

ارزیابی پتانسیل فرونشست زمین و عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: دشت سیدان فاروق مرودشت)

محمدابراهیم عقیفی* - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴

چکیده

فرونشست زمین به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی در سال‌های اخیر با افزایش بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یک مسئله اساسی در دشت‌های حاصلخیز کشور مطرح شده است. بی‌توجهی به این‌گونه پدیده‌ها می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیری را به بار آورد. بنابراین ارزیابی پتانسیل و میزان استعداد دشت‌های حاصلخیز نسبت به پدیده فرونشست امری ضروری است. در پی همین ضرورت، پژوهش حاضر به ارزیابی پتانسیل فرونشست زمین و عوامل مؤثر بر آن در دشت حاصلخیز فاروق-سیدان شهرستان مرودشت می‌پردازد. جهت انجام این پژوهش، ابتدا داده‌های مربوط به ۱۱ پیزومتر از ۱۴ پیزومتر موجود در دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۸۸ بررسی و به‌منظور تهیه نقشه خطر فرونشست از رابطه تجربی لامب-ویتمن استفاده شد. بدین‌صورت که بعد از شبکه‌بندی تیسن هر پیزومتر، پارامترهای یوکی اولیه، ضریب توانایی فشرده شدن، ضخامت اولیه لایه‌های موردنظر، تنش مؤثر اولیه و ثانویه برآورد و لایه‌های رستری ضخامت منطقه اشباع بین سطح ایستابی اولیه و سطح اساس فرضی، فشار آب منفذی اولیه، تغییرات تنش مؤثر، فرونشست احتمالی و خطر فرونشست تهیه شد. بررسی داده‌ها نشان داد که در دشت فاروق-سیدان، دو منطقه با خطر فرونشست خیلی زیاد (۵/۵۷ درصد از مساحت دشت) و زیاد (۱۹/۷۶ درصد از مساحت دشت) وجود دارد که عوامل تراکم و فشردگی میان لایه‌های رسی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی مؤثرترین عوامل هستند. در طول دوره ۱۳۷۵-۱۳۸۸، باوجود ۱۷۰۰ حلقه چاه کشاورزی در سطح دشت باعث افت ۱۷/۹۶ متری آب زیرزمینی شده و شرایط را جهت فشردگی میان لایه‌های رسی و فرونشست زمین فراهم کرده است.

واژگان کلیدی: فرونشست زمین، دشت فاروق-سیدان، سطح آب زیرزمینی.

مقدمه

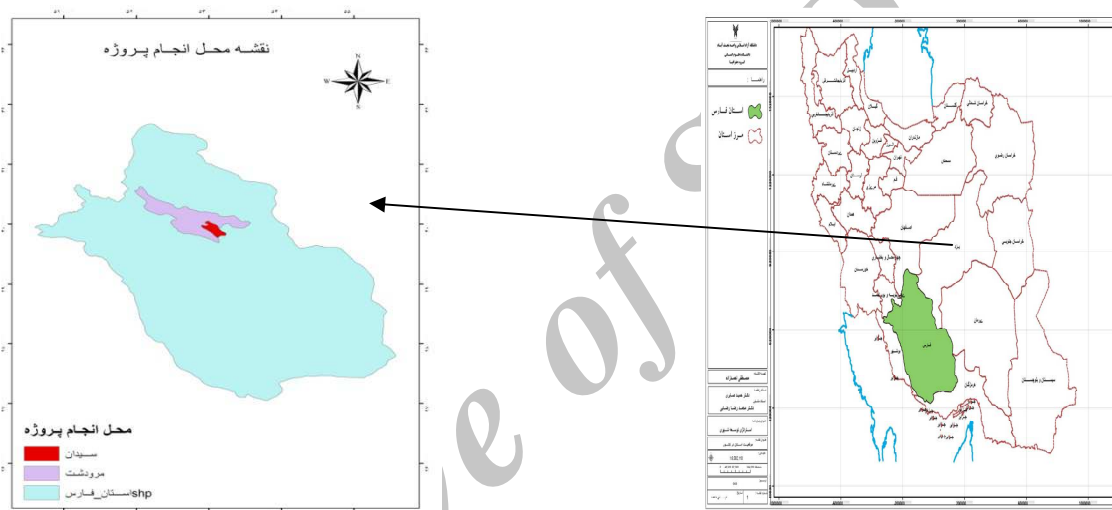
فرونشست زمین یکی از مخاطرات طبیعی است که در اغلب موارد به صورت عمودی اتفاق افتاده و در مدت زمان کوتاه محسوس نیست. عموماً این پدیده به صورت موضعی است و مکانیسم آن به فرایندهای فیزیکی و طبیعی بستگی دارد (امیدوار، ۱۳۹۰، ۶۵). فرونشست زمین تحت شرایط متعددی روی می‌دهد که از جمله آن‌ها می‌توان به فرونشست در اثر جابه‌جایی زمین، فرونشست در اثر بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی، فرونشست ناشی از احداث سدهای بزرگ و فرونشست ناشی از تکتونیک گنبد‌های نمکی اشاره کرد (امیدوار، ۱۳۹۰، ۶۶). با این وجود مهم‌ترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی و بهره‌برداری بیش‌ازحد از آن‌هاست (پاچکو و همکاران، ۲۰۰۶). در صورت افت ممتد سطح آب، افزایش تجمعی تراکم تأخیری لایه‌های زمین به وقوع می‌پیوندد. تأخیر در آغاز عملیات کنترل سطح آب، نشست بیشتری را به دنبال خواهد داشت و نشست رخ داده در این مناطق معمولاً برگشت‌ناپذیر خواهد بود (حمیدی، ۱۳۸۰). مقدار فرونشست زمین برای هر ۱۰ متر افت سطحی آب زیرزمینی معمولاً بین ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر است. دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع تنش وارد شده بستگی دارد (لافگرن، ۱۹۶۹).

