



شناسایی مناطق مستعد فرونشست زمین در دشت سلماس با استفاده از چهارچوب GARDLIF

علی قربانی قره آغاچ^۱، اسفندیار عباس نوین پور^۲، معصومه آهنگری^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین شناسی گرایش آب شناسی، دانشگاه ارومیه، ایران. Email: alighorbani5.9.76@gmail.com

^۲استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه ارومیه، ایران. Email: e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir

^۳استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه ارومیه، ایران. Email: m.ahangari@urmia.ac.ir

چکیده

فرونشست یک پدیده بسیار آرام زمین شناسی است و غالباً یکی از دلایل اصلی آن در مناطق آبخوان کاهش تراز سطح آب زیرزمینی و برداشت بیش از حد آب های زیرزمینی است. عبارتی این پدیده تحت تاثیر فاکتورهای زمین شناسی از جمله وجود گسل، لایه های رسی، خاک های آلی و مناطق با ضخامت زیاد لایه آبدار و همچنین فعالیت های انسانی مانند معدن کاری، زهکشی خاک های ارگانیک و افت آب های زیرزمینی بر اثر برداشت بی رویه رخ می دهد. دشت سلماس در شمال غرب ایران، و شوره زارهای دریاچه ارومیه در قسمت شرق آن واقع شده است. با توجه به مطالعات انجام شده فرونشست در این منطقه ۱۲ سانتی متر در سال است. بنابراین در این تحقیق با بهره گیری از چهارچوب GARDLIF پهنه بندی فرونشست زمین در دشت سلماس انجام شد. به این منظور از هفت پارامتر از جمله افت سطح آب زیرزمینی، تخلیه آبخوان، تغذیه آبخوان، کاربری اراضی، محیط آبخوان و فاصله از گسل ها استفاده شد. نتایج به دست آمده حاکی از بیشترین امکان وقوع فرونشست مربوط به مناطق اطراف شهر سلماس و بخش غربی و شمال شرقی آبخوان است. در شواهد میدانی نیز در محدوده شهر سلماس فرونشست به صورت فروچاله ها و شکاف مشاهده شد. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که مؤثرترین پارامتر در فرونشست زمین افت سطح آب زیرزمینی (G) و پمپاژ از آبخوان (D) با میانگین تغییرات ۰/۲۷ و ۰/۱۵ و کم اثرترین پارامتر فاصله از گسل با میانگین تغییرات ۰/۰۰۲۵ هستند.

واژه های کلیدی

آب زیرزمینی، دشت سلماس، چهارچوب GRADLIF، فرونشست.



۱. مقاله

در مناطق مختلف ایران نیز پدیده فرونشست زمین با درجات متفاوت در حال رخ دادن است و بنا به نظر کارشناسان بیشتر فرونشست‌های ایران به دلیل تراکم آبخوان بر اثر پمپاژ و برداشت بی‌رویه آب است. اگر یک آبخوان دارای طبقات رس، سیلت بصورت میان لایه باشد، کاهش فشار آب در ماسه و گراول آبخوان باعث کاهش زهکشی از رس و سیلت شده که به پیرو آن فشار کاسته شده آب، توانمندی نگهداری رس و، سیلت را نداشته و بطور دائم این لایه‌ها متراکم می‌گردند. تراکم آبخوان بر خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان تأثیر گذاشته و سبب کاهش نفوذپذیری و افت ضریب ذخیره آن می‌گردد. لازم بذکر است که فرونشست معمولاً بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمان طولانی‌تر از برداشت اتفاق خواهد افتاد. بطوریکه میزان فرونشست برای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، از یک تا ۵۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند. این دامنه تغییرات تابعی از درجه و نوع تنش وارد شده، ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها و مدت زمان افزایش تنش است [4]. جانباز فوتمی و همکاران (۱۳۹۹) فرونشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی را با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری در استان قزوین را بررسی کردند. برای این منظور از ترکیب داده‌های ماهواره‌های Alos Palsar، Envisat و Sentinel از سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ استفاده کردند. تغییرات سطح ایستابی آبخوان از داده‌های ۱۸۰ چاه مشاهده‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین سالانه فرونشست زمین در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ در آبخوان قزوین ۳۹/۹ میلی‌متر و در استان قزوین این مقدار کمتر از ۳۳ میلی‌متر بوده است. در سطح استان قزوین بیشترین فرونشست‌ها در محدوده آبخوان رخ داده و مشاهدات نشان داد که در این ناحیه ضخامت لایه بیشتر ریزدانه بوده است. همچنین حداکثر فرونشست مربوط به شمال بوبین زهرا و مرز تاکستان می‌باشد که این امر را بدلیل تخلیه زیاد آب زیرزمینی در اثر افزایش سطح زیرکشت بیان کردند. همچنین نتایج نشان داد که افت سطح ایستابی و ضخامت لایه ریزدانه با مناطق دارای فرونشست همبستگی مثبت وجود دارد [1]. Bagheri-Gavkosh et al (۲۰۲۱) فرونشست زمین برای ۲۹۰ مطالعه موردی در سراسر جهان عمدتاً در شهرهای بزرگ (بانکوک، پکن، کالیفرنیا، هیوستون، مکزیکو سیتی، شانگهای، جاکارتا و توکیو) برای ۴۱ کشور جمع‌آوری و انجام دادند. توزیع مکانی فرونشست زمین برای شدت، بزرگی و منطقه آسیب‌دیده و سایر عوامل مورد بررسی قرار گرفت. فرونشست ناشی از عوامل انسانی ۷۶/۹۲ درصد و خروج آب زیرزمینی از کل آبخوان‌ها حدود ۶۰ درصد مشاهده شد. میزان همبستگی بین فرونشست و زمین با برداشت آب زیرزمینی ۰/۹۵ و با کاهش سطح آب زیرزمینی ۰/۸۸ مشاهده گردید [5]. Aalipour et al (۲۰۲۲) نقشه حساسیت فرونشست زمین توسط سیستم استنتاج فازی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تحت شرایط عدم قطعیت برای دشت اردبیل در شمال غرب ایران تهیه کردند. آنها مدل را با پنج لایه ورودی شامل سازند زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، کاهش سطح ایستابی، فاصله از گسل و شیب تشکیل دادند. برای اعتبار سنجی نقشه حساسیت از تکنیک SBAS-InSAR (رادار دیافراگرام مصنوعی تداخل سنجی) برای اندازه‌گیری فرونشست زمین از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که حساسیت زیاد و بسیار زیاد فرونشست زمین از شمال غرب تا جنوب شرق منطقه توزیع شده است که حدود ۵۰ درصد از سطح منطقه را در بر گرفته است. نتایج الگوریتم SBAS نشان داد که میزان فرونشست سالانه زمین ۲/۱۸ میلی‌متر در سال رسیده که بیشترین مقدار در بخش جنوبی مشاهده گردید. ضریب همبستگی نتایج InSAR و نقشه حساسیت در توزیع چند جمله‌ای $R^2 = 0.711$ بدست آمد [6]. در راستای مدل‌سازی و برآورد پدیده فرونشست و ارزیابی آن، تاکنون روش‌های مختلفی از قبیل روش‌های تجربی، روش‌های آماری، روش‌های تحلیلی، روش‌های عددی مبتنی بر مدل‌های ژئوتکنیک نظیر روش اجزاء محدود و روش‌های عددی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و پیشرفت‌های چشمگیری نیز در این زمینه حاصل شده است. در این زمینه سیستم اطلاعات جغرافیایی با پردازش اطلاعات و تهیه نقشه‌های تلفیقی از پارامترهای مختلف امکان تهیه نقشه‌های مختلف آسیب‌پذیری و فرونشست به محققان کمک نموده تا با ادغام مدل‌های هوشمند و سیستم اطلاعات جغرافیایی موقعیت مکانی نقاط پرخطر و کم‌خطر را شناسایی و مورد ارزیابی قرار دهند.

