



## Relationship between Groundwater Resources and Quaternary Faults of Sirjan Plain Using Weight of Evidence Method

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Original Research

#### Authors

Mehrabi A.\*<sup>1</sup> PhD,  
Pourkhosravani M.<sup>1</sup> PhD

#### How to cite this article

Mehrabi A, Pourkhosravani M. Relationship between Groundwater Resources and Quaternary Faults of Sirjan Plain Using Weight of Evidence Method. Geographical Researches Quarterly Journal. 2019;34(2):175-182.

<sup>1</sup>Department of Geography & Urban Planning, Faculty of Literature & Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

#### \*Correspondence

Address: Department of Geography, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran  
Phone: +98 (34) 31322326  
Fax: +98 (34) 33257264  
mehrabi@uk.ac.ir

#### Article History

Received: November 18, 2018  
Accepted: March 03, 2019  
ePublished: June 20, 2019

### ABSTRACT

**Aims & Backgrounds** The faults and tectonic structures have a major effect on groundwater resources. They create aquifers and control their path. Determination of the relationship between faults and groundwater resources can help to identify the new water resources. This study aimed to investigate the relationship between faults and groundwater resources of Sirjan plain, numerically.

**Methodology** The 1 km buffers around the faults were extracted using the weight of evidence method through providing the quaternary fault layer and the position of Qanats and wells of the Sirjan plain by GIS 8.0 software. In the next step, by performing the operation of overlaying of the Qanats and wells with the faults layer, the coefficients of weights of evidence method were calculated.

**Findings** The most correlation between the wells and faults was in the 1 km distance from the strike fault and the major correlation between the Qanats and faults was within 2 km distance from the strike fault. 65% of deep and semi-deep drilled wells in the Sirjan plain were affected by faults, while only 24% of the Qanats in this region were related to the faults.

**Conclusion** The quaternary faults have the nutrition potential of groundwater aquifers of Sirjan plain considering the arid and semi-arid climatic and geographic conditions of Sirjan plain, and increasing needs for water resources.

**Keywords** Faults; Groundwater Resources; Weight of Evidence Method; Sirjan Plain

### CITATION LINKS

[Abassnejad & Shahidasht;2013] Vulnerability of Sirjan plain due to aquifer over ...; [Abdullahi & Pradhan; 2016] Sustainable Brownfields Land use change modeling using GIS-based weights-of- ...; [Agard, et al; 2005] Convergence history across Zagros (Iran), constraints from collisional and earlier ...; [Alaei Taleghani & SaeediKia; 2013] The role of geomorphologic factors in formation and nourishing of underground ...; [Aliabadi, et al; 2014] The role of active tectonics and tectonic lineaments in the development of underground aquifers in ...; [Alonso, et al; 2008] Lineament mapping for groundwater exploration using remotely sensed imagery ...; [Ammar & Kamal; 2018] Resistivity method contribution in determining of fault zone and hydro-geophysical characteristics of ...; [Armas;2012] Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping Prahova, ...; [Azadikhah , et al, 2015] Formation of extensional basin in internal part of the Zag-Ros orogeny in west of ...; [Carranza;2009] Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with ...; [Dehbozorgi & Rezaie 2016] Quaternary active faults effect on the abundance of underground water resources in Maharlou ...; [Dortz, et al; 2011] Dating inset terraces and offset fans along the Dehshir Fault (Iran) combining ...; [Foroutan, et al; 2011] Late pleistocene-holocene right- slip rate of the Dehshir Fault, Central Iran ...; [Hashemi, et al; 2010] Investigating the role of major faults in controlling the frequency of groundwater ...; [Hernandez & Burbey;2012] Fault-controlled deformation and stress from pumping-induced ...; [Kazemi, et al; 2005] Investigation the effect of structural elements on the karst water resource abundance in ...; [Kiani & Yousefi; 2017] Effect of active faults in the groundwater level of Shaharchay basin in ...; [Mehrabi & Derakhshani; 2010] Generation of integrated geochemical-geological predictive model ...; [Mehrabi, et al; 2009] Spatial association of mineralization and fractures in meiduk porphyry copper ...; [Mehrnehad & Mehrshahi; 2005] Structural analysis and seismotectonics of Dashir ...; [Mohajjel, et al; 2003] Cretaceous-tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, ...; [Najib, et al; 2013] Study of the effects of earthquake on observation wells and springs of Varzagan and ...; [Nespoli, et al; 2016] Modeling earthquake effects on groundwater levels: Evidences from ...; [Pamela, et al; 2017] Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping in Takengon, central Aceh, ...; [Pourkermani & Arian; 1997] Seismotectonic ...; [Turner; 1997] Predictive GIS model for sediment-hosted gold deposits, North-Central ...; [Fan, et al; 2011] Weight of evidence method and its applications and ...; [Kerman Regional Water Company; 2017] Province water ...; [Kresic & Stevanovic;2009] Groundwater hydrology of ...

## ارتباط بین منابع آب زیرزمینی و گسل‌های کواترنری دشت سیرجان با روش وزن‌های نشانگر

علی مهربانی<sup>\*</sup> PhD

گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

محسن پورخسروانی PhD

گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

### چکیده

**اهداف و زمینه‌ها:** گسل‌ها و ساختارهای تکتونیکی تأثیر عمده‌ای بر منابع آب زیرزمینی دارند و باعث هدایت و تشکیل سفره‌های آبی می‌شوند. تعیین میزان ارتباط بین آنها می‌تواند در شناسایی منابع آبی جدید کمک کند. هدف این پژوهش بررسی ارتباط بین گسل‌ها و منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان به صورت کاملاً کمی و عددی بود.

**روش‌شناسی:** با استفاده از روش وزن‌های نشانگر و با تهیه لایه گسل‌های کواترنری و موقعیت قنوات و چاه‌های دشت سیرجان در محیط GIS، فواصل و حریم‌های یک کیلومتری اطراف گسل‌ها استخراج شد. در ادامه با انجام عملیات روی هم‌اندازی لایه قنوات و چاه‌ها روی لایه گسل‌های حریم‌دار، ضرایب مربوط به روش وزن‌های نشانگر محاسبه شد.

**یافته‌ها:** بیشترین ارتباط بین چاه‌ها و گسل‌ها در فاصله یک کیلومتری از امتداد گسل بود و بیشترین ارتباط بین قنوات و گسل‌ها در فاصله ۲ کیلومتری از گسل‌ها به دست آمد. ۶۵٪ از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق حفر شده در دشت سیرجان تحت تأثیر گسل‌ها قرار داشتند، در حالی که تنها ۲۵٪ از قنوات در این منطقه مرتبط با گسل‌ها بودند.

**نتیجه‌گیری:** گسل‌های کواترنری، پتانسیل تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دشت سیرجان با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک آن و افزایش نیازهای روزافزون به منابع آبی بیشتر را دارد.

