دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی حساسیت‌پذیری فرونشست زمین در دشت سمنان با استفاده از مدل آنتروپی

مجید محمدی[1]، حمیدرضا پورقاسمی[2] و مجتبی امیری[3]

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، (نویسنده مسوول: majid.mohammady@semnan.ac.ir)
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۳
صفحه: ۷۵ تا ۸۵

چکیده

فرونشست زمین یک خطر زمین‌شناسی است که منجر به کاهش ارتفاع سطح زمین به‌صورت آرام و یا ناگهانی می‌شود و یک خطر همیشگی برای امنیت و سلامت زیرساخت‌ها مانند راه آهن، خطوط انتقال نیرو و راه‌های ارتباطی است. از آنجا که فاکتورهای مؤثر بر فرونشست زمین بسیار پیچیده هستند، سطح اثر و میزان توسعه این پدیده در زمان و مکان متغیر است. فرونشست در بیش از ۳۰۰ دشت در ایران اتفاق افتاده است و دشت سمنان یکی از مهم‌ترین مناطقی است که با این پدیده روبه‌رو می‌باشد. هدف این پژوهش تهیه نقشه حساسیت فرونشست زمین با استفاده از مدل آنتروپی می‌باشد. در اولین گام، اطلاعات ٦٥ فرونشستی که در گذشته رخ‌داده جمع‌آوری شد. دوازده عامل مؤثر از لایه‌های پایه توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و تراز آب زیرزمینی برای مدل‌سازی حساسیت فرونشست در نظر گرفته شد. بعد از اجرای مدل انتروپی در نرم‌افزار R، وزن‌های به‌دست‌آمده به نرم‌افزار ArcGIS10.3 وارد شده و نقشه حساسیت فرونشست تهیه گردید. منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر این منحنی برای ارزیابی دقت مدل آنتروپی مورد استفاده قرار گرفت. دامنه سطح زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۱ بوده و عدد بالاتر بیان‌گر دقت بیش‌تر در ارزیابی حساسیت فرونشست خواهد بود. پمپاژ بیش از حد از آب‌های زیرزمینی یک از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر وقوع فرونشست در دشت سمنان است. به‌دلیل اقلیم خشک، میزان جریان سطحی در دشت سمنان بسیار محدود است. بنابراین آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع آب در منطقه مورد مطالعه شناخته می‌شود. سطح زیرمنحنی برای مدل آنتروپی ۰/۷۱۵ به‌دست آمد که نشان داد این مدل‌ها برای تهیه نقشه حساسیت فرونشست در دشت سمنان قابل قبول است. نقشه حساسیت فرونشست می‌تواند به برنامه‌ریزان کاربری اراضی و مدیران منابع طبیعی، محیط‌زیست و منابع آب در منطقه مورد مطالعه کمک کند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت سمنان، شاخص آنتروپی، فرونشست زمین

مقدمه

فرونشست زمین یک خطر زمین‌شناسی بوده که منجر به کاهش ارتفاع سطح زمین به‌صورت آرام یا سریع می‌شود. فرونشست زمین باعث تغییرات ماندگار در سطح زمین می‌شود که این می‌تواند منجر به برخی خطرات دیگر مانند سیل از طریق تغییر مسیر جریان آب، کاهش ذخیره آب زیرزمینی و تغییر شیب کانال‌های آب گردد (۱۰). فرونشست زمین یک خطر جدی برای زیرساخت‌ها بوده و می‌تواند به بزرگ‌راه‌ها، خطوط راه‌آهن، دکل‌های انتقال برق و غیره خسارت وارد کند. از آنجایی که فاکتورهای مؤثر بر فرونشست زمین بسیار پیچیده هستند، سطح اثر و میزان توسعه این پدیده در زمان و مکان متغیر است. به‌طور کلی فرونشست پدیده‌ای پرهزینه است، به‌عنوان نمونه در سال ۱۹۹۱ میزان خسارت ناشی از فرونشست زمین در امریکا ۱۲۵ میلیون دلار تخمین زده شد و این در صورتی است که برخی خسارات غیرمستقیم مانند کاهش ذخیره منابع آب در نظر گرفته نشده است (۸). با توجه به اینکه فرونشست زمین خطرات زیادی به دنبال دارد، لذا توجه دولت‌ها، مراکز صنعتی و آموزشی را به‌خود جلب کرده است (۲۵، ۳۴). عوامل مؤثر بر فرونشست از دو منظر مشخصات طبیعی[1] و مهندسی[2] قابل تشریح است. از دیدگاه طبیعی عواملی مانند گسل، زلزله، خصوصیات خاک و ساختار رودخانه‌ها بر ایجاد فرونشست مؤثر است (۳۰). از دیدگاه مهندسی، احداث جاده، فعالیت‌های معدن، وضعیت بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش وزن بر سطح زمین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرونشست است (۶). در بسیاری از مناطق مشخص شده است که فشرده شدن آبخوان‌ها[3] به‌ویژه در صورت وجود رس‌های اشباع مهم‌ترین دلیل فرونشست زمین بوده است. با برداشت بیش از حد آب زیرزمینی، سطح ایستابی[4] لایه آبدار پایین رفته و فشار هیدرواستاتیک کاهش می‌یابد که در نتیجه امکان نشست زمین را به‌صورت تدریجی فراهم می نماید. فرونشست ماندگار دشت‌ها عمدتاً در اثر همین عامل یعنی برداشت بیش از حد مجاز آب و فشرده‌شدن لایه‌های رسی و سیلتی میان آبخوان صورت می‌گیرد. در این صورت حتی اگر سطح ایستابی مجدداً بالاتر آید، امکان بازگشت زمین به تراز اولیه خود وجود ندارد. فرونشست در دشت‌ها، مناطق شهری و یا هرجای دیگر منجر به ایجاد خسارت و تلفات انسانی می‌شود. فرونشست زمین در نقاط مختلف دنیا گزارش شده است. به‌عنوان مثال شهر ونیز در ایتالیا در فاصله سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۳ حدود ۱۵ سانتی‌متر نشست داشته است (۹).