در چند سال اخیر این پدیده به‌عنوان یک بحران جدی در بسیاری از دشت‌های حاصلخیز کشور اتفاق افتاده و نگرانی‌های قابل‌توجهی را به وجود آورده است. دشت سیدان فاروق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دشت‌های حاصلخیز استان فارس در چند سال اخیر به دلیل خشکسالی‌های مداوم، کاهش ذخیره سفره‌های زیرزمینی و تداوم برداشت آب با مشکل افت سطح آب‌های زیرزمینی و ظاهر شدن شکاف‌ها روبه‌رو است (رضایی و موسوی، ۱۳۹۰). محدوده‌ای که شکاف‌ها در آن ظاهر شده از شمار مناطقی است که بیشترین تخلیه سفره آب زیرزمینی در آن صورت گرفته و کاهش سطح آب زیرزمینی و وضعیت ساختاری منطقه سبب ایجاد یک نشست کلی در سطح دشت و در نزدیکی دامنه کوه‌ها و جاهایی که لایه‌بندی و ضخامت آن تغییر می‌کند شده است. با توجه به برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در منطقه و تعداد زیاد چاه‌ها (۱۷۰۰ حلقه چاه‌های مجاز و غیرمجاز) در مساحت ۱۴۶/۴ کیلومترمربع و دانه‌ریز بودن بافت خاک، منطقه دارای تراکم‌پذیری زیاد بوده و دشت مستعد پدیده فرونشست می‌باشد.

در مقیاس جهانی، خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب در بین سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۵۰ که هم‌زمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است به اوج خود رسید (والتام، ۱۹۸۹). گزارش‌های متعددی از فرونشست زمین خصوصاً از نقاط خشک و کم باران در سراسر جهان ارائه گردیده است (لارسون و همکاران، ۲۰۰۱، استیروس، ۲۰۰۱، کارمیناتی و مارتینلی، ۲۰۰۲، هو و همکاران، ۲۰۰۲ و پاچکو، ۲۰۰۶). این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند مکزیکوسیتی، تایلند، ژاپن، بانکوک و امریکا (ژو و ایساک، ۲۰۰۳)، شانگهای (کوآنلانگ، ۲۰۰۶) و نقاط دیگر از چین رخ داده است. یکی از مهم‌ترین فرونشست‌های منطقه‌ای در سطح زمین در جهان در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در ایالت کالیفرنیا در امریکا گزارش شده است. تا سال ۱۹۶۹ مقدار نشست در این ایالت در یک نقطه از آن ۸/۸ متر گزارش گردید (پولند، ۱۹۸۱). در ایران اولین بار فرونشست زمین در دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ همراه با پدیده لوله زایی در چاه‌های کشاورزی گزارش شده است (حسینی میلانی، ۱۳۷۳). در سال‌های اخیر پدیده فرونشست منطقه‌ای زمین در ارتباط با افت سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های دیگر کشور از جمله در دشت سیرجان (عباس نژاد، ۱۳۷۷)، زرد و کرمان (رحمانیان، ۱۳۶۵)، اردکان (یزدعالمی، ۱۳۸۱)، فامنین - کبود در آهنگ همدان (امیری و همکاران، ۱۳۸۳ و خورسندی، آقایی و عبدالی، ۱۳۸۵)، معین‌آباد - ورامین (شمسکی و انتظام سلطانی، ۱۳۸۴)، تهران - شهریار (بلورچی، ۱۳۸۴ و علی پور و همکاران، ۲۰۰۸) گزارش شده است. از طرفی هم‌اکنون ۹۱ درصد از دشت‌های استان فارس در معرض فرونشست می‌باشند به طوری که در برخی مناطق مثل صفاشهر و سورمق قطر این پدیده ۱ با عمق ۱۹ متر گزارش شده است (میرائی و همکاران، ۱۳۹۰).

