دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست‌ویکم، شماره‌ی ۷۴
تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۷۱-۵۱

ربابه فرزین کیا[۱]
***ابوالقاسم امیراحمدی**[۲]
محمدعلی زنگنه اسدی[۳]
رحمان زندی[٤]

پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت جوین با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای_ فازی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰٦

چکیده

فرونشست پدیده‌ای مورفولوژیکی است که تحت تأثیر حرکت فرورو زمین پدید می‌آید. علت رخداد این پدیده ممکن است متأثر از عوامل طبیعی و انسانی باشد. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و وجود نشانه‌های فرونشست زمین در دشت جوین، ضرورت نیاز به پهنه‌بندی فرونشست در این دشت را نشان می‌دهد. هدف تحقیق حاضر بررسی مناطق مستعد پدیده فرونشست بوده که برای این منظور از مدل تحلیل شبکه‌ای-فازی استفاده شده است. لایه‌های اطلاعاتی شامل لیتولوژی، خاک، بارش، سطح پیزومتری، ارتفاع، تکتونیک، تراکم چاه‌ها، کاربری اراضی، شیب، ژئومورفولوژی، آبراهه، پوشش‌گیاهی به‌عنوان معیارهای مؤثر مورد استفاده قرار گرفتند. سپس مقایسات زوجی معیارها انجام و وزن اختصاص یافته در نرم‌افزار Super Decesion به شکل معیارهای اصلی و زیرمعیارها وزن‌دهی شدند. لایه‌های مربوط به هر کدام از عوامل با استفاده از نرم‌افزار GIS در محیط Arc Map آماده‌سازی گردید. سپس تلفیق وزنی در محیط GIS انجام گرفت و در انتها لایه نهایی به‌صورت تابع خطی طیف‌بندی گردید. در این مرحله نقشه FUZZY & ANP فرونشست به‌صورت کلاس‌بندی برای نشان دادن

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
*۲- گروه ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: amirahmadi1388@gmail.com
۳- گروه ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار. ایران.
٤- گروه RS & GIS دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

ویژگی‌های مناطق بحرانی فرونشست استخراج شد و اولویت‌بندی مناطق مختلف از نظر استعداد برای وقوع پدیده فرونشست به‌دست آمد. از این مقدار در نقشه ANP حدود ٥٦ درصد و در نقشه فازی به‌صورت فرض صفر و یک، قسمت مرکزی دشت جوین با خطر زیاد تا خیلی زیاد به‌حساب می‌آید. بر این اساس با توجه شرایط منطقه هر دو نقشه به واقعیت نزدیک است. تراکم بالای چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و افت بالای آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت بی‌رویه این محدوده (خطر زیاد تا خیلی زیاد) جزو مناطق با استعداد بالای فرونشست مشخص شد، همچنین وجود شکاف‌های به‌وجود آمده و نشست چاه‌ها در همین محدوده‌ها تا حدودی صحت سنجی مدل را با داده‌های زمینی نشان می‌دهد. از نتایج حاصل از محاسبات انجام شده توسط روش‌های مذکور، می‌توان به‌عنوان تخمین اولیه مقدار فرونشست در محل مورد مطالعه استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: فرونشست زمین، دشت جوین، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، فازی (Fuzzy)، محیط GIS.

مقدمه

امروزه پدیده فرونشست زمین یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی در مقیاس جهانی است که خسارت‌های زیادی برساخت و سازه‌ای شهری و روستایی، تاسیسات عمران و آبادی وارد می‌کند. بنا به تعریف یونسکو «فرونشست عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ و کوچک رخ می‌دهد (Amirahmadi, 2013: 2). فروریزش و فرونشست می‌تواند در اثر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناسی مانند زمین‌لرزه، انحلال سنگ‌های آهکی، گچی و نمکی، آب شدن یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها، حرکت‌های آرام پوسته و خروج گدازه از پوسته جامد زمین و یا فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاری، برداشت سیالات زیرزمینی مانند آب‌های زیرزمینی، نفت و یا گاز ایجاد شود (Gallowey & Burbey, 2011: 59). این پدیده می‌تواند ظهور طیف وسیعی از عوارض، همانند بی‌نظمی‌های مورفولوژیکی، خسارت به تأسیسات انسان‌ساخت همچون ساختمان‌ها، بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و معابر (Chieh et al., 2010: 23)، باند فرودگاهی (Clanton & Amsbury, 1975: 151)، شبکه آبرسانی بخش کشاورزی، اثرات زیرسطحی مانند کاهش حجم آبخوان‌ها (Sharifikia et al., 2015؛ Chieh et al., 2010؛ Clonton & Amsbury,1995: 151,)، اختلال در الگوی جریان‌های هیدرولوژیک (Barends et al., 1995: 18)، تداخل آب شور و شیرین (Chieh et al., 2010: 124) و تخریب مستحدثات زیرسطحی (همچون قنات‌ها، شبکه‌های آبرسانی مدرن، شبکه سوخت و آبرسانی، تونل‌های شهری و معادن (Thomas,1983: 20) اثرات هیدروژئومورفولوژیکی، زیرساختی، اقتصادی و اجتماعی (Abdini, 2017: 43، Anidiin, 2015: 19)؛ فرونشست را می‌تواند به دنبال داشته باشد. یکی از وظایف مهم علم ژئومورفولوژی، پیش‌بینی و کنترل این مخاطره ژئومورفیک در مناطقی است که منابع و مجموعه‌های انسانی را در معرض تهدید خود قرار می‌دهد. Kim & Oh (2009) در تحقیقی

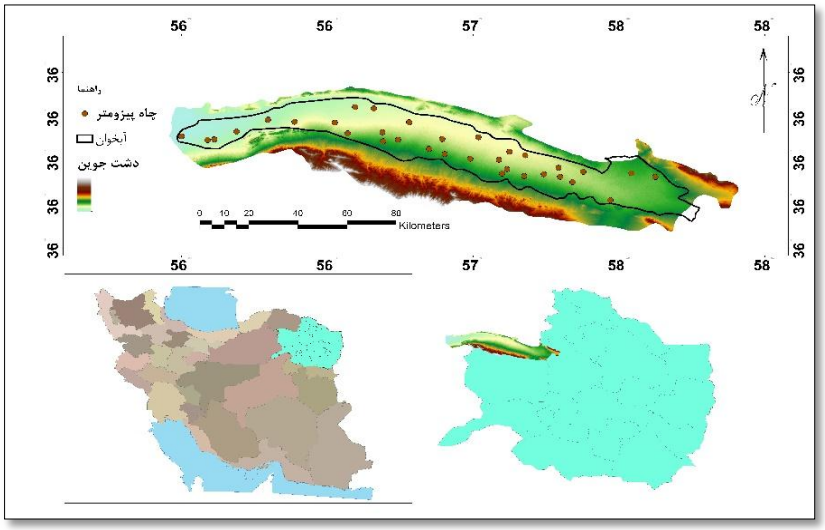
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

در شهر سامچوک کره با به‌کار بردن شبکه عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پیش‌بینی فرونشست زمین پرداخته است. وی برای ارزیابی فاکتورهای حاکم بر فرونشست زمین، یک پایگاه داده فضایی ایجاد و سپس شاخص مخاطره فرونشست زمین در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی را نقشه سازی کرد. نقشه فرونشست زمین با داده‌های میدانی و موقعیت‌های فرونشست موجود در منطقه دارای صحت ۹۶/۰۶ درصد را نشان داد. به ارزیابی فرونشست زمین با به‌کار بردن سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل WOE پرداخته است. وی از طریق آنالیز احتمالات، ۷ فاکتور اصلی شامل عمق گسل‌ها، فاصله گسل‌ها، درجه شیب به‌دست آمده از نقشه‌های توپوگرافی، سطوح عمق آب زیرزمینی و قابلیت نشست از داده‌های فروچاله، زمین‌شناسی و کاربری اراضی جهت فرونشست زمین تعیین گردید. نتایج آنالیز صحت بکار بردن (ROC) با داده‌ها و موقعیت فرونشست قبلی را نشان می‌دهد. Park (2012) در تحقیقی با عنوان کاربرد سیستم استنتاج عصبی-فازی به نقشه‌سازی خطر فرونشست زمین در منطقه سامجوک کره جنوبی پرداخته است. برای این کار از ترکیب سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم استنتاج عصبی فازی استفاده نموده است. پنج فاکتور اصلی موثر بر فرونشست شامل عمق، فاصله از گسل، درجه شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، برای تهیه نقشه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان دهنده صحت روش مورد استفاده در تهیه نقشه خطر فرونشست می‌باشد. Xu, Houfant (2014: 181) برای پیش‌بینی و بررسی فرونشست زمین از مدل پیش بینی‌گری استفاده نمود است. ژئو (۲۰۱۵) ریسک احتمال فرونشست زمین بر اثر برداشت آب زیرزمینی در آبخوان چانگ ژئو را بررسی نموده است و برای این کار مدل جدیدی به نام Cosserat Continuum با مدلی کلاسیک به نام Continuum Cauchy مقایسه نموده است (Ali Pourradi, 2017: 25). در تحقیقی در اردبیل ریسک فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی پهنه‌بندی نمودند. لایه‌های اطلاعاتی شامل زمین‌شناسی، فاصله از گسل، افت سطح آب زیرزمین، شیب و ضخامت آبرفت، به‌عنوان معیارهای مؤثر مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد حدود ٦٧/٥ درصد مناطق جنوبی در بخش ریسک‌های خیلی بالا و بالای فرونشست زمین قرار گرفته که به دلیل استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. برای صحت نتایج، از اطلاعات میدانی چاه‌های دارای شکستگی در لوله جداره استفاده شد که حدود ۸۰ درصد انطباق وجود داشت. Shadfar (2015: 151) پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین را با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در ناحیه بوئین زهرا انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد که فاکتور برداشت بی‌رویه با ضریب ۰/٤٨٨٢ در درجه اول و عامل سنگ‌شناسی با ضریب ۰/٢٤٤٥ در درجه دوم اهمیت در ایجاد فرونشست منطقه است؛ و ۵۵٪ از مساحت منطقه در پهنه‌بندی با خطر نسبتاً زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. در این پژوهش با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای – فازی، علل فرونشست زمین در دشت جوین بررسی شده است. دشت جوین به دلیل استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در سال ١٣٦٧ از طریق وزارت نیرو به‌عنوان دشت ممنوعه اعلام گردیده است. مطالعات میدانی و مشاهده شکاف‌های به‌وجود آمده و ترک‌های ایجاد شده در ساختمان‌های روستایی و زمین‌های کشاورزی در دشت باعث گردید تا در این تحقیق به بررسی احتمال فرونشست زمین در دشت جوین پرداخته شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

