مقایسهٔ آسیب‌پذیری فرونشست آبخوان دشت جنوب‌غربی تهران با مدل وزن‌دهی ساده (مدلALPRIFT) و الگوریتم ژنتیک

علی منافی آذر، ماشااله خامه چیان*؛ دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ علوم
عطااله ندیری، دانشگاه تبریز

دریافت ۹۶/۱۰/۱۲ پذیرش ۹۷/۰۴/۲۵

چکیده

فرونشست سطح زمین در اثر استخراج بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، یکی از رویدادهایی است که در ایران به‌وفور مشاهده شده است. این پدیده در صورت نبود مدیریت صحیح، می‌تواند خسارات جبران ناپذیری را برای مناطق دچار این پدیده، ایجاد کند. هم‌چنین رشد جمعیت و فناوری زراعی، استفاده بیش از ظرفیت منابع آب زیرزمینی برخی از نقاط ایران را به‌دنبال داشته است. نرخ فرونشست زمین ناشی از برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی در دشت تهران در طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. در چنین شرایطی آثار زیان‌بار آن بر زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌ها، شریان‌های حیاتی و دگرشکلی‌های سطح زمین به‌صورت فروچاله‌ها، ترک‌ها و شکاف‌های زمین در حال گسترش هستند. در این پژوهش با استفاده از مدل ALPRIFT که یک مدل وزن‌دهی ساده است و شامل ۷ لایهٔ مؤثر بر فرونشست (جنس لایه‌های زیرین، کاربری زمین، پمپاژ، تغذیه، ضخامت آبخوان، فاصله از گسل، افت سطح آب زیرزمینی) است میزان آسیب‌پذیری فرونشست دشت با تلفیق لایه‌ها در محیط Arc GIS برای فاصلهٔ زمانی یک سال (۱۳۹۵-۱۳۹۴) به‌دست آمد و برای صحت‌سنجی این مدل از نقشهٔ ماهواره‌ای InSAR استفاده شد. با وجود قابل قبول بودن نتایج، برای بهبود نتایج حاصل و بهینه‌سازی وزن‌های اعمال شده از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی وزن‌های اعمال شده به‌وسیلهٔ الگوریتم ژنتیک، با افزایش ضریب هم‌بستگی از ۰/۶۴ به ۰/۷۵، بین شاخص فرونشست و فرونشست‌های به‌دست آمده در دشت، توانایی بیش‌تری در ارزیابی فرونشست دارد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل فرونشست، آبخوان، بهینه‌سازی وزن، مدل ALPRIFT، الگوریتم ژنتیک، نقشهٔ ماهواره‌ای InSAR

مقدمه

فرونشست زمین[1] فروریزش یا پایین رفتن سطح زمین به‌صورت تغییرات قائم با جابه‌جایی‌های اندک افقی است. فرونشست زمین در اثر فرآیندهای طبیعی[2] مانند آب شدگی یخ‌ها، تراکم نهشته‌ها، حرکات آرام پوسته زمین و خروج گدازه و یا فعالیت‌های انسان‌زاد[3] مانند برداشت سیالات زیرسطحی (آب‌های زیرزمینی، نفت و گاز) و معدنکاری ایجاد می‌شود [۱]. فرونشست ناشی از عوامل طبیعی اغلب به‌صورت تدریجی و در مدت زمان طولانی رخ می‌دهد که اثرات ناشی از آن چندان خطر جدی محسوب نمی‌شوند، اما فرونشست ایجاد شده تحت تأثیر عوامل انسانی معمولا به‌صورت

نویسندهٔ مسئول khamechm@modares.ac.ir

1. Land subsidence
2. Natural processes
3. Anthropogenic

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

ناگهانی رخ داده و در مدت زمان کم‌تر، اثرات زیانباری از خود به‌جا می‌گذارد [۲]. امروزه فرونشست زمین براثر برداشت بی‌رویه ازلایه‌های آبدار زیرزمینی، معضل و مخاطره‌ای است که جوامع ساکن بر آن را در سطوح بین‌المللی تهدید می‌کند. براساس برآورد کارشناسان، بیش از ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ دنیا با گستره‌ای از کشورهای توسعه یافته تا در حال توسعه در معرض این پدیده قرار دارند [۳].

