



Land Subsidence Risk Zoning in Sarab Plain, using MARCOS and CODAS Multi-Criteria Analysis Algorithms

Sayyad Asghari Saraskanrood^{a*}, Elnaz Piroozi^b, Leila Aghayary^c

^a Professor in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

^b PhD in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

^c PhD Candidate in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Received: 24 October 2022

Revised: 21 January 2023

Accepted: 7 February 2023

Abstract

Among the risks facing the plains in Iran is subsidence, which causes many problems in agricultural lands, roads, power, and energy transmission lines. In recent years, Sarab plain has faced a sharp drop in the level of underground water, which has caused this area to be exposed to the risk of subsidence. Therefore, the purpose of this research is to investigate and analyze the most important factors involved in creating the risk of subsidence in Sarab plain and to identify the susceptible surfaces that are likely to be involved in subsidence in the future, using the multi-criteria MARCOS and CODAS algorithms. According to the results of subsidence risk zoning, water depth, land use, and slope, respectively, with weight coefficients of 0.194, 0.171, and 0.159, are the most important factors involved in creating the risk of subsidence in the studied area. The output of the MARCOS method showed that, respectively, 167.50 and 276.09 square kilometers of the area of Sarab Plain, and results of applying the CODAS method, showed that 187.13 and 279.03 square kilometers of the area are in the high-risk and critical category. In addition, the map extracted from the MARCOS and CODAS algorithms with the depth of the water level of the wells, respectively, have correlation coefficient values of 0.77 and 0.81. A correlation can be seen between the output of both methods with the water level map. It seems that the results of this study can be of great help to organizational managers and land and soil resource planners for protecting and managing water resources and natural hazards and preventing land degradation.

Keywords: Subsidence, Zoning, Sarab Plain, Multi-Criteria Analysis Algorithms

*. Corresponding author: Sayyad Asghari Saraskanrood E-mail: s.asghari@uma.ac.ir Tel: + 989104020251

How to cite this Article: Asghari Saraskanrood, S., Piroozi, E., & Aghayary, L. (2023). Land Subsidence Risk Zoning in Sarab Plain, using MARCOS and CODAS Multi-Criteria Analysis Algorithms. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 149-171.

DOI:10.22067/geoh.2023.79331.1291



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 4 - Number 44, Winter 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79331.1291>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صص ۱۷۱-۱۴۹

مقاله پژوهشی

ویژه‌نامه (چالش جهانی فرونشست زمین: مدیریت بحران یا بحران مدیریت)

پهنه‌بندی گسترهٔ خطر فرونشست زمین در دشت سراب، با بهره‌گیری از الگوریتم‌های تحلیل چند معیاره

CODAS و MARCOS

صیاد اصغری سراسکانرود^۱- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
الناز پیروزی- دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
لیلا آقاباری- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

چکیده

یکی از مخاطرات پیش روی دشت‌های کشور، مخاطره فرونشست است که سبب بروز مشکلات و معضلات فراوان در زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها، خطوط انتقال نیرو و انرژی می‌گردد. دشت سراب نیز در طی سال‌های اخیر با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه بوده که این عامل سبب گردیده تا این منطقه در معرض وقوع مخاطره فرونشست قرار گیرد. هدف این پژوهش بررسی و تحلیل مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد خطر فرونشست دشت سراب و مشخص کردن سطوح مستعد که احتمالاً در آینده درگیر فرونشست خواهند شد، با بهره‌گیری از الگوریتم‌های چند معیاره CODAS و MARCOS است. با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر فرونشست؛ معیارهای عمق آب، کاربری اراضی و شیب؛ به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۹۴، ۰/۱۷۱ و ۰/۱۵۹، مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد خطر فرونشست محدوده مطالعاتی می‌باشند. با توجه به خروجی حاصل از روش MARCOS، به ترتیب؛ ۱۶۷/۵۰ و ۲۷۶/۰۹ کیلومترمربع از مساحت دشت سراب و طبق نتایج حاصل از به‌کارگیری روش CODAS، ۱۸۷/۱۳ و ۲۷۹/۰۳ کیلومترمربع

Email: s.asghari@uma.ac.i

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۰۴۰۲۰۲۵۱

نحوه ارجاع به این مقاله:

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پیروزی، الناز؛ آقاباری، لیلا؛ ۱۴۰۱. پهنه‌بندی گسترهٔ خطر فرونشست زمین در دشت سراب، با بهره‌گیری از الگوریتم‌های تحلیل چند معیاره CODAS و MARCOS. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۴). صص ۱۷۱-۱۴۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79331.1291>

از مساحت محدوده، در طبقه پرخطر و بحرانی قرار دارد. به علاوه، نقشه مستخرج از الگوریتم MARCOS و CODAS با عمق سطح آب چاه‌ها به ترتیب؛ دارای مقدار ضریب همبستگی ۰/۸۱ و ۰/۷۷ می‌باشند و بین خروجی هر دو روش با نقشه سطح آب همبستگی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد، نتایج حاصل از مطالعه حاضر، می‌تواند به مدیران سازمانی و برنامه‌ریزان منابع اراضی و خاک، در زمینه حفاظت و مدیریت منابع آبی و مخاطرات طبیعی و جلوگیری از تخریب سرزمین کمک شایانی نماید.

کلیدواژه‌ها: فرونشست، پهنه‌بندی، دشت سراب، الگوریتم‌های تحلیل چند معیاره.

۱- مقدمه

فرونشست زمین به‌عنوان پدیده‌ای مورفولوژیک، نوعی از تغییر شکل سطح زمین است که با دگرشکلی عمودی و یا حرکت رو به پایین سطح زمین و همچنین نشست تدریجی یا دفعی مواد سطحی همراه است (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۴). فرونشست به علل گوناگونی از جمله عوامل طبیعی مانند زلزله، آتشفشان، فعالیت‌های گسلی، فرونشست ناشی از بالا آمدن سطح دریا، انحلال در سنگ، اکسایش، فشردگی رسوبات آلی، توسعه چاله در زمین‌های کارستی یا ناشی از فعالیت‌های انسانی، شامل برداشت بی‌رویه سیالات از زمین نظیر آب، نفت و گاز روی می‌دهد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۹). هر چند محوریت رویداد آن متوجه دو عامل اصلی استخراج آب زیرزمینی و کارستی شدن سنگ‌های انحلال‌پذیر است (شریفی‌کیا، ۱۳۹۱). فرونشست سبب تخریب کانال‌های آبیاری، شکست خطوط لوله‌های آب و نفت، خطوط انتقال نیرو و تخریب سازه‌ها و تشدید فرایند زمین‌لغزه و سیلاب‌ها می‌شود و در صورت عدم شناخت این پدیده سبب آسیب جدی به زیرساخت‌های اقتصادی می‌گردد (گامبولاتی و همکاران، ۲۰۱۸). فرونشست زمین در ایران سابقه‌ای طولانی دارد، در گذشته تنها برخی از استان‌ها از جمله کرمان و یزد با این مسئله مواجه بودند ولی هم‌اکنون بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی سبب شده تا بسیاری از دشت‌های ایران با مسئله فرونشست مواجه باشند. بر اساس آمار اعلام شده در کشور ایران، اثرات سوء ناشی از رخداد فرونشست رقم پابینی نیست و به‌سرعت در حال ایجاد و گسترش در دشت‌های مختلف سراسر کشور است که عدم مدیریت و کنترل به‌موقع عوامل آن می‌تواند خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری برجای بگذارد (منتظریون و اصلانی، ۱۳۹۸).

باید توجه داشت که از یک‌سو، یکی از مهم‌ترین راهکارهای کنترل فرونشست در مناطق بر اساس تجارب جهانی، روش‌های غیر سازه‌ای کاهش‌دهنده و تطبیق‌دهنده است (آبیدین و همکاران، ۲۰۱۵) و از سوی دیگر، اندازه‌گیری رخداد فرونشست در مقیاس وسیع به دلیل نرخ کند آن چالش‌برانگیز است و نیاز به فناوری‌های پیشرفته دارد. امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابزاری مؤثر برای سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری تعاملی برای عملیات

1 Gambolati et al

2 Abidin et al

مدیریت ریسک هستند (بوخیر و همکاران، ۲۰۰۶) و همچنین، برای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه، از روش MCDM استفاده می‌شود (آهر و همکاران^۱، ۲۰۱۳). در این روش‌های تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی مدل، از معیارهای مختلفی برای افزایش صحت تصمیمات استفاده می‌شود (جورجیو و همکاران^۲، ۲۰۱۵؛ عرب عامری و همکاران^۳، ۲۰۱۸). لذا می‌توان گفت، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی، می‌تواند باعث تسریع در روند برنامه‌ریزی در تشخیص موارد بحرانی و اضطراری شده و منجر به صدور نتایج مناسبی گردد.