با توجه به اهمیت موضوع فرونشست زمین تحقیقات زیادی در سرتاسر دنیا انجام شده که به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات ژوو و همکاران در چین (۳۴)، اوریتز زامورا و اورتگا گوئرو در مکزیکوسیتی (۲۱)، آئوپات و همکاران در تایلند (۳)،

1- Natural 2- Engineering 3- Aquifers 4- Water table

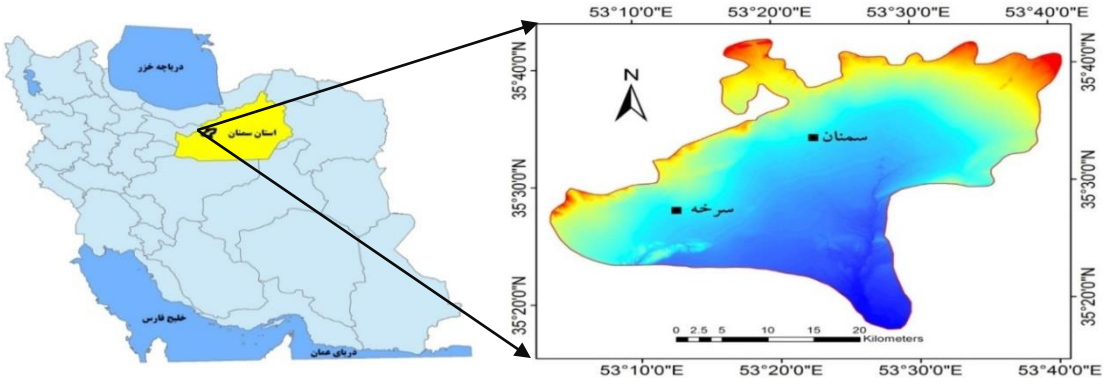
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]

کین و همکاران در چین (۲۵) و محمدی و همکاران در ایران (۱۷) اشاره نمود.کشورهایی مانند ایران که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند مستعد فرونشست زمین هستند. در این مناطق نسبت بارندگی و تغذیه طبیعی نسبتاً پایین‌تر از میانگین جهانی است. این موضوع اهمیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و صنعتی را بیش‌تر می‌کند. تمایل ایرانیان به بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی مربوط به هزاران سال قبل است که قنات را برای بهره‌برداری از آب زیرزمینی احداث کردند (۱۲). در ایران آب زیرزمینی منبع اصلی تامین آب در بسیاری از مناطق است، به‌علاوه روش‌های قدیمی و نادرست کشاورزی نیاز به منابع آب را بیش‌تر کرده است که این موضوع منجر به بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه نشست سطح آب می‌شود. افزایش تنش و فشار منجر به فشردگی و در نتیجه فرونشست زمین می‌شود (۲۳). فرونشست زمین در بیش از ۳۰۰ دشت کشور اتفاق افتاده است. دشت سمنان یکی از مهم‌ترین دشت‌های کشور است که با این پدیده روبه‌رو می‌باشد. به‌دلیل اهمیت موضوع فرونشست زمین، مطالعات زیادی با استفاده از مدل‌های مختلف در سراسر جهان انجام شده است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه حساسیت فرونشست زمین در دشت سمنان با استفاده از مدل آنتروپی است. مدل مذکور در مطالعات مربوط به آب‌های زیرزمینی و هم‌چنین مطالعات دیگر مانند پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش[1] استفاده شده و دقت آن‌ها تایید شده است. در واقع این مدل‌ها ترکیبی از روش‌های مدیریتی و آماری بوده که خطای طبقه‌بندی را به حداقل می‌رسانند (۱۷).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت سمنان با مساحتی در حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع بین عرض‌های ´۱۸ °۳۵ تا ´۴۳ °۳۵ شمالی و طول‌های ´۰۴ °۵۳ تا ´۴۱ °۵۳ شرقی در شمال شهرستان سمنان قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع از سطح دریا در منطقه از ۸۷۰ تا ۱۸۵۰ متر متغیر بوده و شهرهای سمنان و سرخه در آن واقع شده است. بارش متوسط سالانه ۱۲۰ میلی‌متر بوده و به‌دلیل کمبود بارش و مقدار زیاد تبخیر بخش زیادی از آب از منابع آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. کاربری اراضی منطقه شامل زمین‌های کشاورزی، مرتع، مسکونی و اراضی بایر است (۱۷).



شکل ۱- موقعیت دشت سمنان در ایران
Figure 1. Location of Semnan plain in Iran

تهیه داده‌های مورد نیاز

در تحقیق حاضر عوامل مؤثر با استفاده از مرور منابع و به‌ویژه تحقیقات انجام شده در کشور و هم‌چنین موجودیت داده‌ها انتخاب شد. نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه‌برداری کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و نقاط و خطوط ارتفاعی از آن استخراج شد. نقشه مدل رقومی ارتفاع[2] (DEM)، درجه شیب، جهت شیب، انحناء سطح[3]، انحناء نیمرخ[4] و شاخص رطوبت توپوگرافی[5] (TWI) از ترکیب نقشه‌های نقاط ارتفاعی و خطوط تراز مستخرج از نقشه پایه توپوگرافی و با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS10.3 و SAGA-GIS محاسبه و تهیه شد. نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی نیز با استفاده از رابطه ۱ به‌دست آمد (۱۸):