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دشت سیدان - فاروق با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۷ دقیقه با مساحت ۳۶۹ کیلومترمربع که حدود ۱۹۶/۷۰ کیلومترمربع از آن را ارتفاعات و ۱۷۲/۳۰ کیلومترمربع را دشت تشکیل می‌دهد در مرکز حوزه آبخیز دریاچه‌های طشک - بختگان و مهارلو واقع شده است. این محدوده از شرق به محدوده ارسنجان، از جنوب به توابع ارسنجان، از جنوب غرب و شمال غرب به مرودشت - خرامه و از شمال به محدوده سعادت‌آباد محدود شده است. (شکل ۱) میانگین بارش سالیانه دشت سیدان-فاروق بین ۳۲۶ تا ۴۳۴ میلی‌متر و میانگین دمای آن بین ۳- تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد متغیر است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

به منظور انجام پژوهش حاضر، ابتدا داده‌های مربوط به ۱۱ پیژومتر از ۱۴ پیژومتر موجود در یک دوره آماری خرداد ۱۳۷۵ تا شهریور ۱۳۸۸ بررسی و سپس تصحیحات لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های اسکن شده با استفاده از ابزارهای ENVI 4 و ArcGIS-Arcmap انجام شد. سپس به منظور تهیه نقشه خطر فرونشست، فلوجارت زیر که بر اساس رابطه تجربی لامب-ویتمن است طراحی گردید. این فلوجارت با تهیه نقشه یا لایه برداری "موقعیت پیژومترهای منطقه" آغاز شده و به نقشه یا لایه رستری "خطر فرونشست" منطقه^۱ (LSRM) ختم می‌شود (شکل ۲). در ادامه روش تهیه هر یک از لایه‌های فلوجارت ارائه می‌شود.

^۱. lake superior Railroad Museum

$$e = \frac{n}{1-n} \quad \text{معادله (۱):}$$

که در آن:

$n =$ میزان تخلخل

ب- ضریب توانایی فشرده شدن (C_c)

یکی از مهم‌ترین ضرایب مؤثر در فرونشست بخش جامد آبخوان می‌باشد و نشان‌دهنده قابلیت یک نمونه رسوب در تراکم‌پذیری و یا فشرده شدن می‌باشد (طباطبایی، ۱۳۸۲). که بر اساس معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$C_c = 1.15(e_1 - 0.27) \quad \text{معادله (۲):}$$

که در آن:

$e_1 =$ نسبت پوکی اولیه

ج- ضخامت اولیه لایه‌های موردنظر یا فاصله سطح زمین تا سطح مینا (D_1)

جهت مشخص کردن مقادیر D_1 ابتدا لایه طبقات ارتفاعی (Z_1) و حداقل تراز سطح ایستابی (L_2) تهیه گردید و سپس لایه تراز سطح مینای فرضی (P) بر اساس کسر مقادیر افت سطح آب زیرزمینی از مقادیر حداکثر تراز سطح ایستابی آماده و لایه ضخامت اولیه لایه‌های موردنظر از تفریق لایه P از Z_1 تهیه گردید.

د- تنش مؤثر اولیه یا تنش مؤثر وارده بر سطح اساس حداکثر در حالت پرابی (σ'_1)

جهت تهیه لایه رستری تنش مؤثر اولیه، ابتدا مقادیر وزن ویژه ظاهری (γ) که به معنای وزن واحد رسوب می‌باشد در دو حالت خشک و اشباع بر اساس معادله ۳ محاسبه شد.

$$\gamma = \frac{\rho g}{v} \quad \text{معادله (۳):}$$

که در آن:

$v =$ حجم نمونه رسوب

$g =$ شتاب ثقل

$\rho =$ چگالی رسوب

سپس مقادیر ضخامت بخش غیراشباع اولیه (B_1) یا ضخامت رسوبات بخش غیراشباع قبل از فرونشست آبخوان با استفاده از آمار پیژومتری دشت فاروق- سیدان محاسبه گردید. در نهایت جهت تهیه لایه رستری تنش کل اولیه، مقادیر γ در B_1 ضرب و مقادیر σ'_1 رسوبات هر پیژومتر به دست آمد.

ر- تهیه لایه رستری مقادیر H_1

مقادیر H_1 نشان‌دهنده ضخامت منطقه اشباع بین سطح ایستابی اولیه و سطح اساس فرضی می‌باشد. جهت تهیه لایه این پارامتر، ابتدا لایه رستری حداکثر تراز سطح ایستابی (L_2) و سپس لایه رستری تراز سطح اساس فرضی (P) از این لایه کسر شده و لایه رستری H_1 به دست آمد.

ز- تهیه لایه رستری فشار آب منفذی اولیه (U_1)

فشار آب منفذی حاصل ضرب ارتفاع ستون آب (پارامتر H_1) در وزن مخصوص ویژه آب ($\gamma_w = 9/81 \text{ KN/m}^3$) می‌باشد که جهت تهیه این لایه عدد $9/81$ در لایه رستری H_1 ضرب شده و لایه رستری مقادیر U_1 به دست آمد.

