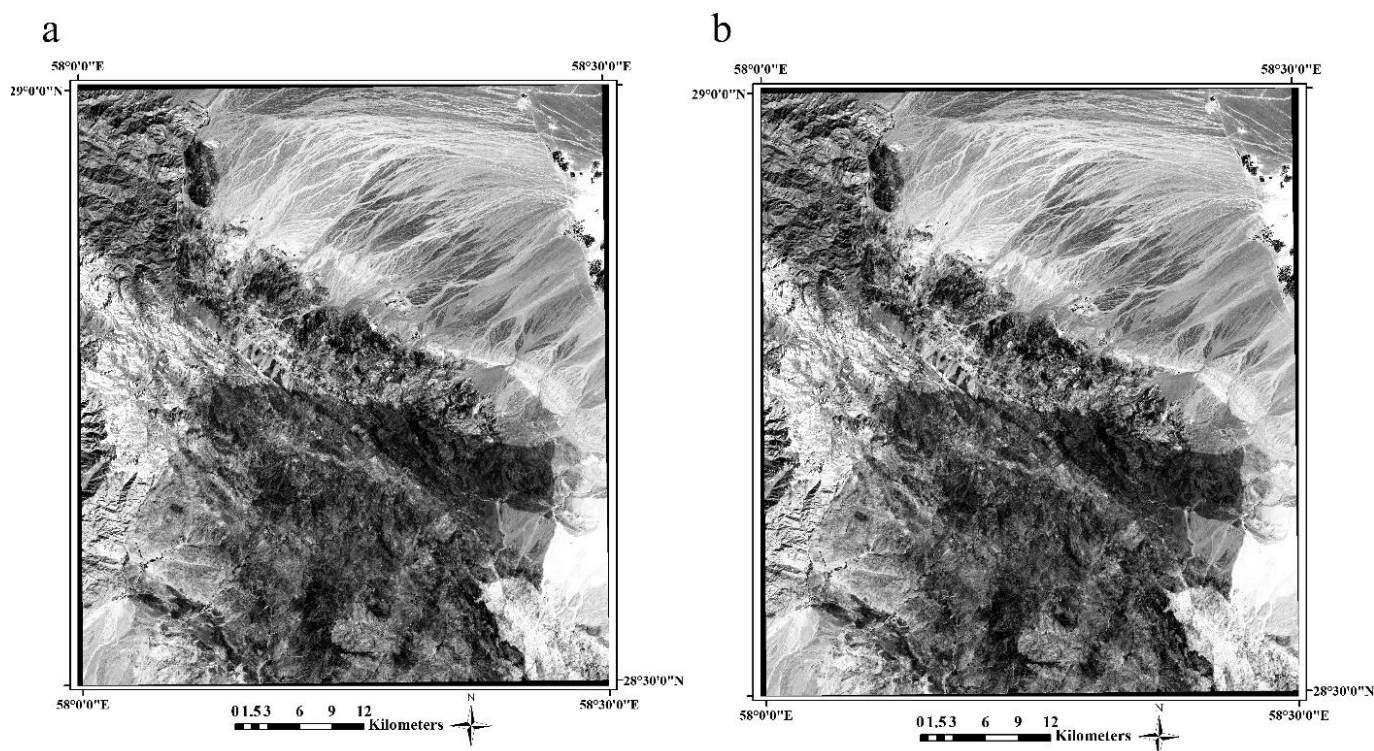
بازتابش یا میزان انرژی منعکس شده از هدف، قبل از عبور از اتمسفر می‌باشد. تصمیم‌گیری در مورد انجام این مرحله به روش پردازش داده‌ها یا نوع داده‌ها بستگی دارد. روش کالیبراسیون بازتابش متوسط نسبی داخلی (IARR) برای نرمالایز کردن تصویر با استفاده از یک طیف میانگین تصویر به کار گرفته شده است که این روش اثرات ویژه‌ای را برای تبدیل داده‌های طیفی به بازتابی دارد (Tuominen and Lipping, 2011). این تصحیح توسط نرم‌افزار ENVI انجام شده است و تصاویر با تصحیح IARR به عنوان تصویر ورودی برای پردازش مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تصحیح هندسی

تصحیح هندسی فرایند تبدیل داده‌ها از یک سیستم شبکه‌ای به سیستم شبکه‌ای دیگر با استفاده از معادلات تبدیل می‌باشد. تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای برای جبران خطا و اعوجاج ایجاد شده در تصاویر همچون تغییر در ارتفاع و سرعت ماهواره، جابه جایی پستی و بلندی‌ها و دیگر فاکتورها به کار می‌رود. فرایند تصحیح هندسی در سه مرحله زیر صورت می‌پذیرد:

- تعیین نقاط کنترل زمینی
- محاسبه یک ماتریس تبدیل
- نمونه برداری مجدد و ایجاد یک تصویر با سیستم مختصات جدید (Richter, 2003).

تصویر ماهواره ASTER با نقاط کنترلی زمینی، تصحیح شد. شکل ۴ تصویر منطقه مورد مطالعه را قبل و پس از اعمال تصحیحات نمایش می‌دهد.



شکل ۴- تصویر باند ۱ ماهواره ASTER از منطقه مورد مطالعه، (a) قبل از تصحیحات و (b) پس از تصحیحات.
Fig. 4. ASTER satellite band 1 image of the study area, (a) before corrections, (b) after corrections.

پردازش و بارزسازی تصویر

مجموعه عملیات و پردازش‌هایی را که سبب بارزسازی پدیده‌ها و عوارض مورد مطالعه از سایر پدیده‌های درون تصویر می‌شود، بارزسازی می‌گویند. در این تحقیق بعد از تصحیحات رادیومتریک و هندسی تصویر، تکنیک‌های بارزسازی مکانی بر روی تصویر صورت گرفت.