محدوده مورد پژوهش

دشت جوین با وسعتی حدود ۵۶۵۰/۳ کیلومتر مربع در شمال شهرستان سبزوار و غرب خراسان رضوی با ′۳۰ °۵۶ تا ′۳۰ °۵۸ طول شرقی و ′۱۵ °۳۶ تا ′۴۵ °۳۶ عرض شمالی واقع گردیده است. اقلیم منطقه، از نوع خشک تا نیمه‌خشک است. این دشت محدود است از شمال به کوه‌های ساتیل میش، هرده جوین، رشته اسفراین، کوه مراد و شهرستان اسفراین (خراسان شمالی)، از شمال شرق به ارتفاعات بزغاله‌کش، از شرق به کوه گرماب و شهرستان خوشاب، از جنوب به ارتفاعات جغتای و شهرستان سبزوار، از غرب و شمال غرب به شهرستان جاجرم (خراسان شمالی) محدود می‌شود (شکل ۱). وسعت کل حوضه آبریز دشت بالغ بر ۶۱۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۳۵۰۰ کیلومتر مربع آن دشت و بقیه حوضه را ناهمواری‌ها تشکیل می‌دهد. منابع مورد استفاده در این تحقیق مبتنی بر مطالعات و بررسی‌های آماری، نقشه‌های زمین‌شناسی و عملیات میدانی بوده است. به منظور بررسی علل فرونشست زمین در دشت جوین لایه‌های اطلاعاتی شامل لیتولوژی، خاک، بارش، سطح پیزومتری، ارتفاع، تکتونیک، تراکم چاه‌ها، کاربری اراضی، شیب، ژئومورفولوژی، آبراهه، پوشش گیاهی به‌عنوان معیارهای مؤثر مورد استفاده قرار گرفتند. برای ایجاد این نقشه‌های پایه در سیستم اطلاعات جغرافیایی از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت عوامل مؤثر بر فرونشست از مدل‌های تحلیل شبکه و فازی‌سازی استفاده شده است. جهت بررسی منابع آب زیرزمینی حوضه با مراجعه به سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی آمار چاه‌های پیزومتر که شامل تراز پایه پیزومترها طی ۱۲ سال آماری ۱۳۹۶-۱۳۸۴ و همچنین آمار کمی و کیفی چاه‌های بهره‌برداری، چشمه‌ها و قنات‌ها دریافت شد. منطقه مطالعاتی در بخش شمالی رشته کوه‌های جغتای با روند شرقی-غربی در محدوده شمال شرق زون ایران مرکزی می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت دشت جوین

Figure 1: Location of Joven plain

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

فرآیند تحلیل شبکه‌ای

ANP ابزاری سودمند در مسائلی است که در آن‌ها تعامل بین عناصر تشکیل می‌شود (Karsak et al., 2002: 180) ANP که به‌وسیله ساعتی پیشنهاد شده است، در واقع، یک کل از مدل AHP است. در حالی که AHP چارچوبی با ارتباط سلسله مراتبی یه جهتی را نشان می‌دهد، ANP برای روابط متقابل پیچیده میان سطوح تصمیم‌ها و مشخصه‌ها کاربرد دارد (Karsak et al., 2007: 3366) در واقع فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، شامل بررسی روابط ساختاری بین متغیرها اولاً با وقوع یک پدیده خاص در محیط و ثانیاً با همدیگر می‌باشد. این موضوع با یک تحلیل منطقی می‌تواند ضریب تشدید متغیرها و نیز رفتار دینامیک آن‌ها را در ارتباط با خود و با محیط آشکار سازد. با توجه به اینکه در دنیای واقعی معیارها معمولاً وابسته به یکدیگرند، رهیافت‌های سنتی در این زمینه به شکل مناسبی قابل به‌کارگیری نیستند. به همین علت ساعتی فرآیند تحلیل شبکه‌ای را که توسعه یافته فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است، برای به‌دست آوردن مجموعه‌ای از وزن‌های مناسب برای معیارها معرفی کرد (Alam-e-Tabriz, Baqerzadeh, 2009: 181؛ Ghodsipour, 2016: 85).

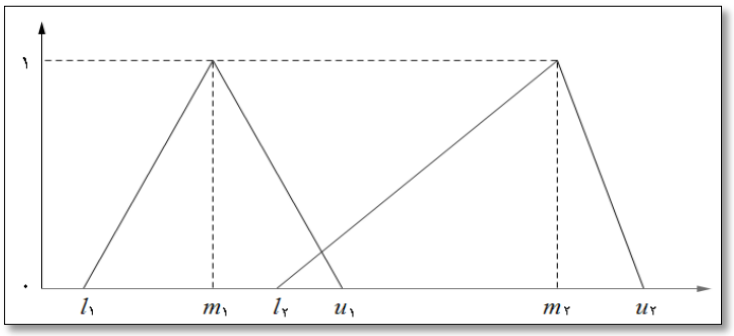
لازمه استفاده از این روش، شناخت کافی از هدف تصمیم‌گیری، محیط تصمیم و تمامی عناصر تصمیم‌گیری به‌وسیله تصمیم‌گیرنده است. این شناخت به این علت لازم است که تصمیم‌گیرنده بتواند همه ملاک‌های مؤثر در تصمیم را تعیین و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر را مشخص و بتواند واقعی‌ترین حالتی از شبکه را رسم کند. مقایسه‌های زوجی بایستی اولویت واقعی عناصر نسبت به یکدیگر را نشان دهند، اما از آنجا که این شناخت کافی از سیستم همیشه موجود نیست و تصمیم گیرنده نمی‌تواند در حالت کلی با اطمینان کامل در مقایسه‌های زوجی قضاوت کند، بنابراین برای رفع این مشکل مدل تحلیل شبکه‌ای توسعه داده می‌شود. راه‌حل طبیعی برای انجام مقایسه‌ها در حالت‌های نبود قطعیت استفاده از مقایسه‌ای فازی است که حالت‌های ابهام در مقایسه را مدل‌سازی می‌کند (Ashournejad et al., 2013: 168)؛ به عبارت دیگر استفاده از مجموعه‌های فازی سازگاری بیش تری با توضیحات زبانی و گاه مبهم انسانی دارد و بنابراین بهتر است که با استفاده از مجموعه‌های فازی (به‌کارگیری اعداد فازی) به‌پیش بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخته شود (Malekian, 2012: 140). فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی از تلفیق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ماتریس تأثیرات وابستگی متقابل بین معیارها به‌دست می‌آید که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود. ابتدا روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی از دیدگاه چانگ بیان می‌شود. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی‌اند، مفاهیم و تعاریف فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی بر اساس روش تحلیل توسعه‌ای تشریح می‌شوند (Alam-e-Tabriz, Baqerzadeh, 2009: 181). دو عدد مثلثی $M_1:(I_1, m_1, u_1)$ و $M_2:(I_2, m_2, u_2)$ که در شکل (۲) رسم شده‌اند را در نظر بگیرید. عملگرهای ریاضی آن به‌صورت روابط ۱، ۲، ۳ تعریف می‌شوند.