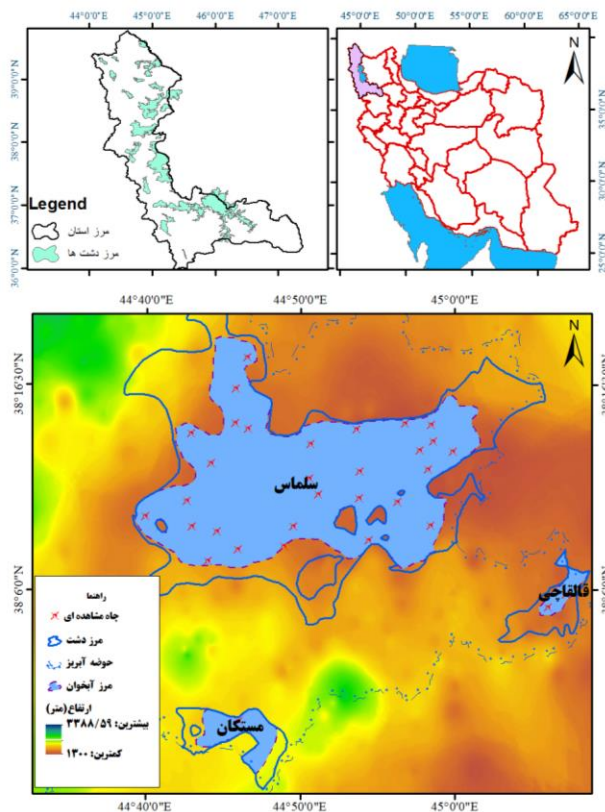
در این تحقیق برای تعیین مناطق مستعد فرونشست زمین در دشت سلماس با استفاده از مدل GARDLIF ارائه شده توسط نادری و همکاران (۱۳۹۷) انجام استفاده شد. سپس با استفاده از تحلیل حساسیت مؤثرترین پارامتر به‌دست آمد.



۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ منطقه مورد مطالعه

محدوده سلماس دارای مساحت ۲۶۱۲/۱ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۵/۲ درصد کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه را در برمی‌گیرد، در قسمت شمال غرب ایران و شمال استان آذربایجان غربی قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی دشت سلماس در بین ۴۰' و ۴۴° تا ۱۲' و ۴۵° طول شرقی و ۱۶' و ۳۸° تا ۶۰' و ۳۸° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). از این میزان ۵۳۸/۴ کیلومترمربع دشت و ۲۰۷۳/۷ کیلومتر مربع ارتفاعات مشرف بر دشت سلماس تشکیل می‌دهد. رودخانه زولاچای به عنوان اصلی‌ترین رودخانه در این محدوده جریان دارد که از ارتفاعات مرزی ترکیه سرچشمه گرفته و از سمت غرب به شرق محدوده جریان دارد. جریان سطحی در این محدوده وارد نمی‌شود و جریان سطحی خروجی از آن به محدوده جزایر دریاچه ارومیه تخلیه می‌گردد. حداکثر ارتفاع محدوده حدود ۳۰۰۰ متر و حداقل آن حدود ۱۲۷۰ متر می‌باشد که مربوط به حواشی دریاچه ارومیه می‌باشد. از سازه‌های مهم ذخیره و انتقال آب نیز در این محدوده سدهای زولا و دریک اشاره نمود. متوسط دمای سالانه در ارتفاعات دشت سلماس ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و بیشترین و کمترین دما متعلق به تیر و دی ماه می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در ارتفاعات و دشت به ترتیب ۳۸۳ و ۲۶۳/۹ میلی‌متر برآورد شده است (گزارش شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی). براساس نتایج به‌دست آمده از لوگ چاه‌های اکتشافی، دو نوع آبخوان آزاد (فالقاجی و مستکان) تحت فشار (سلماس) در دشت سلماس وجود دارد که روی همدیگر قرار گرفته‌اند [4].



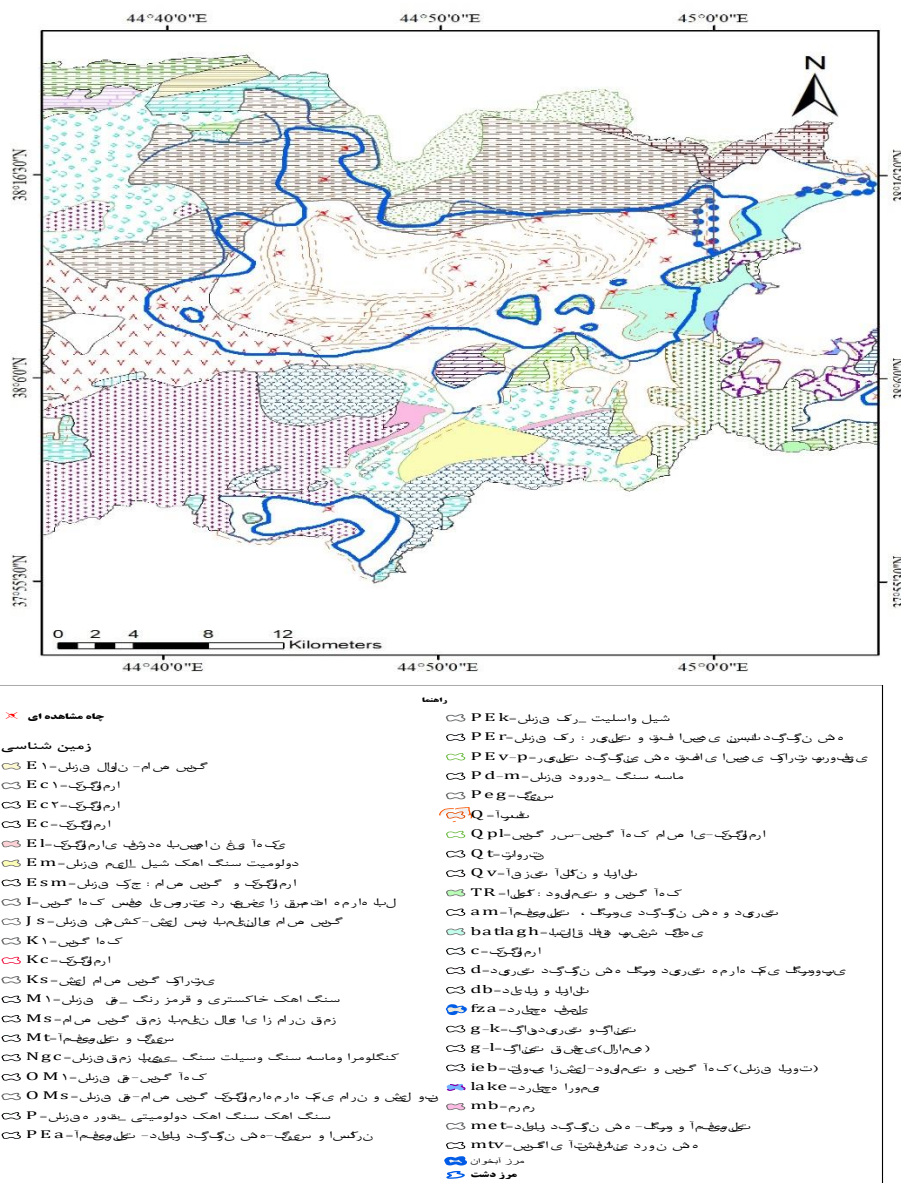
شکل ۱. موقعیت آبخوان در ایران و استان آذربایجان غربی

۲.۲ زمین‌شناسی

قدیمی‌ترین سنگهای محدوده مطالعاتی مربوط به واحد ریولیت دگرگون شده توفهای اسیدی و کوارتز پورفیری مربوط به دوره پرکامبرین می‌باشد. وسیع‌ترین آنها با وسعت ۳۹۴/۸ کیلومترمربع مربوط به سازند قم متشکل از ماسه سنگ، کنگومرا همراه کمی مارن و شیل متعلق به اولیگومیوسن می‌باشد. در این محدوده مطالعاتی سازندهایی که امکان ذخیره آب در آنها ایجاد شده شامل سنگهای آهکی سازند