همچنین تهیه لایه رستری تنش مؤثر ثانویه که نشان‌دهنده تنش مؤثر وارده بر سطح اساس فرضی در حالت کم‌آبی است مانند مراحل تهیه تنش مؤثر اولیه انجام شد.

ل- تهیه لایه رستری تغییرات تنش مؤثر ($\Delta\sigma'$)

تغییرات تنش مؤثر حاصل تفریق تنش مؤثر اولیه از تنش مؤثر ثانویه است ($\Delta\sigma' = \sigma'_2 - \sigma'_1$) و ارتباط مستقیمی با فرونشست زمین دارد. به عبارت دیگر در مناطقی از آبخوان که مقدار این پارامتر مثبت و بزرگ باشد احتمال فرونشست نیز بیشتر است (موریاما و شیباتا، ۱۹۶۱).

م- لایه رستری مقادیر احتمالی فرونشست

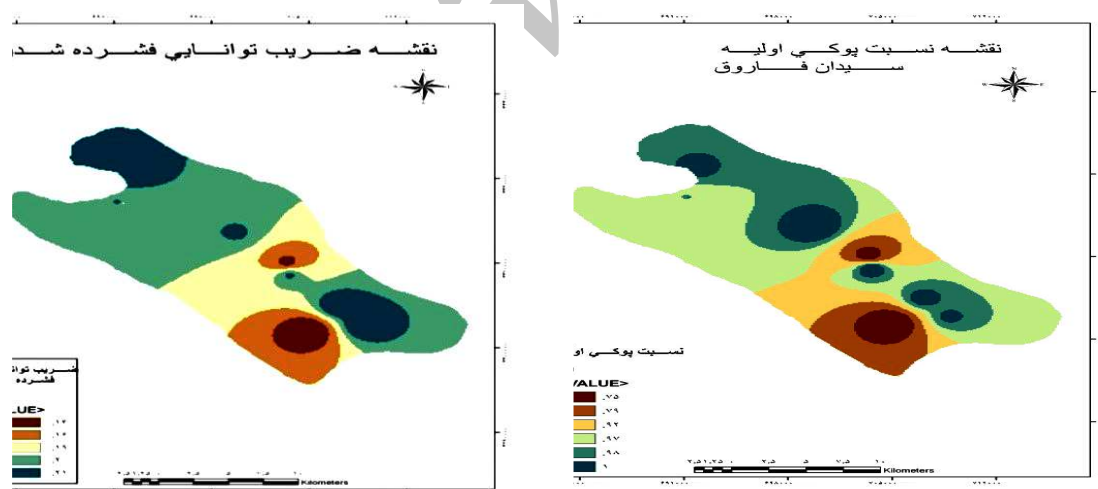
این لایه که نشان‌دهنده مقادیر تقریبی فرونشست است حاصل اعمال رابطه لامب- ویتمن بر روی لایه‌های رستری $D1, e1, Cc, \sigma_2$ و $\Delta\sigma'$ می‌باشد.

ن- لایه رستری خطر فرونشست (LSRM)

لایه رستری مزبور از انجام عملیات طبقه‌بندی مجدد بر روی لایه رستری مقادیر احتمالی فرونشست به دست می‌آید و نشان‌دهنده پهنه‌های مختلف خطر فرونشست است.

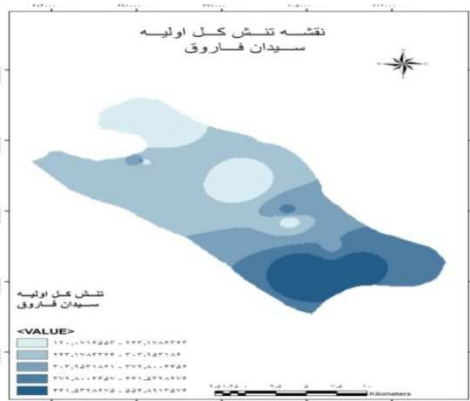
نتایج و بحث

شکل ۳ به ترتیب نقشه‌های نسبت پوکی اولیه، ضریب توانایی فشرده شدن، ضخامت اولیه و تنش کل اولیه را نشان می‌دهد. مطابق لایه رستری نسبت پوکی اولیه (شکل ۳، الف) مناطقی از دشت- سیدان فاروق که نسبت پوکی اولیه بالاتری دارند از رسوباتی تشکیل شده‌اند که تخلخل بیشتری داشته و احتمالاً درصد رس آن‌ها بیشتر است. همچنین مطابق لایه رستری ضریب توانایی فشرده شدن (شکل ۳، ب)، مناطقی از دشت سیدان- فاروق که C_c بالاتری دارند از رسوباتی تشکیل شده‌اند که درصد رس آن‌ها بیشتر است. شکل (۳، ج) ضخامت اولیه لایه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد که در واقع بیانگر حداقل سطح ایستایی می‌باشد. شکل (۳، د) تنش کل اولیه که حاصل ضرب وزن ویژه ظاهری رسوبات و ضخامت بخش غیراشباع است را نشان می‌دهد. به‌طور کلی این پارامتر در مواقع پرابی برآورد می‌گردد.