$$TWI = \ln(A/\tan\beta) \quad \text{رابطه (۱)}$$

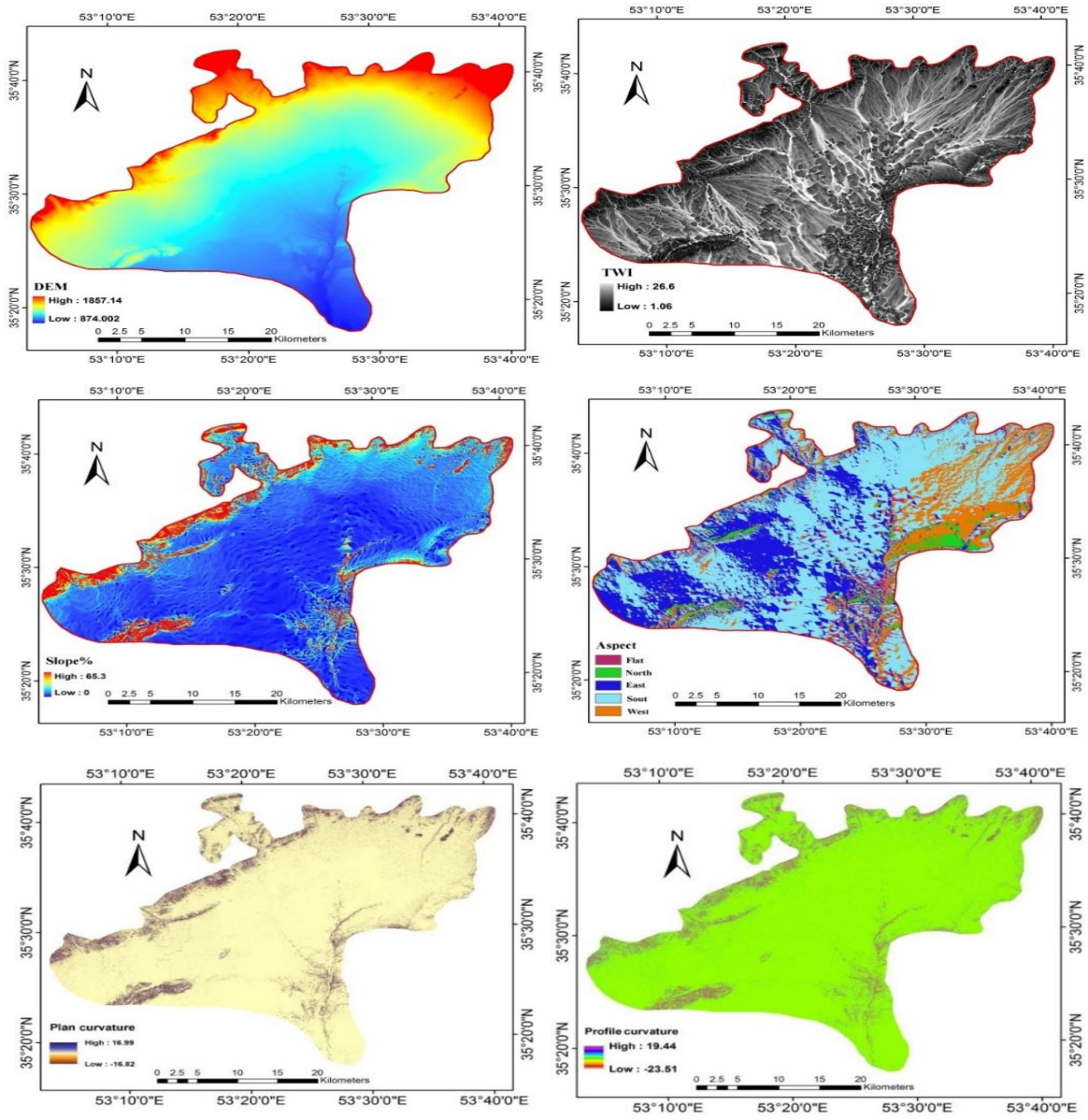
که در آن، A مساحت حو زه آبخیز بالادست و β مقدار شیب بر حسب درجه است. این شاخص نقش به‌سزایی در تغییرات شرایط هیدرولوژیکی از قبیل جریان آب زیرزمینی و رطوبت خاک دارد. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از سازمان زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه و رقومی شد. بعد از استخراج نقشه گسل از نقشه زمین‌شناسی نقشه فاصله از گسل نیز در محیط ArcGIS10.3 تهیه شد. نقشه شبکه آبراهه‌ها و جاده‌ها نیز از نقشه توپوگرافی استخراج و نقشه فاصله از این عوارض به‌دست آمد. کاربری اراضی منطقه نیز از روی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۶ لندست ۸ و با استفاده از روش ترکیبی تهیه شد. در روش ترکیبی به‌طور هم‌زمان از روش‌های نظارت‌نشده، نظارت‌شده و خصوصیات توپوگرافی استفاده می‌شود. جزئیات بیشتر در مورد روش تلفیقی در تحقیق محمدی و همکاران (۱۶) ارائه شده است. اطلاعات ۲۶ چاه پیزومتریک از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان تهیه، موقعیت آن‌ها رقومی و به محیط GIS وارد شد. سطح آب چاه‌ها با استفاده از روش عکس فاصله وزنی[6] (IDW) میان‌یابی شده و نقشه ارتفاع پیزومتریک در منطقه

1- Landslide hazard zoning
2- Digital Elevation Model (DEM)
3- Plan curvature
4- Profile curvature
5- Topographic Wetness Index (TWI)
6- Inverse Distance Weight (IDW)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]

مورد مطالعه تهیه شد (۴). شکل ۲ نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت سمنان را نشان می‌دهد.