قم و روته می‌باشند. از سازندهای غیرکربناته که دارای مخازنی با حجم ذخیره ضعیف بوده و یا در تغذیه آبخوانهای آبرفتی مؤثر هستند، می‌توان به سنگهای دگرگونی پرکامبرین، ماسه سنگهای سازند قم و کنگلومرا و مارن میوسن- پلیوسن اشاره نمود. زمین شناسی محدوده مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. از نظر کیفی رخنمون رسوبان تخریبی-تبخیری میوسن در این محدوده مطالعاتی می‌تواند باعث کاهش کیفیت مخازن آب زیرزمینی گردد. براساس نتایج آزمایش پمپاژ میزان ضریب ذخیره رسوبات آبرفتی در دشت سلماس بین ۰/۱ تا ۳/۵ درصد اندازه‌گیری شده است. منحنی‌های هم قابلیت انتقال ترسیمی، در جنوب شهر سلماس و در مرکز دشت منحنی بسته ۳۰۰۰ و در امتداد تقریباً شمال شرقی-جنوب غربی در مسیر رودخانه زولاچای کشیده شده است و منحنی ۱۰۰۰ مترمربع در روز قسمت اعظم دشت از جمله شهر سلماس را نیز احاطه کرده است. در قسمت غربی دشت منحنی‌های ۵۰۰ و ۷۵۰ مترمربع در روز در امتداد تقریباً شمالی-جنوبی و به موازات ارتفاعات در حاشیه دشت کشیده شده است [3].



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده سلماس - آذربایجان غربی



۳.۲ روش کار

۱.۳.۲ چهارچوب GARDLIF

در یک آبخوان فاکتورهای مختلفی می‌تواند بر فرورانش زمین تأثیر بگذارد. به‌طور کلی، فرورانش متأثر از فعالیت‌های انسانی و پارامترهای زمین‌شناسی است. این مدل از هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی شامل افت سالانه سطح آب زیرزمینی (G)، محیط آبخوان (A)، تغذیه خالص (R)، مقدار تخلیه یا پمپاژ (D)، کاربری اراضی (L)، ضخامت آبخوان (I) و فاصله از گسل (F) تشکیل شده است. ابتدا اطلاعات مربوط به این پارامترها به‌صورت تلفیقی تجزیه و تحلیل شده و سپس در محیط ArcGIS پردازش می‌شوند. در این مدل به هر پارامتر یک رتبه و یک وزن بر حسب اهمیت پارامتر اختصاص داده می‌شود. رتبه پارامترهای GARDLIF بین یک تا ۱۰ متغیر است، به‌طوری‌که یک به معنای کمترین و ۱۰ بیشترین خطر برای فرورانش زمین در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اهمیت نسبی هر پارامتر نسبت به پارامتر دیگر، وزن‌های یک تا پنج برای هفت پارامتر مدل GARDLIF در نظر گرفته شده است، مطابق جدول ۱ مؤثرترین پارامتر در آسیب‌پذیری فرورانش، وزن پنج و به کم‌ترین اثر آن وزن یک اختصاص یافت. شاخص مدل GARDLIF براساس وزن‌دهی به مجموع پارامترها محاسبه می‌شود (رابطه ۱).

$$GI = G_r G_w + A_r A_w + R_r R_w + D_r D_w + L_r L_w + I_r I_w + F_r F_w \quad (1)$$

در رابطه فوق GI شاخص آسیب‌پذیری، حروف بزرگ نشان‌دهنده پارامترهای مدل، I رتبه و W وزنی است که به هر پارامتر اختصاص داده می‌شود. با محاسبه شاخص GI، نواحی مستعد فرورانش آبخوان قابل تشخیص می‌باشد. هرچه این شاخص بزرگ‌تر باشد، بیان می‌کند که خطر فرورانش احتمالی بیشتر است. قابل ذکر است که شاخص بدست آمده فقط یک ارزیابی نسبی را ارائه می‌کند و نواحی به‌شدت محتمل فرورانش را از مناطق کمتر متحمل جدا می‌سازد و قابلیت ارزیابی مطلق را ندارد.

جدول ۱. وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل [3] GARDLIF

وزن نسبی	پارامترها
۵	افت سطح آب زیرزمینی
۴	محیط آبخوان
۲	مقدار تغذیه خالص
۴	مقدار تخلیه آبخوان
۵	کاربری اراضی
۳	ضخامت آبخوان
۱	فاصله از گسل