رابطه‌ی (۱) $M_1 + M_2 = (I_1 + m_1 + u_1 + I_2 + m_2 + u_2)$

رابطه‌ی (۲) $M_1 * M_2 = (I_1 * m_1 * u_1 * I_2 * m_2 * u_2$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

رابطه‌ی (۳) $M_2^{-1} = \left[\frac{[1]}{I_2} \text{ ، } \frac{[1]}{m_2} \text{ ، } \frac{[1]}{U_2}\right]$ $M_1^{-1} = \left[\frac{[1]}{I_1} \text{ ، } \frac{[1]}{m_1} \text{ ، } \frac{[1]}{U_1}\right]$



شکل ۲: اعداد مثلثی M_1 و M_2

Figure 2: Triangular numbers M1 and M2

باید توجه داشت که حاصل‌ضرب ۲ عدد فازی مثلثی، یا معکوس ۱ عدد فازی مثلثی، دیگر اعداد فازی مثلثی نیست. این روابط، فقط تقریبی از حاصل‌ضرب واقعی ۲ عدد فازی مثلثی و معکوس ۱ عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند. در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه‌های زوجی، مقدار S_K که خود یک عدد مثلثی است، به‌صورت رابطه‌ی (٤) محاسبه می‌شود.

رابطه‌ی (٤) $$\sum_{j=1}^{n} M_{kj} * \left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]$$

که k بیانگر شماره سطر است و i و j به‌ترتیب گزینه‌ها و شاخص‌ها را نشان می‌دهند.

در روش تحلیل توسعه‌ای، پس از محاسبه S_k ها، باید درجه بزرگی آن‌ها را نسبت به هم به‌دست آورد. به‌طورکلی اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2، که با $V(M_1 \geq M_2)$ نشان داده شده، به‌صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود.

رابطه (۵)
$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & \text{if } m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2 = hgt(M_1 \cap M_2) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Hgt(M_1 \cap M_2) = \frac{u_1 - l_2}{(U_1 - l_2) + (m_2 - m_1)}$$

میزان بزرگی عدد فازی مثلثی از k و عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه (٦) به‌دست می‌آید.

رابطه‌ی (٦) $$V(M_1 \geq M_2, \ldots, M_k) = V(M_1 \geq M_2), \ldots V(M_1 \geq M_k)$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی به‌صورت رابطه (۷) عمل می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

$$W(X_i)=Min\{V(S_i \geq S_k)\},\ k=1,2,\ldots,n,\ k\neq I$$ رابطه (۷)

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها به‌صورت رابطه (۸) خواهد بود.

$$(X_i)= [W(C_1),W(C_2),\ldots W(C_n)]^T\ W$$ رابطه (۸)

که همان بردار ضرایب غیرنرمال فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است. به کمک رابطه (۹) نتایج غیرنرمال به‌دست آمده از رابطه (۸) نرمال می‌شوند. نتایج نرمال شده حاصل از رابطه (۹)، W نامیده می‌شوند.

$$W_i=\frac{W1}{\Sigma Wi}$$ رابطه (۹)

سپس، تأثیرات وابستگی متقابل بین معیارها تعیین می‌شود. برای هر معیار، ماتریس‌هایی از مقایسه‌های زوجی تشکیل می‌شود. این ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی برای تعیین تأثیرات نسبی روابط وابستگی معیارها لازم‌اند. در این ماتریس، صفرها برای وزن‌های بردارهای ویژه معیارهایی در نظر گرفته می‌شوند که رابطه وابستگی با یکدیگر ندارند. اکنون می‌توانیم وابستگی نسبی معیارها را با تلفیق نتایج حاصل از دو مرحله پیشین به‌دست آوریم. منظور از تلفیق در اینجا اعمال ضرایب ماتریس وابستگی متقابل (B) بر نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (W) است. تلفیق این دو همان فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی است.

$$W_C= B.W$$ رابطه (۱۰)

ابزار کار مدل فازی با استفاده از عملگرهای مختلف صورت می‌گیرد که از عملگرهای مهم مدل منطق فازی، عملگر ضرب جبری فازی که با استفاده از آن ترکیب لایه‌ها صورت می‌گیرد. در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب شده و در لایه خروجی اعداد به سمت صفر میل می‌کنند. این روند ناشی از ضرب چندین عدد کم‌تر از ۱ می‌باشد. در نتیجه تعداد پیکسل‌های کم‌تری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرند. در عملگر جمع جبری فازی نتیجه همیشه بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی در لایه می‌باشد. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف عملگر ضرب جبری فازی، ارزش پیکسل به سمت یک میل می‌کند. متد ANP در تلفیق با GIS دارای مراحل مختلف است (Aazr, Faraji, 2007: 253). به‌طور خلاصه کاربرد منطق فازی در GIS مبتنی بر شبکه‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و تولید لایه‌های شبکه‌ای زمین مرجع (Grid file) می‌باشد. تولید لایه‌های شبکه مرجع Grid از داده‌های مبتنی بر پهنه و پلی‌گون نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی و... به سهولت انجام می‌پذیرد؛ اما برای تهیه لایه‌های مبتنی بر روابط توپولوژیک از داده‌های نقطه‌ای (نظیر چاه‌ها) و داده‌های خطی (نظیر آبراهه‌ها) از عملیات مبتنی بر پیوند مجاورتی عملیات مبتنی بر انتشار از سری تحلیل‌های فضایی موجود در محیط نرم‌افزاری GIS استفاده می‌کنیم تا لایه‌های پلی‌گونی و بافری قابل تبدیل به شبکه مرجع Grid را فراهم آوریم. در نهایت پس از تولید نقشه‌های شبکه‌ای از لایه‌های اطلاعاتی عملیات طبقه‌بندی انجام می‌پذیرد. در طی این فرآیند کلاسه‌های لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای ارزش‌های جدید تخصیص یافته در پایگاه داده‌ها (ماتریس ارزش‌گذاری) که

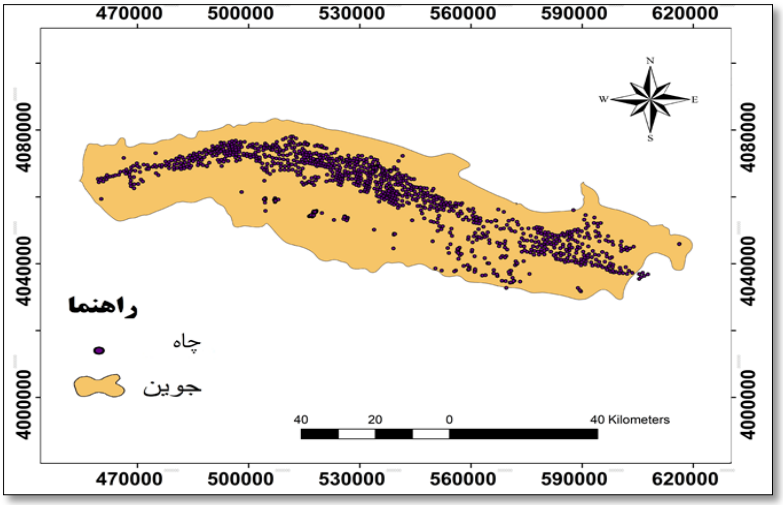
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

بر اساس ارزش‌های توصیفی مکانی و غیرمکانی شکل می‌گیرد، طبقه‌بندی می‌شود (Nikjoo et al., 2017: 53) تا به‌منظور انجام عملیات همپوشانی فازی مهیا شوند. بعد از طی مراحل مرتبط با مدل تحلیل شبکه‌ای و به دست آوردن وزن هر معیار و عناصر آن، نوبت به آماده‌سازی لایه‌ها می‌رسد. در این تحقیق از ۱۲ معیار مؤثر در وقوع فرونشست استفاده شده است. لذا برای هر یک از آن‌ها در محیط GIS لایه‌ای تعریف گردید. در رابطه با لایه‌های فاصله‌ای از تابع Distance به‌منظور تعیین میزان فاصله استفاده گردید. در گام بعد بر اساس وزن کلاس‌های هر لایه که در نتیجه انجام مقایسه‌های زوجی حاصل شد، تمام داده‌ها در محیط GIS به لایه‌های با فرمت رستر تبدیل شدند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌ها به‌صورت فرمت رستری و از طریق عملیات تلفیق لایه‌ها تهیه گردید و به‌منظور ارائه نتایج بهتر، کل منطقه به ۵ کلاس از کم تا خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد. این پژوهش جزو اولین پروژه‌هایی است که همه معیارهای قابل محاسبه در فرونشست را در نظر گرفته است و از نظر مدلی نیز جزو اولین کارها در حیطه فرونشست است که با ANP-FUZZY مدل‌سازی شده است.

یافته‌ها و بحث

بررسی تراکم چاه‌ها و افت آب زیرزمینی

بر اساس نتایج ارائه شده از مطالعات محققان، به نظر می‌رسد که اعمال فشار بیش از حد بر آبخوان ممکن است موجب بروز پدیده‌ی فرونشست شود، از این‌رو به بررسی وضعیت سفره‌ی آب زیرزمینی در محدوده‌ی مورد مطالعه پرداخته شد. در دشت جوین تعداد ۱۳۳۶ حلقه چاه مجاز بهره‌برداری با دبی متوسط ۱۷ لیتر بر ثانیه مشغول پمپاژ آب می‌باشند (شکل ۳).