**کلیدواژه‌ها:** گسل، منابع آب زیرزمینی، روش وزن‌های نشانگر، دشت سیرجان

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۲

نویسنده مسئول: mehrabi@uk.ac.ir

### مقدمه

عوامل ژئومورفولوژی و زمین‌شناختی تأثیر عمده‌ای بر منابع آب زیرزمینی دارند، گسل‌ها از بین این عوامل، نقش مهم‌تری دارند، به طوری که با ایجاد جابجایی در توالی لایه‌ها باعث هدایت آب‌های زیرزمینی و تشکیل سفره‌های آبی می‌شوند. علاوه بر آن شکستگی‌ها نقش مهمی در نفوذ آب‌های جاری به درون زمین شده و در نتیجه بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارند [Hashemi et al, 2010].

دشت سیرجان دارای اقلیم گرم و خشک است، با توجه به گسترش فعالیت کشاورزی، مخصوصاً کاشت درختان پسته از یک طرف و خشکسالی‌های رخ داده در چند دهه اخیر از طرف دیگر، باعث افت شدید منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شده است [Abassnejad & Shahidasht, 2013] و با توجه به ارتباط

شدید اقتصاد منطقه به کشاورزی، بحث شناخت منابع آبی جدید در این منطقه بسیار حیاتی بوده و در نتیجه شناخت عوامل مؤثر بر حوضه آب‌های زیرزمینی از جمله عامل تکتونیک بسیار اهمیت می‌یابد. به طوری که با تعیین میزان ارتباط بین منابع آبی و گسل‌های کواترنری موجود در دشت سیرجان، می‌توان علاوه بر پتانسیل‌یابی منابع آبی جدید، تأثیر فعالیت احتمالی گسل‌ها را بر روی حوضه آبریز مذکور مورد بررسی قرار داد.

مطالعات تکتونیکی انجام گرفته اخیر، بر روی دشت سیرجان [Dortz et al, 2011; Azadikhahi et al, 2015] نشان می‌دهد که رژیم کششی ناشی از گسل‌های اصلی محصورکننده دشت، عامل اصلی شکل‌گیری آن می‌باشد. بنابراین تأثیر و نقش عامل تکتونیک در پیدایش و تحول بسیاری از پدیده‌های زمین‌شناختی و ژئومورفولوژی منطقه از جمله منابع آب زیرزمینی، بسیار محتمل است.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه تأثیر و ارتباط بین شکستگی‌ها و عناصر ساختاری با منابع آب زیرزمینی انجام گرفته است [Hashemi et al, 2010; Kiani & Yousefi, 2017; Carla et al, 2008; Hernandez & Burbey, 2012; Ammar & Kamal 2018]. ولیکن تکیه بیشتر این مطالعات صرفاً بر روی بررسی شواهد ظاهری بوده و تحلیل‌های انجام گرفته جنبه کیفی و توصیفی دارد، به طور مثال کاظمی و همکاران [Kazemi et al, 2005] بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS پرداختند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که رابطه نزدیکی بین فراوانی چشمه‌ها و فاصله از عناصر تکتونیکی وجود دارد و همچنین تبعیت روند کلی عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها با شبکه هیدروگرافی و مشاهده تمرکز عوارض کارستی در امتداد کلی عناصر تکتونیکی نشان‌دهنده نقش اساسی عناصر تکتونیکی در هیدرولوژی منطقه است. کیانی و یوسفی [Kiani & Yousefi, 2017] نقش گسل‌های فعال را در ارتباط با سطح تراز آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز شهر چای-دشت ارومیه را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که الگوی حرکت آب زیرزمینی کاملاً متأثر از گسل‌های کواترنری فعال منطقه است. همچنین دهنرگری و رضایی [Dehbozorgi & Rezaie, 2015] با مطالعه گسل‌های کواترنری فعال و وضعیت فراوانی قنوات و آبدی چاه‌ها حوضه مهارلو در زاگرس مرکزی، به روند نسبتاً خطی چاه‌ها در راستای گسل‌ها اشاره داشته و یا اینکه اختلاف فاحش آبدی چاه‌ها در پهنه گسلی را دلیل بر ارتباط بین گسل‌ها و منابع آبی منطقه می‌دانند و یا علی‌آبادی و همکاران [Aliabadi et al, 2014] نقش زمین‌ساخت فعال و خطواره‌های تکتونیکی در پیدایش سفره‌های آب زیرزمینی در دشت سبزواری مورد بررسی قرار دادند، طبق نتایج، ارتباط تنگاتنگی بین خطواره‌های گسلی و منابع آب زیرزمینی وجود دارد و این ارتباط تنها با روی هم‌اندازی لایه گسل‌ها و لایه موقعیت چاه‌ها و قنوات و مشاهده ظاهری به دست آمده است.

قشر ذرات و نفوذپذیری سفره کاهش می‌یابد. ضخامت سفره در قسمت شمال شرقی و جنوب دشت بیش از سایر مناطق بوده و به‌طرف ارتفاعات و حاشیه غربی به حداقل می‌رسد [Abassnejad & Shahidasht, 2013]. عمده تغذیه سفره آبرفتی سیرجان توسط ارتفاعات بخش شمال شرقی-شرق و جنوب شرقی به‌ویژه آهک‌های متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی صورت می‌گیرد. جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت نیز از سمت شمال شرقی و شرق به سمت جنوب و جنوب‌غربی است [Abassnejad & Shahidasht, 2013]. براساس داده‌های اخذشده از شرکت سهامی آب و منطقه‌ای کرمان (۱۳۹۶)، تعداد ۱۰۸۷ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق و تعداد ۹۳ حلقه قنات در محدوده دشت سیرجان وجود دارد (شکل ۳).

### روش وزن‌های نشانگر

ارتباط مکانی بین موقعیت چاه‌ها و قنات با گسل‌ها با استفاده از روش وزن‌های نشانگر [Carranza 2009] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این روش تاکنون در مطالعات و تحقیقات جغرافیایی متفاوت و مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است [Mehrabi & Derakhshani, 2010; Mehrab et al, 2009; Armas, Pamela et al, 2012; Abdullahi & Pradhem, 2016; 2017] البته پایه ریاضی این تکنیک پیچیده بوده و در این تحقیق از نوع ساده این روش، که توسط ترنر ارائه شده (۱۹۹۷)، استفاده می‌شود. مبنای این روش بر حضور یا عدم حضور یک پدیده نقطه‌ای (مانند موقعیت چاه‌ها و قنات) در یک محدوده می‌باشد، که این محدوده می‌تواند فواصل مشخص از گسل‌ها باشد. این روش بر اساس وزن‌دهی بین این نقاط و محدوده‌ها عمل می‌کند. این وزن‌ها به‌صورت  $W+$  (وزن‌دهی به پدیده‌های درون محدوده (DP)) و  $W-$  (وزن‌دهی به پدیده‌های بیرون از محدوده (DA)) می‌باشند. باید توجه کرد  $T = DP + DA$  و  $T$  کل محدوده ایست که مطالعه شده است. ارتباط مکانی بین مجموعه نقاط و محدوده‌های دوتایی را با توجه به رابطه زیر می‌توان مشخص نمود:

ارتباط مکانی مثبت اگر:

$$1 > \frac{\text{درصد کل مساحت درون محدوده}}{\text{درصد پدیده‌های قرارگرفته در درون محدوده}}$$

