

Analyzing the relationship of faults with Sabalan volcano hot springs using the land surface temperature index (LST) in the range of OLI and TIRS images of Landsat 8 satellite

Mehdi Feyzolahpour^{1*} 

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Geomorphology, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 24 April 2023

Revised: 09 January 2024

Accepted: 21 January 2024

Keywords:

fault, andesitic lava, surface temperature, hot spring, Sablan volcano.

ABSTRACT

Faults in volcanic regions play an important role in the emergence of hot springs. In this research, due to the abundance of tectonic structures in the Sabalan volcanic mass, the relationship between faults and hot water springs and the flow rate and temperature of these springs were evaluated. For this purpose, in the beginning, the location layers of 11 hot springs in the northern and southern slopes, fault, slope, the direction of slope, layer of elevation, geology, and topography were prepared and the rose diagram of the faults was drawn in Rockwork17 software and by the method Weighted evidence was considered. The location of the faults showed that the faults had an important effect on the origin and establishment of the springs. In the investigation of the relationship between the slope and the abundance of springs, it was observed that 4 springs were located at a slope between 0 and 5 degrees, and 5 springs were located at an altitude of less than 2100 meters. It was also observed that the highest amount of discharge is located in the northeast and northwest parts of the volcano. Finally, the relationships between the faults and the hot springs were investigated using the surface temperature index. For this purpose, maps of spectral radiation, black body temperature, NDVI, vegetation ratio, and surface emissivity were drawn and an LST map was drawn using these maps. The results showed that the highest temperatures of the earth's surface are located in the area of spa springs.

Cite this article: Last Feyzolahpour, M. (2024). Analyzing the relationship of faults with Sabalan volcano hot springs using the land surface temperature index (LST) in the range of OLI and TIRS images of Landsat 8 satellite. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(39), 75-92. DOI: 10.22111/jneh.2024.45451.1953



© Mehdi Feyzolahpour

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2024.45451.1953

* Corresponding Author Email: feyzolahpour@znu.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۳۹، فروردین ۱۴۰۳

تغییرات دمای چشمه های آبگرم آتشفشان سبلان با استفاده از شاخص دمای سطح زمین (LST) و سنجنده های TM لندست ۵ و سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در بازه زمانی ۳۰ سال (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲)

مهدی فیض اله پور*^{id}

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در این تحقیق به ارزیابی ارتباط گسل ها با چشمه های آب گرم و وضعیت دبی و دمای این چشمه ها پرداخته شد. بدین منظور در ابتدا، لایه های موقعیت ۱۱ چشمه آب گرم در دامنه شمالی و جنوبی، گسل، شیب، جهت شیب، لایه طبقات ارتفاعی و توپوگرافی تهیه شده و نمودار گل سرخی گسل ها در نرم افزار Rockwork17 ترسیم شده و بوسیله روش شواهد وزنی مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی رابطه بین چشمه و گسل نشان داد که روابط نزدیکی بین گسل ها و فراوانی چشمه وجود دارد بطوریکه از ۱۱ چشمه آب گرم، ۵ چشمه در فاصله ۱۰۰ متری، ۵ چشمه در فاصله ۲۰۰ متری و تنها چشمه قوتورسوئی در فاصله ۳۰۰ متری گسل ها واقع شده اند. وضعیت قرارگیری گسل ها نشان داد که گسل ها تاثیر مهمی در پیدایش و استقرار چشمه ها داشته اند. نتایج نشان می دهد که بیشترین میزان دبی در بخش شمال شرقی و شمال غربی آتشفشان قرار گرفته اند. در نهایت، روابط گسل ها با چشمه های آبگرم فوق با استفاده از شاخص دمای سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور نقشه های تابش طیفی، دمای جسم سیاه، NDVI، نسبت پوشش گیاهی و گسیل مندی سطحی ترسیم شده و نقشه LST با بهره گیری از این نقشه ها ترسیم گردید. نتایج نشان داد که بیشترین دماهای سطح زمین در محدوده چشمه های آبگرم قرار گرفته اند به طوری که چشمه های مورد بررسی در محدوده دمایی بالای ۲۶ تا ۴۱ درجه سانتیگراد واقع شده اند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱	
واژه های کلیدی:	
گسل، دمای سطح زمین، نمودار گل سرخی، چشمه آب گرم، آتشفشان سبلان.	

استناد: فیض اله پور، مهدی. (۱۴۰۳). تغییرات دمای چشمه های آبگرم آتشفشان سبلان با استفاده از شاخص دمای سطح زمین (LST) و سنجنده های TM لندست ۵ و سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در بازه زمانی ۳۰ سال (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۳۹).

DOI: 10.22111/jneh.2024.45451.1953.92-75



© مهدی فیض اله پور.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

گسل ها با تغییر در توالی لایه ها بر دبی و کیفیت منابع آبی اثرگذار می باشند (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۹). گسل ها باعث ایجاد آبراهه ها، نمایان شدن چشمه ها و تغییر مسیر رودخانه ها می شوند (وایت^۱، ۱۹۸۸، میلانویچ^۲، ۱۹۸۸). زون های گسلی در پوسته کم عمق، بصورت شبکه بندی زمین، عوامل زمین شناسی را تحت تاثیر قرار می دهند (بنسه^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). لیکن اثر آنها پیچیده بوده و بخوبی شناخته نشده است (مایر^۴ و همکاران، ۲۰۰۷). در محیط های آتشفشانی، چشمه های آب گرم با درجه حرارت های متفاوت دیده می شوند. گسل ها در ظهور چشمه های آب گرم نقش مهمی را ایفا می کنند. آتشفشان سبلان که در شمال غرب ایران واقع شده است از جمله کوه های آتشفشان دوره اتوسن بوده که فعالیت های آتشفشانی خود را در دوره پلیستوسن نیز ادامه داده است. چشمه های آب گرم این منطقه علاوه بر قابلیت های توریستی در زمینه تولید انرژی های نو نیز مورد توجه قرار گرفته است. لذا شناسایی نقش و ارتباط گسل ها با چشمه های آتشفشانی می تواند در مبحث شناسایی و بهره گیری از انرژی های نو مورد استفاده قرار گیرد.

در نقاطی که چشمه ها از نظر مکانی از سایر نواحی جدا شده باشند جزایر اکولوژیکی می توانند زیستگاه هایی را برای گونه های بومی ایجاد کرده و در شرایط منحصربفردی رشد و تکامل یابند (بوگان^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). دیویس^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). در مورد مناطق خشک و نیمه خشک، چشمه ها ممکن است تنها منبع دائمی آب باشند که امکان بقای گیاهان کمیاب و طیف وسیعی از گونه های جانوری را فراهم می کنند (اشپرینگر و استیونز^۷، ۲۰۰۹). بسیاری از چشمه ها در طول قرن گذشته از نظر زیست محیطی تغییر کرده اند که این تغییرات عمدتاً به تغییرات ناشی از انسان در رژیم های آب زیرزمینی نسبت داده می شود (دیویس و همکاران، ۲۰۱۷). چشمه ها تحت شرایط مختلف هیدروژئولوژیکی و به دلیل ویژگی های زمین شناسی بوجود می آیند (برایان^۸، ۱۹۱۹). کرویتز و کارسون^۹، ۱۹۹۷). راولند^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۸). این اشکال زمین شناسی شامل گسل هایی هستند که شکستگی های مسطح یا ناپیوسته ای را در سنگ ها ایجاد کرده و باعث جابجایی آنها می گردند (کاین^{۱۱} و همکاران، ۱۹۹۶). گسل ها ممکن است باعث جریان یا انسداد جریان های آب زیرزمینی گردند (فورستر و ایوانس^{۱۲}، ۱۹۹۱). برایان (۱۹۱۹) و ماینز^{۱۳} (۱۹۲۳) چشمه ها را به پنج دسته چشمه های تماسی، چشمه شکافی و گسلی، چشمه فرورفته، چشمه لوله ای یا شکسته و چشمه آتشفشانی تقسیم کرده اند که از این بین، چشمه شکافی و گسلی فراگیرتر از بقیه چشمه ها هستند. اشپرینگر و استیونز (۲۰۰۹) فهرستی از ۱۲ مدل مفهومی از چشمه ها را ارائه کردند که پنج مدل آن در ارتباط با گسل های زمین شناسی بوده است. کرویتز و کارسون (۱۹۹۷)، ۸۲۲ چشمه آب گرم را بررسی کرده و

1 white
2 Milanovic
3 Bense
4 Mayer
5 Bogan et al
6 Davis et al
7 Springer & Stevens
8 Bryan
9 Curewitz & Karson
10 Rowland
11 Caine et al
12 Forster & Evans
13 Meinzer et al

مشاهده کردند که ۷۸ درصد از این چشمه ها در ارتباط با گسل هستند. اگر چه این بررسی مختص چشمه های آب گرم بوده ولی شواهدی از مطالعات موردی وجود دارد که نشان می دهد سایر انواع چشمه ها (چشمه هایی با دمای بین ۱۶ تا ۲۵ درجه، چشمه های سولفات و چشمه های کربناته) معمولاً با گسل ها مرتبط هستند (بیگنال و برونه^۱، ۱۹۹۴، باتانی^۲ و همکاران، ۲۰۱۰، آپولارو^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). خواص گسل ها، فرایندهای هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژی چشمه ها به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است (سیبک^۴ و همکاران، ۲۰۱۶، ماینزر، ۱۹۲۳، هاینس^۵، ۱۹۷۰، واندرکامپ^۶، ۱۹۹۵، کرسیک^۷، ۲۰۱۰). در حالی که گسل ها و چشمه ها به طور مستقل مورد بررسی قرار گرفته اند لیکن روابط متقابل هیدروژئولوژیکی آنها کمتر مورد توجه قرار گرفته که در مورد چشمه های آب گرم محدود به چندین تحقیق بوده است (کرویتز و کارسون، ۱۹۹۷، جیول^۸ و همکاران، ۱۹۹۴، کراسی^۹ و همکاران، ۲۰۰۶، راولند و همکاران، ۲۰۰۸). در زمینه شناسایی کانون های حرارتی در مناطق آتشفشانی از روش های نوینی استفاده می گردد. روش دمای سطح زمین (LST) از طریق تصاویر ماهواره ای MODIS و LANDSAT از توانایی تعیین دمای سطح زمین برخوردار است (آدیری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۷). ماهواره لندست ۸ دارای ۱۱ باند بوده و باند ۱۰ و ۱۱ در محدوده مادون قرمز نزدیک از قابلیت تخمین دمای سطح زمین برخوردار هستند. با اعمال تغییراتی در پنج مرحله و تولید نقشه های تابش طیفی، دمای جسم سیاه، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده یا NDVI، نسبت پوشش گیاهی و گسیل مندی سطحی می توان نقشه دمای سطح زمین (LST) را ترسیم نمود.