با توجه به اهمیت موضوع در سال‌های اخیر، مطالعات مختلفی در زمینه فرونشست صورت گرفته است. کیانی و همکاران (۱۳۹۷)، اقدام به بررسی ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی در شهرستان کرج با استفاده از روش تلفیق وزنی در محیط GIS کرده و نتیجه کارشان نشان داده که بین وضعیت توپوگرافی، ضخامت سازند و برداشت آب ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و بیشترین میزان فرونشست در مناطق با برداشت زیاد، آبرفت‌های ضخیم و مناطق پست دشت مشاهده می‌شود. منتظریون و اصلانی (۱۳۹۸)، با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی خطر فرونشست زمین در پهنه استان‌های تهران و البرز پرداختند. یافته‌های پژوهش نشان داد، مناطق وسیعی در استان تهران از جمله غرب و جنوب غربی و همچنین دشت ورامین، شهریار، کرج، نظرآباد و ساوجبلاغ در استان البرز از جمله مناطق مستعد وقوع فرونشست هستند و آنچه باعث ایجاد خطر فرونشست می‌گردد، عدم کنترل و مدیریت مناسب منابع و ذخایر آب‌های زیرزمینی در سطح استان است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۹)، به پایش میزان فرونشست محدوده شهری دشت پاکدشت با روش تداخل‌سنجی پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه، در طی بازه زمانی یک‌ساله بین ۱۵ تا ۸۵ میلی‌متر فرونشست را نشان می‌دهد و مهم‌ترین و مؤثرترین عامل در فرونشست را هم‌افت سطح آب‌های زیرزمینی عنوان کرده‌اند. فرزین کیا و همکاران (۱۴۰۰)، پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت جوین را با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای_ فازی مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به نتایج مطالعه حدود ۵۶ درصد از مساحت محدود و شامل قسمت مرکزی دشت دارای احتمال خطر زیاد تا خیلی زیاد است و تراکم بالای چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و افت بالای آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت بی‌رویه، به‌عنوان دلیل اصلی استعداد بالای فرونشست محدوده مشخص شد. روستایی و همکاران (۱۴۰۱)، مناطق مستعد ریسک فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش FUZZY-AHP، در دشت شبستر-صوفیان، مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج مطالعه، مناطق جنوبی و غربی دشت شبستر-صوفیان مستعد فرونشست زیاد تا خیلی زیاد بوده است و این مناطق منطبق بر کاربری‌های کشاورزی و مراتع می‌باشند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۱)، به برآورد و

1 Aher et al

2 Georgiou et al

3 Arab Ameri et al

پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت مرکزی استان البرز با بهره‌گیری از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و الگوریتم تحلیل چند معیاره ARAS پرداختند و نتایج مطالعه نشان داد، فرونشست در محدوده بین صفر تا ۳۰۰ میلی‌متر بوده و به ترتیب ۱۳۵/۵۵ و ۱۹۲/۲۸ کیلومترمربع از محدوده دارای احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد است. به‌علاوه مهم‌ترین عامل اصلی دخیل در افزایش پتانسیل فرونشست محدوده، بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب است. گامبولاتی و همکاران^۱ (۲۰۱۸)، در پژوهشی به مطالعه تأثیر فعالیت‌های انسانی بر میزان فرونشست زمین در مناطق مسکونی پرداختند و طبق بررسی‌های انجام شده برداشت بی‌رویه منابع زیرزمینی و تجمع سازه‌ها را مهم‌ترین علت فرونشست در مناطق مسکونی بیان کردند. مین و همکاران^۲ (۲۰۱۹)، در پژوهشی به بررسی فرونشست در هانوی ویتنام، از طریق تکنیک تداخل‌سنجی راداری پرداختند و با توجه به نتایج حاصله، افت سطح آب زیرزمینی مهم‌ترین عامل مؤثر در فرونشست محدوده شناخته شده است. هوانگ و همکاران^۳ (۲۰۲۰)، به بررسی فرونشست شهر دژو با روش SBAS پرداختند. بررسی‌ها طی بازه زمانی دو ساله نشان می‌دهد که مرکز فرونشست بخش‌های شرقی و شمال‌شرقی با میزان فرونشست ۴۵ میلی‌متری است و این نشست هم رابطه مستقیمی با افت سطح آب‌های زیرزمینی دارد. رنجبر و همکاران^۴ (۲۰۲۱)، به بررسی حساسیت فرونشست زمین، در شهرستان شهریار با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین‌پرداز پرداختند و به این نتیجه رسیدند، در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت و برداشت بیشتر از آب‌های زیرزمینی؛ نرخ فرونشست افزایش یافته است. گرج و همکاران^۵ (۲۰۲۲)، در پژوهشی، با استفاده از تکنیک InSAR، به مطالعه خطر فرونشست زمین در شهر دهلی هند، در طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰، پرداختند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، به‌طور تقریبی، ۱۰۰ کیلومترمربع از مساحت منطقه در معرض خطر فرونشست زمین قرار دارد و گسترش و برداشت بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان علت اصلی فرونشست زمین، در منطقه است.

دشت سراب، از دشت‌های حاصلخیز استان آذربایجان شرقی است که اقتصاد جوامع ساکن در آن به کشاورزی و دامداری وابسته است. در این دشت به دلیل شرایط خشک حاکم بر منطقه و بارش دریاقتی کم، کشاورزان علاوه بر آب‌های سطحی، از آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مکمل برای آبیاری مزارع و باغات استفاده می‌کنند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷). لذا، در سال‌های اخیر این دشت با مشکل برداشت بی‌رویه آب و در نتیجه فقر سفره‌های آب زیرزمینی و فرونشست زمین روبه‌رو شده است. به‌طوری‌که کمیته مخاطرات زمینی سازمان نقشه‌برداری کشور نیز، در راستای ایفای نقش خود در زمینه پایش تغییرات سطحی پوسته زمین در کشور، طی نامه‌ای نرخ و گستره فرونشست

1 Gambolati et al

2 Minh et al

3 Huang et al

4 Ranjgar et al

5 Garg et al

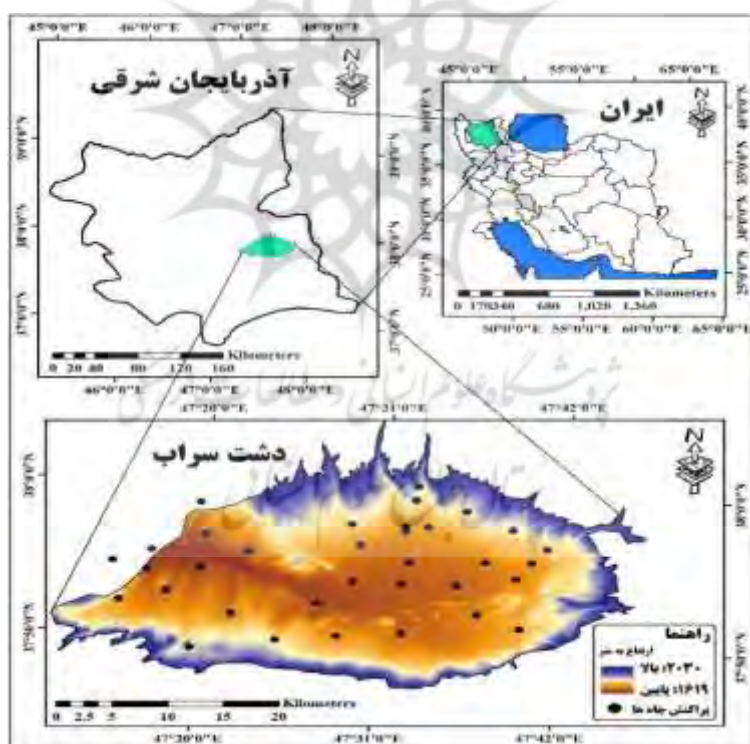
این منطقه را به وزارت جهاد کشاورزی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و فرمانداری شهرستان سراب اعلان نموده و نسبت به بروز مخاطرات این پدیده هشدار داده است (سایت سازمان نقشه برداری، ۱۴۰۰). با توجه به اهمیت موضوع، مطالعاتی نیز در راستای بررسی مسئله فرونشست در محدوده دشت سراب انجام شده است. به عنوان مثال؛ ناموری و صدری کیا (۱۳۹۹)، با استفاده از تصاویر راداری Sentinel و به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری نرخ فرونشست دشت سراب را ما بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد در دشت سراب فرونشست زمین با حداکثر نرخ سالانه حدود ۴ سانتیمتر وجود دارد و فرونشست در بخش‌های جنوبی شهر سراب نسبتاً قابل توجه است. صدری کیا (۱۴۰۱)، با استفاده از روش تحلیل سری زمانی تداخل سنجی راداری، در فاصله سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸، به پایش فرونشست زمین در دشت سراب، پرداخته است. طبق نتایج حاصل از این پژوهش در دشت سراب بیشینه فرونشستی حدود ۳۰/۵- میلی‌متر در سال در راستای خط دید ماهواره و حدود ۴۴/۸۵- میلی‌متر در سال در راستای قائم دیده می‌شود و در مناطق دارای فرونشست زیاد، کاهش سطح ایستابی وجود داشته و رابطه آماری بین سطح ایستابی و جابه‌جایی‌های سطح زمین معنی دار است و رابطه مستقیم بین دو متغیر وجود دارد. همان‌طور که بررسی پیشینه پژوهشی نشان می‌دهد، از یک سو مطالعات انجام شده در محدوده دشت سراب، صرفاً با هدف برآورد نرخ فرونشست بر پایه بهره‌گیری از تکنیک تداخل سنجی راداری استوار بوده است و تاکنون مطالعه‌ای به منظور پهنه‌بندی سطح دشت سراب از لحاظ پتانسیل رخداد فرونشست انجام نشده است. از سوی دیگر با توجه به اینکه فرونشست، از جمله مخاطراتی است که دارای طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه، هستند، یکی از روش‌های کاربردی و مورد توجه در طی سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است؛ لذا هدف این مطالعه، شناخت و تحلیل عوامل مؤثر بر فرونشست دشت سراب و مشخص کردن سطوح مستعد فرونشست با ارائه نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از الگوریتم‌های تحلیل چند معیاره MARCOS و CODAS و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت سراب با مساحت ۹۱۸/۴۰ کیلومتر مربع، بین مدارهای ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه ۳ دقیقه و ۲۱ ثانیه شمالی و نصف‌النهارهای ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). این دشت، در میان توده‌های عظیم آتشفشانی سبلان و رشته‌کوه‌های بزقوش واقع شده است و پیوستگی کوهستان سبلان و بزقوش، در شرق و شمال، این دشت را به صورت چاله بسته درآورده که فقط از گوشه شمال غربی باز است. دشت سراب شکل کشیده‌ای دارد و کشیدگی آن، در جهت شرقی - غربی می‌باشد. دشت سراب در محور رودخانه آجی‌چای و در امتداد شرقی - غربی واقع شده است و سفره‌آب‌های آزاد این دشت بیشتر از جریان آبی کوهستان‌های