ارتباط مکانی منفی اگر:

$$1 < \frac{\text{درصد کل مساحت درون محدوده}}{\text{درصد پدیده‌های قرارگرفته در درون محدوده}}$$

بدون ارتباط مکانی اگر:

$$1 = \frac{\text{درصد کل مساحت درون محدوده}}{\text{درصد پدیده‌های قرارگرفته در درون محدوده}}$$

اما به دلیل اینکه مساحت پدیده‌ها بسیار کوچک‌تر از محدوده‌های است که درون آن قرار دارند، برای نمایش تغییرات، روابط بالا به‌صورت لگاریتمی ارائه می‌شود.

$$W+ \text{ لگاریتم (درصد پدیده‌های درون محدوده)} // \text{درصد کل مساحت درون محدوده}$$

$$W- \text{ لگاریتم (درصد پدیده‌های بیرون محدوده)} // \text{درصد کل مساحت}$$

هدف این پژوهش بررسی ارتباط بین گسل‌ها و منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان به‌صورت کاملاً کمی و عددی با استفاده از روش وزن‌های نشانگر بود.

### روش‌شناسی

در این پژوهش به‌منظور تجزیه و تحلیل و دستیابی به اهداف مورد نظر، ضمن تهیه اطلاعات مربوط به موقعیت چاه‌ها و قنات منطقه، داده‌های مربوط به گسل‌های منطقه نیز تهیه و برای آماده‌سازی و انجام تحلیل‌های نهایی از نرم‌افزارهای ENVI 5.3، ArcGIS 10.3 و افزونه SDM استفاده شد. شرط کار با داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی مذکور این است که ابتدا این لایه‌های از فرمت بردار به فرمت رستر تبدیل شوند.

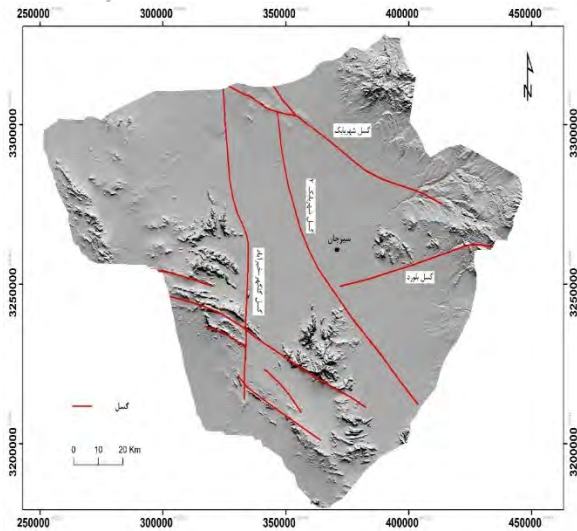
دشت سیرجان در بخش غربی استان کرمان و در مختصات جغرافیایی ۵۷° و ۵۴' تا ۲۶° و ۵۶' طول شرقی و ۴۷' و ۲۸' تا ۵۸° و ۲۹' عرض شمالی قرارگرفته است (شکل ۱). در سمت شمال شرق به کمربند آتشفشانی ایران مرکزی و از سمت غرب به کفه نمکی سیرجان منتهی می‌شود. اقتصاد این منطقه بر پایه فعالیت در بخش کشاورزی استوار است به‌طوری‌که حدود ۹۸٪ از حجم آب برداشت‌شده از سفره آب زیرزمینی صرف فعالیت‌های کشاورزی به‌خصوص باغات پسته می‌شود.

### گسل‌های منطقه

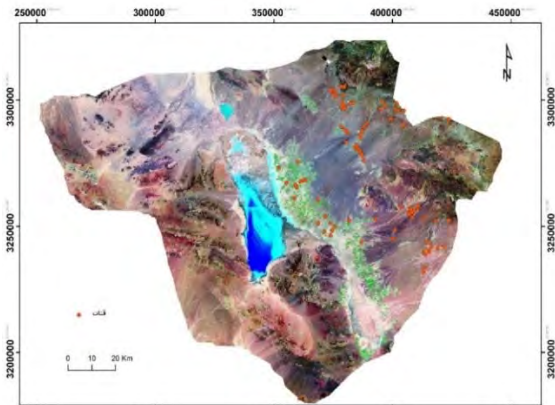
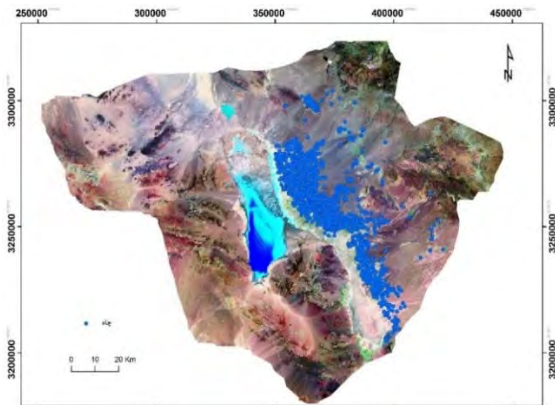
از نظر ایالت‌های زمین‌شناختی، دشت سیرجان جزء کمربند دگرگونی سندانج-سیرجان محسوب می‌شود [Pourkermani & Arian, 1997; Agard et al, 2005; 2003]. کمربند دگرگونی سندانج-سیرجان در راستای شمال غرب-جنوب شرق به‌موازات زاگرس امتداد یافته است و تشکیل و تحول آن نیز همانند زاگرس، در نتیجه برخورد صفحات تکتونیکی عربستان به ایران است [Mohajjel et al, 2003]. جدیدترین مطالعات انجام‌گرفته بر روی دشت سیرجان [Azadikhah et al, 2015] تشکیل آن را در اثر کشش ناشی از گسل‌های محصورکننده دشت می‌داند و این دشت را فرو چاله‌ای تکتونیکی در نظر می‌گیرد. زون گسلی شهرابک که خود شاخه‌ای از زون گسلی دهشیر است [Mehrnehad & Mehrshahi, 2005]، از مهم‌ترین گسل‌های محصورکننده دشت سیرجان است. گسل‌های گل‌گهر-خیرآباد و شهرابک ۲ که منشعب‌شده از گسل شهرابک هستند، باعث افتادگی دشت سیرجان شده‌اند [Foroutan et al, 2011; Azadikhah et al, 2015; Dortz et al, 2011] (شکل ۲). بنابراین می‌توان ایجاد و توسعه سفره‌های آب زیرزمینی دشت را متأثر از وجود گسل‌ها دانست و ارتباط بین آنها محتمل است.

