

Research Paper



Spatial Analysis of the Rate of Displacement of Salt Domes and its Relationship with Groundwater Decline (Case Study of Southeastern Fars)



Mohammadali Zanganeh Asadi¹, Rahman Zandi^{2*}, Najmeh Shafiei³



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/GP.2022.51350.2996

Reference to this article: Zanganeh Asadi, M; Zandi, R; Shafiei, N. (2023). Spatial Analysis of the Rate of Displacement of Salt Domes and its Relationship with Groundwater Decline (Case Study of Southeastern Fars). *Geography and Planning*, 27(85): 101-108.

Keywords

Salt Dome, Tectonic Indices, Displacement, GWR and OLS, Southeast Iran

Received: 2022/04/30

Accepted: 2022/07/22

Available: 2023/10/22

ABSTRACT

Salt domes are one of the unique geomorphological phenomena that are important in terms of economic development, environment and tourism.. It plays a significant role in earthquakes and land subsidence as an effective aggravating factor in tectonic activity. In this study, after identification and morphometry of salt domes in the southeast Fars region using eight tectonic indices, i.e., the activity status of the domes was evaluated. Then using differential radar interferometry, the amount of vertical displacement of the area was calculated. Finally, Geographically Weighted Regression was employed to determine the relationship between subsidence and collapse at salt domes. The results indicate that in addition to the movement of salt domes, tectonic subsidence factors have also been effective in the rate of vertical displacement in the region. The calculation of indices indicates that some salt domes are active, and the results of differential radar interferometry also indicate the region's vertical displacement and tectonic activity. However, some salt domes, including salt dome S2 in the western part of Fasa township, with a high score in calculating the indices, were also in the range of uplift due to interferometry. Although other salt domes had a degree of uplift due to their unique characteristics, groundwater loss had caused the highest subsidence rate in salt domes S10, S4, S5, and S6. Therefore, besides the unique characteristics of salt domes, other factors such as subsidence due to groundwater overdraft which are about 70 meters, Comparing the two models, it shows that the GWR model with a coefficient of R2 of about 80% -99% and the lowest error of / 001. And OLS model with R2 coefficient shows about 0.23 and an error 0.07 and GWR model with higher accuracy confirmed the agreement between the two parameters

* Corresponding Author: Rahman Zandi

E-mail: r.zandi@hsu.ac.ir

1. Associate Professor of Geomorphology, Department of Climatology and Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

2. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan

3. Postdoctoral researcher in Geomorphology, Department of Climatology and Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

Extended Abstract

Introduction

Diapiric motions are one of the most important geological events that have always been discussed in terms of morphology and related phenomena and provide unique deformation zones for structural studies. Evaporative sediments (shale, dolomite, gypsum and salt) and their associated salt domes cover almost 24% of the continental surface and even in the northern hemisphere this figure is 43% of the same (Sarouti, 2002).

In Central Iran and the Persian Zagros, salt domes cover a large part of the region. The southern and southeastern parts of the Persian Zagros on the one hand due to mineral and hydrocarbon resources (Jennion, 1986) and unique geomorphological phenomena Economic, environmental and tourism are important and on the other hand as an effective factor in the occurrence of tectonic activity plays a major role in the occurrence of earthquakes as well as the risk of subsidence. In this study, by examining the tectonic indices of salt domes, finally, the relationship between subsidence and drop of salt domes, spatial weighted regression method was used.

Data and Methods

This research is based on analytical method. Research data include 1: 50,000 topographic maps (Geographical Organization of the Armed Forces), 1: 100,000 geological maps of the Geological Survey of Iran), 30 m SRTM digital model, radar images of Sentinel 1 satellite and morphometric information of salt domes through Google Earth images obtained. Research tools also include SNAP software for mapping the area displacement, Arc GIS for mapping, Google Earth to assess the condition of the area and also 8 indicators to assess the activity of salt domes. GWR and OLS methods to verify the relationship between dome and salt subsidence and groundwater loss

Result & discussion

Calculation of tectonic status of salt domes of 8 indicators was evaluated. Due to the fact that the tectonic status of each dome has been different in terms of different indicators, in order to evaluate the domes in terms of all indicators, salt domes have been rated in terms of activity for each indicator, in fact, the scoring was relative. And considering that in this research 10 domes have been evaluated, each dome has been given a score of 1 to 10 in terms of tectonic status. Tables 3 and 4 show the results of the overall evaluation of the indicators. The results of evaluations indicate that 2 S salt domes with an average of 7.3 have the highest score and are considered as the most active domes and also 10 S salt domes with an average of 4.7 points in terms of the studied indicators as domes with They are considered low tectonic activity.

The results obtained through the interferometry method showed that the S2 salt dome in the western part of Fasa with a tectonic score of 7.3 has the highest activity and according to the result obtained from the DINSAR method, about 14 cm of elevation corresponds to the results of the indicators. However, some salt domes, such as 4S, 5S, 6S, and 10S salt domes, have the highest amount of subsidence, which varies between -19 to -7 cm. This situation indicates the effect of various factors such as groundwater decline. According to the above cases, it can be said that the study area is affected by saline formations, so it can be said that in the amount of vertical displacement in addition to saline formations that caused uplift. Groundwater depletion and apple tectonic factors have subsided the region.

Conclusion

The study of salt dome activity and its relationship with subsidence showed that salt domes, although they have uplift activity among sedimentary layers, but groundwater drop is one of the most important parameters in the subsidence of salt domes in Darab city. In this study, salt domes 4 S, 5S, 6S 10 S have the highest amount of drop and subsidence, which is equal to -19 to -7 cm, which indicates a high groundwater drop in the mentioned domes.

From the GWR and OLS models to compare the subsidence of the dependent variable and the groundwater drop of the independent variable in salt domes shows the first output of the geographic weight regression model and the least squares square on the dependent variable and independent variables, information General is relevant to the model. The most important values in this output are adjusted values R2 and R2, which indicate the appropriateness and accuracy of the model used.

The adjusted values of R^2 and R^2 in the GWR model are 0.99 and 0.98, respectively, and in the OLS model are 0.60 and 0.65, which indicate the acceptable accuracy of the research variables in modeling the spatial relationships of the factors affecting Impact of the salt dome using the GWR model. Residual Squares show the amount of error in the model that the lower the amount, the higher the accuracy of work and the relationship between the variables.