سبلان و بزقوش، تأمین می‌شود. منابع آب سطحی دشت را بیوک‌چای، تاجیارچای، رازلیق‌چای، وانق‌چای تشکیل می‌دهند که از ارتفاعات اطراف سرچشمه می‌گیرند و بعد از روستای اندراب به هم پیوسته و با نام آجی‌چای از شرق به غرب جریان یافته و در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزند (تلسچی امیرخیزی و همکاران، ۱۳۹۸). این دشت شش دره آبرفتی دارد که رسوبات آن‌ها در سمت پایین‌دست به هم ملحق می‌شوند و دشت سراب را به وجود می‌آورند. از نظر زمین‌ساختی، تشکیل دشت سویسیدانس سراب وابسته به فاز تکتونیکی میوپلیوسن است و این حوضه اغلب از رسوب‌های میوسن، پلیوسن کوتاه‌تر با ضخامت زیاد پوشیده شده است. گسل‌های متعددی در شکل‌گیری آن مؤثر بوده‌اند که در این میان گسل‌های دامنه شمالی بزقوش و دامنه جنوب سبلان، نقش اساسی در شکل‌گیری آن داشته‌اند. سازندهای زمین‌شناسی که در منطقه برونزد دارند، به ترتیب سنی از قدیم به جدید شامل؛ کنگلومرا و ماسه‌سنگ به سن پلیومیوسن Ngc، مارن ژیبسی ماسه‌سنگ دار به سن میوسن Mmg، ولکانیک‌های پلیوسن Plv، کنگلومرا و ولکانیک‌های پلیوکواترنر Plqv و PLqc و پادگانه‌های آبرفتی Qt به سن کوتاه‌تر است. نوع اقلیم دشت نیز، بر اساس روش آمبرژه، نیمه‌خشک سرد است.



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

۲-۲- داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از فنون تحلیل چند معیاره است. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای Arc GIS, ENVI, Ecognition, Idrisi, Excel بهره‌گیری شده است. جهت پهنه‌بندی، خطر فرونشست، در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا باید مؤلفه‌های تأثیرگذار مشخص شده و بر مبنای آن‌ها داده‌ها و اطلاعات موردنیاز گردآوری و طبقه‌بندی شوند. بدین منظور، در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر (شامل: شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از شهر و روستا، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و افت سطح آب زیرزمینی)، با بررسی نمونه مطالعات انجام شده در رابطه با خطر فرونشست که توسط دیگر پژوهشگران صورت پذیرفته و عوامل مؤثر در ایجاد فرونشست را بیان داشته‌اند ((مانند، کیانی و همکاران (۱۳۹۷)، منتظریون و اصلانی (۱۳۹۸)، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۹)، فرزین کیا و همکاران (۱۴۰۰)، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۴۰۱)، روستایی و همکاران (۱۴۰۱)، گامبولاتی و همکاران (۲۰۱۸)، تانگ مین و همکاران (۲۰۱۹)، هوانگ و همکاران (۲۰۲۰)، رنجبر و همکاران (۲۰۲۱) و گرج و همکاران (۲۰۲۲)) و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه، شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی، تهیه گردید. لایه‌های شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر، دانلود شده از سایت (vertex.daac.asf.alaska.edu)، تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل‌ها، با رقومی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی استان؛ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. برای استخراج کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه، از تصاویر لندست هشت، سنجنده (OLI)، اخذ شده از سایت (earthexplorer.usgs.gov)، استفاده شده است. در این راستا، ابتدا تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash، در نرم‌افزار Envi، انجام شد. سپس طبقه‌بندی با روش شیء‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار Ecognition Developer، صورت گرفت و نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها، چه از نظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا، از صحت قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد. به منظور پایش سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات مربوط به ۳۴ چاه مشاهده‌ای سطح تراز پیژومتری دشت سراب (اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی) استفاده گردید و سپس با توجه به اینکه تخمینگر کریجینگ بهترین تخمینگر خطی نأریب است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷) و با نظر به مقادیر ضریب تعیین بالاتر، میزان خطا و واریانس تخمینی کمتر این روش در تهیه نقشه سطح آب نسبت به دیگر روش‌ها که (کماسی و همکاران، ۱۳۹۶)، (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷)، (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۴۰۱)، نیز در مطالعات خود بدان اشاره داشته‌اند، در نهایت با استفاده از روش کریجینگ،

نقشه عمق آب دشت سراب استخراج گردید. سپس با اجرای مراحل تکنیک مارکوس و کوداس نسبت به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست اقدام شد.

۲-۳- مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست با استفاده از روش مارکوس (MARCOS)

۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش: اولین گام در این روش تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش است. ۲- تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش نیز به صورت معیار-گزینه است؛ یعنی یک ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مساله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. ۳- تعیین ایده آل و ضد ایده آل: در این بخش بر اساس روابط ۱ و ۲، مقادیر ایده آل (AI) و ضد ایده آل (AAI) مشخص می‌شود. در روابط زیر، عبارت B به معنی معیارهایی که جنبه سود و عبارت C به معنی معیارهای که جنبه هزینه دارند.

$$AI = \max x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min x_{ij} \text{ if } j \in C \quad \text{رابطه ۱}$$

$$AAI = \min x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max x_{ij} \text{ if } j \in C \quad \text{رابطه ۲}$$

۴- نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی: در پژوهش حاضر، جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر زمین‌لغزش، مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی صورت پذیرفت. ۵- وزن دار کردن ماتریس نرمال: در این پژوهش، جهت وزندهی عوامل از روش CRITIC استفاده شده است. ۶- محاسبه مطلوبیت هر گزینه: در این مرحله، بر اساس روابط ۳ و ۴، درجه مطلوبیت ایده آل K^+ و ضد ایده آل K^- گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$K_{i+} = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$K_{i-} = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad \text{رابطه ۴}$$

در روابط فوق، $S_i (i=1,2,3,..m)$ جمع مقادیر هر سطر در ماتریس وزن دار می‌باشد که از رابطه ۵، به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j:1}^n v_{ij} \quad \text{رابطه ۵}$$

۷- تعیین عملکرد نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این بخش با استفاده از رابطه ۶، عملکرد مطلوب هر گزینه محاسبه می‌شود.

$$f(k_i) = \frac{k_i^+ + k_i^-}{1 + \frac{1-f(k_i^+)}{f(k_i^+)} + \frac{1-f(k_i^-)}{f(k_i^-)}} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه فوق الذکر $f(k^-)$ عملکرد مطلوبیت ضد ایده-آل و $f(k^+)$ عملکرد مطلوب ایده آل برای هر گزینه است که از روابط ۷ و ۸ محاسبه می شود. سپس بر اساس اعداد به دست آمده از $f(k)$ هر گزینه رتبه بندی انجام می شود. هر کدام از گزینه ها مقدار $f(k)$ بزرگ تری داشت رتبه بهتری دارد (جهانگیری، ۱۳۹۹؛ جهانگیری، ۱۴۰۰).

$$f(k_i^-) = \frac{k_i^+}{k_i^+ + k_i^-} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$f(k_i^+) = \frac{k_i^-}{k_i^+ + k_i^-} \quad \text{رابطه ۸}$$

۲-۴- مراحل تهیه نقشه پهنه بندی خطر فرونشست با استفاده از روش کوداس (CODAS)