کشش کنتراست

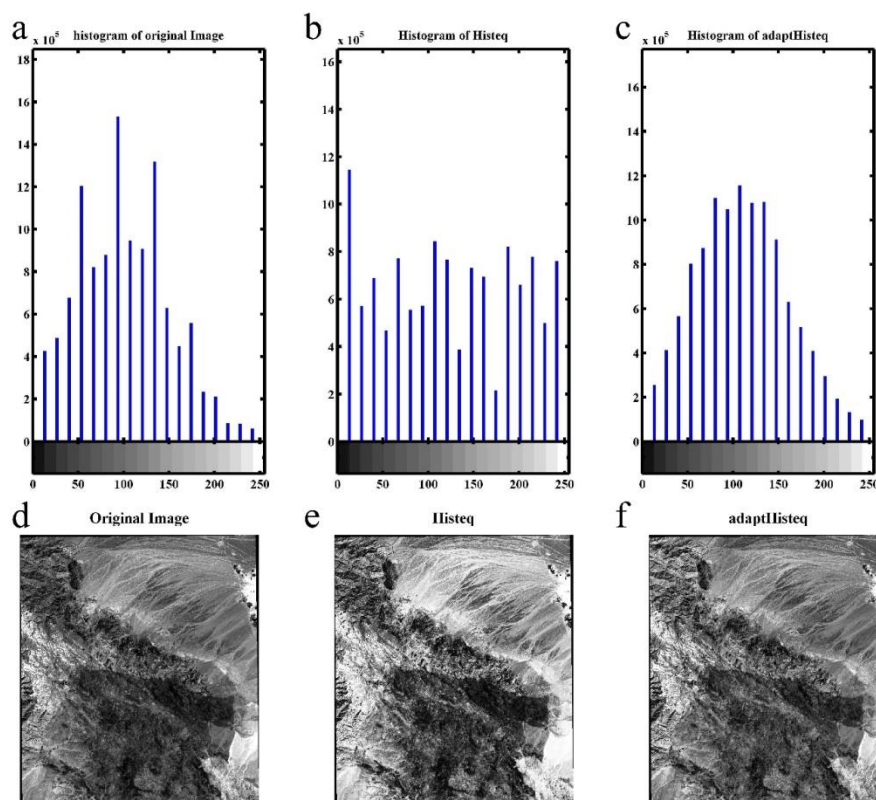
اغلب سامانه‌های پردازش تصویر از یک دامنه دینامیکی متشکل از هشت بیت در هر کانال سود می‌برند که در آن تون‌های خاکستری از رنگ سیاه (برابر صفر) تا رنگ سفید (برابر ۲۵۵) تغییر می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای به ویژه آن دسته از تصاویر که در طول موج‌های مرئی برداشت شده‌اند اغلب دامنه دینامیکی کوچکی دارند خصوصاً زمانی که میزان تابش خورشید کم باشد. برای تفسیر بهتر تصاویر، خواه بر روی صفحه نمایشگر یا بصورت تصویر چاپ شده، اطلاعات رقومی اولیه باید به شکلی تبدیل شوند که تمامی دامنه دینامیکی سامانه را بکار گیرند. این فرایند کشش کنتراست نام دارد (Gonzalez and Woods, 2008).

کاربر می‌تواند با تغییر متقابل حدود بالایی و پائینی مقادیر و جابجایی موقعیت میانگین، بطور غیرخودکار به انجام کشش کنتراست بپردازد. در برخی از سامانه‌ها، کشش بصورت بخش‌های ترکیبی انجام می‌پذیرد. اغلب

سامانه‌های پردازش تصویر از انواع کشش‌های خودکار مبتنی بر انواع توزیع‌های استاندارد نظیر توزیع‌های گوسی، همسان‌سازی و غیره بهره می‌گیرند (Gonzalez and Woods, 2008).

تعدیل هیستوگرام

یکی از روش‌های کشش کنتراست، تعدیل هیستوگرام می‌باشد، که یکی از کاربردهای پردازش هیستوگرام در افزایش کنتراست تصاویر با کنتراست پایین است. زمانی که گفته می‌شود کنتراست تصویری کم است این بدان معنا است که اختلاف بین کمترین و بیشترین شدت روشنایی تصویر کم است. تعدیل سازی هیستوگرام موجب می‌شود که کنتراست تصویر ورودی تا حد ممکن افزایش یابد و این به معنای بهبود کیفیت تصویر و نیز افزایش دقت پردازش‌های بعدی است (Gonzalez and Woods, 2008). روش‌های متنوعی برای تعدیل هیستوگرام تعریف شده‌اند که تمام این روش‌ها به این صورت عمل می‌کنند. در این تحقیق ابتدا از روش تعدیل هیستوگرام استفاده شد اما با توجه به هیستوگرام (شکل ۵b)، این تعدیل مناسب نبود. بنابراین تعدیل هیستوگرام تطبیقی به کار برده شد که هیستوگرام حاصل از این روش توزیع نرمال دارد، همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود تصویر پس از اعمال روش تعدیل هیستوگرام تطبیقی وضوح بیشتری دارد.



شکل ۵- هیستوگرام تصویر و تصویر منطقه مورد مطالعه پس از اعمال الگوریتم تعدیل هیستوگرام، (a) هیستوگرام توزیع تصویر خام، (b) هیستوگرام توزیع تصویر بعد از اعمال الگوریتم تعدیل هیستوگرام، (c) هیستوگرام توزیع تصویر بعد از اعمال الگوریتم تعدیل هیستوگرام تطبیقی، (d) تصویر خام، (e) تصویر منطقه مورد مطالعه بعد از اعمال الگوریتم تعدیل هیستوگرام و (f) تصویر منطقه مورد مطالعه بعد از اعمال الگوریتم تعدیل هیستوگرام تطبیقی.

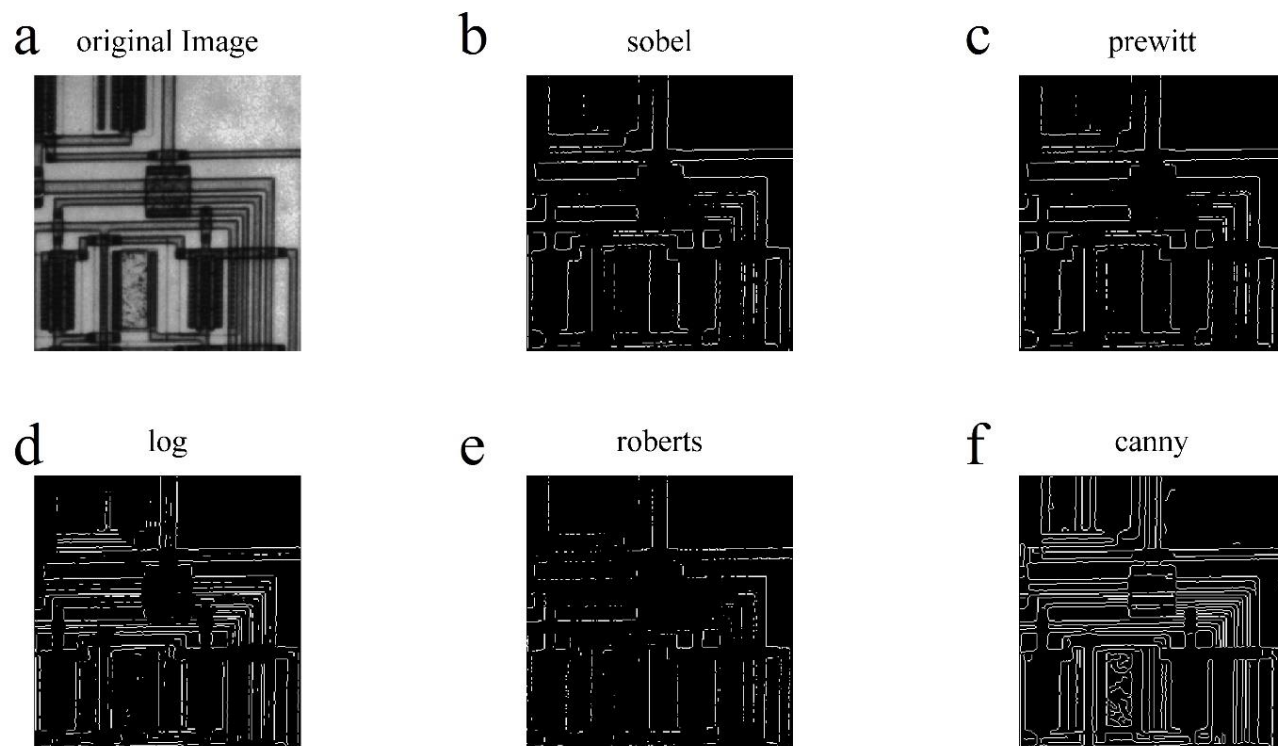
Fig. 5. Histogram of the image and image of the studied area after applying the histogram equalization algorithm, (a) the raw image distribution histogram, (b) distribution of the image histogram after applying the histogram equalization algorithm, (c) the image distribution histogram after applying the adaptive histogram equalization algorithm, (d) raw image, (e) the image of studied area after applying the histogram equalization algorithm, and (f) the image of the studied area after applying the adaptive histogram equalization algorithm.