تحقیقات مختلفی در زمینه گسل ها، چشمه ها و تعیین دمای سطح زمین در این نواحی در ایران و جهان انجام شده است. تریلور^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی پیشینه تحقیقات انجام شده در زمینه نقش کنترل کنندگی گسل ها بر روی چشمه ها پرداختند. نتایج نشان داد که مدل های عددی در سیستم های گسل های کنترل کننده چشمه ها در مقیاس ناحیه ای امکان شناسایی محدوده های خطر را در گسل ها ممکن ساخته و به شکل ساده شده ای به بررسی گسل ها و چشمه ها می پردازند.

مور^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS درجه حرارت زمین را در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در تانزانیا برآورد کردند. نتایج نشان داد که داده های LST می توانند تغییرات اکوسیستم های تالابی را به طور دقیقی نمایش دهند. آدیری^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۷) روابط بین دمای سطح زمین (LST) و سنج پوشش گیاهی را با استفاده از باند حرارتی ماهواره لندست ۸ و سنجنده OLI ماهواره لندست مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بین دمای سطح زمین و سنج پوشش گیاهی، همبستگی منفی برقرار است. رجبی و سلیمانی (۱۳۹۲) اقدام به

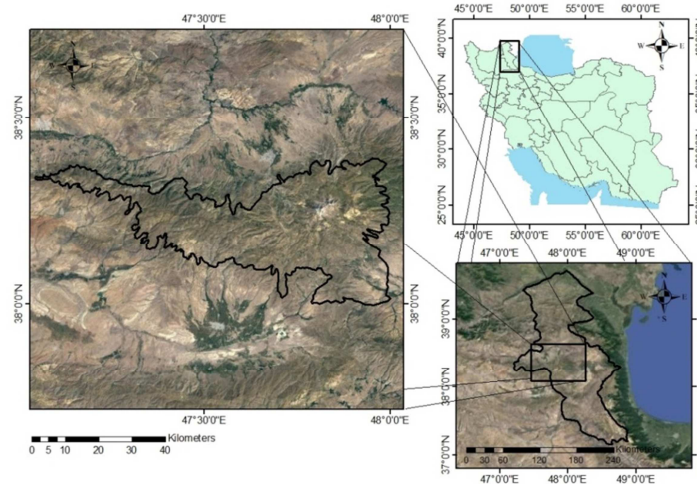
1 Bignall & Browne
 2 Battani et al
 3 Apollaro et al
 4 Scibek et al
 5 Hynes
 6 van der Kamp
 7 Kresic
 8 Jewell et al
 9 Crossey et al
 10 Adeyeri et al
 11 Treloar et al
 12 Muro et al
 13 Adeyeri et al

تحلیل و وارزیابی ویژگی های مورفوتکتونیک و نفوتکتونیک دامنه جنوبی سبلان نمودند. نتایج نشان داد که دامنه جنوبی سبلان به عنوان بخشی از کل واحد مورفولوژی کوهستان، از نظر تکتونیک هنوز هم فعال است. فتح الهی و خیرخواه (۱۳۹۴) منشا و جایگاه تکتونوماگمایی سنگ های آتشفشانی کواترنری سبلان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آتشفشان کواترنری سبلان در اثر حوادث فرورانش پس از برخورد ایجاد شده و منشا گوشته ای اولیه با عناصر کمیاب خاکی ناشی از مولفه های زون فرورانش در تحولات متاسوماتیکی گوشته و یا آلودگی پوسته ای به ویژه پوسته بالایی غنی شده است. اسکندری و همکاران (۱۳۹۷)، بر اساس دورسنجی با تصاویر سنجنده لندست اقدام به پایش تغییرات حرارتی آتشفشان دماوند نمودند. نتایج نشان داد که ناهنجاری های حرارتی ارتباط نزدیکی با گسل هاف چشمه های آب گرم، لیتولوژی، دگرسانی گرمایی و مناطق با ناهنجاری شار حرارتی به دست آمده از داده های زیر سطحی دارند. کاظمی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از داده های حرارتی لندست ۸، اقدام به تحلیل ناهنجاری های حرارتی گسل ها و ارتباط آن با منابع زمین گرمایی در گسل های شهداد و نایبند نمودند. طبق نتایج به دست آمده، تجمعات حرارتی با فاصله گرفتن از زون مرکزی گسل کاهش می یابد. مهرابی و پور خسروانی (۱۳۹۸) با روش وزن های نشانگر ارتباط بین منابع آب زیرزمینی و گسل های کواترنری دشت سیرجان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ۶۵ درصد از چاه های عمیق و نیمه عمیق حفر شده در دشت سیرجان تحت تاثیر گسل ها قرار داشتند. مددی و نوحی (۱۳۹۸) اقدام به تحلیل مورفوتکتونیک کالدرای سبلان و تاثیر آن بر حوضه ها و مخروط افکنه های مربوط به آن ها در دامنه های شمالی نمودند. نتایج نشان داد که محدوده کالدرای از نظر تکتونیک هنوز فعال بوده است. همچنین نقشه شبکه های آبراهه ای مستخرج از مدل رقومی ارتفاع نشان داد که شکست کالدرای نقش قابل توجهی در تحول حوضه ها و مخروط افکنه ها داشته است. علوی و همکاران (۱۳۹۸)، هیدروژئوشیمی سیالات گرمایی مخازن ژئوترمال غرب سبلان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که منشا دی اکسید کربن آب های منطقه سبلان، سنگ های آهکی بوده و میزان تریتیوم در این سیالات نشان دهنده اختلاط با آب های زیرزمینی جوان است. صادقیان و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی روش های محاسبه دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در استان قم پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص دمای سطح زمین از قابلیت بالایی در تحلیل شرایط دمایی استان قم برخوردار می باشد.

با توجه به موارد ذکر شده اقدام به بررسی دمای سطح زمین و رابطه آن با گسل و چشمه های آبگرم نواحی شمالی و جنوبی کوه آتشفشان سبلان گردیده و وضعیت دبی و دمای چشمه ها تحلیل گردید.

داده ها و روش ها

کوه سبلان در جنوب مشگین شهر بین عرض های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و طول های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی قرار گرفته و از سه جهت بوسیله دشت های آبرفتی احاطه شده است. کوه سبلان از شرق به غرب از سه قله معروف سلطان یا سبلان بزرگ (۴۸۱۱ متر)، قله حرم (۴۶۱۲ متر) و قله آغام داغ یا کسری (۴۵۷۳ متر) تشکیل گردیده که در داخل یک کالدرای بزرگ جای گرفته اند (رجبی و سلیمانی، ۱۳۹۲).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در محدوده آتشفشان سبلان. منبع: نویسنده

پیرامون کوه سبلان، چشمه های آبگرم فراوانی وجود داشته که از درجه حرارت و دبی متفاوتی برخوردارند. لیکن در این تحقیق چشمه های آبگرم منطقه مشکین شهر و نیر مورد توجه قرار گرفته که از داغ ترین چشمه ها برخوردار است. لذا ۱۱ چشمه آبگرم قینرجه نیر، موئیل، قوتورسوئی، ایلاندو، قینرجه مکین شهر، دودو، ملک سوئی، شابیل، دیسیزگول، انزان و بوشلی مورد بررسی قرار گرفتند که در بین آنها چشمه قینرجه مشکین شهر با دمایی در حدود ۸۲ درجه سانتیگراد گرمترین چشمه محدوده به شمار می رود (رجبی و سلیمانی، ۱۳۹۲). در جدول زیر، موقعیت جغرافیایی، دبی و دمای هر چشمه نمایش داده شده و از آن برای درونبایی بهره گرفته شده است (رجبی و سلیمانی، ۱۳۹۲).