۱- تعیین معیارها و گزینه های پژوهش: اولین گام در این روش تعیین عوامل و گزینه های پژوهش است. ۲- دومین گام در این روش تشکیل ماتریس تصمیم است. در ماتریس تصمیم روش کوداس معیارهای آن ستون ها و سطرها آن گزینه های پژوهش هستند. ۳- سومین گام استانداردسازی ماتریس تصمیم می باشد که در این مطالعه، استانداردسازی و ارزش گذاری به صورت توأم با استفاده از روش فازی انجام شده است. ۴- تشکیل ماتریس نرمال وزن دار: باید وزن معیارها را در ماتریس نرمال ضرب کرد. در این پژوهش جهت وزن دار کردن ماتریس نرمال، از روش CRITIC استفاده شده است. ۵- محاسبه فواصل اقلیدسی (Euclidean distance) و تاکسی (Taxicab distances) از ایده آل منفی: این فواصل از روابط ۹ و ۱۰، به دست می آیند. در این روابط ns_j ایده آل منفی معیارها است.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad \text{رابطه ۹}$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad \text{رابطه ۱۰}$$

۶- ایجاد ماتریس ارزیابی نسبی: در این گام باید ماتریس ارزیابی نسبی را با استفاده از رابطه ۱۱، ایجاد شود که در این رابطه، ψ نشان دهنده یک تابع آستانه برای تشخیص برابری فاصله اقلیدسی دو گزینه است.

$$h_{iK} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

۷- در این گام با جمع مقادیر h_{ik} گزینه‌ها، می‌توان آن‌ها را رتبه‌بندی نمود هر چه مقدار H_i بزرگ‌تر باشد گزینه رتبه بهتری دارد (متیو و ساهو^۱، ۲۰۱۸).

۲-۵- وزن‌دهی CRITIC^۲ (اهمیت معیارها، از طریق همبستگی بین معیارها)

در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این روش، پس از محاسبه انحراف معیار معیارهای مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد $m \times m$ ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد موجود بین معیار Z با معیارهای دیگر از روی رابطه ۱۲، محاسبه می‌شود.

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

که در آن C_{jk} معرف مجموع تضاد معیار Z با معیارهای k است که از $k = 1$ شروع شده و تا $k = m$ ادامه دارد و r_{jk} همبستگی بین دو معیار k و Z را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل Z را می‌توان با استفاده از رابطه ۱۳، محاسبه نمود.

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

که در آن C_j ، معرف میزان اطلاعات معیار Z و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار Z را نشان می‌دهد. با توجه به روابط یادشده، معیارهایی که دارای C_j بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند Z از رابطه ۱۴، تعیین می‌گردد.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

که در آن W_j معرف وزن معیار Z و C_k نشانگر میزان اطلاعات مجموع معیارهای k است که از $k = 1$ شروع شده و تا $k = m$ ادامه دارد. لذا، وزن نهایی هر معیار، از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان کل اطلاعات تمامی معیارها به دست می‌آید است (علی‌نژاد و خلیلی^۳، ۲۰۱۹). در راستای انجام مراحل وزن‌دهی کرتیک ابتدا در محیط ادریسی انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌های اطلاعاتی مربوطه به هر یک از عوامل، با استفاده از تابع REGRESS، به دست آمد و در مرحله بعد، با توجه به روابط مربوطه نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی در اکسل، اقدام گردید.

1 Mathew & Sahu

2 CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation

3 Alinezhad & Khalili

۲-۶- استانداردسازی فازی

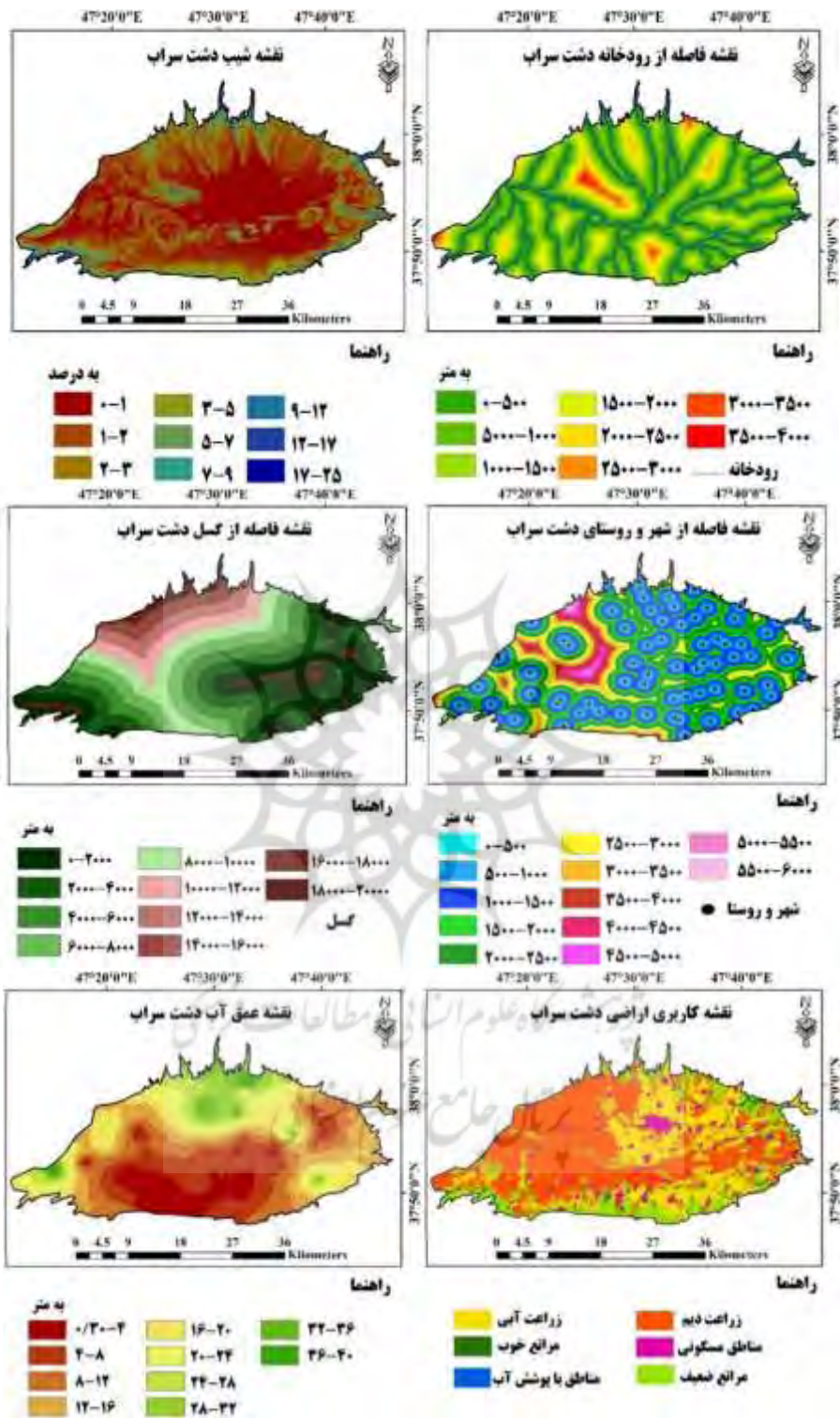
در پیاده‌سازی تمامی الگوریتم‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر و جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر فرونشست در دشت سراب، مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی انجام شده است (جدول ۱). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان‌کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (حسینی^۱، ۲۰۱۹).

جدول ۱- نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر فرونشست محدوده مورد مطالعه

متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	با کاهش مقدار شیب، خطر فرونشست افزایش می‌یابد.	تابع خطی کاهشی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرونشست و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از شهر و روستا	در مناطق مجاور از شهر و روستا، پتانسیل وقوع مخاطره فرونشست افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
فاصله از گسل	در مناطق مجاور خطوط گسل، پتانسیل وقوع مخاطره فرونشست افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
لیتولوژی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرونشست و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، پتانسیل وقوع مخاطره فرونشست کاهش می‌یابد.	تابع خطی کاهشی
افت سطح آب	با افزایش مقدار افت سطح آب، خطر فرونشست افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی

۳- نتایج و بحث

پس از استخراج نقشه‌های هر یک از معیارها (شکل ۲) و اعمال کردن وزن‌های مربوطه حاصل از روش کرتیک (جدول ۲) و با اعمال مراحل مختلف تکنیک‌های مارکوس و کوداس، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر فرونشست در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، به دست آمد (شکل ۳). با توجه به نتایج حاصله، به ترتیب معیارهای افت سطح آب، کاربری اراضی، شیب و زمین‌شناسی، بیش‌ترین وزن و اهمیت را دریافت کردند و با توجه به اینکه در وزن‌دهی کرتیک، وزن معیارها، با توجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌گردد، استفاده از این روش، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند معضل استقلال صفات از یکدیگر که به هنگام مقایسه زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای وجود دارد را برطرف نماید.