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

آنالیز مؤلفه‌های اصلی تبدیلی در فضای برداری است که غالباً برای کاهش حجم داده‌ها به کار برده می‌شود. این تحلیل شامل تجزیه مقادیرهای ویژه ماتریس کواریانس و یا ماتریس ضرایب همبستگی است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی، یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید انتقال می‌دهد، به طوریکه بزرگترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و به همین ترتیب بقیه واریانس‌ها به ترتیب حول محورهایی با مقادیر ویژه کمتر قرار می‌گیرند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده که بیشترین تأثیر را در واریانس دارند، حفظ می‌شوند (Jolliffe, 2002). بنابراین با توجه به تنوع طیفی تصاویر در سنجنده ASTAR، آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی این تصاویر اجرا شد و از PC1 که دارای بزرگترین واریانس داده می‌باشد برای استخراج خطواره‌های زمین‌شناسی استفاده شد.

تشخیص لبه

انسان می‌تواند بسیاری از اشیاء را از روی تصویر خطوط آنها شناسایی کند، سیستم بینایی انسان قبل از بازشناسی رنگ یا شدت روشنایی، نوعی



شکل ۶- اعمال الگوریتم‌های مختلف تشخیص لبه بر روی داده‌های تصویر مصنوعی (a) تصویر خام، (b) الگوریتم سوبل، (c) الگوریتم پریویت، (d) الگوریتم لاگ، (e) الگوریتم رابرتز و (f) الگوریتم کنی.

Fig. 6. Applying different edge detection algorithms on artificial image data, (a) raw image, (b) sobel algorithm, (c) prewitt algorithm, (d) Log algorithm, (e), Roberts algorithm, and (f) CANNY algorithm.

الگوریتم کنی

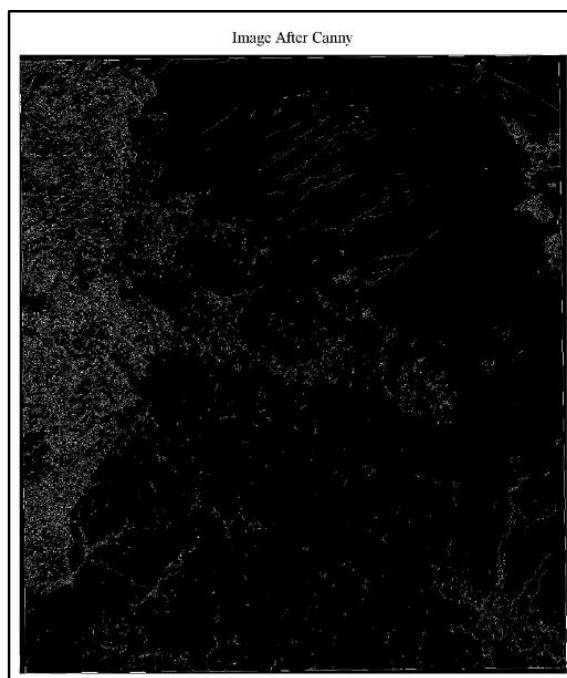
الگوریتم کنی در سال ۱۹۸۶ مطرح شد (Canny, 1986) و با استقبال شدید صاحب نظران و استفاده کنندگان روبرو شد. هم اکنون الگوریتم کنی به عنوان یک آشکارساز در صنعت به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. مراحل آشکارسازی خطوط با توسط الگوریتم کنی شامل چند مرحله می باشد، که به گام های زیر تقسیم می شود (Sanjay and Naoghare, 2015).

- نرم سازی و کاهش نویز
- محاسبه توزیع اندازه گرادیان تابع شدت در تصویر
- محاسبه جهت لبه های احتمالی
- جست و جوی پیکسل هایی که در امتداد واقعی قرار دارند
- آستانه گذاری

در الگوریتم کنی برای شناسایی و بارز کردن لبه های موجود در تصویر، ابتدا تصویر نرم می شود بدان معنی که نویز تصویر را حذف می کنند. سپس گرادیان تصویر محاسبه می شود تا نواحی با تغییرات بالا (مشتقات مکانی بالا)

شناسایی شود. سپس الگوریتم در طول این نواحی حرکت می کند تا از ورود هر پیکسلی که گرادیانش ماکزیمم نباشد جلوگیری کند (یافتن ماکزیمم محلی). در مرحله بعد، از مفهوم هیسترسیس استفاده می شود. هیسترسیس از دو حد آستانه بالا و پایین استفاده می کند و اگر اندازه و مقدار شدت در پیکسل از حد آستانه اول (حد پایینی) کوچکتر باشد، مقدارش صفر قرار داده می شود (به عنوان لبه محسوب نمی شود). اگر مقدارش بین دو حد آستانه بود، مقدارش صفر می شود، مگر اینکه یک مسیر (اتصال) از این پیکسل به پیکسل دیگر با گرادیان بالاتر از حد آستانه دوم (حد بالا) وجود داشته باشد و اگر مقدار پیکسل از حد آستانه بالا بیشتر باشد، آن پیکسل را به عنوان لبه (خط) در نظر می گیرد (Juneja and Sandhu, 2009; Hejazi and Amin, 2010; Sanjay and Naoghare, 2015; Wang and Li, 2015).

در مطالعه حاضر، الگوریتم کنی بر روی تصویر ASTER بارزسازی شده در مرحله قبلی اجرا شد و حد آستانه اول و دوم به ترتیب ۰.۳ و ۰.۹ در نظر گرفته شد. تصویر حاصل از الگوریتم کنی در شکل ۷ قابل مشاهده است.



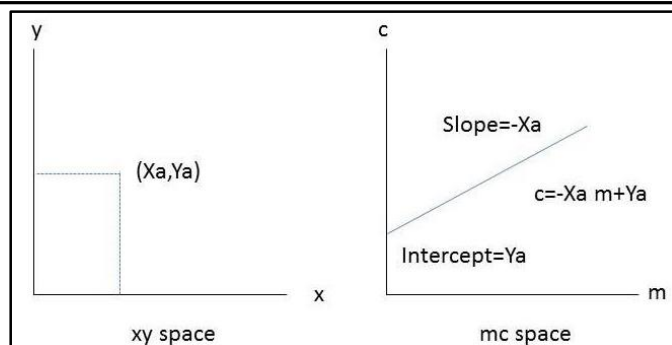
شکل ۷- تصویر حاصل از اعمال الگوریتم کنی.

Fig. 7. The obtained image by applying CANNY algorithm.