جدول ۲. بازه‌ها و رتبه‌های مربوط به پارامترهای مختلف در مدل [3] GARDLIF

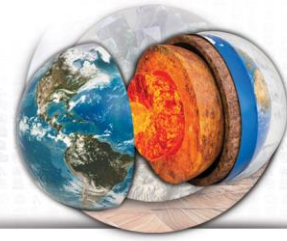
تخلیه از آبخوان (سانتی‌متر در سال)		تغذیه خالص (سانتی‌متر در سال)		محیط آبخوان		افت سطح آب زیرزمینی (متر) در سال	
محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه
۰/۰۰۰۴ - ۰	۱	۴ - ۰	۱۰	رسوبات آبرفتی دانه‌درشت	۶ - ۳	۰/۰۲ - ۰	۱
۰/۰۰۵ - ۰/۰۰۰۴	۲	۹ - ۴	۹	رس و سیلت	۱۰ - ۹	۰/۰۵ - ۰/۰۲	۲
۰/۰۱ - ۰/۰۰۵	۳	۱۴ - ۹	۷	ماسه با اندکی سیلت و رس	۸ - ۶	۰/۱ - ۰/۰۵	۳
۰/۵ - ۰/۰۱	۴	۱۹ - ۱۴	۵	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	۵ - ۳	۰/۳ - ۰/۱	۴
۱ - ۰/۵	۵	۲۴ - ۱۹	۳	سنگ آهک کارستی	۹ - ۷	۰/۶ - ۰/۳	۵
۵ - ۱	۶	>۲۴	۱	سنگ آذرین با دگرگونی	۴ - ۱	۰/۹ - ۰/۶	۶
۲۰ - ۵	۷			ماسه و گراول با سیلت و رس زیاد	۹ - ۷	۱/۲ - ۰/۹	۷
۴۰ - ۲۰	۸			خاک‌های آلی (پیت و مواد تورب‌دار)	۱۰ - ۸	۱/۵ - ۱/۲	۸
۶۵ - ۴۰	۹					۲ - ۱/۵	۹
>۶۵	۱۰					>۲	۱۰



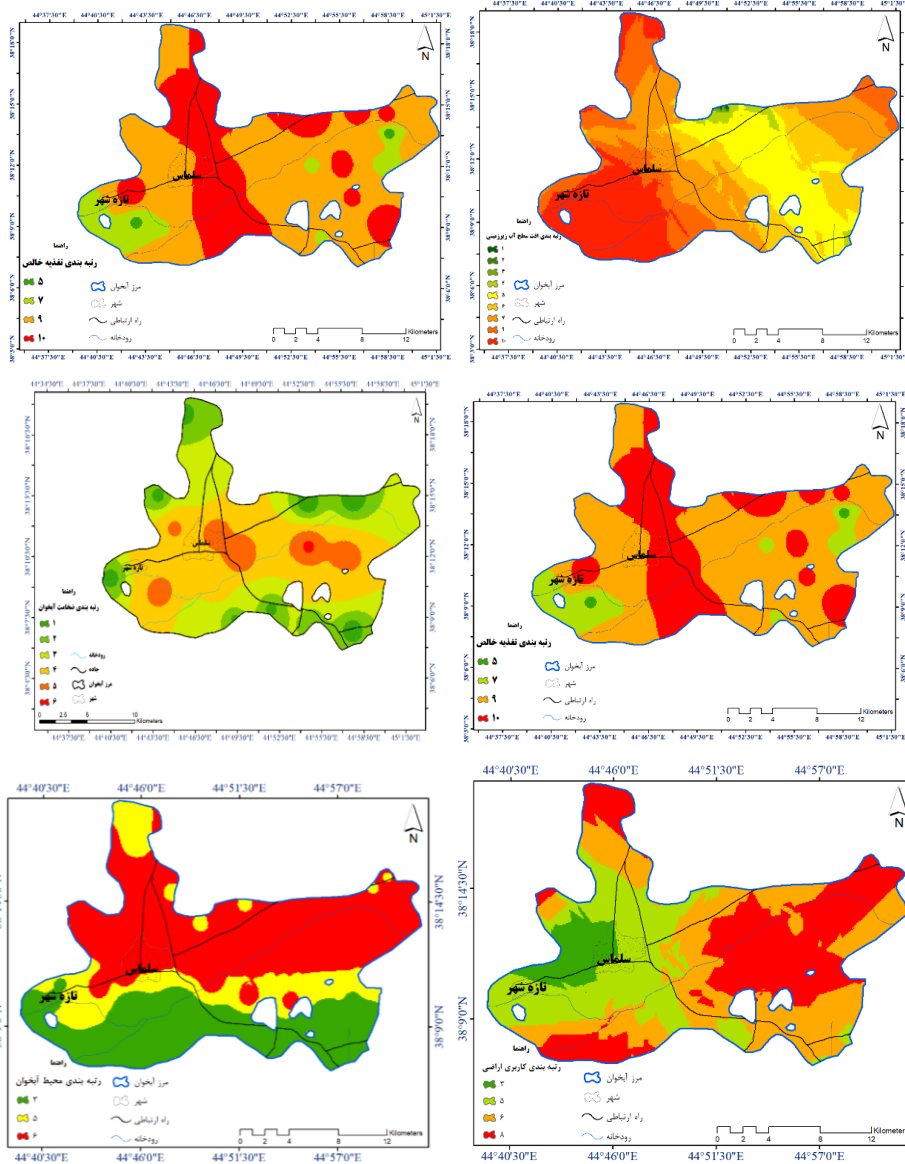
ضخامت آبخوان (متر)		کاربری اراضی		فاصله از گسل (کیلومتر)	
محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه
>25	1	مناطق آبیاری (کشت محصولات سالانه، مزارع برنج و چغندرقد)	10-8	<1	10
55-25	2	کشت محصولات دائمی (باغها، مزارع انگور)	8-6	2-1	8
90-55	3	مناطق کشاورزی دیم	3-1	3-2	6
130-90	4	مراعات و مناطق جنگلی	3-1	4-3	4
175-130	5	زمینهای بایر و مناطق طبیعی	3-1	5-4	2
225-175	6	مناطق شهری، محل احداث سد، فرودگاهها، بندر و مناطق صنعتی و تجاری فعال	8-4	>5	1
280-225	7	میدان نفتی و محل استخراج نفت و گاز	10-8		
340-280	8	معدن کاری و استخراج مواد معدنی مانند زغال سنگ	9-5		
405-340	9				
>405	10				