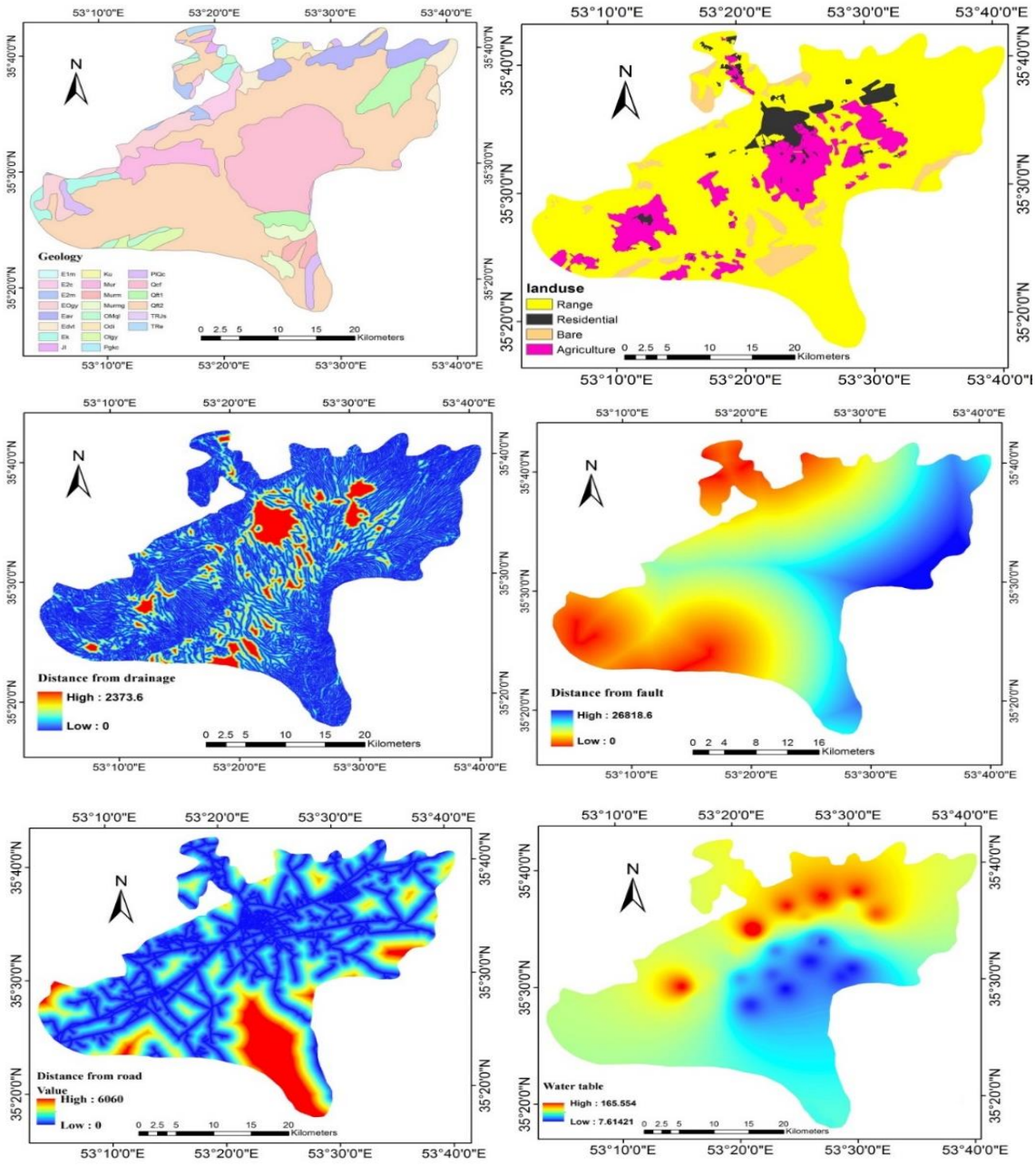
به‌منظور تهیه نقشه پراکنش فرونشست‌ها، در منطقه مورد مطالعه پیمایش زمینی انجام شد. به این منظور با کمک ساکنان محلی و همراهی آن‌ها، کل منطقه پیمایش شد تا کلیه فرونشست‌های رخداده در منطقه ثبت شود. هم‌چنین در پژوهش حاضر تلاش گردید تا از تصاویر گوگل ارث نیز در شناسایی فرونشست‌ها استفاده گردد. با توجه به اینکه پوشش گیاهی منطقه کم است فرونشست‌های بزرگ در روی گوگل ارث قابل تشخیص است، هرچند برای اطمینان بیش‌تر این مناطق روی زمین نیز مشخص شده و موقعیت آنها ثبت شد. در نهایت موقعیت ۶۵ فرونشست با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی[1] (GPS) ثبت و در محیط ArcGIS 10.3 به نقشه تبدیل شد (شکل ۳). حدود ۷۰ درصد از فرونشست‌ها برای تهیه نقشه حساسیت و بقیه برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در شکل ۴ نیز نمونه‌ای از فرونشست‌های منطقه نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه‌های عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت سمنان
Figure 2. Conditioning factors of land subsidence in Semnan plain

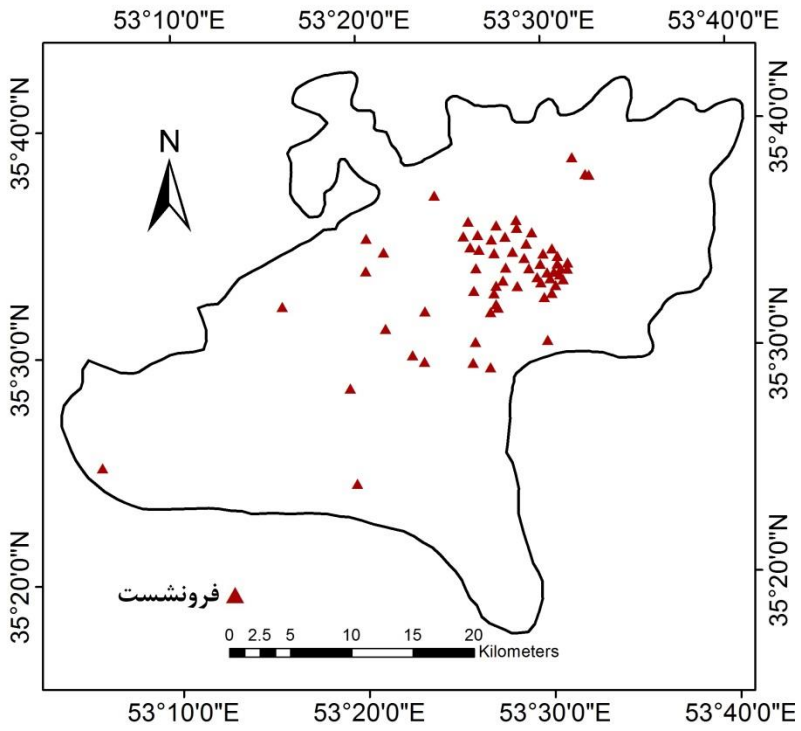
1- Global Positioning System (GPS)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]



ادامه شکل ۲- نقشه‌های عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت سمنان
Continued figure 2. Conditioning factors of land subsidence in Semnan plain

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]



شکل ۳- نقشه پراکنش فرونشست‌ها در دشت سمنان
Figure 3. Land subsidence distribution map in Semnan plain



شکل ۴- نمونه‌ای از فرونشست‌های منطقه مورد مطالعه (دشت سمنان)
Figure 4. some examples of subsidence in the study area (Semnan plain)