محل تقاطع خطوط را نیز پیدا کرد. از مزایای این تکنیک بی تاثیر بودن نویز و گپ ها در خط می باشد (Wang and Howarth, 1990). تبدیل هاف به هر پیکسل اجازه می دهد رای دهد و بخاطر ویژگی های ریاضی تبدیل این رای گیری به کاربر اجازه می دهد خطوط بارز در تصویر را شناسایی نماید. هر خط بوسیله شیب θ و عرض از مبدا p مشخص می شود. با این دو پارامتر می توان خط را بطور کامل بیان کرد. بنابراین فضای پارامتر (فضای mc) به این صورت ساخته می شود. در اینصورت هر خط در فضای XY برابر است با یک نقطه منفرد در فضای mc که بصورت شکل ۸ نشان داده می شود (Esmaeili, 2015).

تبدیل هاف خطی

تبدیل هاف، یک تکنیک جالب و کارآمد برای تشخیص خطوط در تصاویر می باشد (Wang and Howarth, 1990). تبدیل هاف در سال ۱۹۶۲ توسط Hough ابداع شد. و در سال ۱۹۷۲ توسط Hart و Duda تعمیم و گسترش یافت. این تبدیل توسط Ballard (۱۹۸۱)، به عنوان تبدیل هاف تعمیم یافته برای آشکارسازی اشکال مختلف محبوبیت پیدا کرد. تبدیل هاف نه تنها امکان شناسایی خطوط بلکه امکان شناسایی سایر اشکال از جمله دایره و بیضی را نیز فراهم می کند (Wang and Howarth, 1990; Quackenbush, 2004). با استفاده از این تبدیل می توان شیب و



شکل ۸- تبدیل نقطه در فضای XY به خط در فضای پارامتر (Esmaeili 2015).

Fig. 8. Transforming the point in the XY Space to the line in the parametric space (Esmaeili, 2015).

در اینجا (X_1, Y_1) نقطه‌ای است که خط از آن عبور می‌کند. با این تعریف، یک خط در فضای XY برابر است با یک نقطه در فضای $\rho\theta$ ، ولی یک نقطه در فضای XY برابر است با یک منحنی سینوسی در فضای $\rho\theta$ ، با این ایده می‌توان تبدیل هاف را پیاده‌سازی کرد. ایده این است که هر پیکسل رای دهد. بنابراین آرایه‌ای از سلول‌های انباشتگر ایجاد می‌شود. این آرایه دو بعدی است. محور افقی مقادیر مختلف θ می‌باشد و محور عمودی مقادیر ρ را نشان می‌دهد. هاف فقط روی تصاویر با لبه آشکار شده کار می‌کند نه روی تصاویر معمولی و از پیکسل‌های دارای مقادیر صفر صرف‌نظر می‌کند چون آنها نمی‌توانند یک خط باشند (Esmaeili, 2015). هر پیکسل غیر صفر لبه، یک منحنی سینوسی در فضای $\rho\theta$ تولید می‌کند. به این ترتیب که ابتدا θ را 90° درجه در نظر گرفته و مقدار ρ متناظر با آن را محاسبه می‌کند. این مقادیر محاسبه شده به سلول انباشتگر (ρ, θ) رای می‌دهد. سپس مقدار θ یک واحد افزایش یافته ρ متناظر با آن محاسبه می‌شود و مجدداً رای گیری انجام می‌شود. این فرایند تا $\theta = 90^\circ$ انجام گرفته و رای گیری در هر مرحله انجام می‌شود. دلیل استفاده از انباشتگر این است که از یک نقطه بی‌نهایت خط عبور می‌کند و امکان بی‌نهایت اندازه‌گیری وجود ندارد. اکنون یک منحنی سینوسی مانند در فضای $\rho\theta$ برای هر پیکسل وجود دارد. برخی از سلول‌ها تعداد زیادی رای آورده‌اند. نقاطی که به این سلول رای داده‌اند روی خطی با پارامترهای آن سلول قرار دارند به عنوان مثال در شکل ۱۰ دو مکان خیلی روشنتر می‌باشند که دو خط برجسته تصویر را نشان می‌دهند (Wang and Howarth, 1990; Quackenbush, 2004). دقت تبدیل هاف با تعداد سلول‌های انباشتگر رابطه مستقیم دارد. شرح فوق تبدیل هاف استاندارد را تعیین می‌کند.

همانطور که می‌دانید، از یک نقطه تعداد نامحدودی خط عبور می‌کند، بنابراین برای هر خط گذرنده از (X_0, Y_0) ، نقطه‌ای در فضای mc وجود خواهد داشت.

$$Y_0 = mX_0 + c \quad (\text{معادله ۱})$$

معادله ۱ خط گذرنده از (X_0, Y_0) می‌باشد. که می‌توان آنرا بصورت معادله ۲ نیز نوشت.

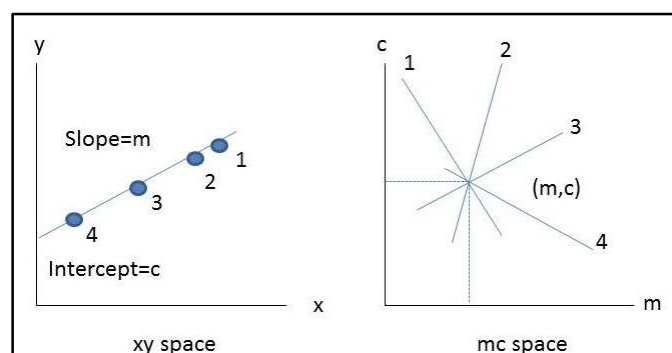
$$C = mX_0 + Y_0 \quad (\text{معادله ۲})$$

رابطه فوق، معادله یک خط در فضای XY معادل یک خط در فضای mc می‌باشد.

یک خط آشکار شده از تصویر را در نظر بگیرید برای هر نقطه غیر صفر روی این خط، خطوط در فضای mc رسم می‌شود. مسلماً برخی از خطوط همدیگر را قطع خواهند کرد. مکان این تقاطع‌ها، پارامترهای خط آشکار شده در فضای XY را نشان می‌دهد (شکل ۹).