فرونشست زمین در اثر برداشت آب‌های زیرزمینی، موجب تغییر در توزیع تنش شده و باعث افزایش تنش مؤثر در خاک می‌شود. بار ژئواستاتیکی وارده بر مخزن آبخوان در اثر افت سطح ایستابی که همراه با خالی شدن فضاهای موجود در مصالح خاک ناشی از برداشت آب و افزایش خلل و فرج موجود در آن است، موجب فشردگی و تراکم لایه‌های خاک خواهد شد و با برداشت آب زیرزمینی، میزان تنش‌های مؤثر قائم و افقی افزایش خواهند یافت [۴]. فرونشست به‌عنوان مخاطره‌ای زیست‌محیطی، به‌دلیل عملکرد آرام و زمان‌بر، تا زمانی‌که تحت تأثیر نیروهای انسان‌زاد ایجاد نشده باشد، چندان قابل تشخیص نیست و اغلب به‌صورت تغییرات سطحی یا ترک در تأسیسات و ساختمان‌ها دیده می‌شود. همراه شدن روند طبیعی فرونشست زمین، با عوامل غیرطبیعی محرک آن، باعث تشدید فعالیت فرونشست شده، به‌طوری‌که علاوه بر خسارات مورفولوژیکی سطحی، خسارات مالی و جانی را نیز برای انسان به‌همراه دارد [۵].

با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی ایران، متوسط سالانه نزولات جوی در سطح کمی قرار دارد. رشد سریع جمعیت در سال‌های اخیر و به‌دنبال آن توسعه روزافزون فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و صنعتی سبب شده است تا میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بیش از ظرفیت و توان بالقوه آن افزایش یابد. مشاهده افت شدید سطح آب زیرزمینی یکی از شاخص‌های برداشت بیش از توان آبخوان‌ها است. ادامه این وضعیت موجب تهی شدن مخازن آب زیرزمینی و ایجاد فرونشست‌های غیرقابل بازگشت می‌شود که نمونه‌های آن در مناطق خشک و نیمه خشک قابل مشاهده است [۶].

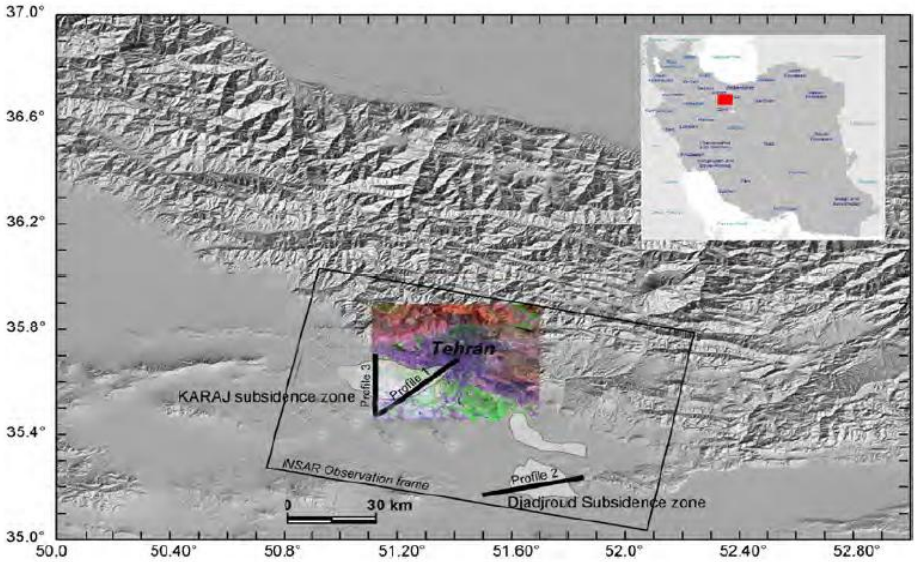
در حال حاضر فرونشست زمین در دشت تهران با به‌طور گسترده پیش می‌رود. توسعهٔ خطوط لوله نفت، گاز و راه‌آهن در مناطقی از دشت و گسترش ترک‌ها و شکاف‌ها در ساختمان‌ها و سازه‌ها در این منطقه، نشان‌دهندهٔ حساسیت آسیب‌پذیری این ناحیه است. این در حالی است که نخستین بررسی‌های رادار دشت تهران (سپتامبر ۲۰۰۴ تا مارس ۲۰۰۶ میلادی) نشان‌دهندهٔ بیشینه نرخ فرونشست ۱۶/۵ سانتی‌متر در سال است [۷]. آخرین بررسی‌های انجام گرفته در رابطه با فرونشست دشت جنوب‌غربی تهران، نشان‌دهندهٔ بیشینه نرخ فرونشست حدود ۱۷ سانتی متر در سال با مدل PMWIN گزارش شده است [۸].