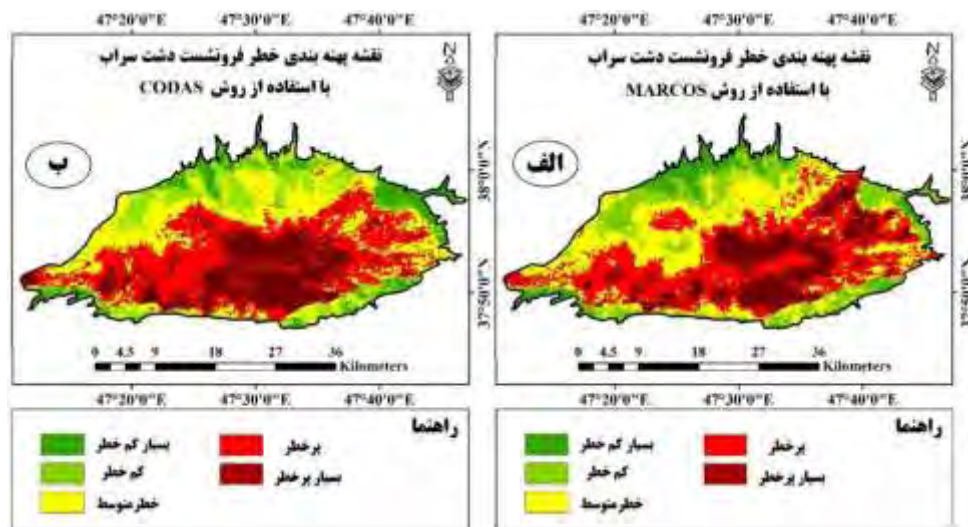


شکل ۲- نقشه معیارهای مطرح در پهنه بندی خطر فرونشست دشت سراب

جدول ۲- مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح

وزن نهایی	میزان اطلاعات	انحراف معیار	مجموع تضاد	معیار
۰/۱۲۳	۰/۸۳۷	۰/۲۵۳	۲/۹۱۴	زمین شناسی
۰/۱۷۱	۱/۰۲۲	۰/۳۵۵	۲/۸۷۴	کاربری اراضی
۰/۱۱۸	۰/۷۰۶	۰/۳۱۵	۲/۲۳۷	فاصله از گسل
۰/۱۵۹	۰/۹۵۴	۰/۳۰۳	۳/۱۴۸	شیب
۰/۱۱۳	۰/۶۷۸	۰/۲۳۵	۲/۸۷۸	فاصله از رودخانه
۰/۱۹۴	۱/۱۵۹	۰/۳۵۷	۳/۲۳۹	سطح آب
۰/۱۱۹	۰/۷۱۴	۰/۲۴۸	۲/۸۷۳	فاصله از شهر و روستا

با توجه به خروجی حاصل از به کارگیری روش مارکوس، $۱۶۷/۵۰$ کیلومتر مربع از مساحت محدوده در کلاس بسیار پرخطر و $۲۷۶/۰۹$ کیلومتر مربع در کلاس پرخطر قرار دارد و طبق نتایج حاصل از به کارگیری روش کوداس، $۱۸۷/۱۳$ و $۲۷۹/۰۳$ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد (جدول ۳). به طور کلی؛ با توجه به نتایج هر دو روش مورد استفاده، بخش اعظمی از کلاس بسیار پرخطر و پرخطر از لحاظ احتمال وقوع فرونشست با راستای شرقی-غربی و در قسمت مرکزی دشت، قرار گرفته است.



شکل ۳- نقشه پهنه بندی خطر فرونشست دشت سراب الف: با استفاده از الگوریتم MARCOS، ب: با استفاده از

الگوریتم CODAS

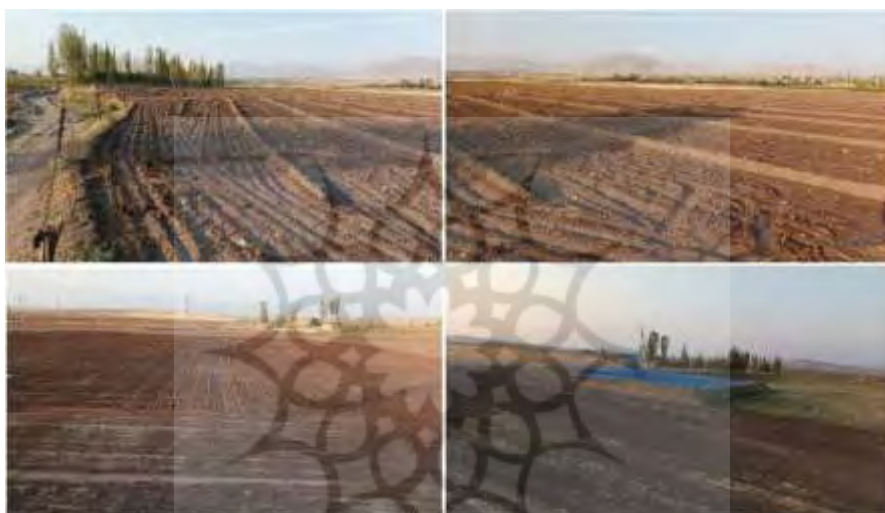
جدول ۳- اطلاعات طبقات خطر فرونشست دشت سراب با استفاده از الگوریتم های تصمیم گیری چند معیاره

MARCOS و CODAS

بسیار کم خطر	کم خطر	خطر متوسط	پرخطر	بسیار پرخطر	طبقه خطر	
۶۷/۷۵	۱۵۲/۳۸	۲۵۴/۶۸	۲۷۶/۰۹	۱۶۷/۵۰	مساحت به کیلومتر مربع	MARCOS
۷/۳۷	۱۶/۶۰	۲۷/۸۳	۳۰/۰۶	۱۸/۲۴	مساحت به درصد	
۷۹/۹۰	۱۴۳/۲۸	۲۲۹/۰۶	۲۷۹/۰۳	۱۸۷/۱۳	مساحت به کیلومتر مربع	CODAS
۸۷۰	۱۵/۰۶	۲۴/۹۴	۳۰/۳۸	۲۰/۳۸	مساحت به درصد	

کاربری اراضی یکی از مؤلفه های اساسی در پژوهش و بررسی فرونشست و نیز پهنه بندی این خطر در یک منطقه می باشد و نوع کاربری زمین، خصوصیات سطحی زمین را تحت تأثیر خود قرارداد و موجب تغییر رفتار مواد آن در مقابل فرآیندهای زمین شناسی منطقه، می گردد. انواع کاربری در دشت سراب به صورت نواحی انسان ساخت (مسکونی)، مرتع خوب، مرتع ضعیف، پوشش برف دائمی، دیم زار، زراعت آبی و مناطق آبی می باشد. بررسی نقاط بسیار پرخطر و پرخطر معرفی شده توسط هر دو الگوریتم مارکوس و کوداس، نشان می دهد؛ از لحاظ معیار کاربری اراضی، کاربری های زراعی و مناطق شهری، بیشترین مقدار از مساحت مناطق دارای احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد را به خود اختصاص داده است. دشت سراب، شهر سراب را احاطه کرده و دارای کشتزارها و مراتع وسیع است و به طور کلی؛ این دشت به دلیل وضعیت ژئومورفولوژیکی مناسب، محدودیت کمی جهت توسعه فعالیت های کشاورزی دارد. در واقع نداشتن اختلاف ارتفاع، نداشتن شیب زیاد (دشت سراب دارای زمین های نسبتاً هموار کم

شیبی است که شیب آن به کمتر از ۵ درصد می‌رسد)، وجود رسوبات آبرفتی مناسب در کنار عوامل اقتصادی منطقه، سبب شده است تا فعالیت‌های کشاورزی این منطقه با گسترش زیادی همراه باشد (شکل ۴)، به طوری که بر اساس نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی، به ترتیب؛ ۲۷۵/۸۴ و ۴۴۲/۲۲ کیلومترمربع از مساحت دشت به اراضی زراعت آبی و دیم، اختصاص داده شده است و سراب را به یکی از قطب‌های کشاورزی و دامداری استان آذربایجان شرقی تبدیل کرده است و حتی زمین‌هایی که قبلاً در آن‌ها کشت صورت نگرفته بود با ورود ماشین‌آلات جدید کشاورزی به منطقه شخم زده شده است که همین عامل سبب بهره‌برداری بیش از حد از سفره آب‌های زیرزمینی و افزایش پتانسیل رخداد خطر فرونشست، در طی سال‌های اخیر شده است.