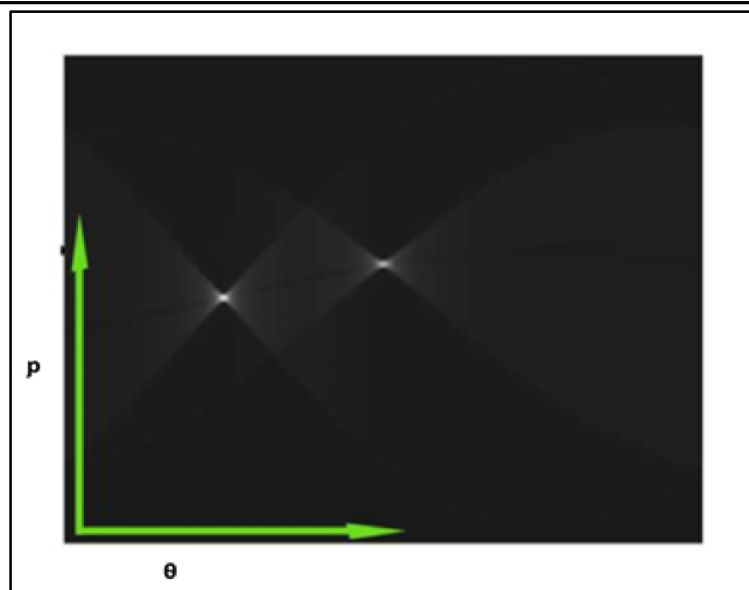
ایده کلی تبدیل هاف به صورتی که در بالا عنوان شد معرفی می‌گردد. اما این تبدیل یک ایراد واضح دارد، اگر شیب خط بی‌نهایت شود این تبدیل عملی نخواهد بود مشکل فوق با استفاده از روش دیگری برای تعیین پارامتر حل می‌شود. یعنی به جای استفاده از شیب و عرض از مبدا خطوط، از بردار نرمال خطوط (بردار عمود بر خط) استفاده شود. در این نمایش یک خط از دو پارامتر تشکیل می‌شود فاصله pp_0 طول بردار نرمال از مبدا تا خط می‌باشد و زاویه θ که زاویه این بردار نرمال با محور x است. در این تعریف θ بین 90° تا -90° و pp_0 صفر تا قطر تصویر می‌باشد در این نمایش معادله خط به صورت معادله ۳ است (Wang and Howarth 1990; Esmaeili 2015):

$$\rho = x_1 \sin \theta - y_1 \cos \theta \quad (\text{معادله ۳})$$



شکل ۹- تبدیل چند نقطه در فضای XY به چند خط در فضای پارامتر (Esmaeili, 2015).

Fig. 9. Transforming the multipoint in the XY Space to the multiline in the parametric space (Esmaeili, 2015).

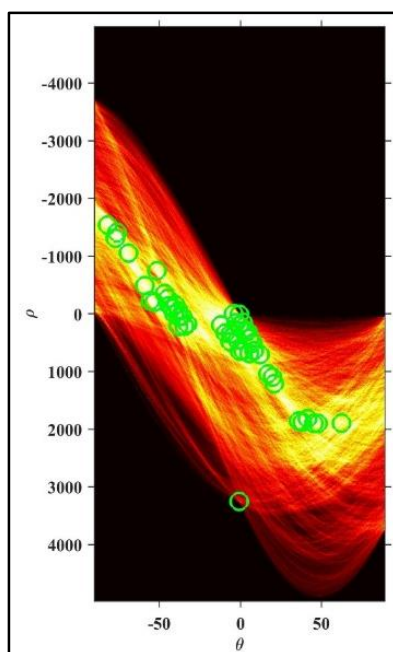


شکل ۱۰- یک نمونه از تبدیل هاف (Esmaeili, 2015).

Fig. 10. An example of Hough transform (Esmaeili 2015).

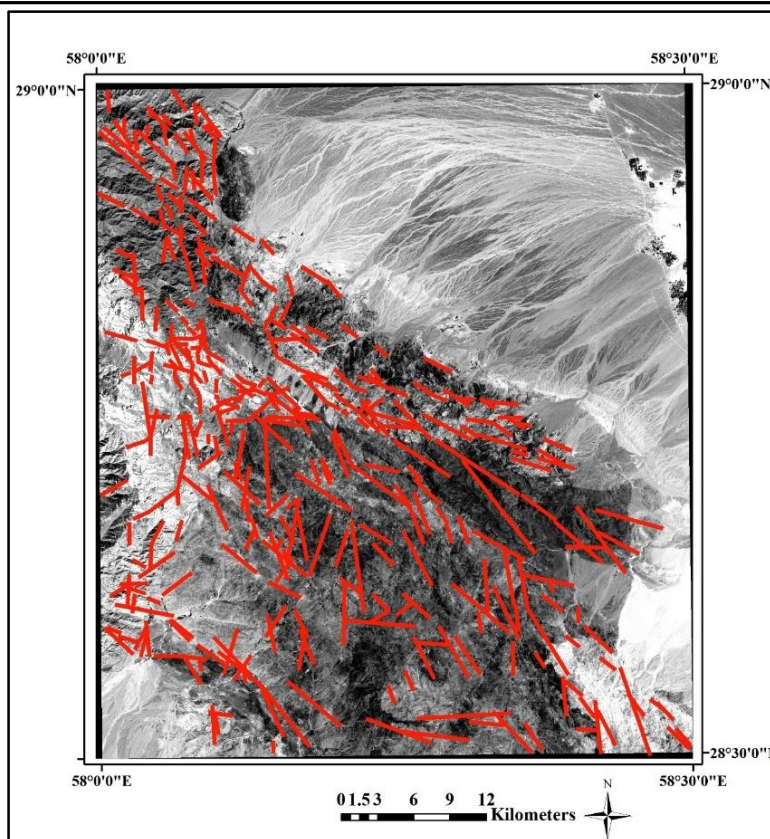
تصویر مانند جاده‌ها، آبراهه‌ها و سایر عوامل غیرساختاری نیست بلکه هدف آشکارسازی خطواره‌های زمین‌شناسی (گسل‌ها) می‌باشد. پس ضرورت دارد که خطواره‌های زمین‌شناسی از سایر خطوط تفکیک شوند. پس از ترسیم خطواره‌ها مشاهده شد که بیشتر خطواره‌های به دست آمده به جاده‌ها و آبراهه‌ها تعلق دارند. برخی با کنتاکت‌های زمین‌شناسی و تعدادی نیز با گسل‌های زمین‌شناسی تطابق نشان می‌دهند. علاوه بر این خطواره‌های پراکنده بسیاری وجود دارد که هدف مورد مطالعه نمی‌باشند. بنابراین یک بررسی بر روی خطواره‌ها انجام شد و خطواره‌های مرتبط با گسل‌های منطقه تعیین و شناسایی شد. نقشه نهایی گسل‌های منطقه استخراج شده از اعمال روش تمام اتوماتیک در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود.

در این تحقیق ابتدا تبدیل هاف بر روی تصویر حاصل از الگوریتم کنی (شکل ۷) محاسبه شده است. همانگونه که اشاره شد نقاط با تبدیل هاف ماکزیمم معرف خطوط برجسته در تصویر هستند. محور عمودی معرف پارامتر ρ و محور افقی پارامتر θ را نشان می‌دهد. پارامترهای مربوط به نقاط دارای مقادیر هاف ماکزیمم در واقع پارامترهای خطوط برجسته تصویر را مشخص می‌کند. نقاط ماکزیمم در شکل ۱۱ قابل مشاهده می‌باشند. بنابراین با اتخاذ یک حدآستانه مناسب می‌توان ρ و θ متناظر با خط‌های تصویر را مشخص نمود. در این تحقیق مقدار حدآستانه‌ای ۳۰ درصد در نظر گرفته شد. بعد از شناسایی خطوط تصویر و بارز کردن این خطوط توسط تبدیل هاف، با توجه به اینکه در کارهای اکتشافات معدنی هدف آشکارسازی کلیات



شکل ۱۱- تبدیل هاف منطقه با استفاده از الگوریتم کنی.

Fig. 11. Hough transform on the image of the studied area after applying CANNY algorithm.



شکل ۱۲- نقشه نهایی گسل‌های منطقه استخراج شده از اعمال روش تمام اتوماتیک با استفاده از الگوریتم تشخیص لبه کنی و تبدیل هاف.