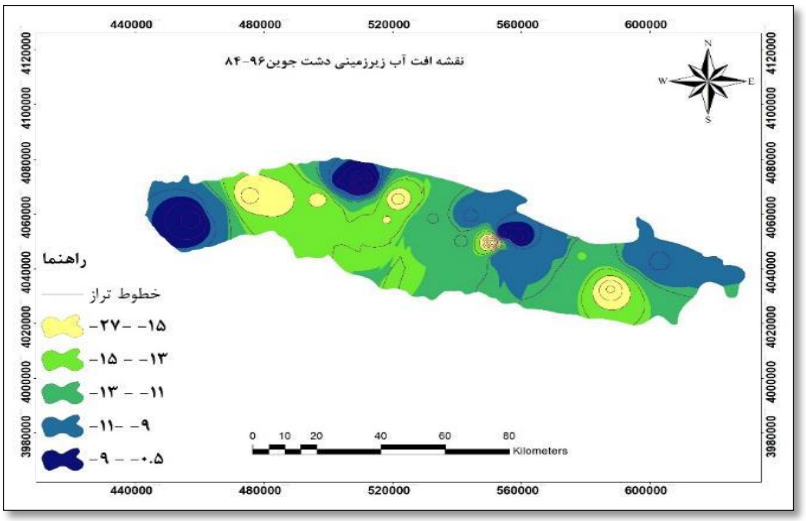


شکل ۳: موقعیت چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در دشت جوین

Figure 3: Location of deep and semi-deep wells in Joven plain (Author)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

به‌منظور بررسی و ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی، از آمار چاه‌های پیزومتری موجود در دشت، میزان افت سطح آب زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۸٤ تا ۱۳۹٦ محاسبه شد. همان‌طور که در شکل (٤) مشخص است سطح آب دشت رو به پایین رفتن است، به‌طوری که کم‌ترین افت سطح آب دشت ۰/۵- متر و بیش ترین افت ۲۷- متر مربوط به چاه پل حکم‌آباد (قسمت مرکزی دشت) می‌باشد؛ و چند نقطه دیگر با بیش‌ترین افت در شرق، مرکز و غرب دشت بین ۱۵- تا ۲۰- متر را نشان می‌دهد (شکل ٤). علت این افت، برداشت‌های غیراصولی به دلیل افزایش حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق به‌صورت مجاز و غیرمجاز می‌باشد. بر این اساس بیش‌ترین افت در بخش‌های مرکزی دشت مشاهده می‌شود.



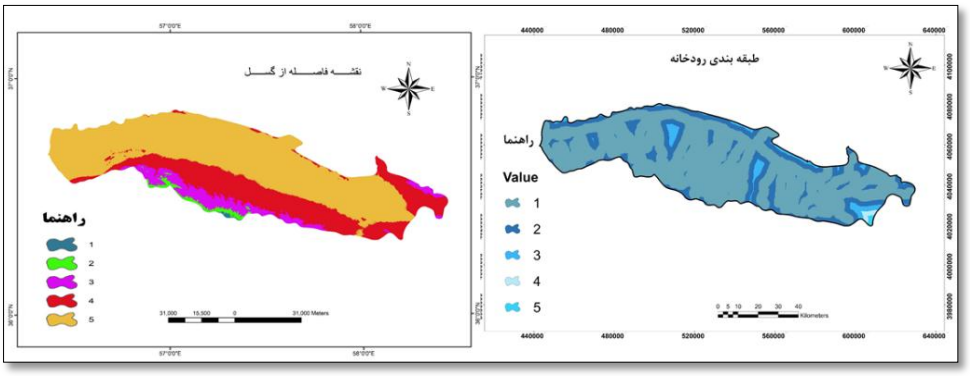
شکل ٤: نقشه افت سطح آب زیرزمینی آبخوان جوین

Figure 4: Groundwater level drop map of Joven aquifer

گسل و آبراهه

به دلیل اثر گذاشتن فعالیت‌های گسل (نظیر زلزله) بر روی فرونشست زمین، بررسی گسل‌های منطقه ضرورت دارد. گسل هم به‌نوبه خود نقش مؤثری در میزان توسعه فرونشست در سطح دشت دارد، به‌گونه‌ای که هرچه میزان فاصله از خطوط گسل بیش‌تر باشد، نشان دهنده این است که منطقه تناسب کم‌تری برای احتمال فرونشست زمین را دارا بوده و هرچه میزان فاصله به خطوط گسل نزدیک‌تر شود، احتمال وقوع فرونشست بیش تر می‌شود (Ali Pourradi, 2017: 29) گسل‌های موجود در سطح حوضه از حیث اهمیت و نقشی که در مورفولوژی منطقه دارند، متنوع هستند. به‌طوری که از گسل‌های اصلی مشخص (میامی، با روند شرقی-غربی) تا گسل‌های فرعی احتمالی نیز می‌توان دید. زهکش اصلی دشت جوین رودخانه کالشور جوین است که از غرب به شرق در جریان است و دارای سرشاخه‌های فرعی است که هرساله مقداری سیلاب از طریق آن‌ها وارد زهکش اصلی می‌شود و تغذیه‌کننده سفره‌های آب زیرزمینی دشت می‌باشند. در واقع در مسیر رودخانه تمرکز چاه‌ها به‌مراتب بیش‌تر و با فاصله از آن کاهش یافته است (شکل ۵).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

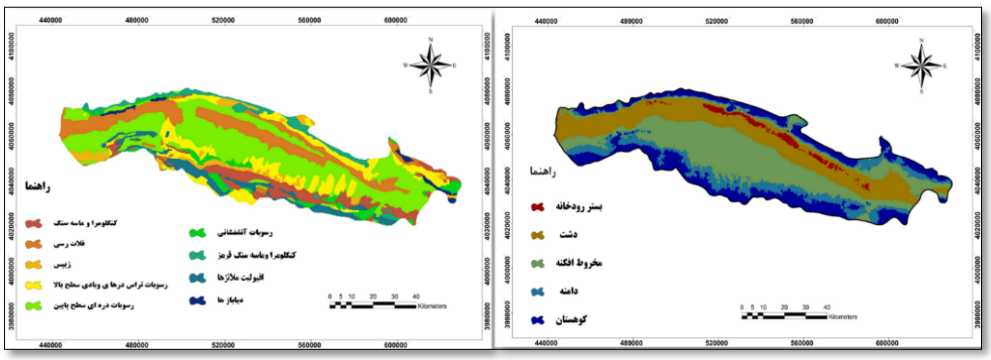


شکل ۵: الف) نقشه فاصله از آبراهه حوضه آبریز جوین؛ ب) نقشه فاصله از گسل محدوده دشت جوین

Figure 5: a) Distance map of Joven catchment waterway, b) Distance map of Joven plain area fault

لیتولوژی و ژئومورفولوژی

قدیمی‌ترین سازندهای شناخته شده فلیت و دولومیت متعلق به پرکامبرین است. سازندهای دوران اول شناخته نشده است. رخساره‌های کرتاسه در سرتاسر ارتفاعات جنوبی گسترش دارد و رخساره‌های دوران سوم شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، مارن، توف سبز همراه سنگ‌های آذرین مربوط به پالئوژن می‌باشد. آبرفت‌های کواترنر بیش‌ترین سهم را در حوضه آبریز جوین دارند و بخش مرکزی آبخوان که بیش‌ترین میزان تمرکز چاه‌ها و قنات‌ها را دارد، از رسوبات آبرفتی تشکیل شده است. در ژئومورفولوژی در سطح دشت و در انتهای مخروطه‌افکنه ها بیش‌ترین میزان نشست بیش‌تر دیده می‌شود و در سایر بخش‌ها به‌واسطه شیب بیش‌تر و نبود رسوبات آبرفتی زمینه برای فرونشست بسیار کم‌تر از سایر بخش‌ها می‌باشد (شکل ٦).



شکل ٦: الف ژئومورفولوژی محدوده جوین؛ ب) لیتولوژی حوضه آبریز جوین

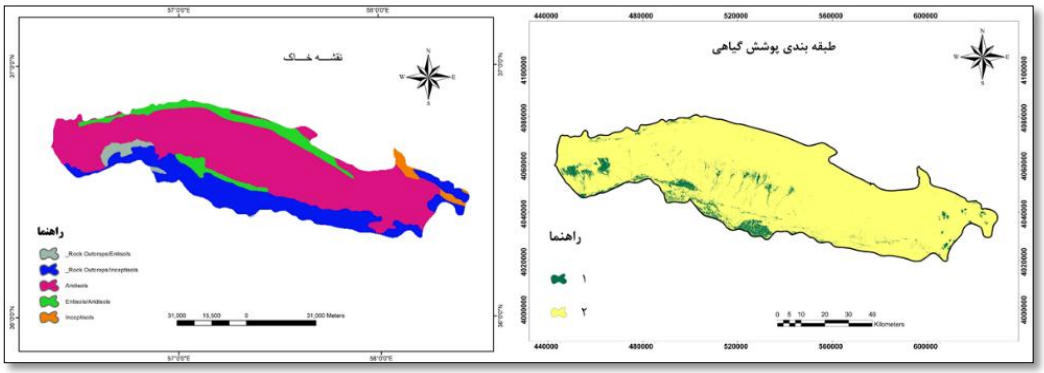
Figure6: a) Geomorphology of the Joven area, b) Lithology of the Joven catchment

خاک‌شناسی و پوشش گیاهی

از آنجا که اندازه ذرات و نفوذپذیری عواملی هستند که ارتباطی مستقیم با هم دارند، در بسیاری از تحقیقات، در شمار عوامل مؤثر بر فرونشست زمین قرار گرفته‌اند (Ahmadi, 1999). با دور شدن از بخش‌های شمالی و جنوبی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

دشت از قطر ذرات آبرفتی کاسته و رسوبات به‌صورت ریزدانه شکل می‌گیرد. به‌طوری که در بخش مرکزی و در محدوده زهکش اصلی حوضه، رسوبات تا اندازه سیلت و رس تقلیل می‌یابد. در بحث پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه را، پوششی از اراضی زراعی، مراتع، باغات و بایر را در بر می‌گیرد (شکل ۷).