در این پژوهش، پتانسیل آسیب‌پذیری فرونشست دشت جنوب‌غربی تهران با مدل ALPRIFT که شامل ۷ لایه مؤثر بر فرونشست است برای یک بازهٔ یک‌ساله بررسی شد. با این‌که نتایج این مدل قابل قبول بود اما برای افزایشصحت مدل الگوریتم ژنتیک استفاده شد. لازم به ذکر است که به‌دلیل کمبود اطلاعات طولانی مدت و کوتاه بودن بازهٔ بررسی، ارزیابی فرونشست حاصل برای دشت مورد نظر نیز مقطعی است.

منطقهٔ بررسی شده

دشت جنوب‌غربی تهران با مساحتی برابر با ۴۱۵/۶۴ کیلومترمربع، در حد فاصل ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و در منطقه‌ای خشک تا نیمه خشک واقع شده است (شکل۱).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]



شکل ۱. محدودهٔ مورد بررسی و پهنهٔ فرونشست زمین در دشت تهران

نهشته‌های آبرفتی تهران دربرگیرندهٔ چهار واحد چینه‌شناسی [۹]: واحد A (سازند هزاردره)، واحد B (سازند کهریزک)، واحد C (آبرفت تهران) و و احد D (آبرفت عهد حاضر) است. در محدودهٔ فرونشست، از آبرفت‌های سیلتی-رسی واحدهای B و C پوشیده شده است. سازند کهریزک که به‌وسیلهٔ مخروط افکنه‌های بزرگ سازند آبرفتی تهران پوشیده می‌شود، سازندی قدیمی‌تر از آن محسوب می‌شود. آبرفت C که بخش عمدهٔ دشت تهران را پوشانده است، قدرت ذخیره‌سازی، انتقال و قابلیت نفوذ بسیاری خوبی دارد. به‌طوری‌که آبخوان اصلی دشت تهران در این آبرفت قرار دارد. در مجموع قسمت بالایی واحد A و واحدهای B و C و D دارای نفوذپذیری خوب تا بسیار خوب هستند.

آبخوان تهران از نوع آبخوان آبرفتی[1] است. بر پایه نقشه هم‌تراز سطح ایستابی آبخوان مذکور در طی ۴۴ سال (مهر ۱۳۵۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۴) سطح آب زیرزمینی افتی برابر با ۱۵ متر در جنوب دشت و بیش از ۵۰ متر در شمال دشت داشته است (شکل ۲) [۱۰]. هم‌چنین محاسبات بیلان آب زیرزمینی دشت مذکور در یک دورهٔ ۱۰ ساله (۱۳۸۳-۱۳۷۳) نشان می‌دهد که کسری حجم مخزنی برابر با ۱۶/۳ میلیون متر مکعب داشته است [۱۱].

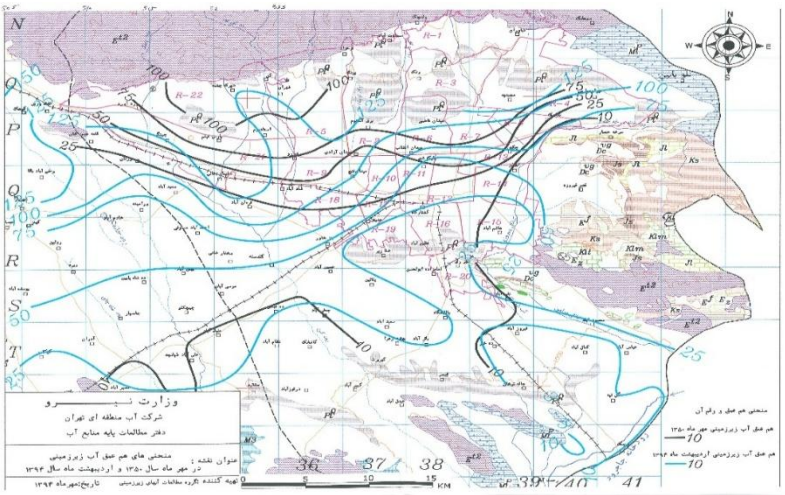
ضخامت آبرفت دشت تهران در بخش‌های شمالی به بیش از ۴۰۰ متر و در بخش‌های شمال‌غربی به حدود ۳۰۰ متر می‌رسد. در بخش‌هایی از شمال، شرق، جنوب شرق و جنوب غرب دشت، به دلیل بالا آمدگی سنگ کف[2]، ضخامت آبرفت به کم‌تر از ۲۵ متر نیز می‌رسد [۷].