### منابع آب زیرزمینی منطقه

سفره آبرفتی دشت سیرجان از نوع آزاد بوده و آبرفت‌های دوره کواترنر ساختمان اصلی آن را تشکیل می‌دهد. رسوبات نواحی شمالی دشت درشت‌دانه و دارای تخلخل مفید و نفوذپذیری بالا و به سمت نواحی غربی و جنوبی با فاصله‌گرفتن از محورهای رسوب‌گذاری به‌تدریج



شکل ۲) گسل‌های کوتاه‌تری فعال در دشت سیرجان



شکل ۳) موقعیت قنات و چاه‌های واقع در دشت سیرجان

**یافته‌ها**

به‌منظور انجام روش وزن‌های نشانگر، ۲۰ حریم ۱۰۰۰ متری دورتادور گسل‌ها ترسیم شد (شکل ۴). انتخاب ۲۰ حریم به جهت پوشش کامل نقاط مربوط به چاه‌ها و قنات می‌باشد. موقعیت ظاهری چاه‌ها و قنات تقریباً با روند گسل‌ها پیروی می‌کند و جهت‌یافتگی دارد. بنابراین به‌طور ظاهری ارتباط بین گسل‌ها و منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مشهود است.

برون محدوده)

پس از وزن‌دهی، واریانس وزن‌ها از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$s^2(w+) = \frac{1}{mD_p} + \frac{1}{bD_p}$$

$$s^2(w-) = \frac{1}{mD_A} + \frac{1}{bD_A}$$

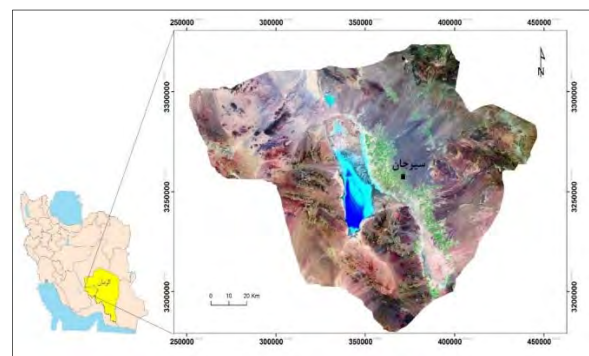
در فرمول بالا mDP تعداد پیکسل‌های (کوچک‌ترین واحد سازنده تصویر) درون محدوده که شامل موقعیت چاه یا قنات است. و bDP تعداد پیکسل‌های که بدون موقعیت چاه یا قنات بوده ولی درون محدوده است. سپس برای هر محدوده دوتایی ضریب تباین (C) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$C = (W+) - (W-)$$

سپس انحراف معیار را محاسبه نموده :

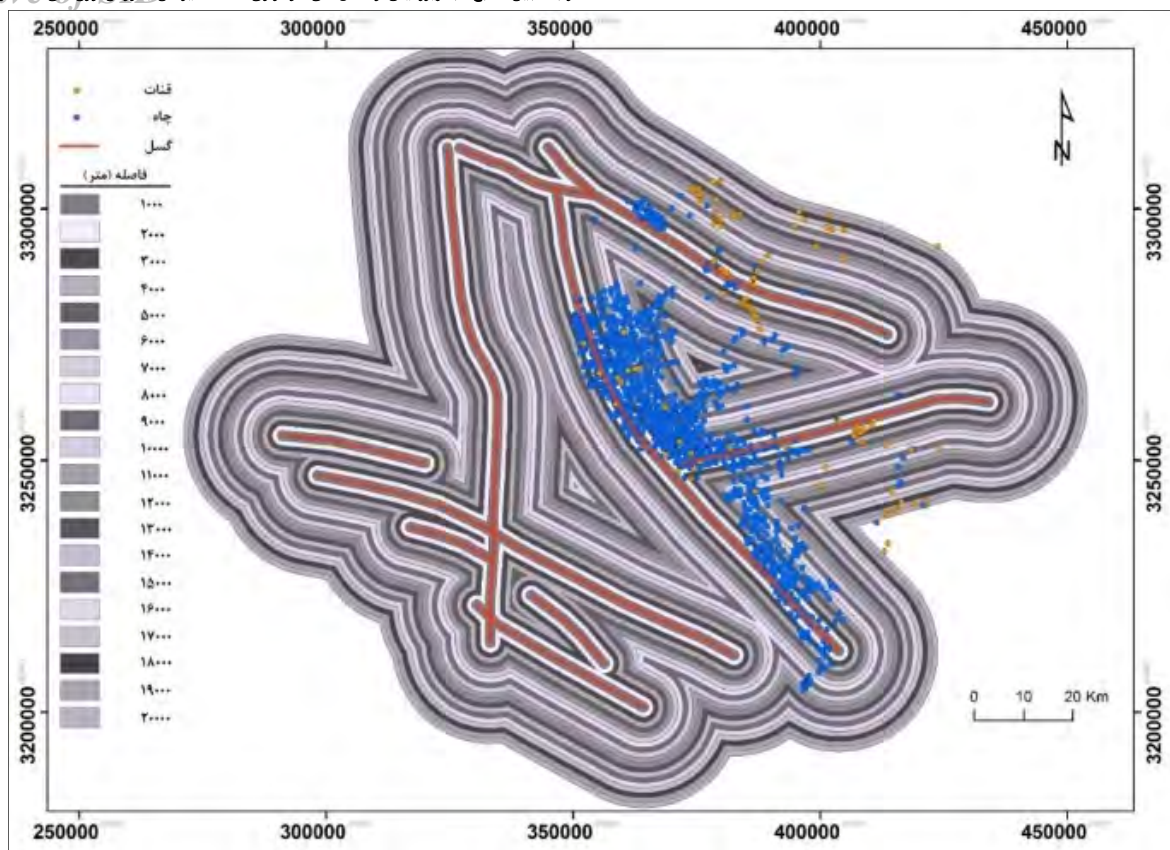
$$s(C) = \sqrt{s^2(W+) + s^2(W-)}$$

در مواردی که نقاط و رخنمون‌ها نسبتاً کم باشند (مانند تحقیق پیش‌رو) نسبت C/s(C) مبنای کار قرار می‌گیرد [Carranza 2009]، این نسبت به‌عنوان آزمون غیررسمی با فرض صفر= C عمل می‌کند تا زمانی که این نسبت به‌طور نسبی زیاد باشد دال بر این است که کنتراست در مقایسه با انحراف استاندارد زیاد است در نتیجه کنتراست به واقعیت نزدیک‌تر است. از نظر تئوری، اگر مقدار این نسبت از ۱/۵ یا ۲ بالاتر باشد، ارتباط بین دو متغیر مطلوب است. به خاطر فرض‌های لازم برای آزمون آماری رسمی، به‌ویژه مسیله وابستگی (Cs) بر روی واحدهای اندازه‌گیری بهترین راه استفاده از این تناسب نه به‌طور مطلق بلکه به‌طور نسبی است. بر این اساس هر چه مقدار نسبت به‌دست‌آمده بالا، بزرگ‌تر باشد ارتباط مکانی مطلوب‌تر بوده به‌طوری‌که حداکثر نسبت به‌دست‌آمده برای یک محدوده ارتباط مکانی مطلوب‌تری را برای آن محدوده می‌توان در نظر گرفت.