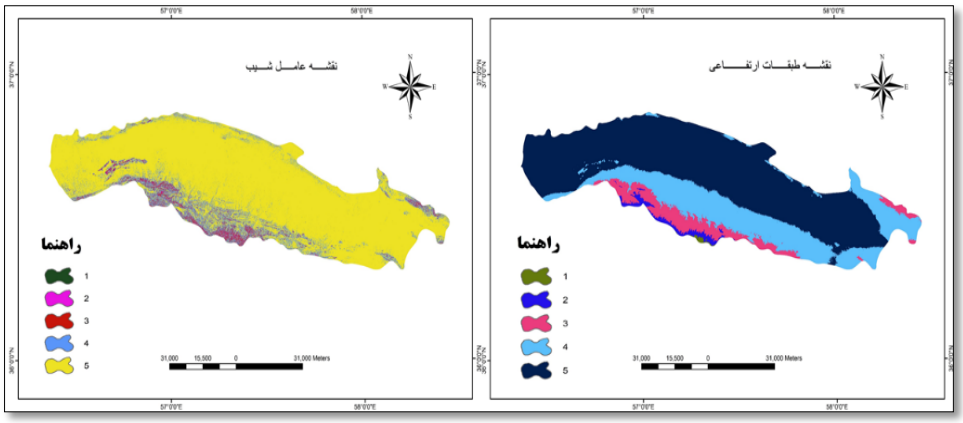


شکل ۷: الف) پوشش گیاهی حوضه آبریز جوین؛ ب) نقشه خاک محدوده جوین

Figure 7: a) Vegetation of Joven catchment, b) Soil map of Joven area

ارتفاع و شیب

از نظر توپوگرافی دشت جوین یک دشت میان‌کوهی است که به‌طور کلی به دو ناحیه پست و هموار با ارتفاع حدود ۱۱۰۰ متر از سطح دریا و ناحیه کوهستانی با ارتفاع ۲۹۱۹ متر با در قسمت جنوبی دشت واقع شده است. بررسی وضعیت ارتفاع نشان می‌دهد که در بخش مرکزی دشت که محدوده آبخوان واقع شده است، کم‌ترین میزان ارتفاع وجود دارد. شواهد فرونشست نیز بیش‌تر در این طبقه ارتفاعی دیده می‌شود. در مورد لایه شیب محدوده شیب ۵-۰ کم‌ترین میزان شیب در محدوده منطقه می‌باشد؛ که این شیب نقش مؤثری در جمع‌آوری منابع آب زیرزمینی فراهم می‌آورد و آبخوان را تشکیل می‌دهد. هرچه میزان شیب افزایش می‌یابد از میزان تمرکز چاه‌ها کاسته شده و شیب‌های تند محلی برای ذخیره آب نمی‌باشد (شکل ۸).



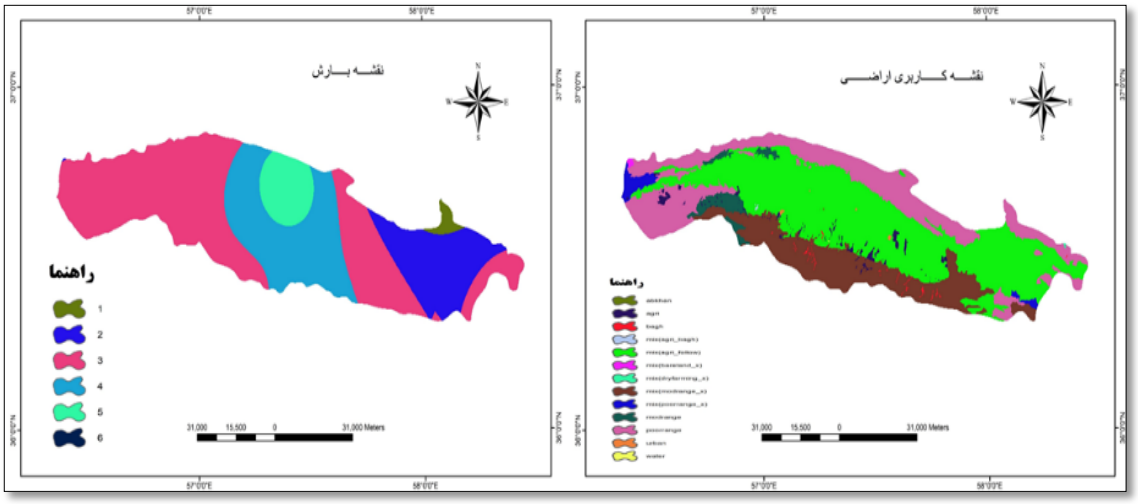
شکل ۸: الف) سطوح ارتفاعی حوضه آبریز؛ ب) شیب محدوده جوین

Figure 8: a) Elevation levels of the catchment, b) Slope of the Joven area

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

کاربری اراضی و میزان بارش

در منطقه دشت جوین از لحاظ کاربری اراضی، بخش مرکزی دشت به کاربری کشاورزی اختصاص یافته، به‌طوری که سبب حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در این منطقه شده است. وجود محصولات آب بر از جمله چغندر، صیفی‌جات، گندم، همچنین وجود صنایعی آب‌بر از جمله فولاد بیش‌ترین ضربه را به منابع آبی وارد کرده و منجر به تسریع فرونشست‌های احتمالی در آینده می‌گردند. طبق آمار ۱۰ سال اخیر (۱۳۸۶-۱۳۹۶) ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، متوسط بارش ۱۰ سال اخیر در محدوده مطالعاتی ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد که یک روند کاهش را در پی داشته و اثرات آن را بر سفره‌های آب زیرزمینی مشهود است (شکل ۹).



شکل ۹: الف) نقشه کاربری اراضی محدوده جوین ب) بارش حوضه آبریز جوین

Figure 9: a) Land use map of Joven area , b) Rainfall of Joven catchment

تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها

در راستای تهیه نقشه فرونشست زمین دشت جوین و به‌منظور اجرای مدل تحلیل شبکه‌ای-فازی، بر اساس روش‌های ارائه شده در بخش روش تحقیق، مقایسات زوجی معیارها به‌صورت ارجحیت یک معیار نسبت به معیار دیگر توسط کارشناسان برای منطقه انجام گردید. در ANP اندازه‌گیری مقادیر اهمیت نسبی با مقایسات زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌گیرد. در این فرآیند، بالاترین ارجحیت به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که حداکثر تأثیر را در تعیین هدف دارد. در جدول (۱) میزان اهمیت فاکتورها با توجه اعداد در مقایسه زوجی بیان شده است که این امر در وزن‌دهی معیارها در این پژوهش به‌کار گرفته شده است. به‌طوری که با توجه به نظر کارشناسی حاصل از بازدید میدانی و مطالعات اسنادی، به سطح پیزومتری، تراکم چاه‌ها و بارش بیش‌ترین رتبه داده شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۱- مقایسه زوجی در تحلیل شبکه‌ای

Table 1- Pair comparison in network analysis

مقدار عددی	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
درجه اهمیت	اهمیت برابر	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط	اهمیت متوسط	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی	اهمیت قوی	از اهمیت قوی تا اهمیت خیلی قوی	اهمیت خیلی قوی	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت خیلی فوق‌العاده	اهمیت فوق‌العاده قوی

در گام بعد تنظیم وابستگی‌های متقابل و انجام مقایسات زوجی میان عناصر در نرم‌افزار super decision است که بخش راهبردی و اساسی در این مرحله انجام می‌شود. تمامی داده‌ها در قالب ماتریس وابستگی میان زیرمعیارها در جدول (۲) مشاهده می‌شود. داده‌ها نشان دهنده تأثیر نسبی زیرمعیارها بر یکدیگر است.