جدول ۱: موقعیت، دبی و دمای چشمه های آبگرم سبلان در محدوده مشکین شهر و نیر

ردیف	عنوان چشمه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دما به سانتیگراد	دبی به مترمکعب در ثانیه
۱	قینرجه نیر	۴۷ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۸ ثانیه	۳۸ درجه و صفر دقیقه و ۲۰ ثانیه	۶۵	۴
۲	موئیل	۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه و ۳ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه	۴۵	۲
۳	قوتورسوئی	۴۷ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۵ ثانیه	۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه	۴۲	۱۳
۴	ایلاندو	۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۷ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه و ۴۴ ثانیه	۳۷	۳
۵	قینرجه مشکین شهر	۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۵ ثانیه	۸۲	۹
۶	دودو	۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵۵ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۴ ثانیه	۴۵	۴
۷	ملک سوئی	۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه و ۳۴ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵۴ ثانیه	۳۵	۲۱
۸	شابیل	۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه و ۴۱ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۶ ثانیه	۴۹	۵
۹	دیسیزگول	۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه و ۵۱ ثانیه	۳۸ درجه و صفر دقیقه و ۵۴ ثانیه	۳۰	۲
۱۰	انزان	۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵۵ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه و ۵۵ ثانیه	۱۳	۲
۱۱	بوشلی	۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه	۳۸ درجه و صفر دقیقه و ۲۷ ثانیه	۶۵	۴

در این تحقیق روابط بین گسل ها و چشمه های آبگرم و وضعیت دبی و درجه حرارت این چشمه ها مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور ۱۱ چشمه آبگرم قینرجه نیر، موئیل، قوتورسوئی، ایلاندو، قینرجه مشکین شهر، دودو، ملک سوئی، شابیل، دیبسیزگول، انزان و بوشلی انتخاب شده و مقادیر دبی و درجه حرارت آنها مشخص شد. برای ترسیم نقشه شیب، جهت شیب و DEM با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر، منحنی های میزان توپوگرافی بصورت SHAPFILE در نرم افزار Arc GIS وارد شده و نقشه های فوق ترسیم شدند. برای ترسیم نقشه های جهت شیب از نقشه DEM استفاده شد. نقشه DEM نیز از لایه TIN که از نقشه توپوگرافی استخراج شده بود تهیه گردید. برای تعیین حریم آتشفشان سبلان از منحنی میزان ۲۴۰۰ و ۲۵۰۰ متری استفاده شد. علت استفاده از این مقادیر، احاطه کامل آن بر دورتادور آتشفشان سبلان می باشد. لیکن برای نواحی که چشمه های آب گرم خارج از این محدوده بودند حریم از این مقادیر تبعیت نکرده و محدوده وسیع تری در نظر گرفته شد. برای شناسایی موقعیت چشمه ها از نرم افزار google earth و portable googlemap server استفاده شده و مقادیر فوق برای اینکه دقیقتر بر روی موقعیت نقشه در GIS ترسیم شوند از روی تصاویر ذخیره شده از google earth، ژئورفرنس شدند و سپس بصورت نقطه ای دیجیت شدند. بدین وسیله لایه آنها تهیه شده و بر روی هر یک از نقشه های تهیه شده قرار داده شدند تا ارتباط آنها با این لایه ها کشف گردد. سپس لایه همپوشانی گسل ها و چشمه ها ترسیم گردید. برای درک روابط بین چشمه ها و گسل ها، بافر گسل ها در فواصل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متری تهیه شده و تعداد چشمه ها در این بافرها مشخص گردیده و مساحت بافرها در GIS محاسبه شده و از آن برای محاسبه روش شواهد وزنی استفاده شده و مقادیر وزنی مثبت و منفی برآورد شدند. مدل احتمالاتی شواهد وزنی از جمله مدل های تئوری بیضی می باشد. این مدل به شکل لگاریتم خطی بوده و از طریق روش های آماری برای تخمین اهمیت فاکتورها به کار گرفته می شود. در این روش وزن هر یک از عوامل در لایه ها تعیین می شود. این روش از ساختار ساده ای برخوردار بوده و محاسبات ریاضی سختی در این روش به کار گرفته نمی شود (احمدی و رضایی مقدم، ۱۳۸۵). وزن هر یک عوامل به صورت وزن مثبت (W+) و وزن منفی (W-) تعیین می شود. در این حالت به پدیده های درون محدوده، وزن مثبت و به پدیده های بیرون از محدوده وزن منفی داده می شود. در صورتی که حاصل تقسیم مقادیر درون محدوده بر کل محدوده بزرگتر از یک باشد ارتباط مکانی مثبت بوده و اگر حاصل تقسیم تعداد رخدادهای درون یک محدوده بر تعداد کل رخدادها کمتر از یک باشد ارتباط مکانی منفی خواهد بود. و اگر حاصل تقسیم این مقادیر برابر با یک باشد هیچ نوع ارتباطی بین پدیده ها نخواهد بود (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۸). اختلاف وزن مثبت و منفی تباین (C) نام دارد. هرچه این مقدار بیشتر باشد ارتباط بین پدیده ها و معنی دار بودن روابط بیشتر خواهد بود (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۸). در صورتی که نقاط یا پدیده ها مقادیر نسبتا کمتری داشته باشند از نسبت بین تباین به انحراف معیار تباین استفاده می شود (SC/C). هر چه این مقدار بالاتر باشد روابط مطلوب تری بین پدیده ها برقرار است. برای درک جهت قرارگیری گسل ها نیز، جهت استقرار تمامی گسل های منطقه در EXCEL وارد شده و نمودار جهت گسل ترسیم شد. در نهایت، اقدام به درون یابی دبی و درجه حرارت چشمه ها به صورت IDW در نرم افزار Arc GIS شده و مقادیر فوق از داده های excel به نرم افزار Arc GIS وارد شده و اقدام به درون یابی آنها بصورت IDW شد. برای برآورد روابط بین دمای سطح زمین (LST) با گسل ها و چشمه های آبگرم آتشفشان سبلان، تصویر ماهواره ای لندست ۸ برای ماه می ۲۰۲۲ از سایت earthexplorer.usgs.gov دانلود شد. به علت نیاز دمای سطح زمین به

شاخص NDVI نیاز بود، تصاویر باندهای ۴ و ۵ دانلود شد. در ترسیم LST نیز از باند ۱۰ TIRS ماهواره لندست استفاده شده و آن باند نیز دانلود گردید. ماهواره لندست ۸ دارای ۱۱ باند بوده و در این تحقیق تنها ۳ باند ۴، ۵ و ۱۰ مورد نیاز می باشد. باندهای ۴ و ۵ در تولید نقشه NDVI استفاده شده و از باند ۱۰ در تولید نقشه دمای سطح زمین بهره گرفته می شود. برای تولید تصاویر LST نیاز به ایجاد تصاویر تابش طیفی ($L\lambda$)، دمای جسم سیاه (BT)، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، نسبت پوشش گیاهی (PV) و گسیل مندی سطحی (E) می باشد. در هنگام دانلود تصاویر از لندست ۸، فایلی با فرمت TXT و با عنوان MTL نیز دانلود می گردد که مقادیر مربوط به این پارامترها در آن موجود بوده و امکان محاسبه این شاخصها را میسر می سازد. در اولین گام، مقادیر تابش طیفی برآورد می گردد. فرمول مربوط به این شاخص به صورت زیر می باشد.

$$L\lambda = ML(Qcal) + AL \quad (1)$$

مقادیر ML از فایل دانلود شده MTL ماهواره لندست ۸ برآورد می گردد. مقادیر فوق در ردیف Radiance mult band 10 قابل استخراج می باشد. در این فرمول Qcal معرف باند ۱۰ می باشد و در نهایت مقدار AL از همان فایل و از ردیف Radiance add band 10 قابل استخراج می باشد. مقادیر فرمول از قسمت Arc Toolbox، Spatial Analyst، Tools، Map Algebra وارد شده و نقشه تابش طیفی ترسیم می شود. برای محاسبه دمای جسم سیاه از فرمول زیر استفاده می شود (کازمی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$BT = \left(\frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \right) - 273.15 \quad (2)$$

در این فرمول K1 و K2 از فایل دانلود شده MTL و از ردیفهای K1 constant band 10 و K2 constant band 10 قابل استخراج می باشد. برای ترسیم شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) از باندهای ۴ و ۵ فرمول زیر استفاده شد.

$$NDVI = \frac{(band5 - band4)}{(band5 + band4)} \quad (3)$$

باند ۵ در محدوده NIR یا مادون قرمز نزدیک قرار داشته و برای بررسی سلامت گیاهان به کار برده می شود و باند ۴ در محدوده دید مرئی و طول موج ۰/۶۳۰ تا ۰/۶۸۰ میکرومتر قرار گرفته است.

برای محاسبه نسبت پوشش گیاهی (PV) از معادله زیر استفاده می شود (کازمی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$PV = \left(\frac{NDVI + NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) 2 \quad (4)$$

مقادیر NDVI_{max} و NDVI_{min} از مقادیر به دست آمده در معادله NDVI قابل استخراج می باشد. برای محاسبه گسیل مندی سطحی (E) از فرمول زیر استفاده می شود (کازمی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$E = 0.004(PV) + 0.986 \quad (5)$$

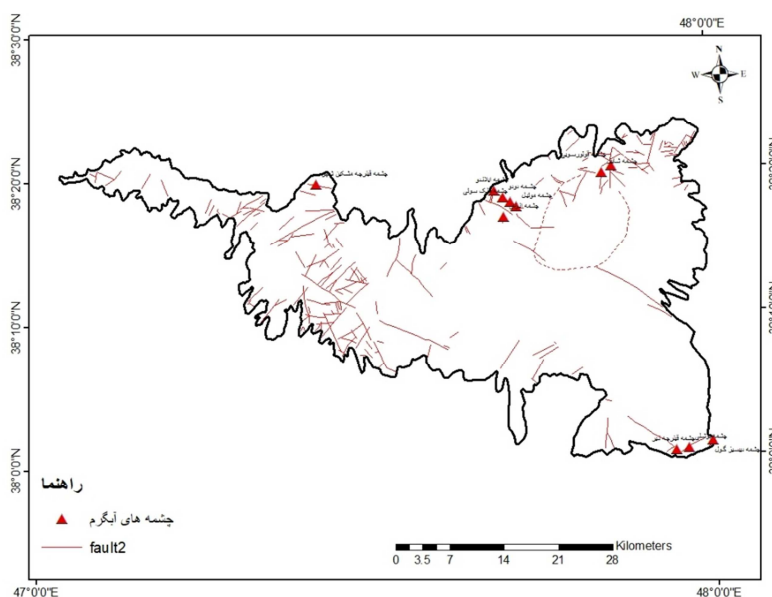
در نهایت با جایگزینی مقادیر فوق در فرمول زیر، مقادیر دمای سطح زمین (LST) برآورد می گردد.

$$LST = (BT / (1 + (\lambda \left(\frac{BT}{C2} \right) \ln(E))) \quad (6)$$

در فرمول فوق C2 معادل ۱۴۳۸۸ بوده و λ برای باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ معادل ۱۰/۸ می باشد. در نهایت با توجه به نقشه حاصله وضعیت گسل ها، چشمه های آبگرم و دمای سطح زمین در ناحیه تلاقی آنها مشخص می گردد.