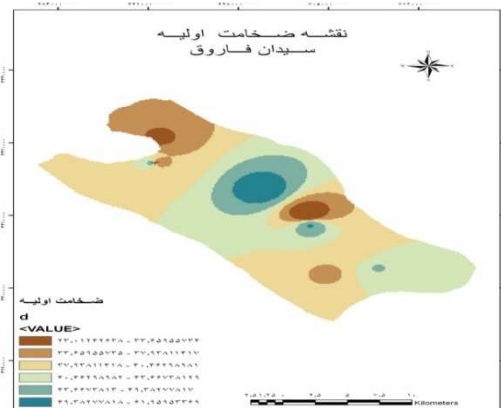


ب

الف



د



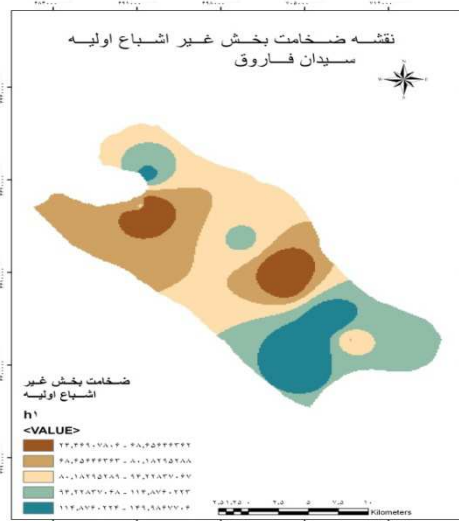
ج

شکل ۳: نقشه‌های نسبت پوکی، ضریب توانایی فشرده شدن، ضخامت و تنش کل اولیه دشت

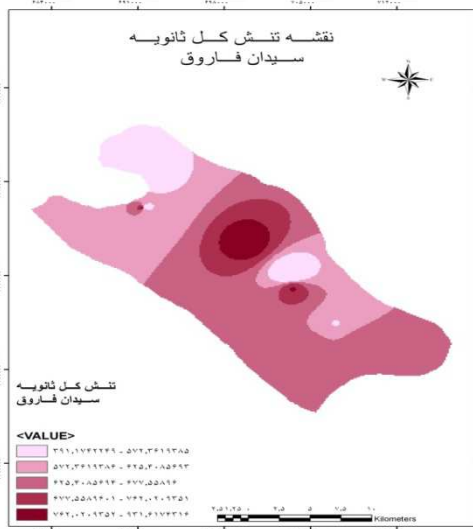
شکل (۴، الف) ، ضخامت بخش غیراشباع اولیه که در واقع همان ضخامت رسوبات غیراشباع قبل از فرونشست آبخوان است را نشان می‌دهد. این پارامتر در واقع همان عمق آب زیرزمینی در زمان پرابی است. شکل (۴، ب)، فشار منفذی که همان حاصل ضرب ارتفاع ستون آب در وزن مخصوص آب است را نشان می‌دهد. شکل (۴، ج)، تنش مؤثر ثانویه را نشان می‌دهد. رابطه بین تغییرات سطح آب و تراکم آبخوان بر اساس اصل تنش مؤثر استوار می‌باشد. بر طبق این اصل وزن رسوبات بالایی یا روباره یک آبخوان به وسیله بخش جامد و سیال محتوی در منافذ موجود تحمل می‌گردد. هنگامی که فشار سیال در فرایند تخلیه کاهش یابد (افت سطح پیزومتر و کاهش فشار آب منفذی) تنش مؤثر در محیط افزایش یافته و این موضوع باعث تراکم خاک و فرونشست آن می‌شود (آل خمیس و همکاران، ۱۳۸۵). شکل (۴، د)، تنش کل ثانویه که به مانند تنش کل اولیه محاسبه شده را نشان می‌دهد. تنها تفاوت موجود در آن است که تنش کل اولیه در مواقع پرابی و تنش کل ثانویه در مواقع کم‌آبی محاسبه می‌گردد.



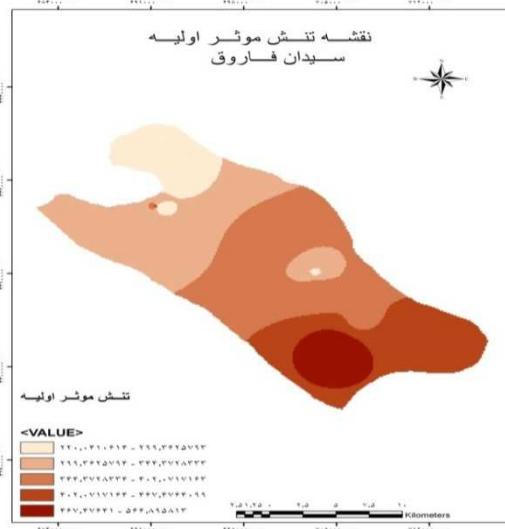
(ب)