The results of the radar interferometry method also indicate the vertical displacement of the region and the tectonic activity of the region. S2 salt dome in the western part of the range, which had the highest score of about (7.4) in the calculation of indices, was also in the range of elevation as a result of interferometry. Groundwater abstraction has caused the highest amount of subsidence in domes S10, S4, S5, S6 that the maximum drop in groundwater in these domes is about 70 meters. % And minimum error 0.001 And OLS model with R^2 coefficient of about 0.23 and error of 0.07

References

- Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology* 180–181, 217–230.
- Berberian, M. 1995. Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphometrics, *Tectonophysics*, 241:193-224.
- Colón C, Webb AAG, Lasserre C, Doin M-P, Renard F, Lohman R, Li J, Baudoin PF. 2016. The variety of subaerial active salt deformations in the Kuqa fold-thrust belt (China) constrained by InSAR. *Earth and Planetary Science Letters*, 450: 83-95
- Deh Bozorgi, M. Pour kermani, M. Arian, M. Matkan, A. A. Motamedi, H. Hosseini A. 2010. Quantitative Analysis of Relative Tectonic Activity in The Sarvestan Area, *Geomorphology* 121.
- Devi, R. K. M., Bhakuni, S. S., Kumar Bora, P. 2011. Tectonic implication of drainage set-up in the Sub-Himalaya: A case study of Papumpare district, Arunachal Himalaya, India
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2007. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, 150–173.
- Furuya, M., Mueller, K., Wahr, J. 2007. Active salt tectonics in the Needles District, Canyonlands (Utah) as detected by interferometric synthetic aperture radar and point target analysis: 1992– 2002, *Geodesy and Gravity/Tectonophysics*, First published: 26 June 2007
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008. The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95, pp. 260- 273.
- Hu, J.; Ding, X.; Zhang, L.; Sun, Q.; Li, Z.; Zhu, J. and Lu, Z. (2017). Estimation of 3-D surface displacement based on inSAR and deformation modeling, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing*, 55(4): 2007-2016.
- Jenyon, M. K. 1986. *Salt Tectonics*, Elsevier. Jordan, G. 2007. Adaptive smoothing of valleys in DEMs using TIN interpolation from ridgeline elevation: An application to morphotectonic aspect analysis. *Computers & Geosciences*, 33, pp.573-585
- Keller, E.A., Pinter, N. 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape* (2ndEd.), Prentice Hall, New Jersey
- Kent, P. E. 1987. in *Dynamical Geology of Salt and Related Structures*, Ed by Lerche. I and O'Brien J.J, pp; 3-37.
- Mayer, L. 1986. Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts. In: Wallace, r.e
- Tobler, W.R, 1970, A Computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46(2): 234-24.
- Zebker, H. A., (2000). "Studying the earth with interferometric radar." *Computing in Science and Engineering*, Vol. 2(3), pp. 52-60.

مقاله پژوهشی



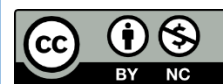
تحلیل فضایی میزان جابه‌جایی گنبد‌های نمکی و ارتباط آن با افت آب زیرزمینی (مطالعه موردی جنوب شرق فارس)



محمدعلی زنگنه اسدی^۱، رحمان زندی^{۲*}، نجمه شفیعی^۳



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایت کاملاً قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: زنگنه اسدی، محمدعلی؛ زندی، رحمان؛ شفیعی، نجمه. (۱۴۰۲). تحلیل فضایی میزان جابه‌جایی گنبد‌های نمکی و ارتباط آن با افت آب زیرزمینی مطالعه موردی جنوب شرق فارس. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۷ (۸۵): ۱۰۱-۱۰۸.

DOI:10.22034/GP.2022.51350.2996



چکیده

گنبد‌های نمکی یکی از پدیده‌های منحصر بفرد ژئومورفولوژیکی می‌باشد که از لحاظ توسعه اقتصادی، زیست محیطی و گردشگری حائز اهمیت هستند و از طرف دیگر نیز به عنوان یک عامل تشدیدکننده موثر در بروز فعالیت تکتونیکی نقش زیادی در رخداد زلزله و همچنین نشست زمین دارد. در این پژوهش به ارزیابی وضعیت فعالیت گنبد‌های نمکی منطقه جنوب شرق فارس با استفاده از ۸ شاخص تکتونیکی پرداخته شده است و سپس با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان جابجایی عمودی منطقه محاسبه شده است. نهایتاً جهت ارتباط بین میزان فرونشست و افت آب زیرزمینی از روش رگرسیون وزن‌دار فضایی رگرسیون حداقل مربعات استفاده گردید. نتایج حاصل از پژوهش بیانگر این است که در میزان جابجایی عمودی منطقه علاوه بر حرکت گنبد‌های نمکی، عوامل تکتونیکی فرونشست نیز تاثیرگذار بوده است. نتایج حاصل از روش تداخل‌سنجی راداری نیز بیانگر جابجایی عمودی منطقه و فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی است. گنبد نمکی S2 در بخش غربی محدوده که در محاسبه شاخص‌ها دارای بالاترین امتیاز حدود (۷.۴) بوده، همچنین در نتیجه حاصله از طریق تداخل‌سنجی در محدوده بالآمدگی قرار داشته است، سایر گنبد‌ها اگرچه با توجه به ویژگی خاص خود دارای میزانی بالآمدگی بوده اند اما عامل برداشت آب زیرزمینی سبب بیشترین میزان فرونشست در گنبد‌های S10, S4, S5, S6 گردیده است که حداکثر افت آب زیرزمینی در این گنبد‌ها حدود ۷۰ متر می‌باشد با مقایسه دو مدل مذکور گویا این مطلب است که مدل GWR با ضریب R2 حدود ۸۰٪- و ۹۹٪ و کمترین خطا ۰.۱٪ و مدل OLS با ضریب R2 حدود ۲۳٪ و خطا ۰.۷٪ را نشان می‌دهد و مدل GWR با دقت بالاتر انطباق بین دو پارامتر مذکور را تایید نمود.

کلیدواژه‌ها

گنبد‌های نمکی، شاخص‌های تکتونیکی، جابه‌جایی، GWR و OLS، جنوبی شرق فارس

دریافت شده: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

پذیرفته شده: ۱۴۰۱/۰۴/۳۱

منتشر شده: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

* نویسنده مسئول: رحمان زندی
r.zandi@hsu.ac.ir

۱. دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

۲. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- پژوهشگر پسادکتر ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

مقدمه

حرکات دیابیری از مهم ترین رخداد‌های زمین‌شناسی است که همواره به لحاظ ریخت‌شناسی و پدیده‌های مرتبط با آن مورد بحث بوده است و مناطق دگرشکلی منحصر بفردی را برای بررسی‌های ساختاری فراهم می‌نماید. رسوبات تبخیری (شیل، دولومیت، گچ و نمک) و گنبدهای نمکی همراه آنها، تقریباً ۲۴ درصد از سطح قاره‌ها را در بر گرفته‌اند و حتی در نیمکره شمالی این رقم به ۴۳ درصد میرسد (ثروتی، ۱۳۸۱).