شکل ۱) موقعیت جغرافیایی دشت سیرجان در استان کرمان





شکل ۴) فواصل ۱۰۰۰ متری اطراف گسل‌ها، و موقعیت قنوت و چاه‌ها نسبت به آن

گسل‌ها محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۱) تغییرات وزن‌ها و تباین‌ها برای فواصل تجمعی از امتداد گسل‌ها نسبت به موقعیت چاه‌ها

C/s (C)	S (C)	C	s (W-)	W-	s (W+)	W+	تعداد نقاط	فاصله (متر)
۱۰/۷۶	۰/۰۸۹	۰/۹۶۶	۰/۰۳۳	-۰/۰۹۸	۰/۰۸۳	۰/۸۶۸	۱۶۴	۱۰۰۰
۹/۲۲	۰/۰۹۲	۰/۸۵۳	۰/۰۳۳	-۰/۰۸۳	۰/۰۸۶	۰/۷۷۰	۱۵۱	۲۰۰۰
۴/۲۹	۰/۱۰۵	۰/۴۵۳	۰/۰۲۲	-۰/۰۳۶	۰/۱۰۰	۰/۴۱۶	۱۰۸	۳۰۰۰
۳/۷۶	۰/۱۰۹	۰/۴۱۱	۰/۰۳۲	-۰/۰۳۱	۰/۱۰۴	۰/۳۷۹	۱۰۰	۴۰۰۰
۲/۷۵	۰/۱۱۶	۰/۳۲۱	۰/۰۳۲	-۰/۰۲۲	۰/۱۱۱	۰/۲۹۹	۸۶	۵۰۰۰
۴/۴۳	۰/۱۱۰	۰/۴۹۲	۰/۰۳۲	-۰/۰۳۵	۰/۱۰۶	۰/۴۵۶	۹۷	۶۰۰۰
۱/۰۱	۰/۱۲۷	۰/۱۲۹	۰/۰۳۲	-۰/۰۰۷	۰/۱۲۳	۰/۱۲۱	۷۰	۷۰۰۰
۱/۴۶	۰/۱۲۳	۰/۲۴۲	۰/۰۳۲	-۰/۰۱۵	۰/۱۱۹	۰/۲۲۷	۷۵	۸۰۰۰
۰/۵۹	۰/۱۳۴	۰/۰۷۹	۰/۰۳۲	-۰/۰۰۴	۰/۱۳۰	۰/۰۷۵	۶۲	۹۰۰۰
۰/۵۳	۰/۱۳۷	۰/۰۷۳	۰/۰۳۲	-۰/۰۰۳	۰/۱۳۴	۰/۰۶۹	۵۹	۱۰۰۰۰
-۳/۰۲	۰/۱۸۲	-۰/۵۵۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۱	۰/۱۷۹	-۰/۵۲۹	۳۲	۱۱۰۰۰
-۴/۳۹	۰/۲۴۵	-۱/۰۵	۰/۰۳۱	۰/۰۳۰	۰/۲۳۸	-۱/۰۲	۱۸	۱۲۰۰۰
-۳/۲۱	۰/۲۰۵	-۰/۶۶۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۱	۰/۲۰۳	-۰/۶۴	۲۵	۱۳۰۰۰
-۳/۹۹	۰/۲۴۵	-۰/۹۶۵	۰/۰۳۱	۰/۰۲۶	۰/۲۳۸	-۰/۹۳۴	۱۸	۱۴۰۰۰
-۴/۷۵	۰/۳۱۹	-۱/۵۲	۰/۰۳۱	۰/۰۳۲	۰/۳۱۸	-۱/۴۸	۱۰	۱۵۰۰۰
-۴/۸۶	۰/۴۱۱	-۱/۹۹	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۴۰۹	-۱/۹۶	۶	۱۶۰۰۰
-۴/۵۹	۰/۵۷۹	-۲/۶۶	۰/۰۳۱	۰/۰۳۶	۰/۵۷۸	-۲/۶۲	۳	۱۷۰۰۰
							۰	۱۸۰۰۰
-۳/۷۳	۱/۰۰	-۳/۷۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۷	۱/۰۰	-۳/۶۹	۱	۱۹۰۰۰
-۳/۳۷	۱/۰۰	-۳/۷۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۷	۱/۰۰	-۳/۷۰	۱	۲۰۰۰۰

ولیکن جهت کمی سازی این ارتباط، از روش وزن‌های نشانگر استفاده شد. بدین منظور با انجام عملیات روی هم‌اندازی لایه قنوت و چاه‌ها در محیط GIS به‌طور جداگانه بر روی لایه گسل‌های حریم دار، تعداد نقاط در درون و بیرون محدوده‌های دوتایی (فواصل مختلف از گسل‌ها) شمارش شده و سپس با استفاده از معادلات ذکر شده در بخش روش تحقیق، ضرایب C و Studentized C محاسبه می‌شود، در نهایت تغییرات وزن‌ها و تباین‌ها برای فواصل تجمعی از امتداد گسل‌ها نسبت به موقعیت چاه‌ها و قنوت محاسبه شد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بالاترین ضریب C/s(C) به‌دست آمده ۱۰/۷۶ و متعلق به فاصله ۱۰۰۰ متری از گسل بود، برای فاصله ۲ کیلومتری از گسل ۹/۲۲ به‌دست آمده و با افزایش فاصله از گسل این ضریب نیز کاهش یافت. با توجه به اینکه در روش وزن‌های نشانگر کلاسی که بالاترین ضریب C/s(C) را به دست آورده دارای بیشترین ارتباط مکانی با پدیده نقطه‌ای است. پس می‌توان فاصله ۱۰۰۰ متری از گسل‌ها را بسیار مرتبط با چاه‌های منطقه مورد مطالعه دانست و با دور شدن از گسل‌ها این ارتباط نیز کاهش یافته تا اینکه از فاصله ۶۰۰۰ متری به بعد اساساً هیچ‌گونه ارتباطی را نمی‌توان متصور شد، زیرا بعد از این فاصله ضرایب کمتر از ۲ شده و طبق اصول روش وزن‌های نشانگر برای آن فواصل هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری قابل تصور نبود (جدول ۱).

برای تعیین ارتباط بین موقعیت قنوت منطقه مورد مطالعه با گسل‌ها، تغییرات وزن‌ها و تباین‌ها برای فواصل تجمعی از امتداد

جدول ۲) تغییرات وزن‌ها و تباين‌ها برای فواصل تجمعی از امتداد گسل‌ها نسبت به موقعیت قنوات