(الف)



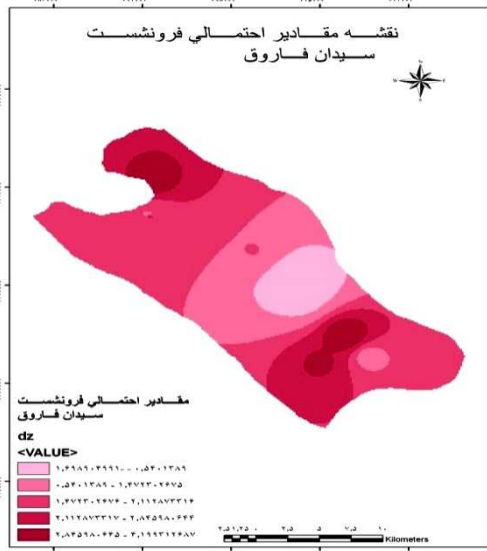
(د)



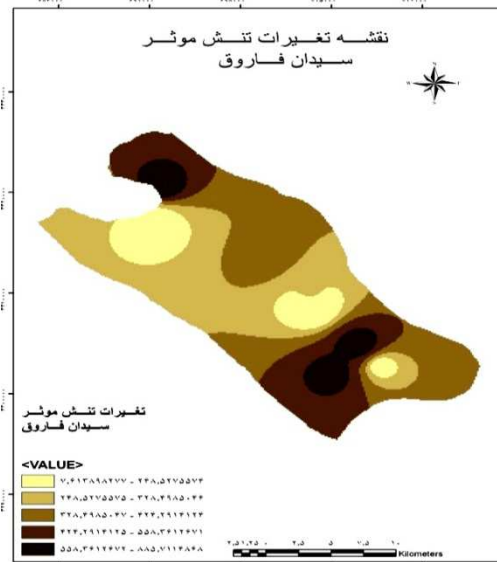
(ج)

شکل ۴: نقشه‌های ضخامت غیراشباع اولیه، فشار آب منفذی اولیه، تنش مؤثر اولیه و تنش کل ثانویه

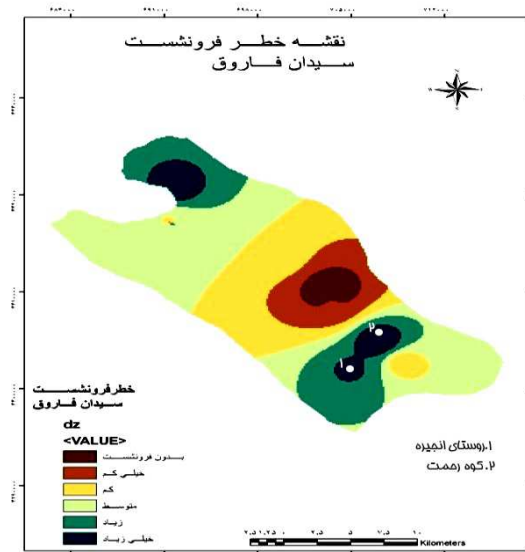
شکل ۵(الف)، تنش مؤثر ثانویه را نشان می‌دهد که تفاضل تنش کل اولیه و ثانویه بوده و هرچقدر که بزرگ‌تر باشد احتمال فرورانش بیشتر است.



ب



الف



ج

شکل ۵: نقشه‌های تغییرات تنش مؤثر، مقادیر احتمالی فرورانشست و نقشه خطر فرورانشست دشت