در ایران مرکزی و زاگرس فارس، گنبدهای نمکی بخش عمده‌ای از مناطق را در بر گرفته‌اند. بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی زاگرس فارس از یک طرف به خاطر وجود منابع معدنی و هیدروکربنی (جنیون، ۱۹۸۶) و پدیده‌های منحصر بفرد ژئومورفولوژیکی از لحاظ اقتصادی، زیست محیطی و گردشگری حائز اهمیت هستند و از طرف دیگر نیز به عنوان یک عامل موثر در بروز فعالیت تکتونیکی نقش زیادی در بروز زلزله‌ها و همچنین خطر رخداد فرونشست زمین را به دنبال دارد. در این پژوهش سعی شده است تا با بررسی شاخص‌های تکتونیکی گنبدهای نمکی نهایتاً ارتباط بین میزان فرونشست و افت گنبدهای نمکی از روش رگرسیون وزن دار فضایی استفاده گردید. فرویا و همکاران^۱ (۲۰۰۷)، میزان بالا آمدگی گنبدهای نمکی کانیون لند در ایالت یوتای آمریکا را ۲-۳ میلی‌متر در سال برآورد کرده است. بهرامی (۲۰۱۳) تاثیر عوامل تکتونیکی بر مخروطه افکنه تاقدیس دانه خشک در استان کرمان شاه را مورد ارزیابی قرار دادند. کولون^۲ و همکاران (۲۰۱۶)، نیز میزان جابجایی عمودی گنبدهای نمکی منطقه کوکا در کشور چین را ۵ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. هوو (۲۰۱۷) به بررسی جابه جایی گنبدهای نمکی پرداخت. نصیری و همکاران ۲۰۲۱ به بررسی فرونشست و ارتباط آن با افت آب زیرزمینی با استفاده از مدل GWR و OLS دشت فهلیان فارس پرداختند. سهیلی (۱۳۹۲)، به مقایسه رفتار سائز مورفوتکتونیکی ایران جنوبی و تغییر سطح اساس ناشی از دیابیریسم فعال در گنبد نمکی سیاهو پرداختند و تغییرات سالانه آن را حدود ۲/۲ سانتی‌متر (بالا آمدگی) برآورد کرده است. افشاری و همکاران (۱۳۹۵)، میزان رشد و پیشروی گنبد نمکی گچین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۶ را مورد مطالعه قرار داده است. میربندآبادی و المدرسی (۱۳۹۵)، بررسی دینامیسم فعال گنبد نمکی جاشک با استفاده از تصاویر Ascending و تداخل‌سنجی سری زمانی راداری در باند C پرداختند. شفیعی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی ارزیابی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری پرداختند. مهرابی (۱۳۹۸) ارزیابی نقش تکتونیک در بروز گنبدهای نمکی منطقه زاگرس پرداختند. قاسمی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی ارتباط بین گنبدهای نمکی و فرونشست منطقه لارستان فارس پرداختند. مهرابی (۱۳۹۸)، به بررسی تحرک توده‌های نمکی با استفاده از روش تداخل‌سنجی سری زمانی تصاویر (ASAR) مطالعه موردی: گنبد نمکی شاه‌غیب لارستان) پرداخت

از جمله اهداف پژوهش شناسایی میزان فعالیت گنبدهای نمکی با استفاده از شاخص‌های مذکور بررسی عامل موثر در فرونشست گنبدهای نمکی، میزان نشست گنبدهای نمکی، ارتباط بین نشست و افت آب زیرزمینی.

روش

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش گنبدهای نمکی منطقه جنوب شرق فارس است که در محدوده عرض جغرافیایی ۵۹° و ۲۷° تا ۲۹° و طول جغرافیایی ۲۱° و ۵۴° تا ۲۶° و ۵۵° قرار دارد و از نظر تقسیمات سیاسی در بین شهرستان‌های داراب، زرین دشت و فسا واقع شده است (شکل ۱). محدوده مطالعاتی مساحت حدوداً ۱۵۶۱۸ کیلومتر مربع را دارا می‌باشد. گنبدهای نمکی در ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متری از سطح زمین قرار دارند. جهت یافتگی کوه‌های محدوده به صورت شمال غرب جنوب شرق و غربی-شرقی می‌باشد. این منطقه از نظر آب و هوایی نیز اقلیم نیمه خشک دارد و دارای تابستان‌های گرم و خشک با زمستان‌های معتدل و مرطوب است. این منطقه حد فاصل بین گسل‌های قطر، کازرون، خط عمان و روراندگی زاگرس در پرکامبرین از رسوبات تبخیری گچ و نمک انباشته شده است. که وجود این رسوبات و رسوبات زیرین ژئوسنکلینال زاگرس، در نحوه چین خوردگی بعدی بسیار موثر بوده است (شکل-۱). گنبدهای نمکی زاگرس فارس از سری هرمز و به سن اینفرا کامبرین می‌باشند. تنها فاز کوهزایی که این زون متحمل شده است، فاز کوهزایی پاسادین در زمان پلیوسن است که منجر به چین خوردگی تمامی واحدهای منطقه شده است (کنت^۳، ۱۹۸۷). گنبدهای نمکی مربوط به سازند هرمز، چینهای زاگرس را بدون داشتن جهت خاصی سوراخ کرده و خود را به سطح زمین رسانده‌اند. این گنبدهای نمکی با رسوبات دوران کرتاسه و به طور محلی با رسوبات ژوراسیک برخورد دیابیری داشته‌اند. بنابراین سن آنها از دوره ژوراسیک قدیمی‌تر است. بطور کلی سن این تشکیلات را به پروتروزوئیک و اینفرا کامبرین نسبت می‌دهند و آن را هم ارز تشکیلات سلطانیه در ایران می‌دانند. مجموعه درهمی از آهک، مارن، شیل، گچ و نمک عمده پوشش گنبدهای نمکی فارس را تشکیل می‌دهد. محدوده مورد مطالعه دارای چندین آبخوان آبرفتی شامل (فسا، قره بلاغ، داراب، ایج، ایزدخواست ...) که مساحتی حدود ۲۴۴۱ متر مربع را به خود اختصاص داده است و دادای ۲۴۱ چاه پیژومتر که نوسانات آب زیرزمینی را در سطح آبخوان بررسی می‌نمایند. که حداکثر افت در این محدوده ۱۷۵ متر و حداقل آن ۰/۵ متر می‌باشد. ۹۱۰۰ حلقه چاه بهره برداری عمیق در سطح دشت حفر شده‌اند و بخشی از آنها به علت شور شدن و برداشت بیش از حد غیر فعال شده‌اند.

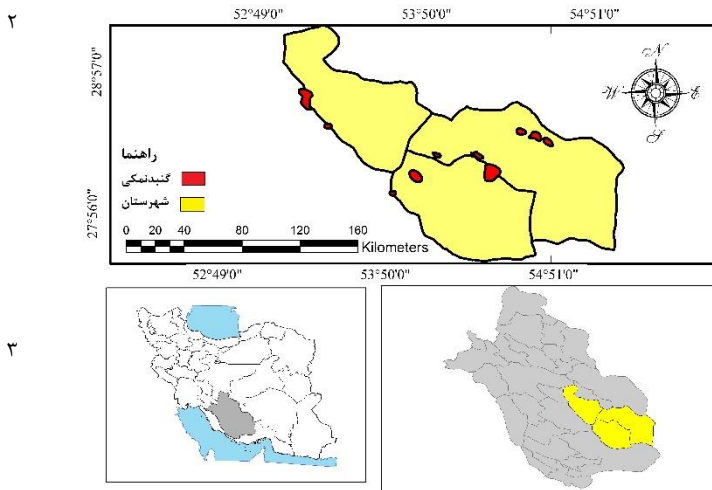
Bh=H Hmax _Hmin که در این رابطه Hmax مقدار ارتفاع بیشینه و Hmin ارتفاع کمینه گنبد نمکی است. در این شاخص ارتفاع بیشتر نشان دهنده فرسایش کمتر و در نتیجه فعالیت تکتونیکی بیشتر می باشد (استراهلر، ۱۹۵۲). شاخص کشیدگی (Bs)، دیگر شاخص مورد استفاده است که بر اساس وضعیت شکل گنبد میباشد محاسبه می شود

Bs=Bi/Bw BS: شاخص شکل گنبد، Bi: طول گنبد و BW: عرض گنبد در عرض ترین بخش آن است. در صورتی که مقادیر این شاخص از ۴ بیشتر باشد، بیانگر گنبد های طولی با فعالیت زمین ساختی زیاد است. در صورتی که بین ۳ تا ۴ باشد، بیانگر گنبد های با فعالیت زمین ساختی متوسط است و در صورتی که میزان BS کمتر از ۳ باشد، بیانگر دایره ای بودن و فعالیت زمین ساختی کم منطقه است.