شکل ۴- تصاویری از پراکنش اراضی کشاورزی واقع در دشت سراب

می‌توان بیان داشت که عوامل انسان‌ساخت مانند؛ زمین‌های کشاورزی، خطوط انتقال نیرو و عملیات حفاری، سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی و شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای با افزایش مصرف آب‌های سطحی، زیرزمینی، تحمیل بار وارده بر زمین در اثر احداث ساختمان‌های بزرگ و تراکم زیرساخت‌ها میزان آسیب‌پذیری این واحد را افزایش داده و سبب تشدید فرونشست می‌شوند و در دشت سراب بخش اعظمی از آب موردنیاز جهت شرب نقاط شهری و روستایی، از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد و این امر نیز به نوبه خود در کاهش سطح آب به دنبال آن، در افزایش پتانسیل خطر فرونشست در محدوده مورد مطالعه دخیل می‌باشد. به‌طور کلی، فاصله از مناطق شهری و روستایی در محدوده مطالعاتی بین صفر تا ۶۰۰۰ متر می‌باشد. از لحاظ معیار فاصله از مناطق شهری و روستایی، بر اساس خروجی حاصل از روش مارکوس، مناطق بسیار پرخطر در فاصله صفر تا ۲۵۰۰ متری و طبق نتایج حاصل از به‌کارگیری روش کوداس، در فاصله صفر تا ۳۰۰۰ متری از نقاط شهری و روستایی قرار دارند و در این مناطق به

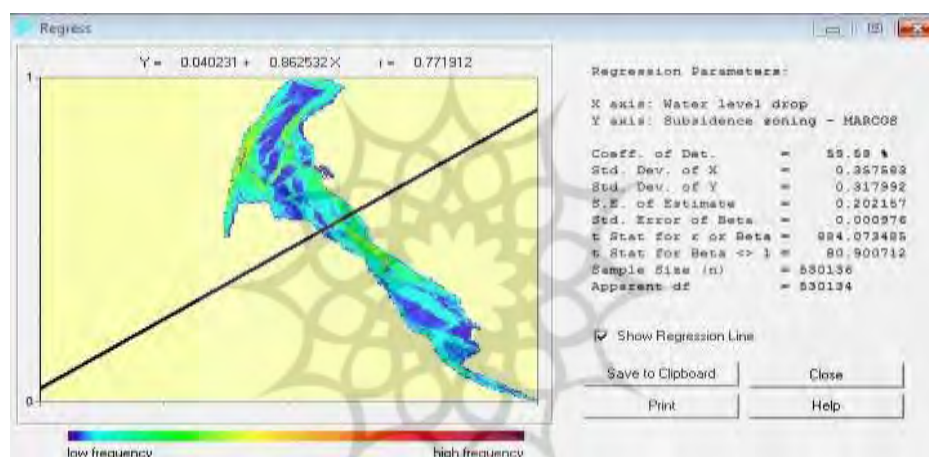
سبب تأمین نیازهای آبی جامعه سکونتگاهی و مناطق اطراف و همچنین تأمین نیازهای آبی بخش کشاورزی، دست‌اندازی به منابع آبی بیشتر بوده و استحصال آب‌های زیرزمینی بسیار بالاست به همین دلیل میزان افت نیز بالا بوده است. نمونه‌هایی از بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به صورت لوله‌کشی و پمپاژ آب چاه‌های حفر شده و تأمین نیازهای آبی اراضی کشاورزی واقع در دشت سراب، در شکل ۵، نمایش داده شده است.



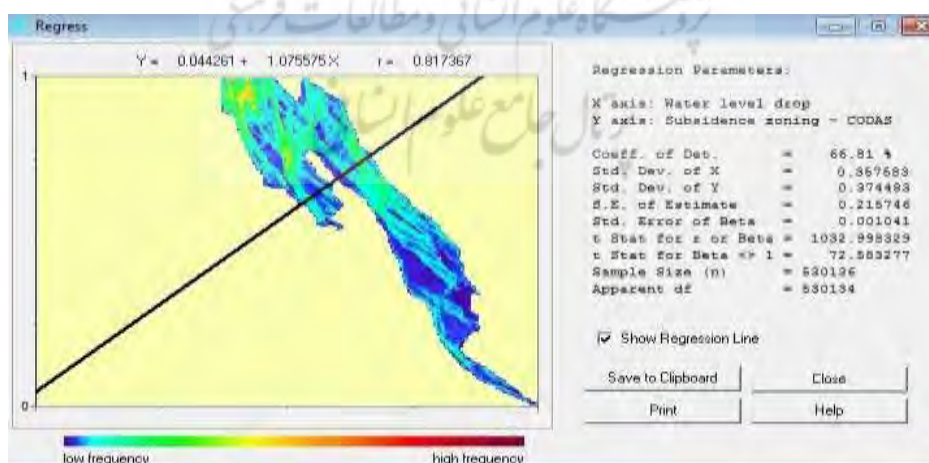
شکل ۵- نمونه‌هایی از استحصال آب‌های زیرزمینی و تأمین نیازهای آبی اراضی کشاورزی موجود در دشت سراب

اعمال فشار بیش‌ازحد بر آبخوان ممکن است موجب بروز پدیده فرونشست شود؛ از این رو به بررسی وضعیت سفره آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه پرداخته شد. با توجه به نقشه افت سطح آب مستخرج شده از داده‌های چاه‌های پیژومتری دشت سراب، بیشترین افت سطح آب در بخش میانی دشت (از عمق ۱۲ متر به ۰/۳۰ متر) مشاهده می‌شود که احتمال وقوع فرونشست نیز، در این قسمت از محدوده افزایش می‌یابد. ارتباط نقشه‌های نهایی حاصل از پهنه‌بندی خطر فرونشست با نقشه معیار سطح آب محدوده مورد بررسی قرار گرفت و طبق نتایج حاصله، نقشه مستخرج از الگوریتم MARCOS، با عمق سطح آب چاه‌ها دارای مقدار ضریب همبستگی ۰/۷۷ می‌باشد (شکل ۶) و نقشه پهنه‌بندی فرونشست به دست آمده از الگوریتم CODAS، با نقشه عمق سطح آب چاه‌ها، ضریب همبستگی ۰/۸۱ را نشان می‌دهد (شکل ۷). می‌توان بیان داشت که بین خروجی هر دو روش با نقشه سطح آب همبستگی دیده می‌شود. **صدری‌کیا (۱۴۰۱)**، نیز در پژوهش خود؛ به این نتیجه دست یافته است که در دشت سراب، در مناطق دارای فرونشست زیاد، کاهش چندمتری سطح ایستابی وجود داشته و بین سطح ایستابی و جابه‌جایی‌های سطح زمین رابطه آماری معنی‌دار وجود دارد و رابطه بین دو متغیر مستقیم است. به علاوه ضریب تعیین روش CODAS، ۶۶/۸۱ درصد و ضریب تعیین روش MARCOS، ۵۹/۵۸ درصد می‌باشد؛ به عبارت دیگر طبق نتیجه حاصل از روش کوداس

۶۶/۸۱ درصد از علت وقوع فرونشست در دشت سراب، با نظر به مقایسه نقشه نهایی پهنه‌بندی حاصل از مدل با نقشه سطح آب، مربوط به معیار سطح آب است و ۳۳/۱۹ درصد از علت رخداد فرونشست دشت سراب به دیگر عوامل مربوط می‌باشد. همچنین؛ طبق مقایسه انجام شده بین نقشه نهایی پهنه‌بندی حاصل از روش مارکوس با نقشه سطح آب، معیار سطح آب، ۵۹/۵۸ درصد از علت وقوع فرونشست را نشان می‌دهد و ۴۰/۴۲ درصد از احتمال فرونشست محدوده با دیگر معیارها در ارتباط است. با نظر به نقش و اهمیت معیار افت سطح آب و با توجه به اینکه معیار سطح آب بیش‌ترین وزن و اهمیت را در پتانسیل وقوع فرونشست در سطح دشت سراب دارد، می‌توان بیان کرد که میزان موفقیت روش CODAS، با توجه به مقایسه خروجی نهایی مدل با معیار سطح آب، از روش MARCOS، بیشتر است.



شکل ۶- رابطه همبستگی بین نقشه عمق سطح آب و خروجی حاصل از الگوریتم MARCOS



شکل ۷- رابطه همبستگی بین نقشه عمق سطح آب و خروجی حاصل از الگوریتم CODAS

ویژگی‌های سنگ‌شناسی به‌طور گسترده بر ویژگی‌های فیزیکی، مانند؛ استحکام و نفوذپذیری مواد سطحی و زیرسطحی و احتمال خطر فرونشست تأثیر می‌گذارد. از منظر سازندهای زمین‌شناسی، به‌طور کلی شهر سراب و روستاهای موجود در محدوده دشت سراب، بر روی رسوبات آبرفتی شکل گرفته‌اند و به‌طور عمده، بیشتر مساحت دشت سراب از واحدهای کواترنری (رسوبات پادگانه‌های آبرفتی و رودخانه‌ای قدیمی به مساحت ۶۳۰ کیلومتر مربع، رسوبات پادگانه‌های آبرفتی و رودخانه‌ای جدید به مساحت ۵۷/۰۸ کیلومتر) و آندزیت و بازالت آتشفشانی به مساحت ۴۷/۵۰ کیلومتر مربع و مارن قرمز و قهوه‌ای، مارن ژپس‌دار با میان لایه‌های ماسه سنگ به مساحت ۳۳/۴۷ کیلومتر مربع، است. بررسی مناطق بسیار پرخطر و پرخطر معرفی شده توسط هر دو الگوریتم نیز نشان می‌دهد؛ از لحاظ معیار زمین‌شناسی، نقاط دارای احتمال خطر در رسوبات پادگانه‌های آبرفتی و رودخانه‌ای قدیمی و مارن قرمز و قهوه‌ای، مارن ژپس‌دار با میان لایه‌های ماسه سنگ قرار دارند و در سایر بخش‌ها به واسطه شیب نسبی بیش‌تر و نبود رسوبات آبرفتی زمینه برای وقوع فرونشست بسیار کمتر است. مقدار شیب در محدوده مورد مطالعه، بین صفر تا ۲۵ درصد می‌باشد. محدوده شیب ۰-۲ کمترین میزان شیب در محدوده منطقه می‌باشد که این شیب نقش موثری در جمع‌آوری منابع آب زیرزمینی فراهم می‌آورد و هر چه میزان شیب افزایش می‌یابد از میزان تمرکز چاه‌ها کاسته و میزان فرونشست زمین هم کاهش می‌یابد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی حاصل از هر دو الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش، از لحاظ معیار شیب، مناطق دارای احتمال خطر زیاد و بسیار زیاد، بین شیب‌های صفر تا ۵ درصد قرار دارند و به‌طور عمده بیشترین مقدار پیکسل‌های با احتمال خطر، دارای شیب کمتر از ۲ درصد، هستند.