با توجه به شکل ۳ (الف و ب)، بیشترین میزان نسبت پوکی اولیه و ضریب توانایی فشرده شدن در دو ناحیه شمال غرب و جنوب شرق دشت قابل مشاهده است. از آنجا که هرچه قدر میزان نسبت پوکی اولیه و ضریب توانایی فشرده شدن افزایش یابد میزان خطر فرورانشست نیز افزایش می‌یابد. دو ناحیه‌ی شمال غرب و جنوب شرق دشت سیدان - فاروق بیشترین میزان خطر فرورانشست را به خود می‌بینند. با توجه به شکل ۳ (ج و د)، بیشترین ضخامت اولیه و تنش کل اولیه به ترتیب به نواحی مرکزی و جنوبی بالادست مربوط می‌شود. از طرفی بر اساس شکل ۴ (الف و ب)، بیشترین بخش ضخامت غیراشباع اولیه و فشار آب منفذی اولیه با مناطق فرورانشست زیاد و خیلی زیاد دشت سیدان - فاروق مطابقت دارد. همچنین با توجه به شکل ۴ (ج و د)، بیشترین تنش مؤثر مربوط به نواحی جنوب شرقی و بیشترین تنش کل ثانویه به نواحی مرکزی دشت اختصاص دارد. از طرفی با توجه به شکل ۵ (الف و ب)، بیشترین تنش مؤثر که نتیجه تفاضل تنش کل اولیه و ثانویه است در نواحی جنوب شرق و شمال غرب دشت دیده می‌شود. مطابق شکل ۵ (ب) حداقل و حداکثر فرورانشست قابل رخداد احتمالی در دشت سیدان - فاروق به ترتیب ۱/۰ تا ۴/۲ متر است و ناحیه جنوب شرق و قسمت‌های شمال غرب دشت سیدان فاروق پتانسیل بیشتری جهت فرورانشست زمین نشان می‌دهد. لایه رستری خطر فرورانشست دشت سیدان فاروق نشان می‌دهد که ۸/۱۶ کیلومترمربع از مجموع مساحت ۱۴۶/۴ کیلومترمربعی دشت سیدان - فاروق (حدود ۵/۵۷ درصد) در معرض خطر فرورانشست خیلی زیاد و ۳۸/۹۳ کیلومترمربع از آن که ۱۹/۷۶ درصد مساحت منطقه را تشکیل می‌دهد در معرض خطر فرورانشست زیاد قرار دارد و این امر نشان‌دهنده خطر بالقوه‌ای است که آبخوان آبرفتی دشت سیدان - فاروق را تهدید می‌کند (شکل ۵، ج). به منظور صحت سنجی مدل رستری خطر فرورانشست، نتایج حاصل از این مدل با فرورانشست‌های واقعی و گزارش شده در دشت سیدان - فاروق مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که نقشه خطر فرورانشست در دو مورد با فرورانشست‌های رخ داده در دشت سیدان - فاروق همخوانی نسبی دارد. یکی در حوالی روستاهای دامنه جنوب شرقی کوه رحمت و دیگری در شمال روستای انجیره، شهر سیدان و زمین‌های کشاورزی اطراف آن.

جدول ۱: نتایج حاصله از لایه رستری خطر فرورانشست (LSRM) دشت سیدان - فاروق

درصد مساحت	مساحت محدوده (کیلومتر مربع)	محدوده خطرپذیری	مقادیر فرورانشست محتمل (m)
۱۲/۱۶	۱۷/۸	خیلی کم	-۱/۰۶۸-۰/۵۴
۲۲/۸۵	۳۳/۴۷	کم	۰/۵۴-۱/۴
۳۷/۲۲	۵۴/۵۰	متوسط	۱/۴-۲/۱
۱۹/۷۶	۲۸/۹۳	زیاد	۲/۱-۲/۸
۵/۷۵	۸/۱۶	خیلی زیاد	۲/۸-۴/۱۹
۲/۲۶	۳/۲۲	بدون فرورانشست	

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از مدل رستر پایه خطر فرورانشست (LSRM) دشت سیدان - فاروق نشان‌دهنده ۲ منطقه با خطر فرورانشست خیلی زیاد (۵/۵۷ درصد از مساحت دشت سیدان فاروق) و ۲ منطقه با خطر فرورانشست زیاد (۱۹/۷۶ درصد مساحت دشت سیدان - فاروق) می‌باشد. این موضوع بیانگر خطر بالقوه‌ای است که آبخوان آبرفتی دشت سیدان - فاروق را تهدید می‌کند. از جمله عوامل مؤثر در فرورانشست دشت سیدان - فاروق می‌توان به عامل تراکم و فشردگی میان لایه - های رسی در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و توسعه و ریزش مجاری انحلالی کارستی در سنگ کف اشاره کرد. عامل اول را می‌توان به پمپاژ بی‌رویه چاه‌های کشاورزی و برداشت بیش‌ازاندازه آب از آبخوان آبرفتی دشت سیدان - فاروق نسبت داد. به‌طور متوسط در دشت سیدان فاروق ۱۷۰۰ حلقه چاه کشاورزی مجاز و غیرمجاز در هر کیلومتر مربع وجود دارد که معادل ۱۱/۶ حلقه چاه در هر کیلومتر مربع است. با احتساب پمپاژ برابر با ۱۰/۴۸ لیتر بر ثانیه و کارکرد سالیانه ۲۸۹۲ ساعت برای هر چاه، می‌توان انتظار داشت سالیانه از هر کیلومتر مربع از آبخوان این ناحیه ۱۲۶۵۶۶۸/۷۶۲ متر مکعب آب برداشت شود. این موضوع باعث شده تا سطح آب زیرزمینی این منطقه از خرداد ۷۵ تا شهریور ۸۸، در حدود ۱۷/۹۶ متر افت داشته و شرایط جهت فشردگی میان لایه‌های رسی و فرورانشست زمین فراهم شود. در نهایت به علت ناهمگن بودن آبخوان شرایط برای ایجاد شکاف‌های فرورانشستی در امتداد سطوح ضعف فراهم شده و شکاف‌هایی به وجود آیند. با توجه به رخنمون سازندهای کارستی و آهکی در مجاورت روستاهای کوه رحمت و کوه سیاه و سنگ کف آهکی این منطقه، می‌توان انتظار داشت ایجاد "فروچاله‌های" انحلالی در سنگ کف آبخوان آبرفتی یکی دیگر از عوامل مؤثر در فرورانشست زمین باشد.