فاصله (متر)	تعداد نقاط	W+	S (W+)	W-	S (W)	C	S (C)	C/s (C)
۱۰۰۰	۱۰	۰/۴۹۲	۰/۳۱۷	-۰/۰۴۷	۰/۱۱۲	۰/۵۳۹	۰/۳۳۶	۱/۶۰
۲۰۰۰	۱۳	۰/۷۵۲	۰/۲۷۸	-۰/۰۸۵	۰/۱۱۴	۰/۸۳۸	۰/۳۰۱	۲/۷۸
۳۰۰۰	۹	۰/۳۹۶	۰/۳۳۴	-۰/۰۳۵	۰/۱۱۱	۰/۴۳۲	۰/۳۵۲	۱/۲۲
۴۰۰۰	۵	-۰/۱۵۰	۰/۴۴۸	۰/۰۰۹	۰/۱۰۸	-۰/۱۶۰	۰/۴۶۱	-۰/۳۴
۵۰۰۰	۶	۰/۱۰۸	۰/۴۰۹	-۰/۰۰۷	۰/۱۰۹	۰/۱۱۶	۰/۴۲۳	۰/۲۷
۶۰۰۰	۳	-۰/۵۶۱	۰/۵۷۸	۰/۰۲۶	۰/۱۰۷	-۰/۵۸۷	۰/۵۸۸	-۰/۹۹
۷۰۰۰	۳	-۰/۵۴۷	۰/۵۷۸	۰/۰۲۵	۰/۱۰۷	-۰/۵۷۲	۰/۵۸۸	-۰/۹۷
۸۰۰۰	۵	-۰/۰۰۳	۰/۴۴۸	۰/۰۱	۰/۱۰۸	-۰/۰۰۳	۰/۴۶۱	-۰/۰۱
۹۰۰۰	۳	-۰/۴۶۸	۰/۵۷۸	۰/۰۲	۰/۱۰۷	-۰/۴۸۹	۰/۵۸۸	-۰/۸۳
۱۰۰۰۰	۵	۰/۰۸۸	۰/۴۴۸	۰/۰۱۱	۰/۱۰۸	۰/۰۹۳	۰/۴۶۱	۰/۲۰
۱۱۰۰۰	۴	-۰/۰۹۶	۰/۵۰۱	-۰/۰۱۱	۰/۱۰۸	-۰/۱۰۱	۰/۵۱۲	-۰/۱۹
۱۲۰۰۰	۷	۰/۵۵۸	۰/۳۷۹	-۰/۰۳۱	۰/۱۱۰	۰/۵۹۴	۰/۳۹۵	۱/۵۰
۱۳۰۰۰	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۴۰۰۰	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۵۰۰۰	۲	-۰/۵۶۷	۰/۷۰۸	۰/۰۱۷	۰/۱۰۶	-۰/۵۸۵	۰/۷۶۱	۰/۸۲
۱۶۰۰۰	۳	-۰/۱۱۹	۰/۵۷۸	۰/۰۰۴	۰/۱۰۷	-۰/۱۲۳	۰/۵۸۸	-۰/۲۱
۱۷۰۰۰	۳	-۰/۰۸۵	۰/۶۷۸	۰/۰۰۳	۰/۱۰۷	-۰/۰۸۸	۰/۵۸۸	-۰/۱۵
۱۸۰۰۰	۲	-۰/۴۷۳	۰/۷۰۸	۰/۰۱۳	۰/۱۰۶	-۰/۴۸۷	۰/۷۱۶	-۰/۶۸
۱۹۰۰۰	۴	۰/۲۳۳	۰/۵۰۱	۰/۰۰۹	۰/۱۰۸	۰/۲۴۲	۰/۵۱۲	۰/۴۷
۲۰۰۰۰	۳	-۰/۰۵۹	۰/۵۷۸	۰/۰۰۲	۰/۱۰۷	-۰/۰۶۱	۰/۵۸۸	-۰/۱۱

بالاترین ضریب C/s(C) به‌دست‌آمده عدد ۲/۷۸ و متعلق به فاصله ۲۰۰۰ متری از گسل بود و برای فاصله یک کیلومتری از گسل ۱/۶ به‌دست‌آمد. بنابراین قنوات با کلاس ۲ کیلومتری از گسل‌ها ارتباط مطلوب‌تری داشتند تا فاصله ۱۰۰۰ متری و از فاصله ۲۰۰۰ متری به بعد دیگر هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری وجود نداشت.

## بحث

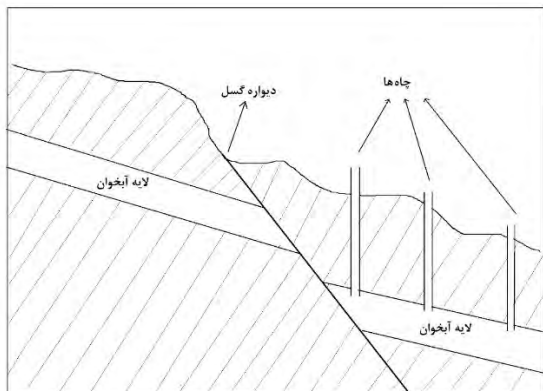
وجود ارتباط بین عوامل ساختاری، شکستگی‌ها و گسل‌ها با منابع آب زیرزمینی مشخص است. شکستگی‌ها باعث نفوذ آب‌های سطحی به درون زمین شده و از طرف دیگر گسل‌ها با جابجایی لایه‌های زیرزمین باعث تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی می‌شوند. اما آنچه در این تحقیق انجام‌گرفته نشان دادن این ارتباط با مدل آماری و به‌صورت کمی است. در راستای اعمال روش وزن‌های نشانگر نقشه گسل‌های کواترنری، چاه‌ها و قنوات موجود در دشت سیرجان در محیط GIS به لایه‌های رستری تبدیل‌شده و با استفاده از افزونه SDM وزن‌ها و ضرایب مربوطه محاسبه شد. براساس ضرایب به‌دست‌آمده از روش وزن‌های نشانگر، بیشترین ارتباط بین قنوات و گسل‌ها در دشت سیرجان به ترتیب در فواصل ۲ و یک کیلومتری از امتداد گسل‌ها برقرار است، همچنین بیشترین ارتباط بین چاه‌های منطقه و گسل‌ها در فاصله یک کیلومتری امتداد گسل بوده و از آنجایی‌که بر اساس روش وزن‌های نشانگر اگر ضریب C/s(C) به‌دست‌آمده برای فواصل مختلف، بیشتر از ۲ به‌دست‌آمده

باشد، ارتباط مکانی مثبتی بین چاه‌ها و گسل‌ها وجود دارد در نتیجه بر اساس جدول ۱ این ارتباط تا ۶ کیلومتری نیز ادامه دارد. همچنین گسل‌ها توانسته‌اند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، با ایجاد جابجایی در رسوبات آبرفتی کواترنری، باعث نفوذ آب در زیرزمین و برونداد آن از طریق قنوات و چاه‌ها بشوند. علاوه بر نتایج به‌دست‌آمده از روش وزن‌های نشانگر که به‌صورت کمی مبین وجود ارتباط بین چاه‌ها و قنوات دشت سیرجان است، عوامل توپوگرافی متفاوتی نظیر شیب زمین و وجود مخروط افکنه‌ها متعدد، نیز می‌تواند در تغذیه سفره آب زیرزمینی دشت مؤثر باشد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که ۲۵٪ از کل تعداد قنوات موجود در دشت سیرجان تحت تأثیر گسل‌های کواترنری در منطقه بوده و درحالی‌که ۶۵٪ از چاه‌های حفرشده در دشت سیرجان متأثر از گسل‌ها است. مقایسه نتایج کمی و آماری به‌دست‌آمده از این تحقیق، مؤید مطالعات کیفی و توصیفی پیشین بوده و باهم مطابقت دارند.