Hi=Hmean-Hmin /Hmax -Hmin Hi: شاخص انتگرال هیپسومتری، Hmean: ارتفاع میانگین حوضه، Hmin: حداقل ارتفاع حوضه و Hmax: حداکثر ارتفاع حوضه میباشد. در این رابطه در صورتی که میزان Hi بیشتر از ۵ باشد، بیانگر بالآمدگی و شکل گیری توپوگرافی جدید است. در صورتی که میزان Hi بین ۵ تا ۱۴ باشد، بیانگر وضعیت زمین ساختی نسبتا فعال است و همچنین در صورتی که میزان Hi از ۴/ کمتر باشد، بیانگر حوضه های پست با فعالیت های زمین ساختی کم است

L = ΣNu آبراهه های درجه ۱ از حساسیت بالایی در برابر حرکات تکتونیک برخوردارند و از شاخص های مناسب برای شناسایی فعالیت های نئوتکتونیک محسوب می شوند (جردن، ۲۰۰۷: ۵۴۷). هر چه مقادیر بدست آمده شاخص LN1 بالاتر باشد، نشانگر تکتونیک فعال است به طوری که در مناطق دارای بالا آمدگی سریع، تنها شبکه های درجه یک توسعه می یابند (زویچویکس)

Rbd=Rb(uu+1)=Nu/Nu +1 نسبت انشعابات، تخمینی کلی از تکامل شبکه آبراهه ها با درجات مختلف است. نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه های آن در چه بر تعداد کل آبراهه های یک درجه بالاتر محاسبه می شود



شکل (۱). موقعیت محدوده مورد مطالعه داراب - فسا

این تحقیق بر مبنای روش تحلیلی استوار است. داده های تحقیق شامل نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح)، نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (سازمان زمین شناسی کشور)، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، تصاویر راداری ماهواره سنتینل ۱ و اطلاعات مورفومتری گنبد های نمکی است که از طریق تصاویر گوگل ارث بدست آمده است. ابزارهای تحقیق نیز شامل نرم افزارهای SNAP جهت تهیه نقشه میزان جابجایی منطقه، Arc GIS جهت تهیه نقشه ها، گوگل ارث جهت ارزیابی وضعیت منطقه و همچنین ۸ شاخص برای ارزیابی وضعیت فعالیت گنبد های نمکی می باشد. روش GWR و OLS جهت صحت سنجی و ارتباط بین میزان نشست گنبد های و نمکی و افت آب زیرزمینی برقرار گردد. ارزیابی وضعیت گنبد های نمکی با استفاده از شاخص های مورد نظر در این تحقیق به منظور محاسبه وضعیت تکتونیکی گنبد های نمکی ۸ شاخص مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه وضعیت تکتونیکی هر گنبد از نظر شاخص های مختلف متفاوت بوده است، به منظور ارزیابی کلی گنبد ها از نظر تمامی شاخصها، به گنبد های نمکی از نظر میزان فعالیت برای هر شاخص امتیاز داده شده است، در واقع امتیاز دهی به صورت نسبی بوده است و با توجه به اینکه در این تحقیق ۱۰ گنبد مورد ارزیابی قرار گرفته است، به هر گنبد از نظر وضعیت تکتونیکی امتیاز ۱ تا ۱۰ داده شده است.

جدول (۱): مشخصات شاخص های تکتونیکی گنبد های نمکی

شاخص	توضیحات	معادله
۱	که در این شاخص E بیانگر مساحت و D نیز بیانگر محیط گنبد است. با توجه به اینکه گنبد های که دایره ای شکل هستند، کمتر دچار فرسایش شده اند و از نظر تکتونیکی فعال تر هستند، هر چه میزان C به ۱ نزدیک تر باشد، بیانگر دایره ای بودن و فعال بودن گنبد است. شاخص دیگر، شاخص شاخص برافراشتگی (Bh) است.	$C = (E * (3.14 * 4)) / (D * D)$
۶	نسبت انشعابات، تخمینی کلی از تکامل شبکه آبراهه ها با درجات مختلف است. نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه های آن در چه بر تعداد کل آبراهه های یک درجه بالاتر محاسبه می شود	

Dd= Lu/A	تراکم زهکشی بالا نشان دهنده فعال تر بودن مناطق از نظر تکنیکی است. از تقسیم مجموع طول تمام آبراهه های یک حوضه به مساحت کل حوضه محاسبه می شود شاخص فرکانس آبراهه (Fs) نیز از پارامترهای کمی مربوط به مورفومتری شبکه زهکشی است، فرکانس بالا نشان دهنده مناطق تکنیکی فعال به ویژه در گنبد‌های جوان است.	۷
Fs=Nu/A	شاخص فرکانس آبراهه (Fs) مورفومتری شبکه زهکشی است، فرکانس بالا نشان دهنده مناطق تکنیکی فعال به ویژه در گنبد‌های جوان است. از نسبت تعداد آبراهه ها در تمامی درجات یک حوضه به مساحت در یک منطقه به کیلومتر مربع محاسبه می شود	۸

روش تداخل‌سنجی راداری

تداخل‌سنجی تفاضلی راداری تصاویر راداری حاصل از رادارهای با روزنه مجازی (SAR) با دارا بودن قابلیت اندازه‌گیری طول بردار از سنجنده تا سطح زمین، در اندازه‌گیری‌های مربوط به تهیه نقشه رقومی ارتفاعی به‌طور گسترده به‌کار می‌روند (گابریل و گلدشتاین، ۱۹۸۸: ۴۵).