منابع

- آخیمیس، ر. کریمینسب، س. آریانا، ف. (۱۳۸۵)؛ بررسی نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله‌های جدار، مجله آب و فاضلاب: شماره ۶۰.
- امیری، م، نظری پویا، ه، مظاهری، ح. (۱۳۸۳)، علل و مکانیسم وقوع فروچاله‌ها در دشت فامنین - کبودرآهنگ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۸۷-۱۷۲.
- امیدوار، کمال (۱۳۹۰)؛ مخاطرات طبیعی؛ انتشارات دانشگاه یزد.
- بلورچی، م. ج.، ۱۳۸۴، احتمال فرورانشست زمین در اراضی وسیعی از تهران. پایگاه خبری شریف نیوز.
- حسینی میلانی، م. (۱۳۷۳)، اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن، مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی، سیرجان، ۹۸-۹۱.

- حمیدی.ب.(۱۳۸۰)، تحکیم سه‌بعدی زمین در یکی از طرح‌های استان خوزستان، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس به سازی زمین، تهران، ۸۳-۷۶.
- خورسندی آقایی. الف، عبدالی.م.(۱۳۸۵)، بررسی پدیده فرونشینی زمین دشت همدان با دیدگاه متفاوت، مطالعه موردی: فرونشینی زمین طرح تغذیه مصنوعی جنوب نیروگاه، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۱-۱۳۵.
- درانی نژاد، محمدصادق (۱۳۹۰)؛ گزارش بررسی فرونشست منطقه داراب؛ سازمان آب منطقه‌ای فارس.
- رحمانیان.د.(۱۳۶۵)؛ نشست زمین و ایجاد شکاف در نتیجه تخلیه آب‌های زیرزمینی دشت کرمان، مجله آب؛ شماره ۶.
- رضایی، عبدالعلی؛ موسوی، نعمتا...؛ (۱۳۹۰)؛ گزارش پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت سیدان فاروق با مدل سری‌های زمانی؛ سازمان آب منطقه‌ای فارس.
- شمشکی. ا...، بلورچی. م، انصاری. ف، (۱۳۸۵)؛ بررسی نشست زمین در دشت تهران شهریار، گزارش نخست، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عالمی. الف، (۱۳۸۱)؛ بررسی علل نشست در دشت یزد - اردکان؛ سومین همایش بین‌المللی ژئوتکتونیک و مکانیک خاک ایران، تهران.
- عباس نژاد. الف، (۱۳۷۷)، بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی محیط‌زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- میراثی.س، رهنما. ح، بینش. م، الیاسی. م، (۱۳۹۰)؛ بررسی ژئوتکتیکی فرونشست زمین در اثر برداشت آب‌های زیرزمینی و توسعه بی‌رویه، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار. ایران.
- Alipour, A., Motagh, M., Sharifi, M., & Walter, T.R., (2008), *Satellite radar interferometry time series analysis of land subsidence caused by groundwater overexploitation in Tehran, Iran. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-10684.*
- Carminati, E., & Martinelli, G., (2002), *Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: The relative impact of natural and anthropogenic causation. Engineering Geology, 66: 241-255.*
- Hu, R.L., Wang, S.J., Lee, C.F., & Li, M.L., (2002), *Characteristics and trends of land subsidence in Tanggu, Tianjin, China. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 61:213-225.*
- Larson. K.J., Basagaoglu, H., & Marino, M.A., (2001), *Prediction of optimal safe ground water yield and land model. Journal of Hydrology.*
- Lofgern, B.E., (1969), *Field Measurement of aquifer system compaction, SanjoaquinBalley, California, U.S.A. proc, Tokyo Symp. On Land Subsidence, IASHUNSCO, 272-284.*
- Murayama S., Shibata T.Y (1961) *An experimental research on the Subsidence of ground (I), (Japanese), Annuals of Disaster Prevention Research Inst.. Kyoto Univ.:No. 4, pp. 11-20.*
- Poland, J.F., (1981), *The occurrence and control of land subsidence due to withdrawal with special reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys, California, ph.DDisertation, Standford University, Palo Alto, California.*
- Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutis, V., & Ochoa, G., (2006), *Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. Engineering Geology, 84:143-160.*

- *Quanlong, W.,(2006), Land subsidence and water management in Shanghai, Master thesis, Delfa University, Netherlands.*
- *Stiros, S.C.,(2001), Subsidence of the Thessaloniki(northern Greece) coastal plain, 1960-1999. Engineering Geology, 61:243-256.*
- *Waltham, A.C.(1989). Ground subsidence. Blackie & Son Limited.*
- *Zhou, G.Y., & Esaki, T.J.,(2003), GIS based spatial and predication system development for regional land subsidence hazard mitigation. Environmental Geology, 44:665-678.*

Archive of SID