یافته های تحقیق

در شکل (۲) توزیع مکانی چشمه های آبگرم محدوده کوه آتشفشان سبلان به همراه گسل های منطقه به تصویر کشیده شده است. اکثر چشمه ها در پایکوه ها و حاشیه ارتفاعات بوجود آمده و انطباق قابل توجهی بین چشمه ها و گسل ها دیده می شود. بررسیهای دقیق تر گویای این نکته هستند که بسیاری از چشمه ها در فواصل بسیار نزدیک به گسل ها مستقر شده اند.



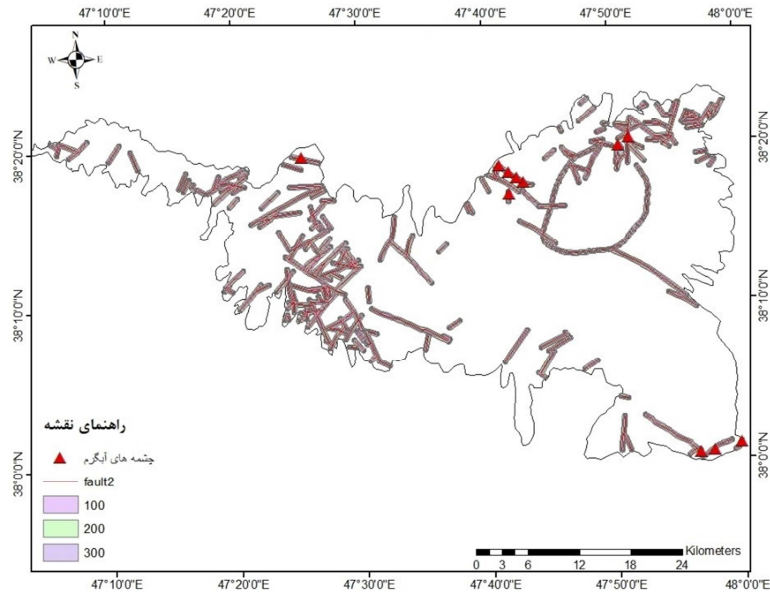
شکل ۲: موقعیت گسل ها و چشمه های آب گرم در محدوده آتشفشان سبلان

در تحلیل روابط بین گسل ها و چشمه ها از روش احتمالاتی شواهد وزنی بهره گرفته شد. این روش به شکل بهینه ای روابط بین گسل و چشمه ها را از نظر فاصله نمایش می دهد (مهرابی و پور خسروانی، ۱۳۹۸). بررسی ها نشان داد که پراکنش چشمه ها به صورت پراکنده بوده و در کنار ارتفاعات واقع شده اند. در جدول شماره ۲ مشاهده می شود که وزن مثبت در این روش اشاره به چشمه هایی دارد که در محدوده معینی از گسل ها و درون بافرها قرار گرفته اند. وزن منفی اشاره به چشمه هایی دارد که در خارج از محدوده گسل های مورد نظر قرار گرفته اند. تفریق وزن مثبت و منفی در هر گروه با عنوان تباین شناخته می شود. در خارج از فاصله ۳۰۰ متری از گسل چشمه ای قرار نگرفته و بیشترین تعداد چشمه ها مربوط به فواصل صفر تا ۱۰۰ متری و ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری می باشد. در هر یک از فواصل فوق تعداد ۵ چشمه قرار گرفته و از ۱۱ چشمه مورد بررسی ۵ چشمه در فواصل صفر تا ۱۰۰ متری و ۵ چشمه در فواصل ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری واقع شده و یک چشمه در فاصله ۲۰۰ تا ۳۰۰ متری قرار گرفته است.

مساحت بافر صفر تا ۱۰۰ متری معادل ۸۸/۳۴ کیلومتر مربع بوده و مساحت بافر ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری ۸۸/۹ کیلومتر مربع می باشد. مساحت کل محدوده مورد مطالعه ۱۶۳۲/۷۵ کیلومتر مربع می باشد. بر این اساس با نزدیک شدن به گسل ها تعداد چشمه ها افزایش و با دور شدن از آنها تعداد چشمه ها کاهش می یابد.

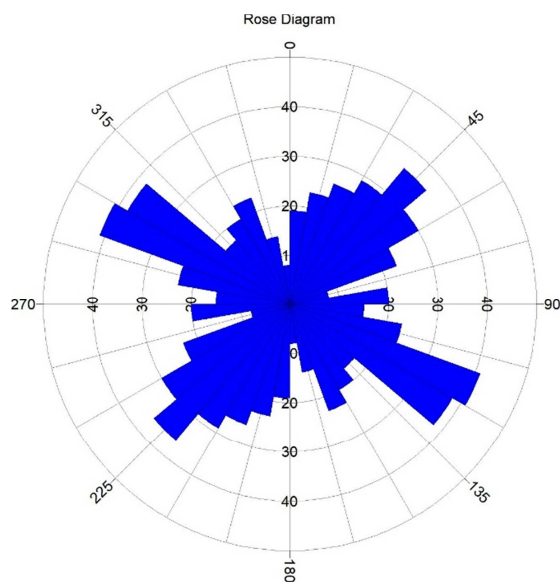
جدول ۲: مقادیر حاصل از شواهد وزنی بین چشمه های آب گرم و گسل

فاصله از گسل به متر	مساحت km2	تعداد چشمه	وزن مثبت (W+)	وزن منفی (W-)	تباين	انحراف معيار وزن مثبت	انحراف معيار وزن منفي	انحراف معيار تباين به انحراف معيار	نسبت
۰ - ۱۰۰	۸۸/۳۴	۵	۰/۵۴۲۳	-۰/۱۳۷۶	۰/۱۸۵۴	۰/۲۱۴۹	۰/۱۹۶۲	۰/۲۴۰۱	۰/۵۹۲۶
۱۰۰ - ۲۰۰	۸۸/۹	۵	۰/۴۹۶۷	-۰/۰۷۴۴	۰/۲۲۹۳	۰/۴۱۷۳	۰/۲۵۹۱	۰/۷۶۱۴	۰/۳۶۱۵
۲۰۰ - ۳۰۰	۸۴/۸۷	۱	۰/۱۱۶۲	-۰/۰۲۸۵	۰/۰۶۲۴	۰/۷۹۶۳	۰/۴۲۵۸	۰/۱۴۶۲	۰/۰۵۲۶



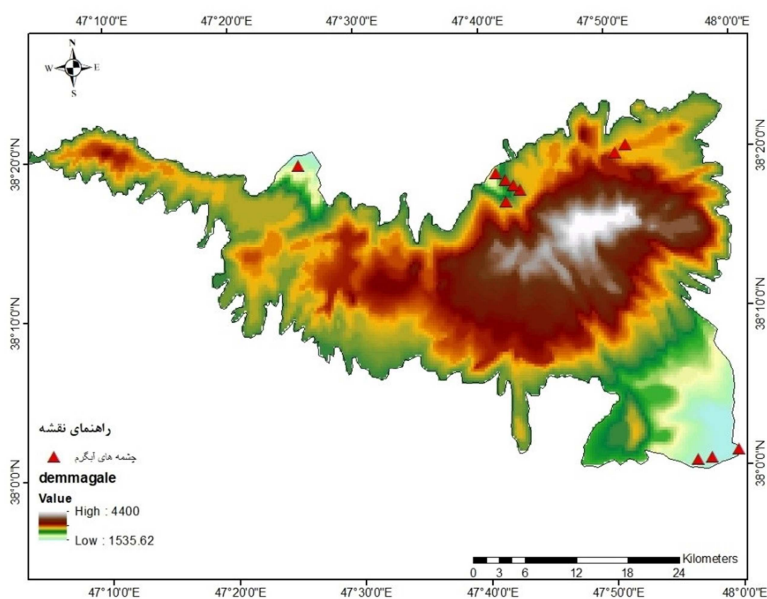
شکل ۳: ترسیم بافر در محدوده گسل های محدوده مورد مطالعه

برای بررسی جهت گسترش گسل ها ۱۰۰ گسل مورد بررسی قرار گرفته و لایه گسل ها در Arc Gis پردازش شده و لایه تولید شده وارد نرم افزار Rockwork 17 شده و نمودار گل سرخی ترسیم شد. بیشترین جهت گسل ها به میزان ۱۳ گسل مربوط به زاویه ۲۱۰ درجه می باشد. به واسطه این نمودار، روند کلی گسل ها تعیین شد.