روش تحقیق

روش ارائه شده برای بررسی پتانسیل فرونشست در آبخوان‌ها بر اساس روش PCSM[3] است، در این پژوهش از مدل ورن‌دهی ساده با مدل ALPRIFT استفاده شده است. لایه‌های مؤثر بر فرونشست بر اساس رتبه‌های این مدل، تهیه و وزن‌دهی شده و سپس با تلفیق و برهم نهی لایه‌ها در محیط Arc GIS، نقشهٔ آسیب‌پذیری فرونشست دشت جنوب‌غربی

1. Alluvial aquifer
2. Bedrock
3. Point Count System Models

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]



شکل ۲. مقایسهٔ سطح ایستابی دشت تهران. سال ۱۳۹۴-۱۳۵۰ [۱۱]

تهران حاصل شد. مهم‌ترین پارامتر در این روش تعیین وزن بهینه است که در این تحقیق با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، وزن اعمال شده به هر یک از لایه‌های حاصل از مدل ALPRIFT بهینه و در نهایت ضریب هم‌بستگی، بین نقشهٔ آسیب‌پذیری حاصل از مدل‌های ALPRIFT و الگوریتم ژنتیک با نقشه ماهواره‌ای سنتینل۱ (InSAR) به‌دست می‌آید و بهترین مدل برای آسیب‌پذیری دشت ارائه شد.

مدل ALPRIFT

مدل ALPRIFT به‌وسیلهٔ ندیری و همکاران [۱۲] ارائه شده، که نشان‌دهندهٔ چارچوبی برای به‌دست آوردن پتانسیل آسیب‌پذیری فرونشست آبخوان است. این مدل شامل ۷ لایهٔ مؤثر بر فرونشست (A = جنس لایه‌های زیرین، L = کاربری زمین، P = پمپاژ، R = تغذیه، I = ضخامت آبخوان، F = فاصله از گسل و T = میزان افت سطح آب زیرزمینی) است (جدول ۱). هر پارامتر مؤثر بر فرونشست نیز، به زیردسته‌هایی تقسیم می‌شود که به هر دسته بر اساس میزان تأثیرش در وقوع فرونشست رتبه‌ای از ۱ تا ۱۰ تعلق می‌گیرد (جدول ۲). یک به معنای کم‌ترین تأثیر و ده مؤثرترین پارامتر در وقوع فرونشست است. در نهایت از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر لایه در رتبه‌های آن لایه (رابطهٔ ۱)، میزان فرونشست در هر نقطه از محدوده به‌دست می‌آید.

$$Subsidence\ vulnerability\ index\ (SVI) = A_rA_W + L_rL_w + P_rP_w + R_rR_w + I_rI_w + F_rF_w + T_rT_w \quad (۱)$$

در رابطهٔ (۱) SVI شاخص آسیب‌پذیری فرونشست، A, L, P, R, I, F, T هفت عامل مؤثر بر فرونشست، r رتبه‌های تعلق گرفته به هردسته و w وزن هر عامل را نشان می‌دهد.

مدل الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک، برداشتی از علم ژنتیک و نظریهٔ تکاملی داروین است که از آن به‌عنوان تابع بهینه‌کننده استفاده می‌شود که اولین بار به‌وسیلهٔ جان هالند در سال ۱۹۷۵ ارائه شد. این الگوریتم نقش مهمی در بررسی سیستم‌های انطباقی پیچیده ایفا می‌کند [۱۳] به‌این صورت که روی جمعیتی از جواب‌های بالقوه عمل کرده و با به‌کارگیری بقای برتر، تقریب بهتری از حل مورد نظر را ارائه می‌دهد [۱۴]. در طبیعت انتقال خصوصیات از نسلی به نسل دیگر از طریق کروموزوم‌ها و ژن‌ها انجام می‌گیرد. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک بر این اساس است که در نهایت ژن‌ها و کروموزوم‌های