تهیه نقشه خطر فرونشست زمین با استفاده از مدل آنتروپی

آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که به‌منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی و عدم قطعیت‌های موجود در یک سیستم استفاده می‌شود (۳۷). آنتروپی در حقیقت بیان‌گر آن است که چگونه از بین عوامل مؤثر یک هدف، می‌توان مهم‌ترین عوامل را تخمین زد یا به‌عبارتی متغیرهایی که بیش‌ترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص می‌نماید (۵). از آن‌جایی که در تهیه نقشه خطر فرونشست، بسته به شرایط منطقه معمولاً عوامل مختلفی تاثیرگذار بوده و هم‌چنین در تعیین میزان حساسیت با استفاده از مدل‌های آماری دومتغیره و احتمالاتی نظیر بیزین، تمامی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش وزن یکسانی دارند. لذا چنان‌چه یکی از عوامل تاثیر بیش‌تری داشته باشد میزان اثر آن نادیده گرفته می‌شود (۲۷). بنابراین تئوری مذکور می‌تواند به‌عنوان یک

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]

رویکرد مدیریتی تاثیر به‌سزایی در شناسایی عوامل مؤثر و میزان تاثیرگذاری آن‌ها داشته باشد (۱۹، ۲۴، ۲۹).

مدل بیشینه آنتروپی شبکه ارتباطات بین متغیرهای مستقل و وابسته را تعیین کرده که بر اساس نقش هر متغیر مستقل و وزن تاثیر و منحنی پاسخ به‌دست می‌آید. این مدل قادر است توزیع احتمالاتی داده‌های هر یک از لایه رستری مربوط به عوامل موثر بر وقوع فرونشست زمین را استخراج نماید. انتروپی این توزیع‌ها بر اساس رابطه ۲ قابل محاسبه است (۲۲):

رابطه (۲) $$\left(\widehat{\theta}\right) = -\sum x \in X\, \widehat{\theta}\,(\mathrm{x})\; ln\widehat{\theta}\,(x)$$

که در آن: $H(\widehat{\theta})$ مقدار انتروپی توزیع احتمالاتی متغیر موردنظر، ln لگاریتم طبیعی، x مقدار ارزش هر پیکسل و X مجموعه‌ای از داده‌های یک لایه رستری است. توزیع احتمالاتی Gibbs برای هر یک از متغیرهای مستقل نیز از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (۷).

رابطه (۳) $$Q_\gamma(x) = \frac{e^{\gamma * f(x)}}{Z_\gamma}$$

که در آن: $Q_\gamma(x)$ تابع توزیع Gibbs، γ وزن متغیر موردنظر و Z_γ ثابت نرمال‌کننده تابع Gibbs است.

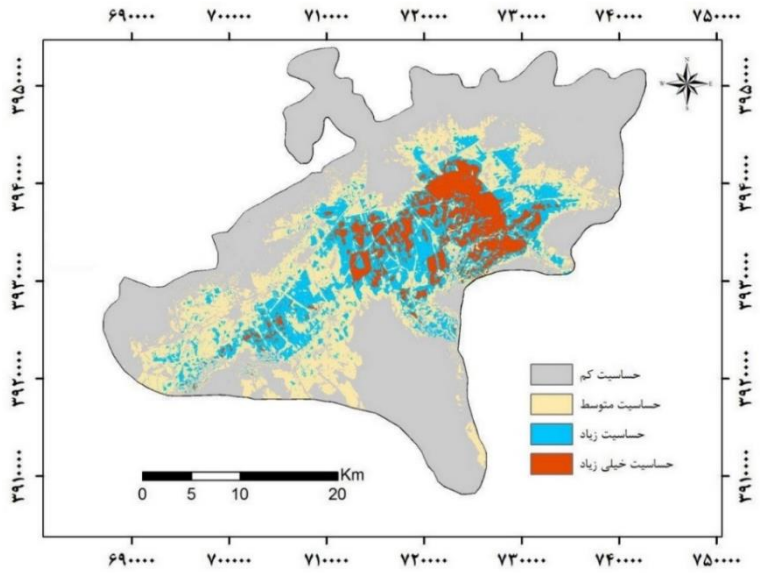
پس از آماده‌سازی عوامل مؤثر و شناسایی مناطق فرونشست در منطقه مورد مطالعه، ارتباط مکانی هر یک از لایه‌ها (متغیرهای مستقل) و نقاط فرونشست (متغیر وابسته) یک به یک بررسی و سپس در قالب فایل Excel وارد نرم‌افزار R شد. به این صورت که برای هر فرونشست وزن مربوط به هر یک از عوامل استخراج شده و پس از وارد کردن آنها در فایل Excel وارد نرم‌افزار R می‌شود. پس از تعیین وزن‌های خروجی در محیط نرم‌افزار R با استفاده از مدل انتروپی، رابطه نهایی مدل ارائه گردید. مدل در فرمت متنی در نرم‌افزار SPSS فراخوانی شده و سپس به نرم‌افزار ArcGIS 10.3 منتقل شد. در مرحله بعد مدل ارائه شده و وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل در سطح پیکسل به پیکسل برای کل منطقه مورد مطالعه اعمال شد. در نهایت نقشه تهیه‌شده برای اساس روش شکست طبیعی منحنی به چهار طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم تقسیم شد (۱).

ارزیابی نقشه‌های حساسیت فرونشست در دشت سمنان

به‌منظور ارزیابی نقشه‌های تهیه شده، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی[1] (ROC) استفاده شد (۲۰). منحنی ROC یک نمایش ترسیمی از موازنه بین میزان خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌هاست. سطح زیر منحنی ROC، بیان‌گر مقدار پیش‌بینی سامانه از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداده (رخداد فرونشست) و عدم وقوع رخداد (عدم رخداد فرونشست) آن است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیش‌ترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر آن از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. هرچه سطح زیر منحنی به یک نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است. طبقه‌بندی میزان سطح زیرمنحنی به‌صورت عالی (۰/۹–۱)، خیلی خوب (۰/۸–۰/۹)، خوب (۰/۷–۰/۸)، متوسط (۰/۶–۰/۷) و ضعیف (۰/۵–۰/۶) است (۳۶).

نتایج و بحث

همانطور که بیان شد از مدل آنتروپی به‌منظور تهیه نقشه فرونشست زمین استفاده شد. بعد از محاسبه وزن‌ها در محیط نرم‌افزار R، وزن‌ها به محیط ArcGIS 10.3 وارد شده و نقشه حساسیت فرونشست تهیه شد. نقشه تهیه‌شده به چهار طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم تقسیم شد (شکل ۵).