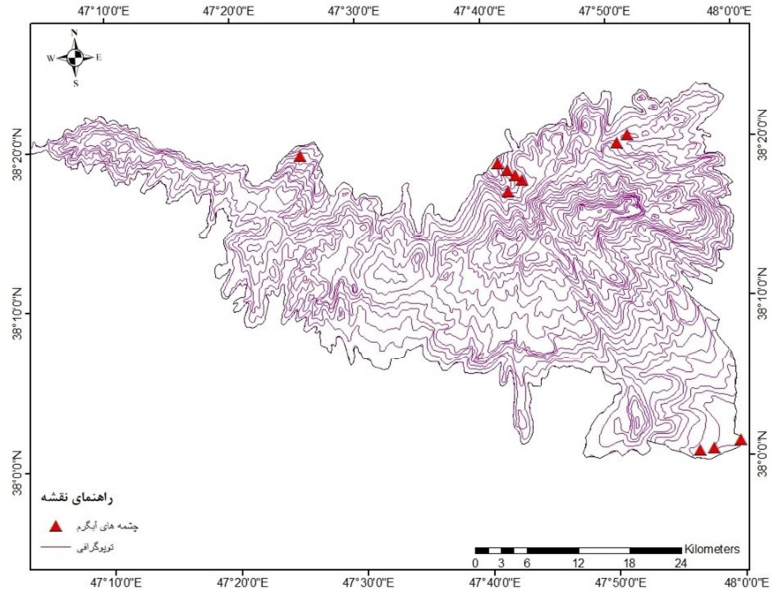


شکل ۴: نمودار گل سرخی جهت گسل ها در محدوده آتشفشان سبلان

برای بررسی رابطه طبقات ارتفاعی و تعداد چشمه ها از نقشه سطوح طبقات ارتفاعی و منحنی میزان توپوگرافی استفاده شد. مشاهده می شود که چشمه های آبگرم از ارتفاع ۱۵۰۰ متری تا ۲۸۰۰ متری پراکنده شده اند. چشمه های دیبسیزگول و بوشلی در کمترین ارتفاع (۱۵۰۰ متر) واقع شده و چشمه های فوتورسوئی و شابیل در بیشترین ارتفاع (۲۸۰۰ متر) واقع شده اند. داغ ترین چشمه ها که قینرجه مشکین شهر و قینرجه نیر می باشند به ترتیب در ارتفاعات ۱۶۰۰ متر و ۱۸۰۰ متر واقع شده اند.



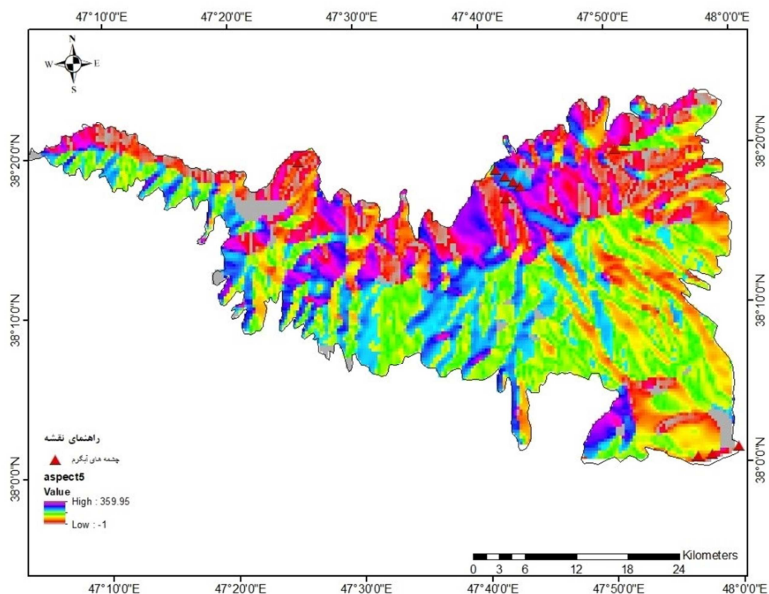
شکل ۵: نقشه سطوح ارتفاعی در محدوده آتشفشان سبلان



شکل ۶: نقشه توپوگرافی محدوده آتشفشان سبلان

جدول ۴: فراوانی چشمه ها بر حسب طبقات ارتفاعی محدوده آتشفشان سبلان

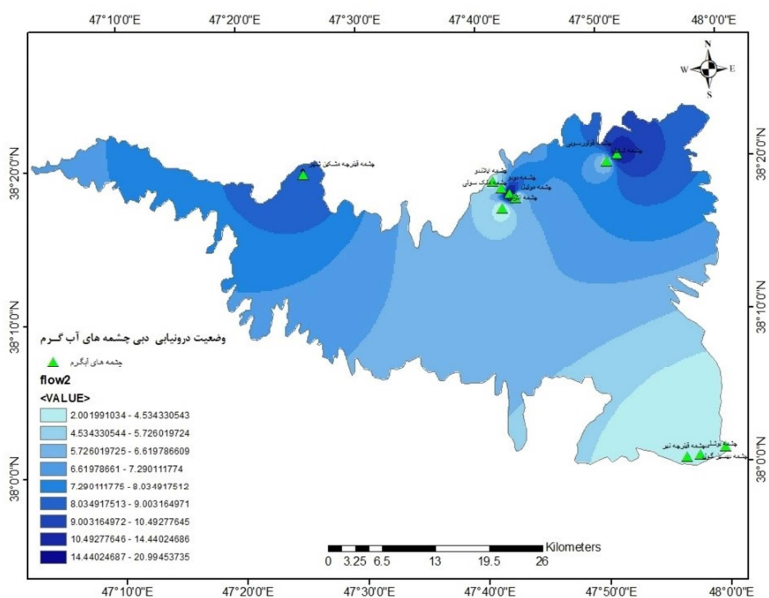
ردیف	طبقات ارتفاعی (متر)	عنوان چشمه	تعداد چشمه
۱	۱۵۰۰ - ۱۶۰۰	دیبسیزگول - بوشلی	۲
۲	۱۶۰۰ - ۱۷۰۰	قینرچه نیر	۱
۳	۱۸۰۰ - ۱۹۰۰	قینرچه مشکین شهر	۱
۴	۲۰۰۰ - ۲۱۰۰	ایلاندو	۱
۵	۲۳۰۰ - ۲۴۰۰	دودو	۱
۶	۲۴۰۰ - ۲۵۰۰	ملک سوئی - انزان	۲
۷	۲۵۰۰ - ۲۶۰۰	موئیل	۱
۸	۲۸۰۰ - ۲۹۰۰	شابیل - قوتورسوئی	۲



شکل ۷: نقشه جهت جغرافیایی محدوده آتشفشان سبلان

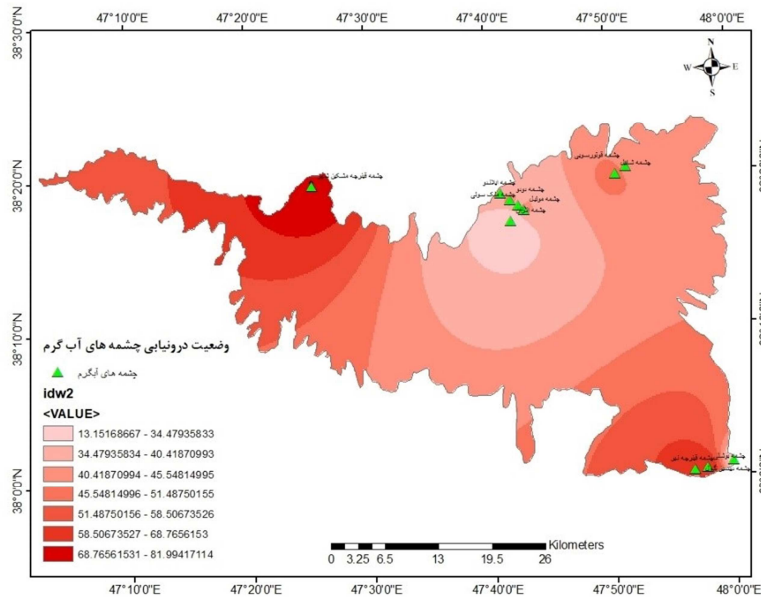
نتایج و بحث

مقادیر دبی از اکسل به Arc GIS وارد شده و از طریق IDW درون یابی شد. وضعیت پراکنش دبی در زیر نمایش داده شده است.



شکل ۸: وضعیت درون یابی دبی چشمه های آب گرم آتشفشان سبلان با استفاده از IDW

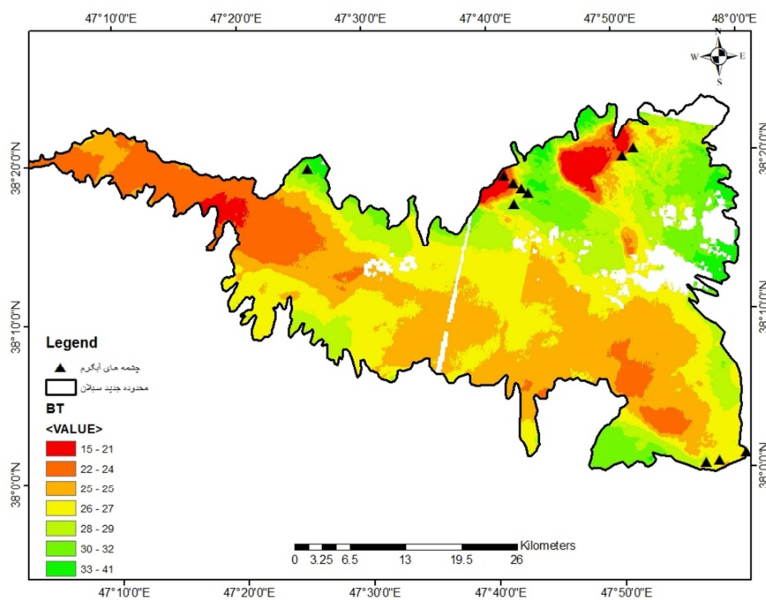
بیشترین دبی به میزان ۲۱ لیتر در ثانیه مربوط به ملک سوئی می باشد. اکثر چشمه های منطقه از دبی کمتر از ۴ لیتر در ثانیه برخوردار هستند. چشمه های آبگرم قینرجه مشکین شهر با برخورداری از دبی معادل ۹ لیتر در ثانیه از جایگاه سوم برخوردار است لیکن بیشترین دما که معادل ۸۲ درجه سانتیگراد است متعلق به این چشمه می باشد. مشاهده می شود که بخش شمال غربی و شمال شرقی آتشفشان از بیشترین میزان دما برخوردار هستند و دامنه جنوبی آتشفشان از دبی کمتری برخوردار است. در ارتباط با توزیع دما در آتشفشان سبلان مشاهده می شود که دو قسمت شمال غربی و جنوب شرقی از کانون های بیشترین دمای چشمه های آبگرم می باشند بطوری که چشمه قینرجه مشکین شهر در شمال غرب سبلان از بیشترین دما (۸۲ درجه سانتیگراد) برخوردار بوده و چشمه قینرجه نیر با دمایی معادل ۶۵ درجه سانتیگراد در دامنه جنوب شرقی سبلان در جایگاه دوم قرار دارد. بر خلاف پارامتر دبی که قسمت شمال شرقی از بیشترین دبی برخوردار بود این منطقه داری کمترین دما در چشمه های آبگرم می باشد.