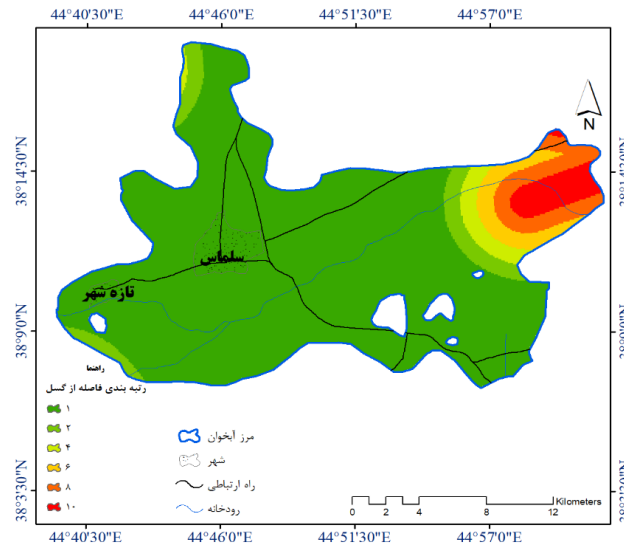
۳. نتایج

برای تهیه نقشه افت سطح آب آبخوان دشت سلماس، آمار سطح آب زیرزمینی ۴۹ حلقه چاه مشاهده‌ای در دوره ۲۰ ساله (۱۳۸۰-۱۴۰۰) از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی تهیه شد. مقدار افت متوسط سالانه در هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای طی این مدت محاسبه شد. سپس، برای تبدیل داده‌های افت نقطه‌ای در چاه‌های ذکر شده به سطح، از روش درون‌یابی استفاده شد. برای انجام درون‌یابی، روش‌های معکوس وزنی فاصله (IDW)، کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده به کار گرفته شد. در نهایت روش کریجینگ ساده که خطای محاسباتی کمتری نسبت به سایر روش‌ها را داشت برای درون‌یابی افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی انتخاب شد. به این ترتیب نقشه هم‌ارزش افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی تهیه شد. در مرحله بعد، مطابق جدول ۲ کلاس‌بندی و رتبه‌دهی انجام شد و نقشه رتبه‌بندی افت متوسط سالانه آب زیرزمینی به دست آمد (شکل ۷-الف). در این پژوهش برای محاسبه مقدار تغذیه آبخوان، از روش تغییرات حجم آب زیرزمینی آبخوان استفاده شد. برای تهیه لایه محیط آبخوان دشت سلماس از لاگ چاه‌های اکتشافی منطقه استفاده شده است. برحسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر یک از چاه‌ها، مطابق معیارهای مدل GARDLIF و با توجه به جدول شماره (۲) یک ارزش عددی بین سه تا نه به هر چاه اختصاص داده شد. سپس این اطلاعات وارد محیط Excel شد و براساس مختصات جغرافیایی مربوط به آن، در محیط نرم‌افزار ArcGIS به یک لایه نقطه‌ای تبدیل گردید و سپس با استفاده از روش کریجینگ ساده درون‌یابی شد و به کل منطقه تعمیم داده شد و به این ترتیب نقشه لایه محیط آبخوان دشت سلماس تهیه شد. مطابق شکل (۷-ب) رتبه‌بندی جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان دشت سلماس در بخش جنوبی درشت دانه و آبرفتی، بخش مرکزی ماسه سنگ و درشت دانه و لایه‌های رس و سیلت در میان آنها و بخش شمالی سیلت و رس و ترکیبی از ماسه، شن و سیلت هستند. بخش شمالی آبخوان رتبه بیشتری را نسبت به بخش جنوبی گرفته است چرا که هر چه به سمت شمال می‌رویم، جنس رسوبات ریزتر و و بیشتر از نوع سیلت و رس هستند. در پژوهش نادری و همکاران (۱۳۹۹) بیان شد که جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان دشت سلماس بیشتر از شن، ماسه، سیلت و رس و ترکیبی از آنها است [4]. بخش‌های مرکزی قطر ذرات کاهش، لایه‌های رس و سیلت به صورت میان لایه‌های مابین طبقات دیگر سبب تشکیل آبخوان شده است. در ارتباط با ضخامت آبخوان نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که آبخوان سلماس نوار بخش جنوبی و شمالی و قسمت حاشیه دریاچه ارومیه بین ۱۰ تا ۵۵ متر و بخش مرکزی که جنس سنگ کف عمدتاً رسوبات دانه‌ریز از قبیل مارن و رس بوده و ضخامت آبخوان بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر متغیر می‌باشد. برای تهیه لایه فاصله از گسل‌های منطقه، موقعیت گسل‌های موجود را از روی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است، به دست آمد و در محیط ArcGIS با استفاده از فاصله اقلیدسی نقشه تهیه و براساس معیار مدل GARDLIF رتبه‌دهی انجام شد. در نقشه فاصله از گسل به مناطقی که فاصله بیشتر از پنج کیلومتر از گسل قرار دارند، رتبه ۱ داده شد و مطابق شکل (۷-ب) بخش شرق آبخوان نزدیک قره



قشلاق به گسل نزدیکتر رتبه ۶ تا ۱۰ را داشته است و بقیه مناطق آبخوان دارای رتبه بندی یک می باشد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از نقشه کاربری محدوده سلماس استفاده شد و رتبه دهی انجام شد.