تکنیک مورد استفاده در این روش به تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR) ملقب است. در تداخل سنجی راداری، فاز حاصل از دو تصویر گرفته شده از یک منطقه معین جهت تولید داخل نگار تداخل داده می‌شود. در واقع، تداخل نگار حاصل ضرب مختلط دو تصویر راداری است. این دو تصویر ممکن است توسط یک سکوی هوایی با فضایی که دارای دو آنتن با فاصله معین (خط مبنا) باشد اخذ شده باشند (تداخل سنجی با عبور منفرد) و یا دو تصویر با فواصل زمانی مختلف و از یک سکوی مشابه گرفته شوند (روش تداخل سنجی با عبور مکرر). اختلاف فاز موجود در دو تصویر به صورت لبه یا حاشیه در تداخل نگار نمایش داده شده که هر حاشیه یا لبه مشاهده شده به اختلاف فازی به میزان 2π مربوط است. تداخل نگار فراهم شده به روش InSAR قابلیت نمایش تغییرات ارتفاعی و ناهمواری‌ها را دارد. دقت تغییرات مقادیر ارتفاعی (dz) قابل محاسبه از هر حاشیه تابع ویژگی‌های ماهواره مانند طول خط مبنا (Bn)، طول موج یا باند مورد استفاده (λ)، زاویه برخورد (θ) و طول بردار مایل ارتفاع ماهواره تا زمین (p) است.

$$dz = (\lambda p \sin \theta) / 2Bn$$

دامنه و فاز موج برگشتی از سیگنال ارسالی رادار است. بر مبنای تحقیقات و مشاهدات، فاز ثبت شده ($\Delta\phi$) موج حاوی اطلاعات و خصوصیات بهتری نسبت به دامنه موج (Ap) در تصاویر راداری است (گیگلیا و پریٹ ۱۹۹۸) بر اساس این، محاسبه ارتفاع یک نقطه حاصل از اختلاف دامنه آن $\Delta z = p - p_2$ از طریق محاسبه اختلاف فاز بیان شده ($\Delta\phi$) در تداخل نگار و به کمک رابطه زیر امکان پذیر است:

رابطه (۷):

$$Z(x,y)=H \quad B2=(\Delta\phi\lambda) \quad 2(\Delta\phi\lambda-B\sin(a-\theta))*\cos\theta$$

روش تداخل سنجی راداری (InSAR) امکان تولید مدل‌های رقومی ناهمواری های زمین را فراهم می‌آورد که دقت ارتفاعی بهینه آن برای داده C باند با طول موج ۵/۶ سانتی حدود ۵ متر است. روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (D- InSAR) را اولین بار زبکر و گلد اشتاین (۱۹۸۹) ارائه کردند. این اصطلاح به روش اندازه‌گیری پاره ای پارامترها از قبیل توپوگرافی، تغییرات و جابه جایی سطحی زمین از طریق تداخل فاز دو یا چند تصویر راداری با روزنه مجازی (SAR) اخذ شده از منطقه مشابه اطلاق شده است. این روش قادر است با استفاده از حداقل سه (دو تصویر + DEM) یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری تغییرات سطحی رخ داده در زمین را در بازه های متفاوت با دقت های میلیمتری آشکارسازی کند. در عین حال، این دقت تابع طول موج داده مورد استفاده و معادل نصف آن ($1/2\pi$) خواهد بود. روش تداخل سنجی راداری در زمینه اندازه‌گیری تغییرات سطحی پوسته زمین کارایی در خور تحسینی دارد. اصول بنیادین نحوه اندازه‌گیری این تغییرات در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است. در این شکل P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست این فضا را در زمان t_0 ثبت و مقدار فاز آن را اندازه‌گیری می‌کند (Φ_m) مقدار نشست فاصله P تا P_1 است که طی زمان مشخصی صورت گرفته است (Dt). برای اندازه‌گیری این مقدار، سنجنده تصویری دومی در زمان t با هندسه ای کاملاً شبیه به تصویر نخست اخذ کرده، مقدار فاز را بر روی آن اندازه‌گیری می‌کند (Φ_s). روش تداخل سنجش تفاضلی، تفاضل فاز Φ_s و Φ_m را در فرم تداخل نگار فازی نمایش می‌دهد ($\Delta\Phi_{int}$). در صورت ثابت و پایدار بودن سطح، تفاضل فاز این دو تصویر (SP- MP) ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده است و مقدار آن به کمک رابطه زیر به دست می‌آید (شفیعی و همکاران ۱۴۰۰).

رابطه (۸):

$$\Delta\phi = 4\pi SP - MP/\lambda$$

در اندازه‌گیری مقدار فرونشست به کمک این روش، سطح ناپایدار تصور شده؛ به طوری که سطح از P به P_1 تنزل یافته است. تعیین مقدار نشست در فاصله زمانی دو تصویر (D) تابع اختلاف فاز دو تصویر ($\Delta\Phi_{int}$)، به همراه فاز ناشی از اثر توپوگرافی (Φ_{top}) و فاز ناشی از جابه جایی سطح (Φ_{mov}) و همچنین فاز ناشی از اثر اتمفسر (Φ_{atm}) خواهد بود (زیبکر و همکاران، ۱۹۹۴).

رابطه (۹):

$$\Delta\phi = 4\pi PS - PM/\lambda = \phi_{TOP} + \phi_{ATM}$$

در این روش، در صورت در اختیار نداشتن تصویر سوم، به کمک مدل رقومی زمین (DEM) تبدیل ارتفاع به فاز، یک تداخل نگار مصنوعی تولید می‌شود و از این راه به کمک معکوس اطلاعات (DEM)، اثر فاز ناشی از توپوگرافی محاسبه و از مقادیر اختلاف فاز حذف می‌شود. اختلاف فاز باقی مانده به اثر جابه جایی سطح و اتمفسر تعلق دارد. در نهایت، با نادیده انگاشتن اثر اتمفسر در جابه جایی‌های به میزان بالا (چند سانتی متر) و یا حذف آن به کمک تصاویر اپتیکی، اختلاف فاز دو تداخل نگار یعنی تداخل نگار مصنوعی و اصلی فقط بیان کننده مقادیر جابه جایی سطح (نشست) خواهد بود.

مدل رگرسیونی وزنی جغرافیایی (GWR)

در واقع روش رگرسیون وزنی جغرافیایی مشاهدات را بر اساس مکان یا مختصات مکانی آنها نسبت به نقاط مرجع وزن میدهد. هر پارامتر یا ضریب مدل GWR دارای یک علامت و مقدار می باشد. اگر علامت یک ضریب، مثبت باشد پس افزایش مقدار متغیر مستقل باعث افزایش متغیر وابسته خواهد شد. اگر علامت آن منفی باشد، آن متغیر دارای اثر کاهشی روی متغیر وابسته می باشد. مدل رگرسیونی چند متغیره خطی GWR به صورت زیر رابطه (۱۰):

$$Y_u = \beta_0 i(u) + \beta_1 l_i(u) x_i + \beta_2 z_i(u) x_{z_i} + \beta_m i(u) m_i$$

در صورتیکه مؤلفه وزن مشاهدات در معادله رگرسیون وارد شود، رابطه بردار پارامترها با ضرایب بتا، به یک رابطه رگرسیونی وزنی جغرافیایی تبدیل می شود و مشاهدات نزدیک نسبت به مشاهدات دورتر وزن بیشتری دارند توپلر (۱۹۷۰) ضرایب یا پارامترهای مدل با رابطه زیر تخمین زده می شوند (توپلر ۱۹۷۰).