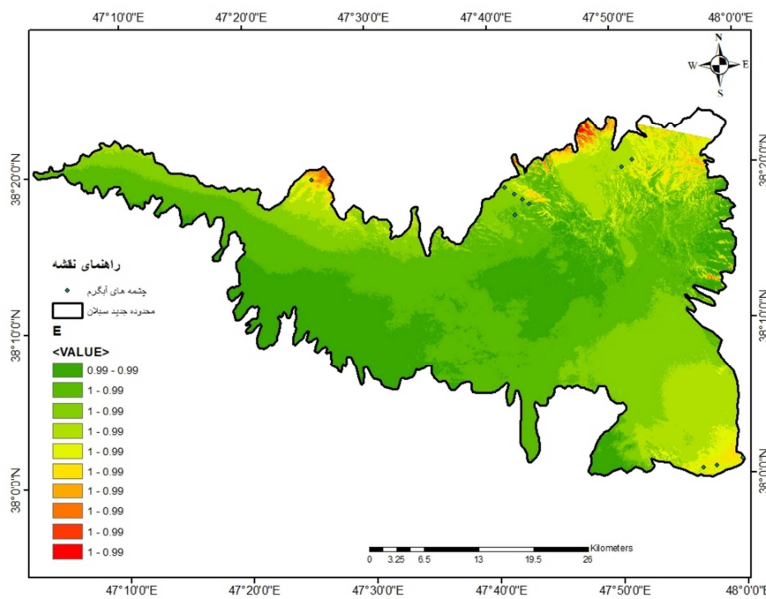
شکل ۹: وضعیت درون بایی دمای چشمه های آب گرم آتشفشان سبلان با استفاده از IDW

در نهایت با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، نقشه دمای سطح زمین (LST) ترسیم شد. به این منظور تصاویر باند ۴، ۵ و ۱۰ به همراه فایل MTL از سایت Earthexplorer.usgs.gov دانلود شد. نقشه دمای سطح زمین در ۵ مرحله ترسیم می گردد. با بهره گیری از فایل MTL، مقادیر ML و AL به دست آمد. مقادیر فوق به ترتیب معادل ۰/۰۰۰۳۳۴۲ و ۰/۱۰۰۰۰ می باشد. مقادیر فوق در قسمت Map Algebra وارد شده و نقشه تابش طیفی $L\lambda$ ترسیم شد. برای ترسیم نقش جسم سیاه نیز مقادیر K1 و K2 از فایل مربوطه برای باند ۱۰ ماهواره لندست به دست آمد. مقادیر فوق به ترتیب معادل ۷۷۴/۸۸۵۳ و ۱۳۲۱/۰۷۸۹ به دست آمد. با وارد کردن مقادیر فوق در فرموله جسم سیاه، نقشه مربوطه ترسیم شد. در مرحله بعدی، نقشه پوشش گیاهی نرمال شده NDVI ترسیم شد. لذا تصاویر باندهای ۴ و ۵ که مربوط به طیف مرئی و مادون قرمز حرارتی هستند در فرمول مربوطه وارد شده و نقشه NDVI ترسیم شد. سپس مقادیر نسبت پوشش گیاهی وارد شد. در فرموله مربوطه مقدار NDVImax و NDVimin از نقشه

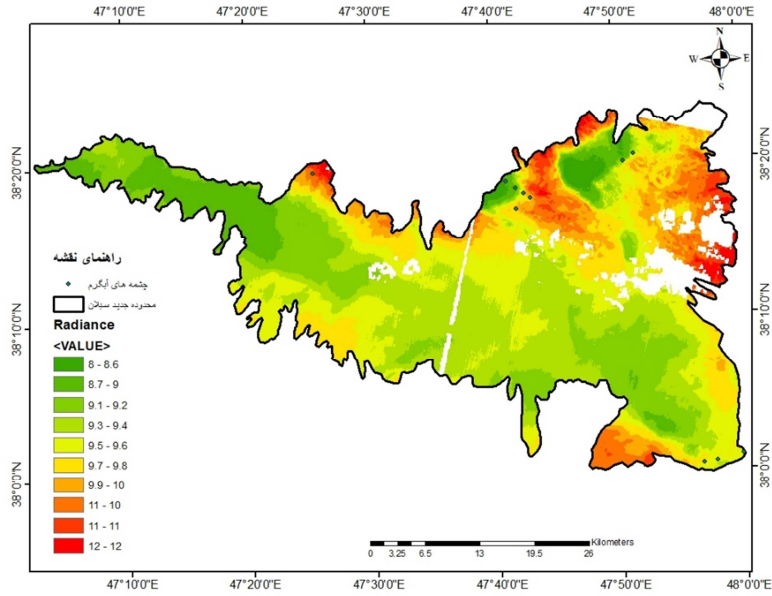
قبلی برآورد گردید. مقادیر فوق به ترتیب معادل ۰/۱۵ و ۰/۰۷۲- می باشد. در فرمول گسیل مندی نیز مقادیر ۰/۰۰۴ و ۰/۹۸۶ برای باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ مقادیر ثابتی می باشند.



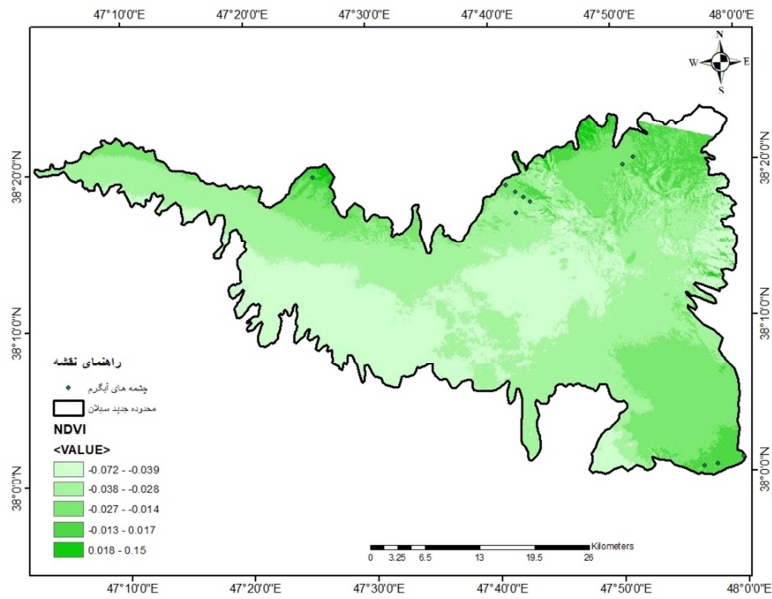
شکل ۱۰: نقشه دمای جسم سیاه در محدوده آتشفشان سبیلان



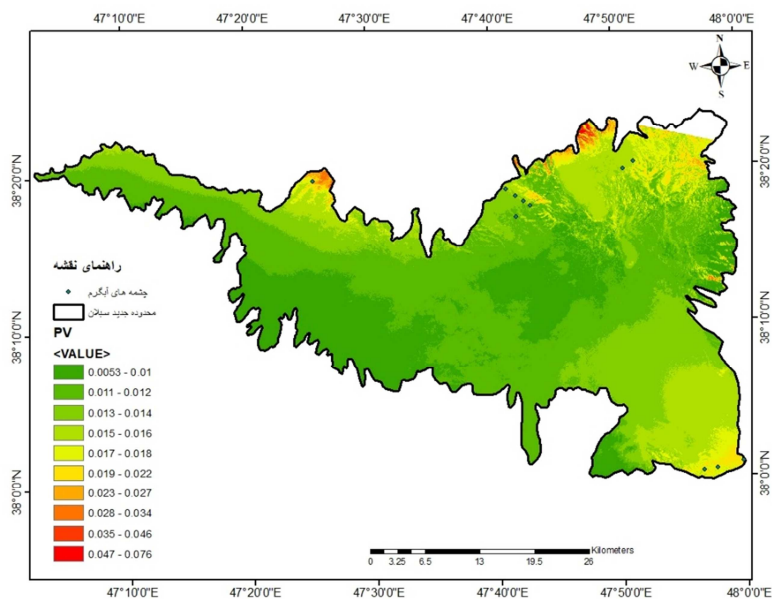
شکل ۱۱: نقشه گسیل مندی سطحی در محدوده آتشفشان سبیلان



شکل ۱۲: نقشه تابش طیفی در محدوده آتشفشان سبلان

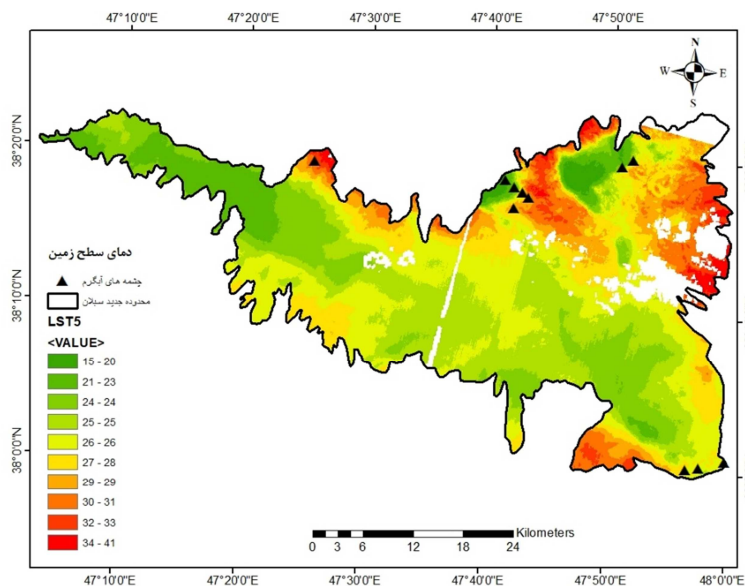


شکل ۱۳: نقشه پوشش گیاهی نرمال شده NDVI در محدوده آتشفشان سبلان



شکل ۱۴: نقشه نسبت پوشش گیاهی (PV) در محدوده آتشفشان سبلان

مقادیر حاصل از معادلات، در قسمت map algebra وارد شده و نقشه دمای سطح زمین (LST) ترسیم شد. نقشه های مربوطه در زیر نمایش داده می شود. نقشه فوق نشان می دهد که دمای سطح زمین در محدوده چشمه های آبگرم محدوده آتشفشان سبلان به شکل قابل توجهی بالا بوده و تفاوت دمایی بین ۱۹ تا ۲۶ درجه مشاهده می شود. دمای سطح زمین در نواحی این چشمه ها به شکل قابل توجهی بالا می باشد که این امر نشان دهنده قابلیت این نقشه ها در تعیین وضعیت چشمه های آبگرم می باشد.