به دلیل اثر گذاشتن فعالیت گسل‌ها (نظیر زلزله) بر روی فرونشست زمین، بررسی گسل‌های منطقه ضرورت می‌یابد. گسل‌ها به‌نوبه خود نقش مؤثر و مهمی در میزان توسعه فرونشست در سطح دشت دارد. به‌گونه‌ای که هر چه میزان فاصله از خطوط گسل بیش‌تر باشد نشان‌دهنده این است که منطقه تناسب کمتری برای احتمال فرونشست زمین را دارا بوده و هر چه میزان فاصله به خطوط گسل نزدیک‌تر شود احتمال وقوع فرونشست بیش‌تر می‌شود. گسل‌های فراوانی در جهت مختلف در واحدهای سنگی اطراف دشت سراب دیده می‌شود. ولی مهم‌ترین آن‌ها، گسل میانی دشت سراب با جهت تقریبی شرقی-غربی است و تقریباً به موازات رودخانه آجی‌چای امتداد یافته است. این گسل از نوع فعال است و نشانه فعال بودن آن چین‌خوردگی و جابه‌جایی رسوبات نئوژن گاهی جوان‌تر است. در اثر فعالیت این گسل واحدهایی از کنگلومرا، مارن گچ‌دار ماسه سنگ خاکستری، مارن‌های با میان لایه آهکی و همچنین مارن خاکستری گچ‌دار و نمک‌دار در کنار هم قرار گرفته‌اند. با بررسی معیار فاصله از گسل به این نتیجه دست‌یافتیم که طبق نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست به دست آمده از روش مارکوس، پهنه‌های با احتمال

خطر زیاد و بسیار زیاد در فاصله صفر تا ۸۰۰۰ متری، از گسل واقع شده‌اند و بر اساس نتایج حاصل از روش کوداس، مناطق پرخطر و بسیار پرخطر، در فاصله صفر تا ۱۲۰۰ متری، از گسل قرار دارند.

عامل نزدیکی به رودخانه به‌عنوان عامل مزاحم در ایجاد فرونشست مطرح می‌باشد و با فاصله گرفتن از رود امتیاز بیشتری به زمین‌های منطقه تعلق می‌گیرد. هر چه از آبراهه‌ها فاصله می‌گیریم نیاز استفاده از آب‌های زیرزمینی به دلیل عدم وجود و استفاده از آب‌های سطحی بالا می‌رود و در پی استفاده نادرست از آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب‌های زیرزمینی، میزان احتمال فرونشست افزایش می‌یابد. رودخانه‌های اصلی جاری در دشت سراب؛ بیوک‌چای، تاجیارچای، رازلیق‌چای، وانق‌چای می‌باشد و منابع تغذیه دشت عمدتاً آب‌های نفوذیافته از جریان‌های سطحی ارتفاعات حاشیه دشت و همچنین نفوذ آب حاصل از باران بر سطح دشت است. هر چه از آبراهه‌ها فاصله می‌گیریم نیاز استفاده از آب‌های زیرزمینی به دلیل عدم وجود و استفاده از آب‌های سطحی بالا می‌رود و در پی استفاده نادرست از آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب‌های زیرزمینی، میزان احتمال فرونشست افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، فاصله از آبراهه‌ها در محدوده مطالعاتی بین صفر تا ۴۰۰۰ متر می‌باشد و با انطباق نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست حاصل از هر دو روش مورد استفاده در مطالعه حاضر، با نقشه معیار فاصله از رودخانه؛ می‌توان گفت که به‌طور عمده مناطق دارای احتمال خطر در فاصله صفر تا ۲۰۰۰ متری از رودخانه قرار دارند.

۴- جمع‌بندی

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره CODAS و MARCOS به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرونشست دشت سراب، پرداخته شده است. بررسی‌های انجام‌گرفته در این تحلیل نشان داد که به ترتیب؛ افت سطح آب، کاربری اراضی، شیب و زمین‌شناسی، در وقوع فرونشست محدوده مطالعاتی، بیشترین اهمیت را دادند و می‌توان گفت که مهم‌ترین عامل اصلی دخیل در افزایش مقدار و پتانسیل فرونشست دشت سراب، بهره‌برداری بی‌رویه از آب زیرزمینی می‌باشد. در راستای تأیید نتیجه حاصله بایستی اشاره داشت که شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی نیز، اعلام کرده است که سالانه ۱۵ میلیون مترمکعب آب از چاه‌های مجاز سراب اضافه برداشت می‌شود و همچنین، ناموری و صدری‌کیا (۱۳۹۹)، صدری‌کیا (۱۴۰۱)، در پژوهشی که در رابطه با بررسی فرونشست دشت سراب انجام داده‌اند، به این نتیجه دست یافته بودند که عدم کنترل و مدیریت مناسب منابع آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی به افزایش میزان فرونشست در دشت سراب منجر شده است، لذا نتیجه پژوهش حاضر، با نتایج این مطالعات نیز، هم‌خوانی دارد.

به‌علاوه، خروجی حاصل از هر دو روش MARCOS و CODAS، نشان‌دهنده توان بالای دشت سراب، از لحاظ خطر فرونشست می‌باشد و با توجه به این امر که فرونشست زمین می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیر مالی و جانی به دنبال داشته باشد و به بسیاری از سازه‌های سطحی و زیرسطحی در مناطق شهری و حومه آن، در محدوده

موردمطالعه آسیب برساند، لازم است تا سازمان‌های متولی فرونشست زمین، مثل؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، شرکت آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی، حفاظت از محیط‌زیست، منابع طبیعی و امور آبخیزداری و شهرداری‌ها، با انجام اقدامات مسئولانه و هم‌افزایی لازم، مانع کاهش ذخایر آبی و فرونشست‌های خطرآفرین برای حیات در منطقه انجام دهند. از این‌رو بایستی راهکارهای بلندمدت و کوتاه مدت، به‌صورت اصلاح روش‌های مدیریت منابع آب، جلوگیری از برداشت سفره‌های آب زیرزمینی، توقیف تجهیزات حفاری غیرمجاز، ساماندهی شرکت‌های حفاری، پایش مستمر مناطق مستعد فرونشست، ایجاد سدهای زیرزمینی به‌منظور افزایش تراز آب و کاهش فرونشست، مهار آب‌های سطحی و اجرای طرح‌های تزریق مصنوعی آب به سفره‌های زیرزمینی منطقه (طبق گفته رئیس اداره منابع آب شهرستان سراب که با توجه به آورده رودخانه‌های محلی، می‌توان سالانه حدود ۳ میلیون مترمکعب آب به این سفره‌ها تزریق کرد)، تهیه و نصب کتور هوشمند و کنترل برداشت آب، آموزش عمومی کشاورزان محلی، کنترل شدید مصرف آب و تغییر الگوی مصرف، مورد توجه مسئولان ذی‌ربط و مربوطه و همچنین ساکنان محلی قرار گیرد.

در نهایت قابل ذکر است، همان‌گونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های مطالعه مخاطرات محیطی از جمله فرونشست، به‌نوبه خود دارای مزایا و معایبی می‌باشند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط طبیعی و انسانی محدوده بستگی دارد. انتظار می‌رود، نتایج حاصل از پژوهش حاضر، با معرفی روش‌های تحلیل چند معیاره MARCOS و CODAS، که تاکنون در هیچ مطالعه‌ای با هدف پهنه‌بندی فرونشست مورد استفاده قرار نگرفته بوده‌اند، در امر انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر فرونشست، مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

کتابنامه

ابراهیمی، عطری؛ قاسمی، افشان؛ گنجائیان، حمید؛ ۱۳۹۹. پایش میزان فرونشست محدوده شهری پاکدشت با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. *جغرافیا و روابط انسانی*. دوره دوم. شماره ۴. صص ۲۹-۴۱.

[20.1001.1.26453851.1399.2.4.3.1](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2018.3860)

اسفندیاری، فریبا؛ قراچورلو، مرتضی؛ عبادی، الهامه؛ ۱۳۹۷. ارزیابی و برآورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت سراب با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*. دوره شانزدهم. شماره ۵۱. صص ۸۰-۶۵.