Fig. 12. Final map of the region faults extracted by applying the automatic method using edge detecting CANNY algorithm and Hough transformation.

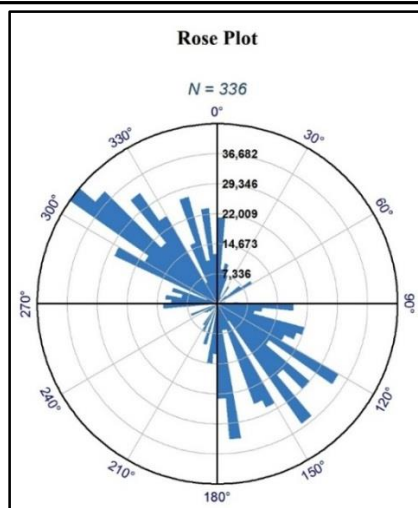
پس پردازش

روش های پس پردازش عمدتاً برای کلیت بخشیدن به خطواره‌های استخراج شده و تبدیل به داده‌های وکتور جهت مرحله اعتبارسنجی بسیار ضروری هستند. یکی از مهمترین مراحل در این بخش انتخاب روش مناسب برای تبدیل خطواره‌ها از رستر به وکتور می‌باشد. بعد از استخراج اتوماتیک خطواره‌ها روش‌های پس پردازش برای تبدیل خطواره‌ها از رستر به وکتور ضروری می‌باشند (Abarca, 2006). خطواره‌ها معمولاً با استفاده از فرکانس یا طول در مقابل هیستوگرام‌های آزیموتی (Mostafa and Karnieli et al., 1996; Zakir, 1996; Zakir et al., 1999) و نقشه‌های چگالی خطواره‌ها (Zakir et al., 1999) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. متداولترین روش محاسبه چگالی خطواره براساس تعداد خطواره‌ها در واحد سطح (number/km²) یا طول کل خطواره‌ها در واحد سطح (km/km²) یا ترکیب هر دو می‌باشد (Abarca, 2006). در این تحقیق با استفاده از نمودار رزیدیاگرام و نقشه توزیع چگالی خطواره‌ها

تعداد خطواره‌ها و جهت غالب آنها مشخص گردیده است که در ادامه نتایج هر یک آورده شده است.

نمودار رز دیاگرام

نمودار رز دیاگرام یک نمودار هیستوگرامی دایره‌ای شکلی است که برای نشان دادن میزان تکرار آزیموت خطواره‌ها که با توجه به طول آنها در نظر گرفته شده بکار می‌رود (Nalbant and Alptekin, 1995). این نمودار در زمین‌شناسی ساختاری برای نمایش جهت گسل‌ها، خطواره‌ها، دایک‌ها به کار می‌رود. نمودار رز دیاگرام همچنین می‌تواند بر حسب تعداد خط‌ها در امتدادی مشخص یا طول کل خط‌ها در جهتی مشخص، استفاده شود. هرچه طول خطواره‌ای بلندتر باشد تأثیر بیشتری بر نمودار رز دیاگرام در جهت آن خطواره می‌گذارد. در واقع میزان تکرار در هر جهت، وابسته به طول خطواره‌ها در آن جهت است. نمودار رز دیاگرام مربوط به محدوده معدنی جبال‌بارز، در محیط Arc map با استفاده از ابزار Polar Plots ترسیم شد که در شکل ۱۳ نشان داده شده است. این شکل غالب بودن گسل‌های منطقه در امتداد شمال غربی به جنوب شرقی را بیانگر است.



شکل ۱۳- نمودار رزداگرام مربوط به گسل‌های استخراج شده به روش مورد استفاده در تحقیق که بیانگر غالب بودن جهت امتداد شمال غرب - جنوب شرقی گسل‌های منطقه می‌باشد.
Fig. 13. The rose diagram of extracted faults by the method used in the research, which indicates the dominant direction of the region faults along northwest-southeast.

در وقت و هزینه، دقت را نیز افزایش می‌دهند. با بهبود تصاویر اولیه و انجام تصحیحاتی همچون روش رادیومتری و هندسی و روش‌های بارزسازی تصویر همچون کشش کنتراست و تعدیل هیستوگرام تطبیقی، می‌توان از ورودی‌های مناسب‌تری برای به دست آوردن نتایج بهتر استفاده نمود و می‌توان درصد تطابق خطواره‌ها و گسل‌ها را با واقعیت، افزایش داد.

الگوریتم کنی نسبت به سایر الگوریتم‌های تشخیص لبه عملکردی بهتری داشت که آنرا می‌توان به انتخاب حدآستانه‌های دوگانه و محاسبه ماکزیمم محلی گرادیان تصویر در الگوریتم کنی نسبت داد. برای استخراج اتوماتیک خطوط از تبدیل هاف استفاده شد که مزیت این روش این است که گپ موجود در بین خطوط را در نظر نمی‌گیرد، که این امر به تشخیص گسل‌ها کمک می‌کند. برای کلیت بخشیدن به خطواره‌های استخراج شده و تبدیل به داده‌های وکتور جهت مرحله اعتبارسنجی از نمودار رزداگرام و نقشه توزیع چگالی خطواره‌ها جهت تعیین تعداد خطواره‌ها و جهت غالب آنها استفاده گردید نمودار رزداگرام جهت غالب گسل‌ها را شمال غرب - جنوب شرق نشان می‌دهد که در جهت گسل‌های اصلی کمربند ارومیه-دختر می‌باشد. این امر تاثیر گذار بودن گسل‌های اصلی بر کانی‌سازی مس پورفیری را تایید می‌نماید. ۷۷/۲ درصد از اندیس‌های معدنی در نواحی با چگالی بالای گسل‌ها قرار گرفتند که ارتباط عوامل ساختاری با کانی‌سازی را تایید نمود. تطابق ۶۳ درصدی خطواره‌های استخراجی از الگوریتم با گسل‌های زمین‌شناسی، صحت روند کار را نشان می‌دهد. باید در نظر داشت که در همه روش‌های استخراج خطواره، نظر کارشناس یا کاربر حائز اهمیت می‌باشد منتها در روش اتوماتیک سرعت و دقت تعیین خطواره‌ها به مراتب بیشتر از روش دیگر است. همچنین باید در نظر داشت که همه‌ی گسل‌ها در تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی نیستند و در استنباط تجربی و زمین شناسی نیز همواره خطاهایی وجود دارد.

نقشه توزیع چگالی خطواره

هدف از تحلیل چگالی خطواره‌ها، محاسبه فراوانی خطواره‌ها در واحد سطح می‌باشد (Zakir et al., 1999). در نتیجه نقشه‌ای تولید می‌گردد که در آن تعداد خطواره‌ها در واحد سطح ترسیم می‌شود به همین جهت نقشه چگالی خطواره‌های منطقه در نرم افزار ArcGIS ترسیم گردید که در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۱۴، از تعداد ۲۲ اندیس معدنی شناخته شده، ۱۷ اندیس در مناطق با چگالی بالا قرار می‌گیرند (۷۷/۲٪). این امر ارتباط نزدیک چگالی گسل‌ها با اندیس‌های مس پورفیری را تایید می‌نماید. مناطق با چگالی بالا از نظر اکتشافی حائز اهمیت می‌باشند و اجرای عملیات اکتشافی در این نواحی برای کشف کانسارهای مس پیشنهاد می‌گردد.