رابطه (۱۱):

$$B(u) = (X^T W(u) X)^{-1} X^T W(u)$$

که $W(u)$ ماتریس وزن (ماتریس مربع) در موقعیت (u) ، مختصات متریک X^T ترانهاده ماتریس متغیرهای مستقل (X) می باشد. ماتریس وزن تابع مختصات متریک با استفاده از رابطه نمایی زیر قابل تخمین می باشد:

رابطه (۱۲)

$$W(u) = e^{-0.5(d(u)/h)^2}$$

که $W(u)$ وزن جغرافیایی مشاهدات در موقعیت مکانی (u) ، اندازه فاصله مکانی بین مشاهدات i و h پهنای باند انتخابی بر حسب متر می باشد.

مدل رگرسیونی حداقل مربعات معمولی OLS^1

در مدلسازی مکانی با روش OLS فرض می شود که ضرایب یا پارامترهای مدل آماری نسبت به مکان (مختصات جغرافیایی) ثابت می باشد. بنابراین مقدار متغیر وابسته که با این مدل تخمین زده می شود، برای کل منطقه مورد مطالعه بوده و در نقاط مختلف حوضه آبریز مقداری یکسان را تخمین می زند که به عنوان نقطه ضعف این روش در مدل سازی مکانی محسوب می شود. مدل رگرسیونی خطی ساده یک متغیره به شکل زیر می باشد رابطه (۱۳):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i(1)$$

که y متغیر وابسته (برآورد شده)، x متغیر مستقل (برآورد کننده)، ϵ_i خطا یا انحراف مدل در برآورد، β_0 و β_1 پارامترها یا ضرایب مدل می باشند. برای تمام سطح حوضه آبخیز، مقادیر β_0 و β_1 ثابت فرض می شود. مدل آماری OLS و ماتریس تخمین ضرایب مدل، با روابط زیر بیان می شود: رابطه (۱۴):

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

رابطه (۱۵):

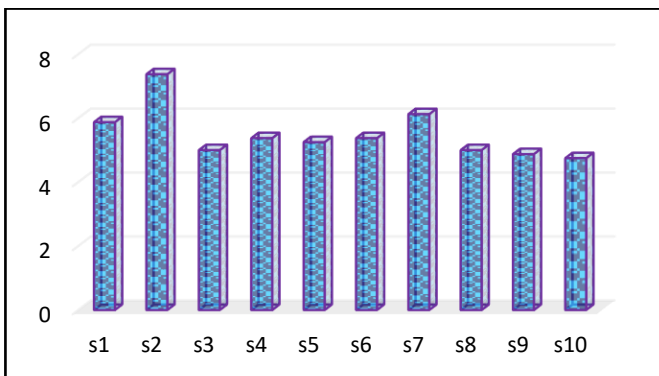
$$y = X\hat{\beta} + \epsilon$$

که در آن T ترانهاده ماتریس، (-1) XTX معکوس ماتریس وارپانس-کوواریانس و X ماتریس متغیرهای مستقل می باشد. ضرایب مدل رگرسیونی چند متغیره OLS در سراسر مکان ثابت است. با استفاده از این مدل امکان تهیه نقشه تغییرات مکانی پارامترها یا ضرایب مدل وجود ندارد. بعلاوه، این مدل با نرم افزار ARC GIS ناسازگار بوده و همبستگی مکانی را در نظر نمی گیرد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۵).

بحث و نتیجه گیری

طبقه بندی نسبی فعالیت های تکتونیکی

در جدول ۲ و نمودار ۳ نتایج ارزیابی کلی شاخص ها نشان داده شده است. نتایج ارزیابی ها بیانگر این است که گنبد های نمکی S_2 ، با میانگین $7/3$ دارای بالاترین امتیاز هستند و به عنوان فعال ترین گنبد ها محسوب می شوند و همچنین گنبد های نمکی S_{10} با میانگین $4/7$ امتیاز از نظر شاخص های مورد مطالعه به عنوان گنبد های با فعالیت کم تکتونیکی محسوب می شوند.



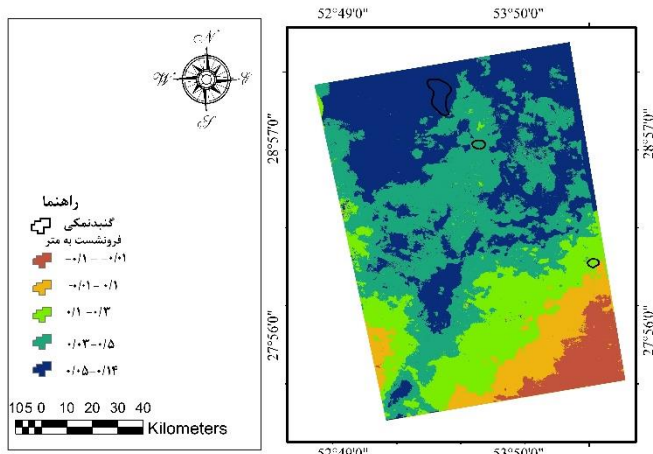
شکل (۲). ارزیابی کلی شاخص ها

میزان جابه جایی گنبد های نمکی

ارزیابی نتایج بدست آمده از طریق روش تداخل سنجی نشان داد گنبد نمکی S_2 در بخش غربی فسا با امتیاز تکتونیکی $7/3$ دارای بیشترین فعالیت می باشد و با توجه به نتیجه بدست آمده از روش DINSAR حدود 14 سانتیمتر بالا آمدگی با نتایج حاصله از شاخص ها مطابقت دارد. اما برخی از گنبد های نمکی مانند گنبد گنبد های نمکی S_4 ، S_5 ، S_6 ، S_{10} بیشترین میزان فرونشست را به خود اختصاص داده اند که میزان آنها بین 19 تا 7 سانتیمتر متغیر می باشد. که این وضعیت بیانگر تاثیر عوامل مختلف از جمله افت آب های زیرزمینی است با توجه به موارد مذکور می توان گفت که منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر سازندهای نمکی دارای نشست است بنابراین می توان گفت که در میزان جابجایی عمودی علاوه بر سازندهای نمکی که باعث بالا آمدگی شده اند افت آب های زیرزمینی و عوامل تکتونیکی سبب فرونشست منطقه شده است.