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

بهتر و قوی‌تر باقی‌مانده و ژن‌های ضعیف از بین می‌روند، یا همان قانون تکامل داروین که موجودات ضعیف‌تر از بین می‌روند و موجودات قوی‌تر (سازگارتر) باقی می‌مانند [۱۵]. در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک، به‌منظور بهینه‌سازی وزن‌های اختصاص داده شده به عوامل مؤثر بر فرونشست، برای بهبود نتایج حاصل استفاده شده است. متغیرهای ورودی تصمیم مسئله شامل هفت وزن داده شده به هفت پارامتر مؤثر بر فرونشست است که به‌عنوان جمعیت اولیه به مدل بهینه‌سازی وارد می‌شوند و تابع هدف، حداکثر سازی ضریب هم‌بستگی پیرسون بین فرونشست‌های اندازه‌گیری شده در محدودهٔ بررسی شده و شاخص فرونشست حاصل از تلفیق لایه‌ها است. زمانی‌که توابع هدف در تکرار متوالی یک‌سان باشند، به این معنی است که تغییر و یا بهبودی در تابع هدف ایجاد نشود، مدل بهینه‌سازی متوقف می‌شود.

پردازش اطلاعات

به‌منظور به‌دست آوردن لایه‌های مدل ALPRIFT ، اطلاعات مربوط به هر لایه به فاصلهٔ زمانی یک سال (مهر ۹۴ تا مهر ۹۵) را طبق جدول ۲ کلاس‌بندی و در محیط Arc GIS وارد و یک لایهٔ رستری ایجاد شد. تبدیل به لایهٔ رستری

جدول ۱. شرح اطلاعات لایه‌های ALPRIFT و وزن آن‌ها [۱۲]

	پارامتر	توضیحات	وزن
A	**جنس لایه‌های زیرزین**	نقش مهمی درتغییر شکل لایه‌های تشکیل‌دهندهٔ خاک بعد از برداشت آب زیرزمینی و فرونشست ناشی از آن دارد؛ وجود رسوبات ریزدانه مانند سیلت و رس، به‌دلیل تراوایی بسیار کم اجازهٔ تغذیه مناسب به آبخوان را نمی‌دهند، هم‌چنین به‌دلیل عدم حالت الاستیسیته و ضریب تحکیم بالایی که دارند، بعد از برداشت آب زیرزمینی دچار تحکیم برگشت‌ناپذیر شده و باعث فرونشست زمین می‌شوند. از طرفی، رسوبات درشت‌دانه مانند ماسه و گراول بدلیل نفوذپذیری زیاد و وجود حالت الاستیسیته، تأثیر بسیار کم‌تری در مقایسه با رسوبات ریزدانه در وقوع فرونشست دارند.	۵
L	**کاربری زمین**	چگونگی و نحوهٔ استفاده از زمین و فعالیت‌های استقرار یافته در هر بخش آن کاربری اراضی نامیده می‌شود. کاربری‌های مختلف تأثیرات مختلفی بر وقوع فرونشست دارند. به‌عنوان مثال، در محلی با کاربری کشاورزی، برداشت آب‌های زیرزمینی سبب فرونشست می‌شود یا در محل سدها، وزن ناشی از این سازه‌ها سبب تراکم لایه‌های خاک و نشست سطح زمین می‌شود.	۳
P	**پمپاژ**	برداشت آب‌های زیرزمینی برای تأمین مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی، خانگی و ... پمپاژ نامیده می‌شود. میزان پمپاژ عکس میزان تغذیه در فرونشست تأثیر دارد، بدین‌صورت که هرچه میزان برداشت آب زیرزمینی بیش‌تر باشد، فشار هیدرولیکی کم‌تر و فضای بین دانه‌ها کاهش می‌یابد که در نتیجه تنش مؤثر افزایش می‌یابد و موجب تراکم لایه‌ها و افزایش احتمال وقوع فرونشست می‌شود.	۴
R	**تغذیه**	میزان تغذیه مقدار آبی است که از سطح زمین به محیط آبخوان وارد می‌شود. هرچه میزان تغذیه بیش‌تر باشد، فشار هیدرولیکی بیش‌تر شده و فاصلهٔ بین دانه‌ها افزایش می‌یابد که در نتیجه تنش مؤثر کاهش یافته و احتمال وقوع فرونشست کم‌تر می‌شود	۴
I	**ضخامت آبخوان**	شامل فاصله بین سطح زمین تا سنگ کف است که رابطهٔ مستقیم با فرونشست دارد. هرچه ضخامت آبخوان بیش‌تر باشد، امکان برداشت آب از آن و وزن وارده بر رسوبات و تغییر شکل آن‌ها در اثر برداشت آب بیش‌تر می‌شود و بالعکس، هرچه ضخامت آبخوان کم‌تر باشد امکان برداشت آب از آن کم‌تر خواهد بود.	۲
F	**فاصله از گسل**	یکی از عوامل طبیعی مؤثر بر وقوع فرونشست حرکات تکتونیکی از جمله گسل است. گسل‌ها با جابه‌جایی مواد ریزدانه و درشت‌دانه در محل شکاف‌ها باعث تشدید پدیدهٔ فرونشست می‌شوند. هرچه محدوده‌ای به محل گسلش نزدیک‌تر باشد امکان وقوع فرونشست در آن بیش‌تر خواهد بود و بالعکس.	۱
T	**میزان افت سطح آب زیرزمینی**	کاهش سطح آب زیرزمینی در اثر برداشت آب، تبخیر، خشسک‌سالی و ... موجب کاهش فشار هیدرولیکی، افزایش تنش مؤثر وارد بر رسوبات و فرونشست می‌شود	۵