شکل ۱۵: نقشه دمای سطح زمین (LST) در محدوده آتشفشان سبلان

نتیجه گیری

در جوار کوه های آتشفشان، چشمه های آبگرم در سطح زمین ظاهر شده و محل ظهور آنها با گسل ها در ارتباط می باشد. کوه آتشفشان سبلان شاهد گرمترین چشمه های آبگرم بوده و در کنار آن زلزله های مهیبی نیز در این منطقه به وقوع پیوسته است. در این تحقیق برای بررسی ارتباط گسل ها با چشمه های آبگرم از روش شواهد وزنی و دمای سطح زمین (LST) استفاده شد. به این منظور، ۱۱ چشمه آبگرم در نظر گرفته شد. برای بررسی جهت گسترش گسل ها از نمودار گل سرخی در نرم افزار Rockwork17 بهره گرفته شد. ترسیم بافر گسل ها نشان داد که از ۱۱ چشمه آبگرم، ۵ چشمه در فاصله ۱۰۰ متری، ۵ چشمه در فاصله ۲۰۰ متری و ۱ چشمه در فاصله ۳۰۰ متری از گسل ها واقع شده اند. لذا گسل ها تاثیر مهمی در پیدایش چشمه ها داشته اند. از بین ۱۱ چشمه، ۵ چشمه در ارتفاع کمتر از ۲۱۰۰ متر مستقر شده اند. در تحلیل دبی و دما نیز مشاهده می گردد که بیشترین میزان دبی در بخش شمال شرقی و شمال غربی آتشفشان قرار گرفته و مربوط به چشمه های ملک سوئی و قوتورسوئی می باشند. این چشمه ها گرمترین چشمه های منطقه نبوده اند بلکه گرمترین چشمه ها در بخش شمال غربی و جنوب شرقی مربوط به چشمه های قینرجه مشکین شهر و نیر می باشند. در نهایت روابط گسل ها با چشمه های آبگرم فوق با استفاده از شاخص دمای سطح زمین (LST)، در محدوده تصاویر OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در سه باند ۴، ۵ و ۱۰ مورد بررسی قرار گرفتند. به این منظور نقشه های تابش طیفی ($L\lambda$)، دمای جسم سیاه (BT)، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، نسبت پوشش گیاهی (PV) و گسیل مندی سطحی (E) ترسیم شده و با بهره گیری از آنها نقشه دمای سطح زمین (LST) ترسیم گردید. نتایج نشان داد که بیشترین دماهای سطح زمین در محدوده چشمه های آبگرم قرار گرفته اند.

منابع

- اسکندری، امیر؛ امینی، صدرالدین؛ مسعودی، فریبرز. (۱۳۹۷). پایش تغییرات حرارتی آتشفشان دماوند بر اساس دورسنجی با تصاویر سنجنده لندست، نشریه علوم زمین، سال ۲۸، شماره ۱۰۸، ۵۴-۴۳.
- رجبی، معصومه؛ سلیمانی، ابوالفضل. (۱۳۹۲). تحلیل و ارزیابی ویژگی های مورفوتکتونیک و نتوتکتونیک دامنه جنوبی کوهستان سبلان، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۵، ۱۲۰-۹۷.
- صادقیان، سعید؛ رجبی، احمد؛ شادمانفر، سید محمدرضا. (۱۴۰۰). بررسی روش های محاسبه دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی استان قم). فصلنامه فضای جغرافیایی، سال ۲۱، شماره ۷۴، ۱۵۴-۱۳۱.
- علوی، سید غفور؛ ناصری، حسین؛ پرخیال، سهیل؛ جمادی، مهناز. (۱۳۹۸). هیدروژئوشیمی سیالات گرمابی مخازن ژئوترمال غرب سبلان، شمال غرب ایران، نشریه هیدروژئولوژی، سال چهارم، شماره ۱، ۹۶-۸۰.
- فتح الهی، مهناز؛ خیرخواه، منیره. (۱۳۹۴). منشا و جایگاه تکنوماگمایی سنگ های آتشفشانی کواترنری سبلان، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۱، شماره ۲، ۱۳۶-۱۲۵.
- کاظمی، یاسین؛ حمزه، سعید؛ علوی پناه، سید کاظم؛ بهرام بیگی، بهرام. (۱۳۹۷). تحلیل ناهنجاری های حرارتی گسل ها و ارتباط آن با منابع زمین گرمایی با استفاده از داده های حرارتی لندست ۸، مطالعه موردی: گسل های شهداد و نایبند، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۶، ۲۰-۵.

- مهرابی، علی؛ پورخسروانی، محسن. (۱۳۹۸). ارتباط بین منابع آب زیرزمینی و گسل های کوآترنری دشت سیرجان با روش وزن های نشانگر، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۴، شماره ۲، ۱۸۲-۱۷۵.
- مددی، عقیل، نوحی، محمد. (۱۳۹۸). تحلیل مورفوتکتونیک کالدرای سبلان و تاثیر آن بر حوضه ها و مخروط افکنه های مربوط به آن ها در دامنه های شمالی، نشریه جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳۳، ۱۶-۱.
- Adeyeri, o. e., Akinsanola, A.A., Ishola, K.A. (2017). Investigating surface urban heat island characteristics over Abuja, Nigeria. Relationship between land surface temperature and multiple vegetation indices. Remote sensing Application: society and environment. 7, pp 57- 68.
- Apollaro, C., Dotsika, E., Marini, L., Barca, D., Bloise, A., De Rosa, N., Doveri, M., Lelli, M., Muto, F., (2012). Chemical and isotopic characterization of the Thermo mineral water of Terme Sibarite springs (Northern Calabria, Italy). *Geochem. J.* 46, pp117-129.
- Battani, A., Deville, E., Faure, J.L., Jeandel, E., Noirez, S., Tocqu'e, E., Benoît, Y., Schmitz, J., Parlouar, D., Sarda, P., Gal, F., le Pierres, K., Brach, M., Braibant, G., Beny, C., Pokryszka, Z., Charmoille, A., Bentivegna, G., Pironon, J., de Donato, P., Garnier, C., Cailteau, C., Barr'es, O., Radilla, G., Bauer, A. (2010). Geochemical study of natural CO₂ emissions in the French Massif Central: How to predict origin, processes, and evolution of CO₂ leakage. *Oil Gas Sci. Technol.* 65, pp 615-633.
- Bignall, G., Browne, P. (1994). Surface hydrothermal alteration and evolution of the Te Kopia Thermal Area, New Zealand. *Geothermics* 23, pp 645-658.
- Bogan, M.T., Noriega-Felix, N., Vidal-Aguilar, S.L., Findley, L.T., Lytle, D.A., Guti'erez- Ruacho, O.G., Alvarado-Castro, J.A., Varela-Romero, A. (2014). Biogeography and conservation of aquatic fauna in spring-fed tropical canyons of the southern Sonoran Desert, Mexico. *Biodivers. Conserv.* 23, pp 2705-2748.
- Bonse, VF., Gleeson, T., Loveless, SE., Bour, O., Scibek, J. (2013). Fault zone hydrogeology. *Earth Science Reviews*, 127, pp 171- 192.
- Bryan, K. (1919). Classification of springs. *J. Geol.* 27, pp 522-561.
- Caine, Jonathan, S., Evans, James, P., Forster, Craig, B. (1996). Fault zone architecture and permeability structure. *Geology* 24, pp 1025-1028.
- Crossey, L.J., Fischer, T.P., Patchett, P.J., Karlstrom, K.E., Hilton, D.R., Newell, D.L., Huntoon, P., Reynolds, A.C., de Leeuw, G.A.M. (2006). Dissected hydrologic system at the Grand Canyon: Interaction between deeply derived fluids and plateau aquifer waters in modern springs and travertine. *Geology* 34, pp 25-28.
- Curewitz, D., Karson, J.A. (1997). Structural settings of hydrothermal outflow: Fracture permeability maintained by fault propagation and interaction. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 79, pp 149-168.
- Davis, J.A., Kerezsy, A., Nicol, S. (2017). Springs: Conserving perennial water is critical in arid landscapes. *Biol. Conserv.* 211, pp 30-35.
- Forster, C.B., Evans, J.P. (1991). Hydrogeology of thrust faults and crystalline thrust sheets: Results of combined field and modeling studies. *Geophys. Res. Lett.* 18, pp 979-982.
- Hynes, H. (1970). *The Ecology of Running Waters*. University of Toronto Press.
- Jewell, P.W., Rahn, T.A., Bowman, J.R. (1994). Hydrology and chemistry of thermal waters near wells, Nevada. *Ground Water* 32, pp 657-665.
- Kresic, N. (2010). Types and classifications of springs. In: *Groundwater Hydrology of Springs*. Elsevier Inc, pp. 31-85.
- Mayer, A., May, W., Lukkarila, C., Diehl, J. (2007). Estimation of fault zone conductance by calibration of a regional groundwater flow model: desert Hot springs, California. *Hydrogeology Journal*, 15, pp 1093- 1106.
- Meinzer, O.E. (1923). *Outline of Ground-Water Hydrology, with Definitions*.
- Milanovic, PT. (1988). *Karst hydrogeology*. Water resource publication.
- Muro, J., Strauch, A., Heinemann, S., Steinbach, S., Thonfeld, F., Waske, B., Diekkruiger, B. (2018). Landsurface temperature trends as an indicator of land-use changes in wetlands. *Int J Appl earth obs geoinformation.* 70, pp 62- 71.
- Rowland, J.C., Manga, M., Rose, T.P. (2008). The influence of poorly interconnected fault zone flow paths on spring geochemistry. *Geofluids* 8, pp 93-101.
- Scibek, J., Gleeson, T., McKenzie, J.M. (2016). The biases and trends in fault zone hydrogeology conceptual models: global compilation and categorical data analysis. *Geofluids* 16, pp 782-798.
- Springer, A.E., Stevens, L.E. (2009). Spheres of discharge of springs. *Hydrogeol. J.* 17, pp 83-93.
- Treloar, R., Irvine, D., Rivas, SC., Werner, A., Banks, E., Currell, M. (2022). Fault controlled springs: A review, *Earth Science Reviews*, 230, pp 104- 127.
- van der Kamp, G. (1995). The hydrogeology of springs in relation to the biodiversity of spring fauna: a review. *J. Kansas Entomol. Soc.* 68, pp 4-17.
- White, WB. (1988). *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press: New York. 464.