جدول ۲- ماتریس وابستگی میان زیرمعیارها

Table 2- Dependency matrix between sub-criteria

	تراکم چاه‌ها	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	سطوح ارتفاعی	ژئومورفولوژی	کاربری اراضی	لیتولوژی	سطح پیزومتر	بارش	شیب	نوع خاک	پوشش گیاهی
تراکم چاه‌ها	۰/۱۵۷۲۳۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
فاصله از گسل	۰/۰۲۶۷۳۹	۰/۱۹۵۹۱٤	۰	۰	۰/۰۷۲۸۸۳٤	۰/۰۷٦٦۳۲	۰/۰۸۸٥٥٥	۰/۱٥٦۲۰٦	۰/۰٤۸۹	۰	۰/۱	۰
فاصله از آبراهه	۰/۰۳۰٦۹٦	۰	۰/۱٦۹۱۹۸	۰	۰/۱۰٦۰۳۳	۰/۰۷۳۰٦۱	۰/۱۰٥۷۸۷	۰/۰۷۳۱٥۳	۰/۰٤۸۹	۰	/۱۳۱۱ ۰	۰/۲۰۲
سطوح ارتفاعی	۰/۰۲٤۲۰۷	۰/۱٤۱۸۲۸	۰/٤٤۳۳۲۷	۱	۰/۰۹۹۹۱۱۳	۰/۰٤٤٥٤۸	۰/۱۱۱۳۱۳	۰/۰۲٤۲۳۰	۰/۰٥۲۹	۰/٥	۰/۰۸۳	۰/۱۸۳
ژئومورفولوژی	۰/۰٤۷۸۰۰	۰	۰	۰	۰/۱٦۰۱۸۳	۰/۱۰۱٥۲۹	۰	۰/۰٦٥٥۸۸	۰/۰۸۷۲	۰	۰	۰
کاربری اراضی	۰/۰٥۳۸۸٥	۰	۰	۰	۰	۰/۱۸۱٥۲۳	۰	۰/۰۸۷۷۸۳	۰/۱۷٥	۰	۰	۰
لیتولوژی	۰/۰٥۰۷۰۷	۰	۰	۰	۰/۱۳۷٥۷۷	۰/۱۱۸۱۲٦	۰/۱٦۹۳۱۱	۰/۰٤٦٤۸۱	۰/۰۸۲٤	۰	۰	۰
سطح پیزومتر	۰/۳۱۳۷۸٦	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰٤۱۱۹	۰	۰	۰	۰
بارش	۰/۱۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۰۸٤۱۱	۰/۱٥۲	۰	۰	۰
شیب	۰/۰٥۸۱۰٤	۰/۳۳۲۹۰۲	۰/۳۸۷٤	۰	۰/۱۱٥۸۸٥	۰/۱۰٦۲۷۳	۰/۱۲۰۸٦۸	۰/۰٦۲٦۰۰	۰/۰۷۳	۰/٥	۰/۲	۰/۳٥۳۲
نوع خاک	۰/۰٤٦۰۱٦	۰	۰	۰	۰/۱٦۷٦۸٦	۰/۱۱۸۱۲٦	۰/۱۸٤۰۳۲	۰/۰۷۱۱٥۰	۰/۰۹۱	۰	۰/۲٤۱	۰
پوشش گیاهی	۰/۰۸۸٤۷۹	۰/۳۲۹۳٥٦	۰	۰	۰/۱٤۰٦۸۸	۰/۱۸۰۱۸۱	۰/۲۲۰۱۳٥	۰/۱۰۰۲۷۹	۰	۰	۰	۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

در مرحله بعد این ابر ماتریس ناموزون در ستون نرمالیز حاصل از ماتریس مقایسه زوجی معیارهای کلیدی ضرب می شود. در گام نهایی با نرمال‌سازی وزن‌های به‌دست آمده، برای هر کدام از متغیرها، نتایج تحقیق اولویت‌بندی شد و وزن نسبی معیارها با استفاده از نمودار مربوط به وضعیت زیرمعیارها محاسبه گردید (شکل ۹). وزن نهایی و اولویت‌بندی هر یک از زیر معیارها استخراج شد و بر اساس وزن هر یک از آن‌ها، وزن نهایی شاخص‌های اصلی مدل به‌دست می‌آید (جدول ۳ و ٤).

جدول ۳- وزن استاندارد زیر پارامترها به روش ANP

Table 3 - Standard weight of the following parameters by ANP method

پارامترها	زیر پارامترها	کلاسه بندی در نقشه‌ها	وزن زیر پارامترها
طبقات ارتفاعی	کم‌تر از ۱۲۰۰ متر	۵	۰/۰۷
	بین ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ متر	٤	۰/۰۰۷
	بین ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متر	۳	۰/۰۰۰۳
	بین ۲۰۰۰ تا ۲٤۰۰	۲	۰/۰۰۰۰۱
	بیش‌تر از ۲٤۰۰ متر	۱	۰/۰۰۰۰۰٤
میزان شیب	کم‌تر از ۵ درجه	٤	۰/۱
	بین ۵ تا ۱۵ درجه	۳	۰/۰۸
	بین ۱۵ تا ۳۰ درجه	۲	۰/۰۰۵
	بیش تر از ۳۰ درجه	۱	۰/۰۰۰۱
فاصله از رودخانه	فاصله ۱۰۰ متری از رودخانه	٤	۰/۰۹
	فاصله ۳۰۰ متری از رودخانه	۳	۰/۰۰۷
	فاصله ۵۰۰ متری از رودخانه	۲	۰/۰۰۰۸
	سایر محدوده ها	۱	۰/۰۰۰۰۲۵
لیتولوژی	فلات رسی	۱	۰/۱
	رسوبات دره ای و بادی سطح پایین	۲	۰/۰٦
	رسوبات دره ای سطح بالا	۳	۰/۰۵
	ژیپس	٤	۰/۰۳
	کنگلومرا و ماسه سنگ	۵	۰/۰۰۱
	افیولیت ملانژها	٦	۰/۰۰۰۲
	رسوبات آتشفشانی	۷	۰/۰۰۰۱
	دیابازها	۸	۰/۰۰۰۰۹
گسل‌ها	فاصله ۳۰۰ متری از گسل	۵	۰/۰۸
	فاصله ۱۰۰۰ متری از ماکرو گسل	٤	۰/۰۰۵
	سایر محدوده ها	۳	۰/۰۰۰۲
کاربری و پوشش زمین	اراضی بدون پوشش	۱	۰/۰۰۰۱۷
	بستر رودخانه	۲	۰/۰۰۰۷
	مرتع کم تراکم	۳	۰/۰۰۱

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

ادامه جدول ۳- وزن استاندارد زیر پارامترها به روش ANP

Continue of the Table 3 - Standard weight of the following parameters by ANP method

پارامترها	زیر پارامترها	کلاسه‌بندی در نقشه‌ها	وزن زیر پارامترها
	مسکونی	٤	۰/۰۷
	باغات	٥	۰/٥
	زراعت	٦	۰/٥
همبارش	محدوده همبارش ۲۲۵ تا ۲۷۵ میلیمتر	٦	۰/۳
	محدوده همبارش ۲۷۵ تا ۳۰۰ میلیمتر	٥	۰/۰۲
	محدوده همبارش ۳۰۰ تا ۳۲۵ میلیمتر	٤	۰/۰۰٥
	محدوده همبارش ۳۲۵ تا ۳۵۰ میلیمتر	۳	۰/۰۰۰۹
پارامترها	زیر پارامترها	کلاسه بندی در نقشه ها	وزن زیر پارامترها
	محدوده هم‌بارش ۳۵۰ تا ۳۷۵ میلی‌متر	۲	۰/۰۰۰۰۹
	محدوده هم‌بارش ۳۷۵ تا ٤۰۰ میلی‌متر	۱	۰/۰۰۰۰۰٦
ژئومورفولوژی	دشت	٥	۰/۱
	مخروط‌افکنه	٤	۰/۰٥
	پایکوه	۳	۰/۰۰۲
	دره	۲	۰/۰۰۰۳
	کوهستان	۱	۰/۰۰۰۰۳
نوع خاک	خاک‌های لومیک	٤	۰/٥
	خاک‌های شنی-رسی	۳	۰/٥
	خاک‌های شنی	۲	۰/۰٤
	خاک‌های شور وقلیایی	۱	۰/۰۰۹
تراکم چاه ها	عمق ۲۰۰ تا ۲٥۰ متر	٥	۰/۳
	عمق ۱٥۰ تا ۲۰۰ متر	٤	۰/۲
	عمق ۱۰۰ تا ۱٥۰ متر	۳	۰/۰۳
	عمق ٥۰ تا ۱۰۰ متر	۲	۰/۰۰۲
	زیر ٥۰ متر	۱	۰/۰۰۱
سطح پیزومتری	خطوط تراز ۱٥- تا ۲۷-	٥	۰/۹
	خطوط تراز ۱۳- تا ۱٥-	٤	۰/۰٤
	خطوط تراز ۱۱- تا ۱۳-	۳	۰/۰۳
	خطوط تراز ۱۳- تا ۹-	۲	۰/۰۲
	خطوط تراز ۹- تا ۰/٥-	۱	۰/۰۱
پوشش گیاهی	نبود پوشش‌گیاهی	۱	۰/۲
	وجود پوشش‌گیاهی	۲	۰/۰۸