شکل ۵– نقشه خطر فرونشست زمین تهیه شده با مدل آنتروپی در دشت سمنان
Figure 5. Land subsidence susceptibility map created using entropy in Semnan plain

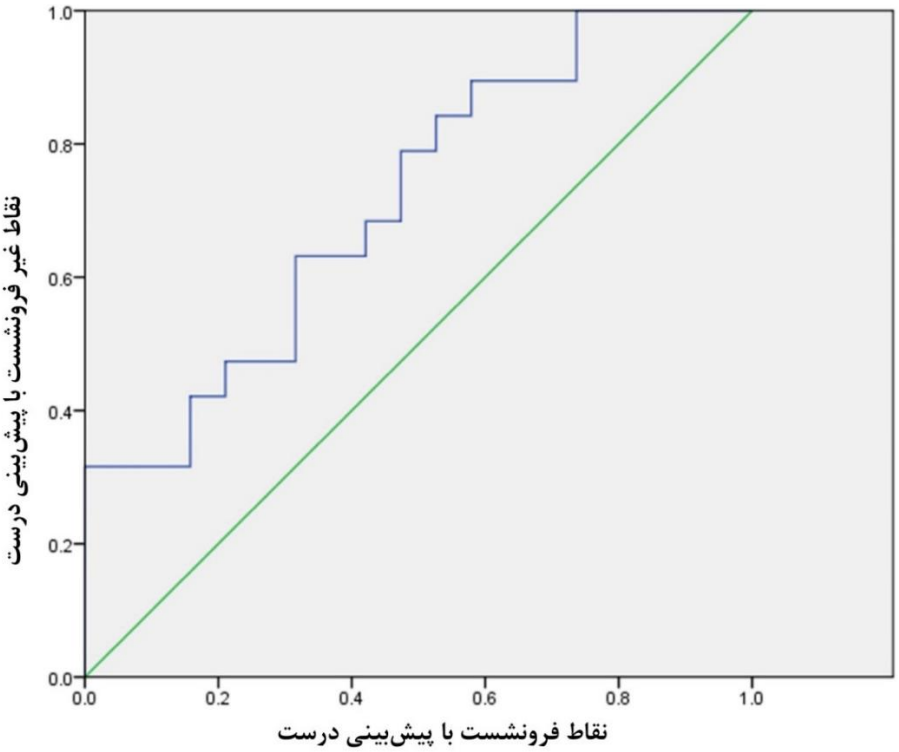
1- Receiver Operating Characteristic (ROC)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]

عوامل مختلف طبیعی و انسانی در وقوع فرونشست در دشت سمنان مؤثر است. گسل باعث تحریک و جابجایی پوسته زمین و در نتیجه فرونشست می‌شود. البته برای شروع فرونشست باید شرایط دیگری مانند فعالیت‌های معدنی و تخلیه بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی فراهم باشد تا گسل قادر به تحریک و وقوع این پدیده باشد. شیب و ارتفاع پارامترهای فیزیوگرافی بوده که وضعیت هیدرولوژیکی و میزان رطوبت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شیب زمین روی میزان نفوذ و سرعت آب سطحی تأثیرگذار است. هم‌چنین شیب و ارتفاع بر وضعیت کاربری اراضی تأثیر مستقیم دارند. کاربری کشاورزی و مسکونی که دارای بیش‌ترین استفاده از آب زیرزمین هستند، بیش‌تر در ارتفاعات کم و شیب ملایم وجود دارند. از طرفی کاربری‌های مسکونی و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه به‌شدت وابسته به آب زیرزمینی بوده و از دلایل اصلی برداشت بی‌رویه آب هستند. بخش‌های زیادی از ایران در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارند که میزان بارش و در نتیجه رواناب سطحی محدود است. در چنین شرایطی آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب برای مصارف مختلف مانند شرب و کشاورزی است که منجر به برداشت بی‌رویه از منابع آب و در نتیجه فرونشست زمین می‌شود (۲۳). در منطقه مورد مطالعه میزان بارش کم بوده و سفره‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع اصلی تامین آب به‌شدت در حال کاهش هستند. با توجه به صنعتی‌شدن استان سمنان در سال‌های اخیر، مهاجرت از استان‌های دیگر به این منطقه نیز افزایش یافته است. صنعتی‌شدن از یک طرف افزایش مصرف آب در واحدهای صنعتی و مسکونی را افزایش داده و از طرفی منجر به افزایش مناطق کشاورزی برای تامین غذا و در نتیجه نیاز به آب بیش‌تر می‌شود. علاوه‌بر بهره‌برداری‌های قانونی در منطقه چاه‌های غیرقانونی زیادی وجود دارد که در اراضی کشاورزی قرار گرفته و نظارت چندانی بر میزان برداشت آن‌ها نیست. البته آمار دقیقی از تعداد چاه‌های غیرقانونی و میزان برداشت آنها وجود ندارد ولی این موضوع توسط کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی تایید می‌شود. با توجه به اینکه بسیاری از پارامترهای مؤثر بر وقوع فرونشست در سالیان گذشته ثابت بوده است، می‌توان افزایش فرونشست در سال‌های اخیر در دشت سمنان را به بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر نسبت داد. محققین زیادی در گذشته نیز به تأثیر بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی اشاره نموده‌اند. به‌عنوان مثال در فلوریدا آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در ایجاد و گسترش فرونشست زمین معرفی شده است (۳۲). هم‌چنین ژو و همکاران (۳۴) فرونشست‌های رخ‌داده در چین را قبل از سال ۲۰۰۵ مورد بررسی قرار داده، توزیع و گسترش فرونشست‌ها را ناشی از برداشت بیش از حد آب زیرزمینی بیان کردند. سانتوس و همکاران (۲۸) نیز به تأثیر بهره‌برداری بیش از حد بر فرونشست به‌ویژه در آبخوان‌های رسوبی اشاره نمودند. طبق نظر یی و همکاران (۳۵) بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمین دلیل اصلی فرونشست در بسیاری از مناطق دنیاست. سوگانتی و همکاران (۳۱) نیز به تأثیر پمپاژ زیاد آب بر وقوع فرونشست در هندوستان اشاره کرده است. میراثی و رهنما (۱۵) و ملکی و رضایی (۱۴) به‌ترتیب در دشت مرودشت و کرمانشاه افت سطح آب زیرزمینی را به‌عنوان عامل فرونشست معرفی نمودند. از نمونه‌های دیگر می‌توان به تأثیر آب زیرزمینی بر افزایش فرونشست در بانکوک تایلند (۳)، مکزیکوسیتی (۲۱)، چین (۳۳،۱۱) و منطقه گالوستون در امریکا (۲۶) اشاره نمود. یکی دیگر از عوامل مهم و مؤثر بر فرونشست زمین خصوصیات زمین‌شناسی بوده و بیش‌تر فرونشست‌های منطقه در سازندهای رسی و تراس‌های ریزدانه رخ داده است. خرسندی و عبدالی (۱۳) نیز به این موضوع اشاره کرده، وجود و انتقال ذرات ریز در آبخوان را به‌عنوان عامل مهمی در فرونشست‌های دشت همدان معرفی نمودند.