<https://doi.org/10.22111/GDIJ.2018.3860>

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ فعال نذیری، مهدی؛ الناز، پیروزی؛ ۱۴۰۱. پهنه‌بندی گستره خطر فرونشست زمین در دشت مرکزی استان البرز با بهره‌گیری از تکنیک تداخل سنجی راداری و الگوریتم تحلیل چندمعیاره ARAS. *کوهپدولوژی*. دوره نهم. شماره ۲. صص ۳۷۱-۳۵۳.

<https://doi.org/10.22059/IJE.2022.336590.1596>

- تلسچی امیرخیزی، مهناز؛ دلیر حسن‌نیا، رضا؛ حقیقت جو، پرویز؛ مجنونی هریس، ابوالفضل؛ ۱۳۹۸. تعیین کیفیت آب چاه‌های کشاورزی دشت سراب جهت استفاده در سیستم‌های آبیاری تحت فشار. *دانش آب‌و خاک*. دوره بیست و نهم. شماره ۲. صص ۱۹۸-۱۸۵.
https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_9328.html
- جهانگیری، عباس؛ ۱۳۹۹. تحلیل روند آبرسانی به شهرها و روستاهای ایران و دفع فاضلاب از آنها طی سال‌های ۹۱ تا ۹۷ با استفاده از رویکرد ترکیبی تصمیم‌گیری چند شاخصه. *تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات*. دوره ۵. شماره ۲. صص ۲۴۸-۲۳۳.
<https://doi.org/10.22105/dmor.2020.239925.1184>
- جهانگیری، عباس؛ ۱۴۰۰. انتخاب بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب در شهر فرمهین با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه. *تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات*. دوره ششم. شماره ویژه. صص ۱-۱۱.
<https://doi.org/10.22105/dmor.2021.272429.1508>
- حبیب زاده، محمد صادق؛ سرکارگر اردکانی، علی؛ المدرسی، سید علی؛ ۱۳۹۲. بررسی فرونشست زمین در شهریار با استفاده از تکنیک *D-SAR*. استاد راهنما استاد سید علی المدرسی. پایان نامه عمران و محیط‌زیست. دانشگاه آزاد اسلامی یزد.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/>
- روستایی، شهرام؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ یاراحمدی، جمشید؛ نجف‌وند، سمیرا؛ ۱۴۰۱. بررسی مناطق مستعد ریسک فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش FUZZY-AHP (مطالعه موردی: دشت شبستر- صوفیان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. انتشار آنلاین از ۱ خرداد ۱۴۰۱.
<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2022.329254.1334>
- سایت سازمان نقشه‌برداری کشور؛ ۱۴۰۰. گزارش جامع بررسی مناطق فرونشست استان آذربایجان شرقی بر اساس پردازش‌های راداری و ژئودتیک
<https://ncc.gov.ir/>
- شریفی کیا، محمد؛ ۱۳۹۱. تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل‌سنج راداری در دشت نوق- بهرامان. *مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. دوره شانزده. شماره ۳. صص ۷۳-۵۵.
<http://hsmmp.modares.ac.ir/article-۵۰۷۶-۲۱۶۱.html>
- شریفی کیا، محمد؛ افضل‌ی، عباسعلی؛ شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۴. استخراج و ارزیابی اثرات پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در دشت دامغان. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. دوره چهارم. شماره ۲. صص ۶۰-۷۴.
 20.1001.1.22519424.1394.4.2.5.0
- شفیعی، نجمه؛ مختاری، لیلگلی؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ زندی، رحمان؛ ۱۳۹۹. بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. دوره هشتم. شماره ۴. صص ۹۳-۱۱۱.
<https://doi.org/10.22034/GMPJ.2020.106424>
- شیرانی، کورش؛ پسندی، مهرداد؛ ابراهیمی، بابک؛ ۱۴۰۰. بررسی فرونشست زمین در دشت نجف‌آباد اصفهان با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری. *مجله علوم آب‌و خاک*. جلد بیست و پنجم. شماره ۱. صص ۱۲۷-۱۰۵.
<https://doi.org/10.47176/jwss.25.1.147214>

صدری کیا، منصوره؛ ۱۴۰۱. پایش فرونشست زمین با تحلیل سری زمانی پراکنش گرهای دائمی و تغییرات تراز آب زیرزمینی؛ (مطالعه موردی دشت سراب). *تحقیقات منابع آب ایران*. دوره هیجده. شماره ۲. صص ۱۸-۱.

[20.1001.1.17352347.1401.18.2.1.1](https://doi.org/10.17352347.1401.18.2.1.1)

فرزین کیا، ربابه؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ زندی، رحمان؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت جوین با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای_ فازی. *فضای جغرافیایی*. جلد بیست و یکم. شماره ۷۴. صص ۵۱-۷۱. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3420-fa.html>

قربانی، خلیل؛ سالاری جزی، میثم؛ فرنیاء، الناز؛ ۱۳۹۷. ارزیابی روش کریجینگ بیزین تجربی در پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. دوره بیست و پنج. شماره ۱. صص ۱۸۲-۱۶۵.

<https://doi.org/10.22069/JWSC.2018.13571.2826>

کماسی، مهدی؛ گودرزی، حسام؛ بهنیا، امین؛ ۱۳۹۶. بررسی روند نوسانات مکانی-زمانی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی به روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) و کریجینگ (kriging) مطالعه موردی دشت سیلاخور. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. دوره بیست و چهار. شماره ۴. صص ۲۰۹-۱۹۵.

<https://doi.org/10.22069/JWSC.2017.11640.2611>

کیانی، فاطمه؛ عابدینی، موسی؛ احمدزاده، غلامرضا؛ ۱۳۹۷. بررسی ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی در شهرستان کرج با استفاده از روش تلفیق وزنی در محیط GIS. *کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام*. تبریز. صص ۸-۱.

منتظریون، مریم؛ اصلانی، فرشته؛ ۱۳۹۸. ارزیابی خطر فرونشست با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه استان‌های تهران و البرز. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. دوره نهم. شماره ۱. صص ۱۳-۱.

[20.1001.1.23225955.1398.9.1.3.2](https://doi.org/10.23225955.1398.9.1.3.2)

ناموری، محمد؛ صدری کیا، منصوره؛ ۱۳۹۹. پایش فرونشست دشت سراب با استفاده از تحلیل سری زمانی مبتنی بر تداخل‌سنجی راداری. اولین کنفرانس بین‌المللی و دومین کنفرانس ملی فناوری‌ها و کاربردهای نوین. صص ۱-۱۴. <https://civilica.com/doc/1249670>

Abidin HZ, Andreas H, Gumilar I, & Brinkman JJ., 2015. On correlation between urban development, land subsidence and flooding phenomena in Jakarta, Changes in Flood Risk and Perception in Catchments and Cities (HS01 – IUGG2015). Published by Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences. <https://doi.org/10.5194/piahs-370-15-2015>

Aher P, Adinarayana J, & Gorantiwar SD., 2013. Prioritization of watersheds using multi-criteria evaluation through the fuzzy analytical hierarchy process. *Agric Eng Int CIGR J*, 15(1):11–18. <http://www.cigrjournal.org>

Alinezhad A, & Khalili J., 2019. New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). *International Series in Operations Research & Management Science*, vol 277, Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9>

Arab Ameri A, Pourghasemi HR, & Cerda A., 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS,

- VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, *Science of The Total Environment*, 613-614:1385-1400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.210>
- Bou kheir R, Cerdan O, & Abdellah, C., 2006. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon, *Geomorphology*, 82: 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.05.012>
- Gambolati G, Massimillano F, & Teatro F., 2018. Anthropogenic Land Subsidence, *GROUNDWATER*: 2444-2457. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa164b>
- Garg S, Motagh M, Jayaluxmi I, Karanam V, Selvakumaran S, & Marinoni A., 2022. Assessment of Land Subsidence Hazard, Vulnerability and Risk: A case study for National Capital Region in India, EGU General Assembly 2022 (Vienna, Austria, Online 2022). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-12646>
- Georgiou D, Mohammed E S, & Rozakis S., 2015. Multi-criteria decisionmaking on the energy supply configuration of autonomous desalination units. *Renew. Energy* 75: 459-467. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.036>
- Hoseini Y., 2019. Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation, *Information Processing in Agriculture*, 6 (1): 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.09.003>
- Huang G, Fan H, Lu L, & Yu W., 2020. Land Subsidence Monitoring in Dezhou City Based on Sbas-Insar Technology the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B3: 1-6. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-299-2020>
- Mathew M, & Sahu S., 2018. Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection, *Management Science Letters*, Vol 8: 139-150. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2018.1.004>
- Minh DHT, Tran QC, Pham QN, Dang T, Nguyen DA, & El-Moussaw A., 2019. Measuring Ground Subsidence in Ha Noi Through the Radar Interferometry Technique Using TerraSAR-X and Cosmos SkyMed Data, in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 12, No. 10: 3874-3884. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2937398>
- Ranjgar B, Razavi V, Foroughnia T, Sadeghi-Niarak A, & Perissin D., 2021. Land Subsidence Susceptibility Mapping Using Persistent Scatterer SAR Interferometry Technique and Optimized Hybrid Machine Learning Algorithms, *Remote Sensing*, VOL 13, No 7: 1326. <https://doi.org/10.3390/rs13071326>