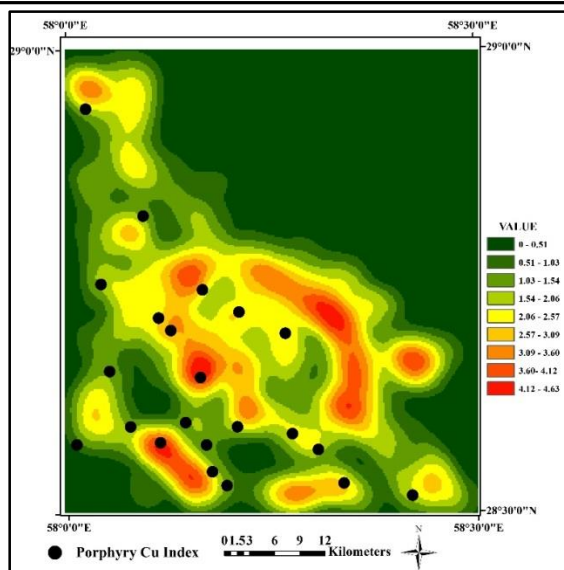
اعتبارسنجی نتایج

در هر پژوهشی اعتبارسنجی و صحت سنجی بصورت دقیق و کمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و صرف یک تطبیق بصری نتایج نمی‌توان به هدف مطلوب دست پیدا کرد. برای مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم با گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی به یک معیار کمی نیاز است. از طرفی باید خطاهای موجود را نیز در نظر گرفت. در مورد خطاهایی که ممکن است در نتایج تاثیر بگذارند و کاربر با دو دسته اطلاعات روبرو خواهد بود دسته اول گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی و دسته دوم خطواره‌های به دست آمده از الگوریتم در اطراف گسل‌ها است. به منظور جبران خطاهای موجود برای هر کدام از دسته داده‌ها یک حریم یا بافر ۲۰۰ متری در نظر گرفته شد و میزان همپوشانی شاهد و نتیجه مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱۵). نتایج حاصل از بررسی این همپوشانی در جدول ۱ آمده است.

با توجه به اعداد مشخص می‌شود که نتایج حاصل از الگوریتم ۶۳/۰۵ درصد با گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی همپوشانی داشته‌اند. این اعداد با در نظر گرفتن این موضوع که بخشی از گسل‌های منطقه پنهان و برخی دیگر احتمالی هستند عدد مطلوبی می‌باشد.

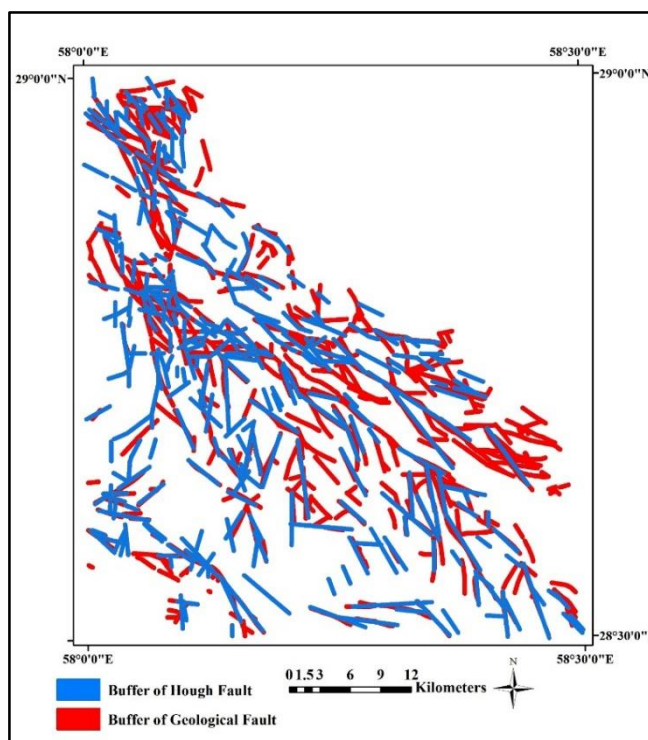
نتیجه گیری

در فرآیند استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های تمام اتوماتیک نسبت به روش‌های بصری و نیمه اتوماتیک، علاوه بر صرفه جویی



شکل ۱۴: نقشه توزیع چگالی خطواره‌های برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جبال بارز.

Fig. 14. Distribution map of lineament density in Jabal-Barez 1:100000 sheet.



شکل ۱۵- بافر ۲۰۰ متری نتایج الگوریتم (قرمز رنگ) به همراه بافر ۲۰۰ متری گسل‌های حاصل از نقشه زمین‌شناسی (آبی رنگ).

Fig. 15. 200-meter buffer of algorithm (red) along with 200-meter buffer of geology map faults (blue).

جدول ۱- مقایسه کمی همپوشانی نتایج الگوریتم و گسل‌های نقشه زمین‌شناسی منطقه.

Table 1. Quantitative comparison overlapping of algorithm results and faults in geological map of the region.

	Area (Km ²)	Overlapping Area (Km ²)	Non-Overlapping Area (Km ²)
Buffer of algorithm	366.9397	231.3597	135.58
Buffer of geology faults	476.9816	231.3597	245.6219