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]

[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

جدول۲. محدوده و کلاس لایه‌های ALPRIFT [۱۲]

جنس لایه‌های زیرین (A)		زمین کاربری(L)		پمپاژ (P)		تغذیه (R)		ضخامت آبخوان (I)		فاصله گسل (F)		افت سطح ایستابی (T)		SVI	
وزن=۵		وزن=۳		وزن=۴		وزن=۴		وزن=۲		وزن=۱		وزن=۵			
نرخ (محدوده)	رتبه	نرخ (محدوده)	کلاس	نرخ(Cm/year)	رتبه	نرخ(Cm/year)	رتبه	محدوده(m)	رتبه	محدوده(km)	رتبه	نرخ(m/year)	رتبه	باند	سطح آسیب پذیری
رس	۹-۱۰	معدن/ منابع استخراجی	۹-۱۰	<۰/۰۰۰۱	۱	۰-۴	۱۰	۰-۲۵	۱	۰-۱	۱۰	۰-۰/۲	۱	۲۴-۷۸	باند۱(پایین)
سیلت	۸-۹	مناطق کشاورزی	۷-۹	۰/۰۰۰۱-۰/۰۰۵	۲	۴-۹	۹	۲۵-۵۵	۲	۱-۲	۸	۰/۲-۰/۵	۲	۷۸-۱۳۲	باند۲(متوسط)
رسوبات کارستی	۶-۸	ساختگاه سد	۶-۹	۰/۰۰۵-۰/۰۱	۳	۹-۱۴	۷	۵۵-۹۰	۳	۲-۳	۶	۰/۵-۰/۹	۳	۱۳۲-۱۸۶	باند۳(زیاد)
ماسه	۳-۵	مناطق مسکونی	۴-۸	۰/۰۱-۰/۵	۴	۱۴-۱۹	۵	۹۰-۱۳۰	۴	۳-۴	۴	۰/۹-۱/۴	۴	۱۸۶-۲۴۰	باند۴(بسیار زیاد)
شن	۲-۳	مناطق حمل و نقل	۳-۴	۰/۵-۱	۵	۱۹-۲۴	۳	۱۳۰-۱۷۵	۵	۴-۵	۲	۱/۴-۲	۵		
سنگ	۱-۳	مناطق خشک	۱=۳	۱-۵	۶	>۲۴	۱	۱۷۵-۲۲۵	۶	>۵	۱	۲-۲/۷	۶		
خاک آلی ارگانیک	۸-۱۰	زمین بایر	۱	۵-۲۰	۷			۲۲۵-۲۸۰	۷			۲/۷-۳/۵	۷		
				۲۰-۴۰	۸			۲۸۰-۳۴۰	۸			۳/۵-۴/۴	۸		
				۴۰-۶۵	۹			۳۴۰-۴۰۵	۹			۴/۴-۵/۴	۹		
				>۶۵	۱۰			>۴۰۵	۱۰			>۵/۴	۱۰		