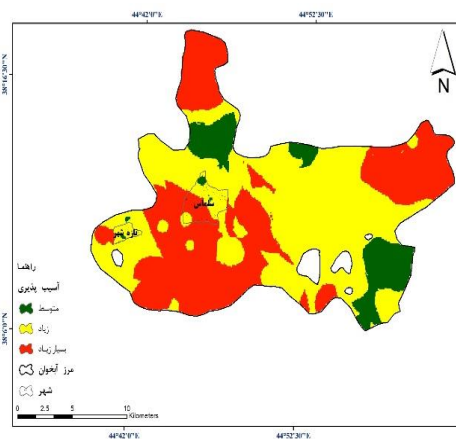




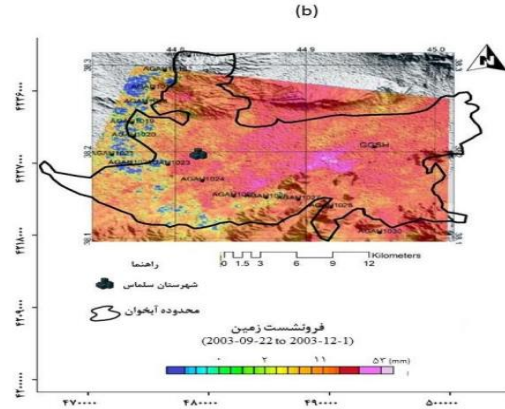
شکل ۷. رتبه بندی پارامترهای الف) افت سطح آب زیرزمینی، ب) تغذیه خالص، ج) تخلیه از آبخوان، د) ضخامت آبخوان، ه) کاربری اراضی، ی) محیط آبخوان، و) فاصله از غسل در آبخوان دشت سلماس

۱.۳ اجرای مدل و محاسبه اندیس آسیب پذیری GARDLIF در آبخوان سلماس

در این مرحله مدل GARDLIF با توجه به وزن‌های ارائه شده در جدول ۱ اجرا شد و از تلفیق لایه‌ها با استفاده از تابع هم‌پوشانی وزنی از طریق منوی Raster calculator در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد و نقشه آسیب‌پذیری فرونشست منطقه تهیه شد. این شاخص برای آبخوان دشت سلماس بین ۱۰۷ تا ۱۷۴ به دست آمد. براساس شاخص به دست آمده آبخوان را از نظر آسیب‌پذیری فرونشست به سه ناحیه با آسیب‌پذیری متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم گردید (شکل ۹). مطابق نتایج به دست آمده مناطق با آسیب‌پذیری زیاد دارای بیشترین مساحت آبخوان را به خود اختصاص می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد در اطراف شهر سلماس (غرب دشت سلماس) امکان وقوع پدیده فرونشست بسیار زیاد است. نتایج مطالعات انجام شده توسط نادری و همکاران (۱۳۹۷) و Moghadam Azar et al. (2012) در دشت سلماس در قسمت جنوب غربی، شمال شرقی امکان وقوع پدیده فرونشست بسیار زیاد هست در این مطالعه نیز در شاخص و بهینه‌سازی همین نتایج قابل مشاهده است [4]. همچنین آنها دریافتند که براساس تصاویر برداشتی در سال ۲۰۰۳ روش تداخل سنجی راداری و تصاویر گرفته شده از منطقه حاکی از پدیده فرونشست با حداقل ۷ سانتی‌متر در سال است (شکل ۱۰).



شکل ۹. نقشه آسیب‌پذیری ذاتی فرونشست در آبخوان دشت سلماس با استفاده از مدل GARDLIF



شکل ۱۰. تعیین مقدار فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر منطقه (لکستان) [4]

۲.۳ تحلیل حساسیت چهارچوب GARDLIF

داده‌های ورودی مدل در نقشه نهایی به دست آمده تاثیرگذار بطوریکه هم‌پوشانی به فاکتورهای زیادی مانند نوع هم‌پوشانی انجام شده، مقدار وزن‌ها، تعداد پارامترها و همچنین عدم قطعیت وابسته به هر نقشه بستگی دارد (Rosen, 1994). در این پژوهش میزان تأثیرپذیری هر یک از پارامترهای GARDLIF برای ارزیابی آسیب‌پذیری فرونشست آبخوان دشت سلماس با استفاده از تحلیل حساسیت حذف نقشه بررسی شد. در این مرحله، با استفاده از نرم‌افزار SPSS همبستگی بین پارامترها به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که بین پارامترها همبستگی وجود ندارد لذا احتمال خطا در نقشه خروجی مدل را کاهش می‌دهد. در تحلیل حساسیت حذف نقشه، در هر مرحله یکی از پارامترهای مدل حذف شده و شاخص آسیب‌پذیری برای هر کدام به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. در محیط GIS میزان حساسیت (S) برای کمترین حد، بیشترین حد، میانگین و انحراف معیار با استفاده از مقایسه دو نقشه با حذف و بدون حذف پارامتر بدست آمد. نتایج تحلیل حساسیت نقشه مدل GARDLIF برای آبخوان دشت سلماس در جدول ۵ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد بیشترین تغییر در شاخص GARDLIF با حذف پارامتر G با میانگین تغییرات ۰/۲۷ اتفاق می‌افتد. این موضوع به علت وسعت زیاد در تخلیه آبخوان با رتبه بالا و بیشترین وزن این پارامتر بوده است. این پارامتر نیز در پژوهش نادری و همکاران (۱۳۹۷) بیان شده است. همچنین بعد از این پارامتر لایه‌ی پمپاژ آبخوان (D) با میانگین تغییرات ۰/۱۵ بیشترین تغییر در شاخص GARDLIF با حذف پارامتر مشاهده گردید. این موضوع علاوه بر وزن زیاد این پارامتر، بیشتر سطح منطقه کشاورزی بوده است بنابراین طبق شواهد میدانی مشاهده شده که در مناطق کشاورزی به علت افزایش برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی باعث پدیده فرونشست و پدیدار شدن شکاف در ساختمان‌ها و زمین‌ها کشاورزی شده است. کم اثرترین پارامتر در آسیب‌پذیری فرونشست، پارامتر F با میانگین شاخص ۰/۰۲۵ درصد است.