آنچه از نتایج تحقیق برمی‌آید، به‌طورکلی قنوات و چاه‌ها هر دو با گسل‌های منطقه مرتبط هستند، ولیکن در میزان و کمیت این ارتباط، کمی تفاوت وجود دارد. به‌طوری‌که اولاً ارتباط مطلوب چاه‌ها دقیقاً بلافاصله از مرز گسل‌ها شروع‌شده ولی در مورد قنوات این ارتباط مطلوب از فاصله هزار متری از گسل شروع می‌شود، ثانیاً در مورد چاه‌ها ارتباط مطلوب تا فاصله ۶ کیلومتری از گسل‌ها باوجوداینکه کمتر می‌شود ولی ادامه دارد، درحالی‌که ارتباط قنوات با گسل‌های منطقه تنها در همان فاصله ۲ کیلومتری از گسل‌ها قابل‌ردیابی است و بعدازآن براساس این مدل آماری ارتباطی وجود ندارد. بنابراین طبق جدول شماره ۲، از بین ۹۳ حلقه قنات موجود در منطقه مورد مطالعه، تنها تعداد ۲۳ قنات (۲۵٪) متأثر از گسل بوده و ساختاری گسلی دارند درحالی‌که تعداد ۷۰۶ حلقه از ۱۰۸۷ حلقه چاه (۶۵٪) حفرشده در دشت سیرجان گسلی بوده یعنی آبخوان آن در نتیجه عملکرد گسل تشکیل‌شده است. در نتیجه با توجه به اینکه زلزله‌ها می‌توانند اثرات مخرب و گاهی اوقات سازنده بر روی قنوات و آبدهی چاه‌ها داشته باشند [Najib et al, 2013; Nespoli et al, 2016] با مشخص شدن قنوات و چاه‌های گسلی دشت سیرجان، می‌توان تمهیدات ویژه‌ای به‌ویژه بر روی قنوات مذکور انجام داد تا در موقع زلزله آسیب کمتری به این سازه‌های آبی قدیمی وارد شود.

باوجوداینکه پرداختن به دلیل تفاوت در فاصله تأثیر بین قنوات و چاه‌ها با گسل‌های منطقه موضوع اصلی این تحقیق نیست ولی شاید بتوان دلیل این تغییرات را در دو بخش جستجو کرد، یکی در تفاوت‌های موجود بین مکانیسم ایجاد و عملکرد چاه‌ها و قنوات و دیگری نحوه عملکرد گسل‌ها بر روی لایه‌های رسوبات زیرزمینی و جابجایی آنها. به‌طوری‌که می‌دانیم سازه قنات از کانال افقی تشکیل‌شده که باعث انتقال آب از لایه‌های آبدار به سطح زمین می‌شود، قنوات گسلی دشت سیرجان معمولاً دارای طول کانال کمتر از ۲ کیلومتر هستند، بنابراین وجود ارتباط تا ۲ کیلومتری از گسل‌ها بدین‌صورت قابل توجیه است. در یک آبخوان گسلی همان‌طور که

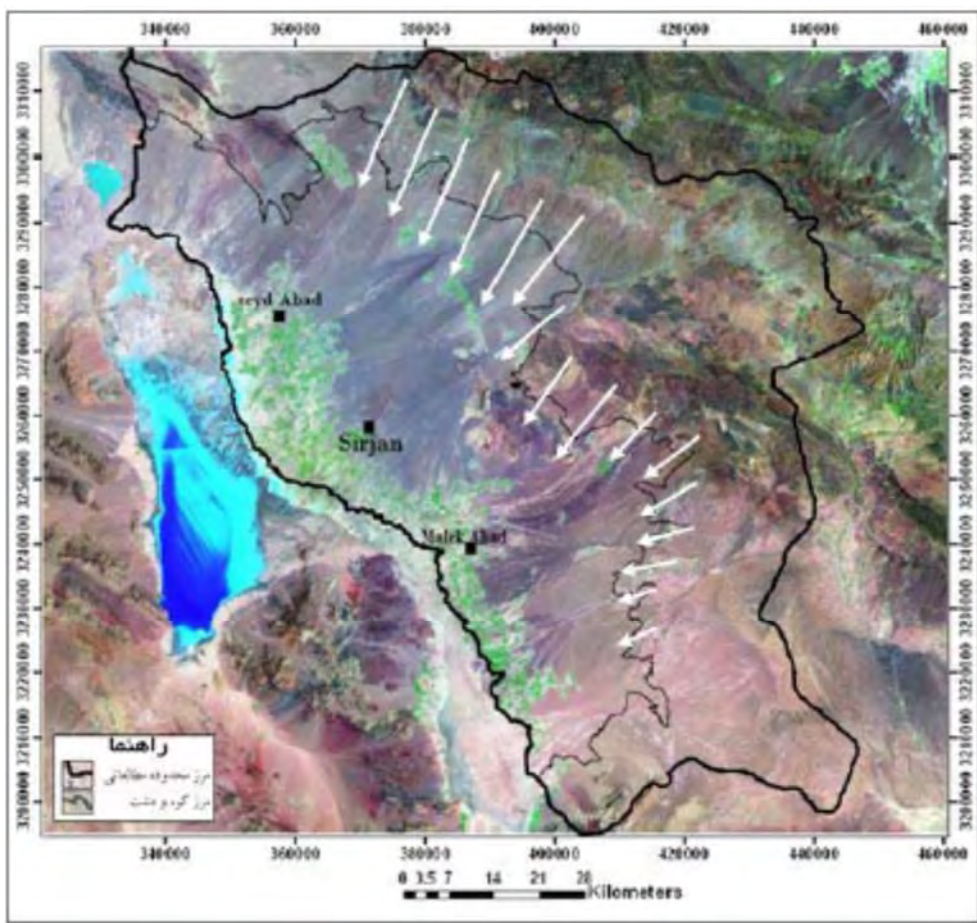
دشت کنترل‌شده است. علاوه بر گسل‌ها، عوامل توپوگرافی دیگری نیز در شکل‌گیری آبخوان‌ها نقش دارند، از آن جمله می‌توان به مخروط‌افکنه‌ها، ضخامت آبرفت و شیب سطح زمین، اشاره کرد [Alaei Taleghani & Saeedi Kia, 2013]. آبخوان دشت سیرجان نیز همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، تحت تأثیر توپوگرافی منطقه قرار دارد، به طوری که وجود مخروط افکنه‌ها در بخش‌های شرقی و شمال شرقی دشت می‌تواند از عوامل مهم تغذیه آن باشد. علاوه بر آنکه جهت شیب دشت نیز از شرق به غرب بوده و به جریان کلی آب زیرزمینی کمک می‌کند.



شکل ۵) نمایش شماتیک اثر گسل بر لایه آبخوان، با کمی تغییرات برگرفته از [Kresic & Stevanovic, 2010]

در شکل ۵ مشاهده می‌شود، همواره دیواره گسل تا اعماق ادامه یافته و در نتیجه باعث می‌شود تا لایه آبخوان متأثر از آن نیز تا اعماق ادامه یابد، بنابراین با توجه به اینکه با پیشرفت تکنولوژی در هر محلی و فاصله‌ای از محور گسل می‌توان به حفر چاه پرداخت و به لایه آبخوان رسید، پس این مطلب می‌تواند دلیلی بر وجود ارتباط بین چاه‌ها و گسل‌ها با فاصله نسبتاً بیشتر از محور گسل (مانند آنچه در این تحقیق به دست آمده) باشد. همچنین نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج مطالعات پیشین [Hashemi et al, 2010; Kiani & Yousefi, 2017; Hernandez & Berbi, 2012; Ammar & Kamal, 2018] در این زمینه هم‌خوانی دارد.