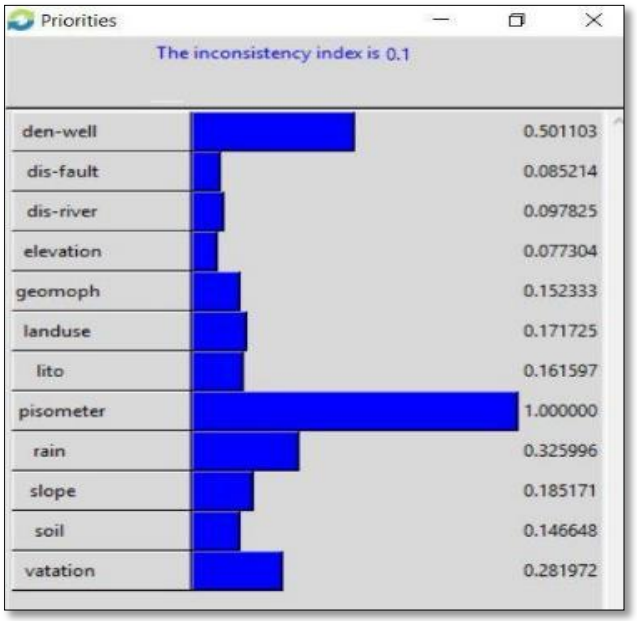
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ٤- وزن نهایی معیارها و زیر معیارها

Table 4 - Final weight of criteria and sub-criteria

معیار	فیزیکی					محیطی			هیدرولوژی				
وزن معیارها	۰/۲۱۹۹٤۲					۰/۰۸۷۲۸۳			۰/٦۹۲۷۷٤				
زیرمعیار	کاربری اراضی	لیتولوژی	ژئومورفولوژی	نوع خاک	سطوح ارتفاعی	فاصله از گسل	شیب	بارش	فاصله از آبراهه	تراکم چاهها	سطح پیزومتر	پوشش گیاهی
وزن زیر معیارها (نرمال نشده)	۱۷۱ ر۰/۲۵	۰/۱٦۱٥۹۷	۰/۱٥۲۳۳۳	۰/۱٤٦٦٤۸	۰/۰۷۷۳۰٤	۰/۰۸٥۲۱٤	۰/۱۸٥۱۷۱	۰/۳۲٥۹۹٦	۰/۰۹۷۸۲٥	۰/٥۰۱۱۰۳	۱	۰/۲۸۱۹۷۲
وزن نهایی (نرمال شده)	۰/۰۳۷۷٦۹	۰/۰۳٥٥٤۱	۰/۰۳۳٥۰٤	۰/۰۳۲۲٥٤	۰/۰۰٦۷٤۷	۰/۰۰۷٤۳۷	۰/۰۱۳٤۸٦	۰/۲۲٥۸٤۱	۰/۰٦۷۷۷	۰/۳٤۷۱٥۱	۰/٦۹۲۷۷	۰/۱۹٥۳٤۲

مطابق با خروجی‌ها جمع وزن گزینه‌ها کم‌تر از عدد ۰/۱ است که با توجه به منابع مختلف نرخ اعتبار سازگاری بایستی کم‌تر از ۰/۱ باشد. در این روش به نحو دقیقی پارامترها را به‌صورت جفتی مورد آنالیز قرار گرفت. مقایسه ۱۲ متغیر پژوهش، نشان داد که پارامترهای سطح تراز چاه‌ها با وزن ۱ و تراکم چاه‌ها با ۰/۵۰۱۱۰۳ به‌ترتیب بیش‌ترین وزن‌های به‌دست آمده را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۱۰).

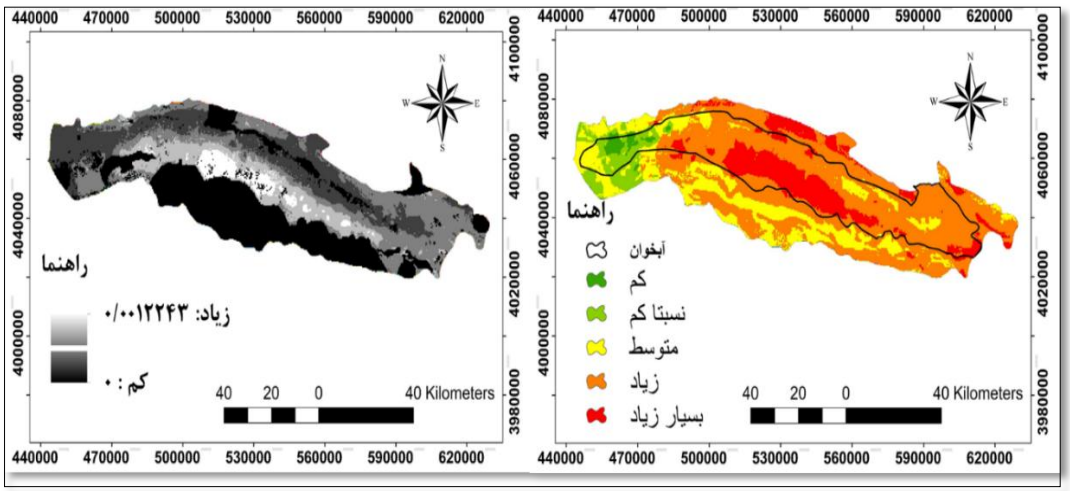


شکل ۱۰: گراف مربوط به زیر معیارها

Figure 10: Graph related to sub-criteria

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

به‌منظور تلفیق لایه‌ها از روش شاخص همپوشانی در محیط Arc GIS استفاده گردید. در این روش تمامی لایه‌ها که به‌صورت نقشه‌های کلاسه‌بندی تهیه کرده‌ایم، در وزن مربوط به‌خود ضرب می‌شوند و در نهایت لایه نهایی به‌دست می‌آید. سپس با استفاده از الگوریتم خطی از طریق طیف فازی و با دستور Fuzzy membership لایه فرونشست به‌صورت فرض یک و فرض صفر درآمد. فرض صفر به معنای کم‌ترین میزان فرونشست و فرض یک با بیش‌ترین میزان فرونشست تفسیر می‌شوند (شکل ۱۰). مزیت این روش این است که باعث ملموس‌تر شدن تفسیر بصری و همچنین مطابقت با روش آماری می‌شود. تصویر نهایی در یک سیر خطی نشان داده می‌شود که روشی نو در تهیه انواع نقشه‌های پهنه‌بندی به‌حساب می‌آید. جدول (۳) نشان دهنده مقادیر احتمال فرونشست زمین به درصد و کیلومتر در منطقه است. بر طبق جدول در نقشه ANP، حدود ٥٦ درصد دشت با خطر خیلی زیاد و زیاد و ۲۷ درصد با خطر متوسط فرونشست زمین قرار دارد. با توجه به جدول (۵) نشان می‌دهد که ۱۰٤٦ کیلومتر مربع از سطح حوضه مورد مطالعه که در بخش مرکزی آبخوان قرار دارد و با رنگ قرمز نمایش داده شده است وضعیت بحرانی دارد. از آنجایی که محدوده مطالعاتی حوضه‌ای در نظر گرفته شده است، منطقه پرخطر نسبت به وسعت حوضه درصد کمی نشان می‌دهد، اما نسبت به سطح دشت و آبخوان درصد قابل توجهی جزو منطقه پرخطر محسوب می‌شود (شکل ۱۱). بر طبق نقشه Fuzzy نیز محدوده فرونشست در بخش مرکزی دشت با رنگ روشن قرار دارد. همان‌طور که دیده می‌شود قسمت میانی دشت جوین جزو مناطق با استعداد بالای فرونشست می‌باشد که با نقشه افت آب‌های زیرزمینی و بازدید میدانی از منطقه و نشانه‌های فرونشست همچون ترک‌ها تا حد زیادی تطابق دارد و مدل ارائه شده صحت سنجی نقشه‌ها را تا حدود زیادی با واقعیت منطقه نشان می‌دهد. تراکم بالای چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و افت بالای آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت بی‌رویه و همچنین سایر عوامل منجر به فرونشست در این محدوده‌ها شده است.