با استفاده از منحنی ROC و محاسبه سطح زیر منحنی دقت مدل آنتروپی ۰/۷۱۵ به‌دست آمد (شکل ۶).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]



شکل ۶- منحنی ROC برای نقشه حساسیت فرونشست تهیه شده با مدل آنتروپی در دشت سمنان
Figure 6. ROC curve for entropy model in Semnan plain

بر اساس استاندارد ارائه‌شده برای میزان سطح زیر منحنی، دقت مدل آنتروپی در طبقه خوب قرار گرفت. با توجه به وضعیت موجودیت داده‌ها در کشور و هم‌چنین عدم دسترسی به داده‌های ورودی با دقت بالا وجود مقداری خطا در نقشه تهیه‌شده منطقی به‌نظر می‌رسد. محققین دیگری نیز به کارایی مدل مذکور اشاره نموده‌اند. به‌عنوان مثال یوفنگ و فنجیانت (۳۷) در تحلیل خطر زمین‌لغزش، شارما و همکاران (۲۹) در بررسی آسیب‌پذیری زمین‌لغزش، پورقاسمی و همکاران (۲۴) در تهیه نقشه حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش و نقیبی و همکاران (۱۹) در تحلیل پتانسیل آب‌های زیرزمینی روش آنتروپی را به‌کار برده و دقت آن را تایید نموده‌اند.

ارزیابی حساسیت فرونشست زمین به‌عنوان ابزاری سودمند به برنامه‌ریزان کاربری اراضی، مدیران منابع آب، محیط زیست و منابع طبیعی در منطقه مورد مطالعه کمک می‌کند. فرونشست هم‌چنین عامل تأثیرگذاری در توسعه شهری خواهد بود. فرونشست زمین فعالیت‌های اقتصادی و سازه‌ای را تحت تأثیر قرار داده و ممکن است پدیده‌های زمین‌شناسی دیگر را تشدید نماید. بنابراین این پدیده باید در منطقه مورد مطالعه مهار و مدیریت شود. دوری از مناطق پرخطر، جلوگیری از تغییرات کاربری و کاهش برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی از جمله اقدامات مدیریتی مرتبط با فرونشست زمین است. اولین گام در مدیریت فرونشست تهیه نقشه حساسیت منطقه به وقوع آن است که در این پژوهش به آن پرداخته شد. توسعه یک نقشه رقومی از حساسیت‌پذیری فرونشست در منطقه مورد مطالعه بر پایه GIS نقش زیادی در مهار و کاهش خطرات فرونشست دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]

منابع

1. Abdollahi, S., H.R. Pourghasemi, G. Ghanbarian and R. Safaeian. 2018. Spatial Simulation and Land-Subsidence Susceptibility Mapping Using Maximum Entropy Model. Journal of Watershed Management Research, 10(20): 133-144.
2. Alesheikh, A.A., A. Ghorbanali and N. Nouri. 2007. Coastline change detection using remote sensing. International Journal of Environmental Science and Technology, 4(1): 61-66.
3. Aobpaet, A., M.C. Cuenca, A. Hooper and I. Trisirisatawong. 2013. In SAR time-series analysis of land subsidence in Bangkok, Thailand. International Journal of Remote Sensing, 34: 2969-2982.
4. Amiri, M., H.R. Pourghasemi, G.A. Ghanbariana and S.F. Afzali. 2019. Assessment of the importance of gully erosion effective factors using Boruta algorithm and its spatial modeling and mapping using three machine learning algorithms. Geoderma, 340: 55-69.
5. Arabameri, A., K. Rezaei, K. Shirani and M. Yamani. 2017. Identify Areas Susceptible to Landslides using new Synthetic Method Shannon's Entropy Index-Information Value (Case Study: Karoon Sarkhon Watershed). Watershed Management Research, 9(17): 132-144.
6. Chen, C., S. Pei and J. Jiao. 2003. Land subsidence caused by groundwater exploitation in Suzhou City, China. Hydrogeology Journal, 11(2): 275-287.
7. Elith, J., S. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. Chee and C. Yates. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17(1): 43-57.
8. Galloway, D.L., D.R. Jones and S.E. Ingebritsen. 1999. Land subsidence in the United States. United States Geological Survey Circular, 1182, 175 pp.
9. Gambolati, G., P. Gatto, and R.A. Freeze. 1974. Mathematical simulation of the subsidence of Venice: 2. Results. Water Resources Research, 10: 563-577.
10. Holzer., T.L. 1989. State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. Engineering Geology, 27: 449-466.
11. Hu, R.L., Z.Q. Yue, L.C. Wang and S.J. Wang. 2004. Review on Current Status and Challenging Issues of Land Subsidence in China. Engineering Geology, 76: 65-77.
12. Karimzadeh., S. 2016. Characterization of land subsidence in Tabriz basin (NW Iran) using InSAR and watershed analyses. Acta Geodaetica et Geophysica, 51(2): 181-195. DOI 10.1007/s40328-015-0118-4.
13. Khorsandi, A. and M. Abdali. 2009. Sinkhole formation hazards, case study: Sinkholes hazard in Hamadan Plain and Lar Valley of Iran; Proceeding of the 6th Euregeo Congress, Munich, Germany, 359-362 pp.
14. Maleki, A. and P. Rezaee. 2016. Forecast locations at risk of subsidence plain Kermanshah. The journal of spatial planning, 20(1): 235-251 (In Persian).
15. Mirassi, S. and H. Rahnema. 2016. Analysis and evaluate the effective parameters on land subsidence. Modares civil engineering journal, 16(1): 45-54 (In Persian).
16. Mohammady, M., H.R. Morady, H. Zeinivand and A.J.A.M. Temme. 2015. A Comparison of Supervised, Unsupervised and Synthetic Land Use Classification Methods in the North of Iran. International Journal of Environmental Science and Technology, 12(5): 1515-1526
17. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and M. Amiri. 2019. Assessment of land subsidence susceptibility in Semnan plain (Iran): a comparison of support vector machine and weights of evidence data mining algorithms. Natural Hazards, 99: 951-971.
18. Moore, I.D., R.B. Grayson and A. Ladson. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Process, 5: 3-30.
19. Naghibi, S.A., H.R. Pourghasemi, Z.S. Pourtaghie and A. Rezaei. 2015. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan Watershed, Iran. Earth Science Informatics, 8(1): 171-186.
20. Nefeslioglu, H.A., T.Y. Duman and S. Durmaz. 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey). Geomorphology, 94: 401-418.
21. Ortiz-Zamora, D. and A. Ortega-Guerrero. 2010. Evolution of long-term land subsidence near Mexico City: review, field investigations, and predictive simulations. Water Resources Research, 46: 183-186.
22. Phillips, S., R. Anderson and R. Schapire. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231-259.
23. Pirouzi, A. and A. Eslami. 2017. Ground subsidence in plains around Tehran: site survey, records compilation and analysis. International Journal of Geo-Engineering, 8(30): 1-21.
24. Pourghasemi, H.R., M. Mohammady and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. Catena, 97: 71-84.
25. Qin, H., C.B. Andrews, F. Tian, G. Cao, Y. Luo and J. Liu. 2018. Groundwater-pumping optimization for land-subsidence control in Beijing plain, China. Hydrogeology Journal, 26: 1061-1081.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]