جدول ۴. ماتریس همبستگی پارامترهای مدل GARDLIF

لایه‌ها	G	A	R	D	L	I	F
G	۱						
A	۰/۰۹	۱					
R	۰/۱۵۲	۰/۰۳	۱				
D	-۰/۴۲۱	-۰/۰۸	-۰/۴۳۴	۱			
L	-۰/۵۲۹	-۰/۳۵۶	۰/۱۰۸	۰/۱۳۴	۱		
I	-۰/۳۹۷	-۰/۲۹۱	۰/۲۹۶	۰/۱۵۲	۰/۴۵۶	۱	
F	-۰/۲۹۸	۰/۱۹۴	-۰/۳۵۸	۰/۷۹۶	-۰/۱۴۵	-۰/۰۴	۱



جدول ۵. نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف نقشه

Std dev	میزان حساسیت (%S)			پارامتر حذف شده
	Mean	Min	Max	
۰/۰۷۵	۰/۲۷	۰/۰۰۱	۰/۲۹	G
۰/۲۸	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۱	A
۰/۳۱	۰/۰۰۸	۰	۰/۰۲	R
۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۲۳	D
۰/۰۹	۰/۰۳	۰	۰/۱	L
۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۱	I
۰/۰۰۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۱	۰/۰۳۵	F

۴. نتیجه‌گیری و بحث

از نتایج به‌دست آمده توسط چهارچوب GRADLIF در تعیین مناطق مستعد فرونشست مشخص شد که محدوده دشت سلماس در سه کلاس‌بندی متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار داشت و کلاس‌بندی خیلی‌زیاد بخش‌های غربی و شمال غربی (محدوده روستای قره قشلاق، تازه شهر و سلماس) بوده است. با مقایسه انجام شده نقشه‌ی پهنه‌بندی فرونشست دشت سلماس با شواهد میدانی که در دشت به صورت فروچاله و شکاف بوده و همچنین تصاویر برداشتی از روش تداخل‌سنجی راداری در سال ۲۰۰۳ مشخص گردید که این مناطق نیز دارای فرونشست بوده و لازم است در این بخش‌ها به میزان برداشت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی منطقه، الگوی مصرف آب در بخش‌های مختلف شرب و کشاورزی و آگاه‌سازی مصرف‌کنندگان در خصوص مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی توجهی بیشتر صورت گیرد. از تحلیل نتایج مؤثرترین پارامترها در وقوع پدیده فرونشست زمین به ترتیب افت سطح آب زیرزمینی (G)، پمپاژ از آبخوان (D)، کاربری اراضی (L)، ضخامت آبخوان (I) و محیط آبخوان (A) (جنس رسوبات آبخوان) هستند. از بین پارامترها، پارامتر فاصله از گسل (F) به‌دلیل رتبه کم آن در بیشتر قسمت‌های آبخوان، کمترین تغییر در شاخص آسیب‌پذیری دشت خوی اتفاق می‌افتد.

منابع

- [1] جانباز فوتمی م، خلقی م، عبده کلاهی ع، روستایی م. آ. ۱۳۹۹. بررسی فرونشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستایی آب زیرزمینی با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری: مطالعه موردی استان قزوین. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۳): ۱۳۳-۱۴۷.
- [2] علیزاده، ا. ۱۳۷۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. نهمین دوره چاپ، صفحه: ۳۵.
- [3] گزارش آب منطقه ای آذربایجان غربی. ۱۳۹۰. مطالعات بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز ارومیه.
- [4] نادری ک، ندیری ع، اصغری مقدم ا. و کرد م. ۱۳۹۷. روشی جدید برای شناسایی و تعیین مناطق در معرض خطر فرونشست (مطالعه موردی: آبخوان دشت سلماس). مجله آکو هیدرولوژی، ۱۵(۱): ۸۵-۹۷.
- [4] Kuehn F, Albiol D, Cooksley G, Duro J, Granda J, Haas S, et al. (2010). Detection of land subsidence in Semarang, Indonesia, using stable points network (SPN) technique. *Environ Earth Sci.* 60(5):909-21.
- [5] Bagheri-Gavkosha M, Hosseini S.M, Ataie-Ashtiani B, Sohani Y, Ebrahimian H, Morovat F, Ashrafi Sh. 2021. Land subsidence: A global challenge, *Science of The Total Environment.* 778(15):146193.
- [6] Aalipour M, Malekmohammadi B, Ghorbani Z. 2022. Mapping land subsidence susceptibility due to groundwater decline using fuzzy pixel-based models. *Arabian Journal of Geosciences.* 15: 1014.