از آنجایی که عمده تغذیه سفره آبرفتی سیرجان توسط ارتفاعات بخش شمال شرقی به‌ویژه آهک‌های متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی صورت می‌گیرد (شکل ۶) و همچنین جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت نیز از سمت شمال شرقی به سمت جنوب و جنوب غربی است [Abbasnejad & Shahidasht, 2013]، در نتیجه می‌توان گسل‌های شمال شرقی منطقه مورد مطالعه (گسل‌های بلورد و شهربابک) را در ایجاد آبخوان دشت سیرجان مؤثر دانست، به طوری که این گسل‌ها با جابه‌جایی لایه‌های سنگ‌بستر مانع از عبور آب‌های زیرزمینی و باعث شکل‌گیری آبخوان شده‌اند. علاوه بر آن، همان‌طور که از تلفیق اشکال ۲ و ۶ نیز کاملاً مشهود است، موقعیت آبخوان دشت سیرجان توسط گسل‌های شمال شرقی



شکل ۶) جریان‌های تغذیه‌ای سفره آبی دشت سیرجان [Abbasnejad & Shihidasht, 2013]



## نتیجه گیری

گسل‌های کوترنری، پتانسیل تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دشت سیرجان با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک آن و افزایش نیازهای روزافزون به منابع آبی بیشتر را دارد.

**تشکر و قدردانی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

**تأییدیه اخلاقی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

**تعارض منافع:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

**سهم نویسندگان:** علی مهربانی (نویسنده اول)، نگارنده بحث/پژوهشگر اصلی (۵۰٪)؛ محسن پورخسروانی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی/تحلیلگر (۵۰٪)

**منابع مالی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

## منابع

- Abassnejad A, Shahidasht AR (2013). Vulnerability of Sirjan plain due to aquifer over abstraction. *Management System*. 3(7):85-96. [Persian]
- Abdullahi S, Pradhan B (2016). Sustainable Brownfields Land use change modeling using GIS-based weights-of-evidence approach. *Applied Spatial Analysis and Policy*. 9(1):21-38.
- Agard P, Omrani J, Jolivet L, Mouthereau F (2005). Convergence history across Zagros (Iran), constraints from collisional and earlier deformation. *Earth Sciences*. 94(3):401-419.
- Alaei Taleghani M, Saedi Kia M (2013). The role of geomorphologic factors in formation and nourishing of underground water table (Case study: Zahab Plain). *Geographical Reserches Quarterly Journal*. 28(2):171-186. [Persian]
- Aliabadi K, Zangeneh MA, Shayegan AA, Jamalabadi J, Hamidian AR (2014). The role of active tectonics and tectonic lineaments in the development of underground aquifers in Sabzevar plain using RS & GIS. *Applied Geomorphology*. 2(4):16-30. [Persian]
- Alonso CA, Rios-Sanchez M, Gierke JS (2008). Lineament mapping for groundwater exploration using remotely sensed imagery in different terrains. *Environmental Sciences*. 1:81-88.
- Ammar AL, Kamal KA (2018). Resistivity method contribution in determining of fault zone and hydro-geophysical characteristics of carbonate aquifer, eastern desert, Egypt. *Applied Water Science*. 8:1.
- Armas I (2012). Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping Prahova Subcarpathians, Romania. *Natural Hazards*. 60(3):937-950.
- Azadikhah A, Bouzari S, Yassaghi A, Emami MH (2015). Formation of extensional basin in internal part of the Zagros orogeny in west of Sirjan, Iran. *Geology*. 5(11):821-827.
- Carranza EMC (2009). Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geology Reviews*. 35(3):383-400.
- Dehbozorgi M, Rezaie M (2016). Quaternary active faults effect on the abundance of underground water resources in Maharlu basin, Central Zagros. *Quaternary Journal of Iran*. 1(4):281-291. [Persian]
- Dortz K, Meyer B, S'ebrier M, Braucher R, Nazari H (2011). Dating inset terraces and offset fans along the Dehshir Fault (Iran) combining cosmogenic and OSL methods. *Geophysics*. 185(3):1147-1174.
- Foroutan M, Nazari H, Meyer B, S'ebrier M (2011). Late pleistocene-holocene right-slip rate of the Dehshir Fault, Central Iran Plateau. *Earth Sciences*. 21(82):195-206. [Persian]
- Hashemi SN, Taghipor N, Ghosheie M, Zare H (2010). Investigating the role of major faults in controlling the frequency of groundwater resources in Semnan province. *Proceedings of the first national conference on water resources exploitation*. Kermanshah: Kermanshah University of Technology. p. 15-24. [Persian]
- Hernandez M, Burbey T (2012). Fault-controlled deformation and stress from pumping-induced groundwater flow. *Hydrology*. 428-429:80-93.
- Kazemi R, Ghayoumian G, Jalali N (2005). Investigation the effect of structural elements on the karst water resource abundance in the LAR catchment's using RS and GIS. *Pajouhesh & Sazandegi*. 19(3):33-41. [Persian]
- Kiani T, Yousefi Z (2017). Effect of active faults in the groundwater level of Shaharchay basin in Urmia. *Applied Geosciences Research Journal*. 17(74):61-75. [Persian]
- Mehrabi A, Derakhshani R (2010). Generation of integrated geochemical-geological predictive model of porphyry-Cu potential. Chahargonbad district, Iran. *Geochimica ET Cosmochimica Acta*. 74(12):694-A694.
- Mehrabi A, Derakhshani R, Rahnema-Rad J (2009). Spatial association of mineralization and fractures in meiduk porphyry copper mine. *Journal of Geotechnical Geology (Applied Geology)*. 5(2):148-155.
- Mehrnehad H, Mehrshahi D (2005). Structural analysis and seismotectonics of Dashir Fault. *Geographical Research Quarterly*. 78:118-127. [Persian]
- Mohajjel M, Fergusson CL, Sahandi MR (2003). Cretaceous-tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, Eastern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 21(4):397-412.
- Najib M, Aboali H, Mirheydari F, Ranjbar M (2013). Study of the effects of earthquake on observation wells and springs of Varzagan and Billardy-Harris regions. *Proceeding of 5th Iranian Water Resources Management Conference*. Tehran, Iran Water Resources Science and Engineering Society. Tehran: Shahid Beheshti University. [Persian]
- Nespoli M, Todesco M, Serpelloni E, Belardinelli ME (2016). Modeling earthquake effects on groundwater levels: Evidences from the 2012 Emilia earthquake (Italy). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 16(3):452-463.
- Pamela A, Sadisun I, Arifianti Y (2017). Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping in Takengon, central Aceh, Indonesia. *Proceeding of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 118:1.
- Pourkermani M, Arian M (1997). *Seismotectonic book*. 1<sup>st</sup> Edition. Tehran: Alavi Publication. [Persian]