منابع

- Abarca., M.A.A., 2006. Lineament extraction from digital terrain models. International institute for geoinformation science and earth observation 86 p.
- Argialas, D., Mavrantza, O.D., Polytechniou H., 2004. Comparison of Edge Detection and Hough Transform Techniques for the Extraction of Geologic Features. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, p. 790–795.
- Ballard, D. H., 1981. Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes. Pattern Recognition Society 13, 111–122.
- Beograd-Yugoslavia, 1973. Geological Map of Iran 1:100 000 series sheet- Jebal Barez. Geological Survey of Iran.
- Biswas, R., Sil, J., 2012. An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Type-2 Fuzzy Sets. Procedia Technology 4, 820–824. DOI:10.1016/j.protcy.2012.05.134.
- Canny, J., 1986. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. PAMI-8, 679–698. DOI:10.1109/TPAMI.1986.4767851.
- Charnpratheep, K., Zhou, Q., Garner, B., 1997. Preliminary landfill site selecting using fuzzy geographical information systems. Waste Management & Research 15, 197–215.
- Chowdary, V.M., Ramakrishnan, D., Srivastava, Y.K., Chandran. V., Jeyaram, A., 2009. Integrated water resource development plan for sustainable management of mayurakshi watershed, India using remote sensing and GIS. Water Resources Management 23, 1581–1602. DOI:10.1007/s11269-008-9342-9.
- Cooper, S. M., 2010. Potential field Investigation of the Liberia Basin , West Africa. Journal of American Science 6, 199–207.
- Duda, R.O., Hart. P.E., 1972. Use of the {H}ough transform to detect lines and cures in pictures. Communications of the Association Computing Machinery 15, 11–15. DOI:10.1145/361237.361242.
- Esmaili., M., 2015. Implementing a new algorithm for automatic detection of faults and lineaments hidden in multi-spectral images from south Sarcheshmeh metallogenic zone. Isfahan University of Technology, 77 p.
- Fitton, N. C., Cox, S. J. D., 1998. Optimising the application of the Hough transform for automatic feature extraction from geoscientific images. Computers & Geosciences 24, 933–951. DOI:10.1016/S0098-3004(98)00070-3.
- Ghomian, Y., 2000. Economic geology report of Jabal-Barez 1:100000 sheet. Tehran, Iran.
- Gonzalez, R. C., Richard, R. E., Woods, E., 2008. Digital image processing. Prentice Hall. 954 p.
- Gustafsson, P., 2014. Spot Satellite Data For Exploration Of Fractured Aquifers In A Semi-Arid Area In Southeastern Botswana. Applied Hydrogeology 2, 9–18. DOI:10.1007/s100400050246.
- Hejazi, S. A., Amin, M. A. S., 2010. Optimal Mode of CANNY Algorithm and Comparison with Other Edge Detector Algorithms. Geomatics Conference, National mapping agency. p. 12.
- Hough, V. P. C., 1962. Method and Means for Recognizing Complex Patterns. U.S. Patent No. 3069654, p. 561–567.
- Janoriya, S., Parsai, P.M. P., 2017. Critical Review on Edge Detection Techniques in Spatial Domain on Low Illumination Images. International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCTST) 5, 86–90.
- Juneja, M., Sandhu, P. S., 2009. Designing of robust image steganography technique based on LSB insertion and encryption. ARTCom 2009. International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing. p. 302–305. DOI:10.1109/ARTCom.2009.228.
- Karantzalos, K., Argialas, D., 2006. Improving edge detection and watershed segmentation with anisotropic diffusion and morphological levellings. International Journal of Remote Sensing 27, 5427–5434. DOI:10.1080/01431160600944010.
- Karimpouli, S., 2016. Automatic detection of lineation in satellite images and aerial photos using Radon transform. Iranian Journal of Mining Engineering 10, 41–49.
- Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., 2016. Satellite data processing in order to identify sodium and calcium bentonite deposits in eastern Iran. Journal of Advanced Applied Geology 6, 84–96. DOI:10.22055/AAG.2016.12636.
- Karnieli, A., Meisels, A., Fisher, L., Arkin, Y., 1996. Automatic Extraction and Evaluation of Geological Linear Features from Digital Remote Sensing Data Using a Hough Transform. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 62, 525–531.
- Krishnamurthy, J., Venkatesa Kumar, N., Jayaraman, V., Manivel, M., 1996. An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and a geographical information system. International Journal of Remote Sensing 17, 1867–1884. DOI:10.1080/01431169608948744.
- Lee, M., Morris, W., Harris, J., Leblanc, G., 2012. An automatic network-extraction algorithm applied to magnetic. The Leading Edge, No. January. p. 26–31.
- Masoud, A. A., Koike, K., 2011. Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66, 818–832. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2011.08.003.
- Mohammadzadeh, H., Zandvakili, Z., Rahimi, B., 2017. Investigation of structural parameters and fracture pattern, fault zone architecture and fault permeability structure and its role in infiltration, drainage and water escape from the Tyregan formation in Ghouri-Maidan region. Advanced Applied Geology 7, 76–86.
- Mostafa, M.E., Zakir, F.A., 1996. New enhancement techniques for azimuthal analysis of lineaments for detecting tectonic trends in and around the Afro-Arabian Shield. International Journal of Remote Sensing 17, 2923–2943. DOI:10.1080/01431169608949119.
- Mukherjee, S., 1999. Microzonation of seismic and landslide prone areas for alternate highway alignment in a part of western

- coast of India using remote sensing techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 27, 81–90. DOI:10.1007/BF02990804.
- Nakini, A., Mohajjal, M., Tadaion, M., 2016. Relationship of lead and zinc mineralization with faulting structure in Dareh-Zanjir mine, southwest of Yazd. *Advanced Applied Geology* 5, 25–33.
- Nalbant, S. S., Alptekin O, 1995. The Use of Landsat Thematic Mapper Imagery for Analyzing Lithology and Structure of Korucu-Dugla Area in Western Turkey. *International Journal of Remote Sensing* 16, 2357–2374. DOI:10.1080/01431169508954563.
- Quackenbush, L.J., 2004. A Review of Techniques for Extracting Linear Features from Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70, 1383–1392. DOI:10.14358/PERS.70.12.1383.
- Rahnama, M., Gloaguen, R., 2014a. TecLines: A MATLAB-Based Toolbox for Tectonic Lineament Analysis from Satellite Images and DEMs, Part 1: Line Segment Detection and Extraction. *Remote Sensing* 6, 5938–5958. DOI:10.3390/rs6075938.
- Rahnama, M., Gloaguen, R., 2014b. TecLines: A MATLAB-based toolbox for tectonic lineament analysis from satellite images and DEMs, part 1: Line segments Detection and Extraction. *Remote Sensing* 6, 5938–5958. DOI:10.3390/rs6075938.
- Rangzan, K., Kavooosi, F., Samani, B., Saberi, A., 2017. Investigation of Thermal Flow Anomalies in the Salt Dome Structure of the Global, Consortium and the Sun Using Landslide Satellite OLI and TIRS Imaging 8. *Advanced Applied Geology* 7, 35–48.
- Richter, R., 2003. Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR - 2/3 User Guide). ATCOR-2/3 User Guide, Version 6.3. No. January. p. 1–263. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Sanjay, P.R., Naoghare, M.M., 2015. Review on Determination of Edges by Automatic Threshold Value Generation. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* 4, 58–66.
- Sarp, G., 2005. Lineament Analysis from satellite images, North - West of Ankara. Middle East Technical University. 91 p.
- Şener, Ş., Sener, E., Karagüzel, R., 2011. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: A case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 173, 533–554. DOI:10.1007/s10661-010-1403-x.
- Sharma, S., Rani, U, 2012. Ellipse Detection Using Canny Edge Detection Algorithm. I. 45–47.
- Tuominen, J., Lipping, T., 2011. Atmospheric Correction of Hyperspectral Data Using Combined Empirical and Model Based Method. *Proceedings of the 7th European Association of Remote Sensing Laboratories SIG-Imaging Spectroscopy Workshop*. p. 11–13.
- Wang, J., Howarth, P. J., 1990. Use of the Hough Transform in Automated Lineament Detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 28, 561–567. DOI: 10.1109/TGRS.1990.572949.
- Wang, Y., Li, J., 2015. An Improved Canny Algorithm with Adaptive Threshold Selection. *EDP Sciences* 7, 1–7.
- Wladis, D., 1999. Automatic Lineament Detection Using Digital Elevation Models with Second Derivative Filters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 65, 453–458.
- Zakir, F. A., Qari, M. H. T., Mostafa, M. E., 1999. Technical note a new optimizing technique for preparing lineament density maps. *International Journal of Remote Sensing* 20, 1073–1085. DOI:10.1080/014311699212858.
- Zhang, L., Wu, J., Hao, T., Wang, J., 2006. Automatic lineament extraction from potential-field images using the Radon transform and gradient calculation. *Geophysics* 71, 31–40.