جدول (۲). محاسبه شاخص های گنبد نمکی

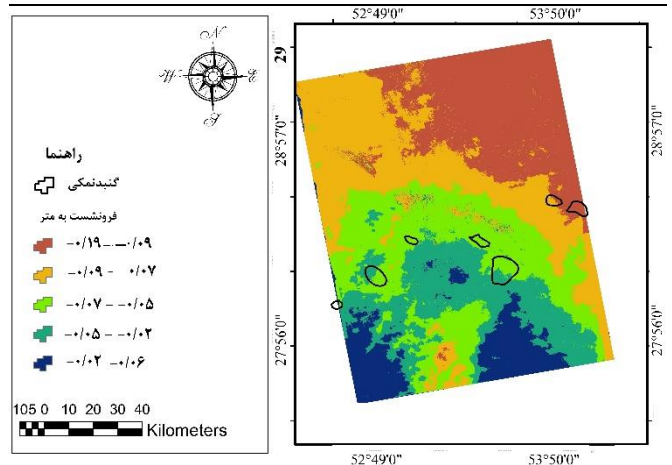
گنبد	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
C	۰/۹۲	۰/۵	۰/۵۸	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۵۹	۰/۹۰	۰/۷۷
Bh	۶۳۵	۱۱۰۵	۸۲۳	۲۲۸	۶۲۰	۶۰۴	۷۲۶	۵۱۸	۶۰۰	۰/۶۸۳
Bs	۲/۴۰	۳/۷۴	۱/۱۰	۲/۳	۲/۰۵	۱/۴۶	۱/۲۳	۱/۶۶	۱/۱۵	۱/۲۲
Hi	۰/۲۸	۰/۴۹	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۲۴	۰/۴۴	۰/۲۳	۰/۴۴	۰/۳۸
BR	۱/۲۶	۱/۱۱	۰/۱۸	۲/۴	۲/۰۴	۲/۶۷	۲/۷۱	۱/۰۱	۳/۲۵	۱/۳۴
LN	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۳۲
Dd	۲/۲	۲/۳۵	۱۳/۹۲	۱/۲۷	۱/۱۵	۱/۲۹	۱/۵۳	۵/۵۴	۱/۳۳	۱/۳۶
Fs	۶/۶۸	۱۰	۸/۲	۸/۷	۷/۷	۸/۱۸	۶/۷۹	۱۷	۶/۱۱	۴/۱



شکل (۴). فرونشست گنبدهای نمکی شهرستان فسا

گنبد	میزان جابه جایی (سانیمتر)
S1	-۷ - -۴
S2	۱۴-۵
S3	-۱-۳
S4	-۱۲-۱۰
S5	-۷-۵
S6	-۷-۹
S7	-۹-۱۲
S8	-۷-۴
S9	-۴-۰
S10	-۴-۰

جدول (۴). میزان جابه جایی گنبدهای نمکی



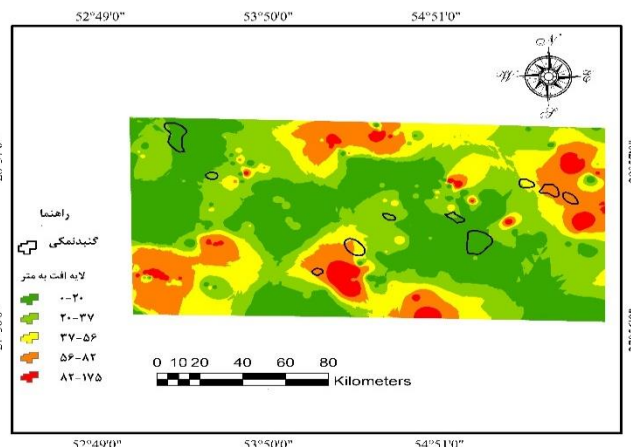
شکل (۳): فرونشست گنبدهای نمکی شهرستان داراب و زرین دشت منبع: نویسنندگان

میزان افت آب زیرزمینی گنبدهای نمکی

بررسی حاصل از فعالیت گنبدهای نمکی و ارتباط آن با فرونشست نشان داد که گنبدها نمکی اگرچه دارای فعالیت بالاآمدگی از میان لایه های رسوبی هستند اما افت آب زیرزمینی یکی از پارامترهای بسیار مهم در فرونشست گنبدهای نمکی شهرستان داراب می باشد در این پژوهش گنبدهای نمکی S4، S5، S6، S10 بیشترین میزان افت و فرونشست را به خود اختصاص داده اند که میزان آن برابر با ۱۹- تا ۷- سانتیمتر می باشد که نشانگر بالا بودن افت آب زیرزمینی در گنبدهای مذکور می باشد.

همچنین فعالیت گنبد‌های نمکی به ترتیب با میانگین امتیاز. 4.75.5.38,5.25.5 می‌باشند و بر اساس نتایج حاصله از طریق روش تداخل سنجی بخش‌های زیادی از محدوده گنبد‌های نمکی در محدوده فرونشست قرار دارند و دارای کمترین میزان بالآمدگی را داشته‌اند. مجموعه نتایج حاصله بیانگر این است که در میزان جابجایی عمودی منطقه علاوه بر حرکت گنبد‌های نمکی، فرونشست عوامل تکتونیکی، نیز تاثیر گذار بوده است. در واقع نتایج محاسبه شاخص‌ها حاکی از فعال بودن برخی از گنبد‌های نمکی است و نتایج حاصل از روش تداخل سنجی نیز بیانگر جابجایی عمودی منطقه و فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی است. جهت ارتباط بین میزان فرونشست و افت گنبد‌های نمکی از روش رگرسیون وزن دار فضایی و مجذور حداقل مربعات استفاده گردید و نتایج نشان داد که با مدل GWR بالاترین میزان ضریب R2 حدود ۹۹٪ و کمترین خطا ۰۰۱٪ انطباق بین دو پارامتر مذکور را تایید نمود.

میریندآبادی و المدرسی (۱۳۹۵)، بررسی دینامیسم فعال گنبد نمکی جاشک با استفاده از تصاویر Ascending و تداخل سنجی سری زمانی راداری در باند C پس از بررسی میزان تغییرات عمودی میزان نشست - ۱۶۰,۴۳۸ میلیمتر و میزان بالآمدگی ۱۵۴,۵۰۹ میلیمتر برای سنجنده ASAR در حالت بالا گذر است که نشان‌دهنده ی دی‌پایریسم فعال توده نمکی در زیر سطح میباشد. قاسمی و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی ارزیابی میزان فعالیت گنبد‌های نمکی منطقه لارستان با استفاده از شاخص‌های تکتونیکی و روش سری زمانی SBAS به این نتیجه دست یافتند که شاخص‌ها حاکی از فعال بودن برخی از گنبد‌های نمکی است و نتایج حاصل از روش سری زمانی SBAS نیز بیانگر جابجایی عمودی منطقه و فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی است. اما با توجه به اینکه بعضی از گنبد‌ها نمکی از جمله گنبد



شکل (۵). افت آب زیرزمینی گنبد‌های نمکی

بررسی تحلیل فضایی فرونشست گنبد‌های نمکی با تغییرات افت آب زیرزمینی

مقدار R2 و R2 تعدیل شده در مدل GWR به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۸ است و در مدل OLS ۰/۶۰ و ۰/۶۵ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول متغیرهای پژوهش حاصل در مدل‌سازی روابط فضایی عوامل موثر بر تاثیرپذیری گنبد نمکی با استفاده از مدل GWR است. Residual Squares میزان خطا در مدل را نشان میدهد که هرچه این میزان کمتر باشد گویا دقت کار و ارتباط بالای بین متغیرها می‌باشد ضریب معنا داری در مدل GWR حدود ۰/۰۰۱ که گویا بالا بودن میزان ارتباط بین دو متغیر مربوط می‌باشد.