26. Qu, F.F., Z. Lu, Q. Zhang, G.W. Bawden, J.W. Kim, C.Y. Zhao and W. Qu. 2015. Mapping ground deformation over Houston- Galveston, Texas using multi-temporal InSAR. Remote Sensing of Environment, 169: 290-306.
27. Ramakrishna, D., M.K. Ghose, R. Vinu Chandra and A. Jeyaram. 2005. Probabilistic techniques, GIS and remote sensing in landslide hazard mitigation: a case study from Sikkim Himalayas, India. Geocarto International, 20(4): 53-58.
28. Santos, S.M., J.J.S.P. Cabral and I.D.S. Pontes Filho. 2012. Monitoring of soil subsidence in urban and coastal areas due to groundwater overexploitation using GPS. Natural Hazards, 64: 421-439.
29. Sharma, L.P., P. Nilanchal, M.K. Ghose and P. Debnath. 2010. Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation-a case study in Sikkim, India. Arabian Journal of Geoscience, 5(3): 421-431.
30. Shi, X.Q., J.C. Wu, S.J. Ye, Y. Zhang, Y.Q. Xue, Z.X. Wei, Q.F. Li and J. Yu. 2008. Regional land subsidence simulation in Su-xi-Chang area and Shanghai City, China. Engineering Geology, 100(1): 27-42.
31. Suganthi, S., L. Elango and S.K. Subramanian. 2017. Microwave D-InSAR technique for assessment of land subsidence in Kolkata city, India. Arabian Journal of Geoscience, 10(458): 1-10.
32. Wilson, W.L. and B.F. Beck. 1992. Hydrogeologic factors in affecting new sinkhole development in the Orlando area, Florida. Ground Water, 30(6): 918-930.
33. Xu, Y.S., Y. Yuan, S.L. Shen, Z.Y. Yin, H.N. Wu and L. Ma. 2015. Investigation into subsidence hazards due to groundwater pumping from aquifer II in Changzhou, China. Natural Hazards, 78(1): 281-296.
34. Xue, Y.Q., Y. Zhang, S.J. Ye, J.C. Wu and Q.F. Li. 2005. Land subsidence in China. Environmental Geology, 48(6): 713-720.
35. Ye, S., Y. Xue, J. Wu, X. Yan and J. Yu. 2016. Progression and mitigation of land subsidence in China. Hydrogeology Journal, 24: 685-693.
36. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. PhD Thesis, Department of Geomatics the University of Melbourne, p. 423.
37. Yufeng, S. and J. Fengxiang. 2009. Landslide stability analysis based on generalized information entropy. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 83-85.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]

Investigation of Subsidence Susceptibility in the Semnan Plain Using Entropy Model

Majid Mohammady[1], Hamid Reza Pourghasemi[2] and Mojtaba Amiri[3]

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran,
(Corresponding author: majid.mohammady@semnan.ac.ir)
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shiraz University
3- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran
Received: March 12, 2019 Accepted: December 3, 2020

Abstract

Land subsidence is a geo hazard that leads to slow or rapid decrease of ground level. Land subsidence presents a constant threat to the safety of surface infrastructures such as motorways, railways, power lines, and telecommunication cables. Arid and semi-arid countries like Iran are very susceptible to land subsidence phenomenon. Land subsidence has occurred in more of 300 plains of Iran, and Semnan Plain is one of the most important areas that face to this phenomenon. The purpose of this research was land subsidence susceptibility assessment using entropy model. In the first step, acquiring information about sixty-five land subsidence in the past was done. Twelve conditioning factors from different basic layers including topography, geology, land use, and ground water table were considered for modeling aims. The receiver operating characteristic (ROC) curve and area under the curve (AUC) were used to assess accuracy of the Entropy model. The AUC for the entropy model was 0.715 that showed this model is acceptable for land subsidence susceptibility mapping in the Semnan Plain. Results of this research can help to policy makers and planners for environment and urban management and planning.

Keywords: Entropy Index, Groundwater, Land subsidence, Semnan Plain

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.7.2]

[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.75]