References

References (in Persian)

- Alavi, S., Naseri, H., Jamadi, M., Porkhial, S. (2019). Hydrochemistry of Hydrothermal Fluids geothermal reservoirs of west Sabalan northwest of Iran, *Hydrogeology*, 4(1), pp 80- 96. doi: 10.22034/HYDRO.2019.8196. [In Persian]
- Eskandari, A., Amini, S., masoudi, F. (2018). Monitoring thermal changes of Damavand volcano using Landsat images, *Scientific Quarterly Journal of Geoscience*, 28(109), pp 43-54. <https://doi.org/10.22071/gsj.2017.93384.1212>. [In Persian]
- Fathollahi, M., Kheyrikhah, M. (2015). Tectonic settings and petrogenesis of Quaternary volcanic rocks of Sabalan, *Quaternary Journal of Iran*, 1(2), pp 125- 136. <http://journal.iranqua.ir/article-1-30-fa.html>. [In Persian]
- Kazemi, Y., Hamzeh, S., Alavipanah, S., Bahrambeygi, B. (2018). Analysis of the thermal anomalies of faults and their relationship with geothermal resources using thermal data from Landsat 8 case study: Shahdad and Nayband faults, *scientific- research Quarterly of geographical data (SEPEHR)*, 27(106), 5-20. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.32329>. [In Persian]
- Madadi, A., Nouhi, M. (2020). Morphotectonic Analysis of Sabalan Caldera and its impact on related river basins and Alluvial Fans in the Northern Slopes, *Geography, and Environmental Sustainability*, 33, 1-16. 10.22126/GES.2020.3271.1870. . [In Persian]
- Mehrabi, A., Pourkhosravani, M. (2019). Relationship between Groundwater resources and Quaternary Fault of Sirjan Plain using plain using Weight of evidence method, *Geographical Research*, 34(2), 175- 182. 10.29252/geores.34.2.175. [In Persian]
- Rajabi, M., Soleimani, A. (2013). Study of morphotectonic and Neotectonic characteristics in Sabalan Mountain, *Geography and Planning*, 17(45), pp 97- 120. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_571.html?lang=en. [In Persian]
- Rajabi, A., Sadegian, A., Shadmanfar, S. (2021). Investigation of methods for calculating ground temperature from satellite images (a case study of Qom province), *Journal of Geographic space*, 21(74), pp 131- 154. <http://geographical-space.iauar.ac.ir/article-1-3530-en.html> . [In Persian]

References (in English)

- Adeyeri, o. e., Akinsanola, A.A., Ishola, K.A. (2017). Investigating surface urban heat island characteristics over Abuja, Nigeria. Relationship between land surface temperature and multiple vegetation indices. *Remote sensing Application: society and environment*. 7, pp 57- 68.
- Apollaro, C., Dotsika, E., Marini, L., Barca, D., Bloise, A., De Rosa, N., Doveri, M., Lelli, M., Muto, F., (2012). Chemical and isotopic characterization of the Thermo mineral water of Terme Sibarite springs (Northern Calabria, Italy). *Geochem. J.* 46, pp117–129.
- Battani, A., Deville, E., Faure, J.L., Jeandel, E., Noirez, S., Tocqué, E., Benoît, Y., Schmitz, J., Parlouar, D., Sarda, P., Gal, F., le Pierres, K., Brach, M., Braibant, G., Beny, C., Pokryszka, Z., Charmoille, A., Bentivegna, G., Pironon, J., de Donato, P., Garnier, C., Cailteau, C., Barr`es, O., Radilla, G., Bauer, A. (2010). Geochemical study of natural CO₂ emissions in the French Massif Central: How to predict origin, processes, and evolution of CO₂ leakage. *Oil Gas Sci. Technol.* 65, pp 615–633.
- Bignall, G., Browne, P. (1994). Surface hydrothermal alteration and evolution of the Te Kopia Thermal Area, New Zealand. *Geothermics* 23, pp 645–658.
- Bogan, M.T., Noriega-Felix, N., Vidal-Aguilar, S.L., Findley, L.T., Lytle, D.A., Guti´errez- Ruacho, O.G., Alvarado-Castro, J.A., Varela-Romero, A. (2014). Biogeography and conservation of aquatic fauna in spring-fed tropical canyons of the southern Sonoran Desert, Mexico. *Biodivers. Conserv.* 23, pp 2705–2748.
- Bonse, VF., Gleeson, T., Loveless, SE., Bour, O., Scibek, J. (2013). Fault zone hydrogeology. *Earth Science Reviews*, 127, pp 171- 192.
- Bryan, K. (1919). Classification of springs. *J. Geol.* 27, pp 522–561.
- Caine, Jonathan, S., Evans, James, P., Forster, Craig, B. (1996). Fault zone architecture and permeability structure. *Geology* 24, pp 1025–1028.
- Crossey, L.J., Fischer, T.P., Patchett, P.J., Karlstrom, K.E., Hilton, D.R., Newell, D.L., Huntoon, P., Reynolds, A.C., de Leeuw, G.A.M. (2006). Dissected hydrologic system at the Grand Canyon: Interaction between deeply derived fluids and plateau aquifer waters in modern springs and travertine. *Geology* 34, pp 25–28.
- Curewitz, D., Karson, J.A. (1997). Structural settings of hydrothermal outflow: Fracture permeability maintained by fault propagation and interaction. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 79, pp 149–168.
- Davis, J.A., Kerezszy, A., Nicol, S. (2017). Springs: Conserving perennial water is critical in arid landscapes. *Biol. Conserv.* 211, pp 30–35.
- Forster, C.B., Evans, J.P. (1991). Hydrogeology of thrust faults and crystalline thrust sheets: Results of combined field and modeling studies. *Geophys. Res. Lett.* 18, pp 979–982.
- Hynes, H. (1970). *The Ecology of Running Waters*. University of Toronto Press.
- Jewell, P.W., Rahn, T.A., Bowman, J.R. (1994). Hydrology and chemistry of thermal waters near wells, Nevada. *Ground Water* 32, pp 657–665.
- Kresic, N. (2010). Types and classifications of springs. In: *Groundwater Hydrology of Springs*. Elsevier Inc, pp. 31–85.

- Mayer, A., May, W., Lukkarila, C., Diehl, J. (2007). Estimation of fault zone conductance by calibration of a regional groundwater flow model: desert Hot springs, California. *Hydrogeology Journal*, 15, pp 1093- 1106.
- Meinzer, O.E. (1923). *Outline of Ground-Water Hydrology, with Definitions*.
- Milanovic, P.T. (1988). *Karst hydrogeology*. Water resource publication.
- Muro, J., Strauch, A., Heinemann, S., Steinbach, S., Thonfeld, F., Waske, B., Diekkruger, B. (2018). Landsurface temperature trends as an indicator of land-use changes in wetlands. *Int J Appl earth obs geoinformation*. 70, pp 62- 71.
- Rowland, J.C., Manga, M., Rose, T.P. (2008). The influence of poorly interconnected fault zone flow paths on spring geochemistry. *Geofluids* 8, pp 93–101.
- Scibek, J., Gleeson, T., McKenzie, J.M. (2016). The biases and trends in fault zone hydrogeology conceptual models: global compilation and categorical data analysis. *Geofluids* 16, pp 782–798.
- Springer, A.E., Stevens, L.E. (2009). Spheres of discharge of springs. *Hydrogeol. J.* 17, pp 83–93.
- Treloar, R., Irvine, D., Rivas, S.C., Werner, A., Banks, E., Currell, M. (2022). Fault controlled springs: A review, *Earth Science Reviews*, 230, pp 104- 127.
- van der Kamp, G. (1995). The hydrogeology of springs in relation to the biodiversity of spring fauna: a review. *J. Kansas Entomol. Soc.* 68, pp 4–17.
- White, W.B. (1988). *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press: New York. 464.