جدول (۵). ارزیابی فرونشست و افت گنبد‌های نمکی مدل GWR و OLS

پارامتر	مدل GWR	مدل OLS
ضریب خطا	۰/۰۰۱	۰/۰۷
ضریب معنا داری	۰/۰۰۵	۰/۰۸
R2	۰/۹۹	۰/۲۲
R2 Adjusted	۰/۹۸	۰/۲۳

چهارال که در محاسبه شاخص‌ها دارای امتیاز بالایی بوده ولی در نتیجه حاصله از طریق سری زمانی SBAS در محدوده فرونشست قرار داشته است.

منابع

افشاری، سمیه؛ آقامحمدی زنجیرآبادی، حسین؛ نوری، محمدرضا (۱۳۹۵) پایش رشد و پیشروی گنبد‌های نمکی زمین شناسی به منظور تعیین شدت فعالیت با استفاده از تصاویر SAR مطالعه موردی گنبد نمکی گچین اکتشاف تولید نفت و گاز شماره ۱۳۸ صص ۴۶-۵۲.

ثروتی، محمدرضا؛ حمدی، بهاء الدین؛ یزدجردی، کورس؛ ادیت پور، محبوبه (۱۳۸۹) بررسی مورفولوژی گنبد‌های نمکی در جنوب فیروز آباد، فصل نامه جغرافیا طبیعی، سال ۳۰، شماره ۷، صص ۱۵-۳

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از شاخص‌های مربوط به گنبد‌های نمکی و همچنین روش تداخل سنجی به منظور ارزیابی وضعیت گنبد‌های نمکی محدوده مطالعاتی پرداخته شد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها بیانگر این است که در این گنبد‌های نمکی، گنبد‌های نمکی S2، دارای بالاترین امتیاز هستند و به عنوان فعال ترین گنبد‌ها محسوب می‌شوند و همچنین گنبد‌های نمکی S10 در جنوب غرب زمین دشت کمتر میزان فعالیت حدود ۴/۷۵ را داشته است. نتایج حاصل از ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۶ ماهه ۱۴- تا ۱۹ سانتی متر جابجایی داشته است که بیانگر این است که این منطقه در طی دوره زمانی مورد مطالعه حداکثر ۱۴ سانتی متر فرونشست و حداکثر ۱۹ سانتیمتر بالا آمدگی داشته است. ارزیابی نقشه نهایی بیانگر این است که بخش عمده‌ای از منطقه دارای فرورفتگی بوده است.

بررسی ارتباط فعالیت گنبد‌های نمکی با نقشه میزان جابجایی منطقه نیز بیانگر انطباقی نسبی نتایج حاصله از طریق روش DINSAR نیز بیانگر این است که این گنبد S4, S5, S6, S10 در محدوده فرونشست قرار دارد

- 2002, *Geodesy and Gravity/Tectonophysics*, First published: 26 June 2007
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008. The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95, pp. 260- 273.
- Hu, J.; Ding, X.; Zhang, L.; Sun, Q.; Li, Z.; Zhu, J. and Lu, Z. (2017). Estimation of 3-D surface displacement based on inSAR and deformation modeling, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing*, 55(4): 2007-2016.
- Jenyon, M. K. 1986. *Salt Tectonics*, Elsevier.
- Jordan, G. 2007. Adaptive smoothing of valleys in DEMs using TIN interpolation from ridgeline elevation: An application to morphotectonic aspect analysis. *Computers & Geosciences*, 33, pp.573-585
- Keller, E.A., Pinter, N. 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape* (2ndEd.), Prentice Hall, New Jersey
- Kent, P. E. 1987. in *Dynamical Geology of Salt and Related Structures*, Ed by Lerche. I and O'Brien J.J, pp; 3-37.
- Mayer, L. 1986. Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts. In: Wallace, r.e
- Tobler, W.R, 1970, A Computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46(2): 234-24.
- Zebker, H. A., (2000). "Studying the earth with interferometric radar." *Computing in Science and Engineering*, Vol. 2(3), pp. 52-60.
- شفیعی، نجمه، گلی مختاری، لیلا، امیراحمدی، ابوالقاسم، زندی، رحمان. (۱۳۹۸). بررسی فرونشست آبخوان نورآباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، نشریه پژوهش های کمی ژئومورفولوژی، شماره ۱۰، ۲۵-۴۳
- شفیعی، نجمه، گلی مختاری، لیلا، امیراحمدی، ابوالقاسم، زندی، رحمان. (۱۴۰۰). تحلیل فضایی فرونشست زمین و افت آب زیرزمینی با استفاده از مدل (GWR)، مطالعه موردی: آبخوان نورآباد ممسنی، جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۵، شماره ۷۶، تیر ۱۴۰۰، صفحه ۱۵۹-۱۷۱
- قاسمی افشان، ثروتی محمدرضا، بهرامی شهرام، رحیم زاده بهمن (۱۳۹۹). ارزیابی میزان فعالیت گنبد‌های نمکی منطقه لارستان با استفاده از شاخص های تکتونیکی و روش سری زمانی SBAS، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴، شماره ۸، صص ۲۲۰-۲۰۷
- میربندرآبادی، مجتبی، المدرسی، علی، (۱۳۹۸) بررسی دینامیسم فعال گنبد نمکی جاشک با استفاده از تصاویر Ascending و تداخل سنجی سری زمانی راداری در باند C، دومین همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین.
- مهرابی علی، پورخسروانی محسن، محبی امیرتکین (۱۳۹۸)، ارزیابی نقش تکتونیک در بروزند گنبد‌های نمکی منطقه زاگرس، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی دوره ۸، شماره ۳؛ از صص ۱۶۵-۱۸۲.
- مهرابی، علی، (۱۳۹۸)، بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی مختلف بر تحرک توده های نمکی با استفاده از روش تداخل سنجی سری زمانی تصاویر (ASAR) مطالعه موردی: گنبدنمکی شاه غیب (لارستان) پژوهش های جغرافیای طبیعی دوره ۵۱ شماره ۳، صص ۵۲۸-۵۱۳.
- Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekhosk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology* 180–181, 217–230.
- Berberian, M. 1995. Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphometrics, *Tectonophysics*, 241:193-224.
- Colón C, Webb AAG, Lasserre C, Doin M-P, Renard F, Lohman R, Li J, Baudoin PF. 2016. The variety of subaerial active salt deformations in the Kuqa fold-thrust belt (China) constrained by InSAR. *Earth and Planetary Science Letters*, 450: 83-95
- Deh Bozorgi, M. Pour kermani, M. Arian, M. Matkan, A. A. Motamedi, H. Hosseini A. 2010. Quantitative Analysis of Relative Tectonic Activity in The Sarvestan Area, *Geomorphology* 121.
- Devi, R. K. M., Bhakuni, S. S., Kumar Bora, P. 2011. Tectonic implication of drainage set-up in the Sub-Himalaya: A case study of Papumpare district, Arunachal Himalaya, India
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2007. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, 150–173.
- Furuya, M., Mueller, K., Wahr, J. 2007. Active salt tectonics in the Needles District, Canyonlands (Utah) as detected by interferometric synthetic aperture radar and point target analysis: 1992–