شکل ۱۱: نقشه پهنه فرونشست دشت جوین با مدل ANP و fuzzy

Figure 11: Map of subsidence zone of Joven plain with ANP and fuzzy model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۵- مقادیر احتمالی فرونشست در منطقه مورد مطالعه

Table 5 - Possible values of subsidence in the study area

ردیف	طبقه	مساحت به کیلومتر مربع			
		Fuzzy	درصد	ANP	درصد
۱	بسیارکم	۱۹۵۱	۳٤	۳۸۵	٦/۸
۲	کم	۱۲۵۹	۲۲	٤٤۸	۸
۳	متوسط	۱٤٦۷	۲۱	۱۵٤۷	۲۷/٦
٤	زیاد	٦۷۳	۱۷	۲۱۷۱	۳۸
۵	بسیار زیاد	۲۵۳	۵	۱۰٤٦	۱۸

نتیجه‌گیری

نشست زمین پدیده‌ای فراگیر در سطح جهان است که عمدتاً در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شدت یافتن افت سطح آن، نمود کمی و کیفی قابل‌توجهی در چند دهه اخیر داشته است. در دشت جوین تعداد ۱۳۳٦ چاه عمیق و نیمه عمیق حفر شده که به‌طور میانگین در هر ۰/۹٦ کیلومتر مربع از دشت جوین، یک چاه بهره‌برداری مجاز حفر شده است. به علت برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی با مشکل افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده و به دنبال آن نشست زمین و ریزش قنوات را در پی داشته است. به استناد بررسی‌های میدانی و مشاهده ترک‌های ایجاد شده و همخوانی با نقشه‌های به‌دست آمده در این محدوده، ANP-FUZZY مدلی با قابلیت بالا در زمینه پهنه‌بندی فرونشست می‌باشد. تراکم چاه‌ها در سرتاسر مرکز دشت، به‌ویژه در اطراف راه‌آهن می‌باشد، بر این اساس پهنه با خطر زیاد مربوط به این محدوده می‌باشد. کلاس‌های فرونشست متوسط و کم، شامل حاشیه کوهستانی جنوبی، اطراف کال‌شور و انتهای دشت در غرب می‌باشند. به دلیل پایین بودن سطح آب در حاشیه جنوبی چاه کم‌تر حفر شده است در نتیجه فرونشست با خطر کم‌تری مواجه هست. در محدوده کالشور هم سطح آب بالاست در نتیجه میزان فرونشست کم‌تر است. جهت کلی جریان آب زیرزمینی از شرق به غرب و جنوب به شمال‌غرب است و به‌تدریج از عمق برخورد آب کاسته می‌شود. در انتهای دشت (غرب) سطح تراز آب بالاست در نتیجه فرونشت با خطر پایین را مشاهده می‌کنیم. در این دشت به سبب فعالیت‌های کشاورزی و محصولات پرآب همچون چغندرقند و هندوانه در اولویت و بخش صنعت از جمله کارخانه قند جوین، کارخانه ماشین‌های الکترونیکی و این اواخر فولاد جوین، دست‌اندازی به منابع آبی بیش‌تر بوده و استحصال آب‌های زیرزمینی بسیار بالاست که این عوامل با تأثیر اقلیم و کمبود بارش‌ها در این سال‌ها باعث استعداد بالای این دشت در بحث فرونشست شده و جزو مناطق بحرانی استان در نقشه فرونشست شناسایی شده است. این وضعیت نشان دهنده لزوم مدیریت منابع آب‌وخاک و سایر عوامل در جهت کاستن عواقب ناشی از این پدیده است. با توجه به

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

مدل تحلیل شبکه‌ای و متغیرهای تأثیرگذار در تصمیم‌گیری‌ها و اولویت‌بخش برنامه، راهبردهای ذیل جهت کاهش فرونشست در دشت جوین پیشنهاد می‌شود: تغییر الگوی کشت از محصولات پرآب به کم آب، نظارت بیش‌تر بر احداث چاه‌ها و خاموش بودن چاه‌ها در ماه‌های آبی، اجرای طرح‌های آبخیزداری در بالادست ارتفاعات و آبخوان‌داری بر روی مخروط‌افکنه ها برای تقویت سفره‌های آب زیرزمینی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

References

- Abidin. H. Z., Aas Gumilar, I., Sidiq T.P., Gamal, M., (2015), "Environmental impact of land subsidance in urban areas of Indonesia (7568) from the wisdom of the AGges to the challenges of the modern world sofia, ***Bulgaria***, 21: 17-21.
- Abedini, M., (2017), "***Principles of landslide***", first edition, Mohaghegh Ardabili Publications, Ardabil. [In Persian].
Azar, A., Faraji, H., (2007), "***Fuzzy management science***",vol 8, Mehraban book Pub Institute in collaboration with the Center for Management and Productivity Studies of Iran, tehran. [In Persian].
- Ahmadi, H., (1999), "***Applied geomorphology***", First Edition, Tehran, University of Tehran Press. [In Persian].
- Amira Ahmadi, A., Ma'ali Ahri, N., Ahmadi, I., (2013), "Determining the possible subsidence areas of Ardabil plain using GIS", ***Journal of Geography and Planning***, 46: 23-46. [In Persian].
- Amira Ahmadi, A., (1997), "***Investigating the causes of groundwater decline in Sabzevar Joven plain and providing solutions to reduce it, research plan***", vice chancellor for education and research of Sabzevar teacher training University: sabzevar. [In Persian].
- Ali Pourradi, M., Malek Mohammadi, B., Jafari, H., (2017), "Zoning of land subsidence risk due to groundwater level drop using fuzzy hierarchical analysis model (Case study: Ardabil plain)", ***Journal of Science and Iranian Watershed Management Engineering***, 11 (38): 25-34. [In Persian].
- Alam-e-Tabriz, A., Baqerzadeh Azar, M., (2009), "Combining fuzzy ANP and modified TOPSIS for strategic supplier selection", ***Management Research***, 2 (3): 149-181.[In Persian].
- Ashournejad, Gh., Taheri, M., Abbaspour, R, A., (2013), "Using the process of fuzzy network analysis (ANP Fuzzy) in identifying the optimal location of waste transfer stations in Isfahan", ***Environmental Science***, 39 (3): 165-177. [In Persian].
- Barends, F.B.J., Frist, J. J., Brouwer, H., France, S., (1995), "Proceeding of the fifth international symposium on land subsidance, held at The Hague", ***the Netherlans***, 23 (4): 16-20.
- Clonton, U.S., Amsbury, D, L., (1975), "Active foults in sotheatern harris County, Texas", ***Journal of Environmental Gelogy***, 1: 149-154.
- Chen Chieh, H., Wang chung, H., Hsu Ya, J., Yu Shui, B., Kuo, L. Ch., (2010), "Correlations in land subsidence area of the Choshvichi allvvial fan, Taiwan", ***Enginireeing Geology***, 115 (1): 122-131.
- Galloway, D. L., Hudnut, K. W., Ingebritsen, S. E., Philis, S. P., Peltzer, G., Rogez, F., Rosen, P. A., (1998), "Detection of aquifer system compaction and land subsidence using mterfermetric synthic aperture radar, Antelope valley", ***Water Resour Res***, 34: 2573-2585.
- Gallowey, D. L., Burbey, T. J., (2011), "Review: regional land subsidence accompanying groundwater extraction", ***Hydrogeol. J*** ,19: 1459-1486.
- Ghodsipour, S. A., (2016), "Hierarchical analysis process (AHP)", Tehran: publications of Amirkabir University of Technology.[In Persian].
- Ghanbari, H., Rustaei, Sh., (2013), "Investigation of border planning and planning priorities in east azerbaijan province using network analysis (ANP) model", ***Land Management***, 5 (2): 360-335. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

- Karsak, E., Ertugrul, S., Sevin, A., Emre, S., (2002), "Product planning in quality function development using combined", ***Computers and Industrial Engineering***, 44 (102): 171-190.
- Kim, K , Lee, S., Oh, H., (2009), "Prediction of ground subsidence in samcheok city, Korea using artificial neural networks and GIS", ***Environmental Geology***, 58: 61-70.
- Kiani, F., Abedini, M., Ahmadzadeh, Gh., (2017), "Investigation of subsidence potential of Karaj city using weight integration method in GIS environment", 3rd International Congress of Earth Sciences and Urban Development,Tehran: 19 october 2017. [In Persian].
- Malekian, A., Khuzani Fallen, A., Ashournejad, G., (2012), "Zoning of akhtarabad basin flood potential using fuzzy hierarchy analysis method", ***Quarterly Journal of Natural Geography Research***, 44 (4): 131-152. [In Persian].
Nikjoo, M., Boroumand, R., Roustaei, Sh., Amira Ahmadi, A., (2017), "Network analysis of effective factors in slope instabilities of Binalood mountain range with environmental management approach (Case study: North and South slopes)", ***Quantitative geomorphological researches*** , 6 (2): 63-45. [In Persian].
- Oh. H., Lee, S., (2010), "Assessment of ground subsidence using GIS and the weights-of-evidence model, ***Engineering Geology***, 115 (1): 36-48.
- Park, I., Choi, J., Jin, L., M., Lee, S., (2012), "Appilication of an adaptive neuro fuzzy inference system to ground subsidence hazard mapping, ***Computers & Geoscience***, 48 (2): 228-238.
- Thomas, L. H., (1983), "Subsidance of land caused by groundwater pumping, groundwater: alloction, development and pollution, summer conference, june6-9, 1983, colorado.
- Xu, H., Liu, B., Fang, Z., (2014), "New grey prediction model and its application in forecasting land subsidence in coal mine", ***Natural Hazards***, 71 (2): 1181-1194.
- Xu, Y.,Yuan, Y., Shen, Sh.,Yin, Z.,Wu, H., (2015), "Investigation into subsidence hazards due to groundwater pumping from Aquifer II in Changhou china", ***Natural Hazards***, 78 (1): 281-296.
- Yuksel, I., Metin, D., (2007), "Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis-A case study for a textile firm", ***Information Sciences***, 177 (16): 3364-3382.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]