- **اگر تمام لایه‌ها در رتبهٔ ۱ قرار داشته باشند شاخص آسیب‌پذیری فرونشست (SVI) برابر ۲۴ می‌شود.**
- $$SVI=1\times 5+1\times 3+1\times 4+1\times 4+1\times 2+1\times 5$$
- **اگر تمام لایه‌ها در رتبهٔ ۱۰ قرار داشته باشند شاخص آسیب‌پذیری فرونشست (SVI) برابر با ۲۴۰ می‌شود.**
- $$SVI=10\times 5+10\times 3+10\times 4+10\times 4+10\times 2+10\times 5$$

برای انجام عملیات تلفیق و ایجاد نقشه آسیب‌پذیری فرونشست ضروری است. در این پژوهش، به‌منظور آماده‌سازی هر یک از لایه‌های مورد نظر، از منابع اطلاعاتی گوناگونی استفاده شد که در زیر، منابع اطلاعاتی استفاده شده و نحوهٔ آماده‌سازی هریک توضیح داده شده است:

جنس لایه‌های زیرین: با استفاده از لاگ‌های زمین‌شناسی سازمان آب منطقه‌ای تهران، نوع رسوبات تشکیل‌دهندهٔ آبخوان شناسایی و هر کدام طبق جدول ۲ کلاس بندی و نوع خاک هر لاگ به‌دست آمد. سپس مقادیر در محیط ArcGIS وارد و مقادیر داده‌ها به کل منطقه با روش IDW درون‌یابی و لایهٔ رستری جنس لایه‌های زیرین، به‌منظور تلفیق با سایر لایه‌ها ایجاد شد. نقشهٔ کلاس‌بندی این لایه در شکل۳ آ نشان داده شده است.

کاربری زمین: کاربری های مختلف بر اساس میزان تأثیر در وقوع فرونشست در جدول ۲ نشان داده شده است. در دشت بررسی شده سه نوع کاربری زمین، مناطق کشاورزی، مناطق مسکونی و زمین بایر وجود دارد. زمین‌های کشاورزی به‌علت برداشت آب زیرزمینی بیش‌ترین تأثیر در فرونشست و زمین‌های بایر کم‌ترین تأثیر را در فرونشست

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

دارند. لایه کاربری زمین با استفاده از نقشهٔ کاربری زمین استان تهران تهیه و با استفاده از جدول ۲ کلاس‌بندی شد و لایهٔ رستری لایه به‌دست آمد. نقشهٔ رستری این لایه در شکل ۳ ب نشان داده شده است.

پمپاژ: برای تهیهٔ لایه پمپاژ، میزان برداشت سالانه آب چاه‌های بهره‌برداری، که از سازمان آب منطقه ای تهران تهیه شده بود با مختصات چاه‌ها به محیط ArcGIS وارد شد و با روش پلیگون تیسن مقدار تخلیه برای هر پیزومتر مشخص و با روش IDW به کل منطقه درون‌یابی و لایهٔ رستری حاصل از آن ایجاد شد. نقشهٔ رستری حاصل از لایهٔ پمپاژدر شکل ۳ پ نشان داده شده است.

تغذیه: برای تهیهٔ لایهٔ تغذیه، از روش پیسکوپو [۱۶] استفاده شد. در روش پیسکوپو، ۳ لایهٔ شیب زمین، بارندگی و نفوذپذیری خاک به لایهٔ رستری تبدیل و با تلفیق روی هم، لایهٔ تغذیه به‌دست آمد و با استفاده از جدول ۲ کلاس‌بندی شد. نقشهٔ رستری حاصل از تغذیه در شکل ۳ ت نشان داده شده است.

ضخامت آبخوان: برای تهیهٔ این لایه، از چاه‌های پیزومتری سازمان آب منطقه‌ای (۱۳۹۳) به‌منظور به‌دست آوردن سطح ایستابی و گزارش فرونشست سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۶) به‌منظور به‌دست آوردن سنگ کف منطقه استفاده شد. با در دست داشتن سطح ایستابی و سنگ کف، ضخامت زون اشباع آبخوان تهیه و با استفاده از جدول ۲ کلاس‌بندی شد و لایهٔ رستری آن به‌منظور تلفیق با سایر لایه‌ها در محیط ArcGIS تهیه شد. نقشهٔ رستری ضخامت آبخوان در شکل ۳ ج نشان داده شده است.

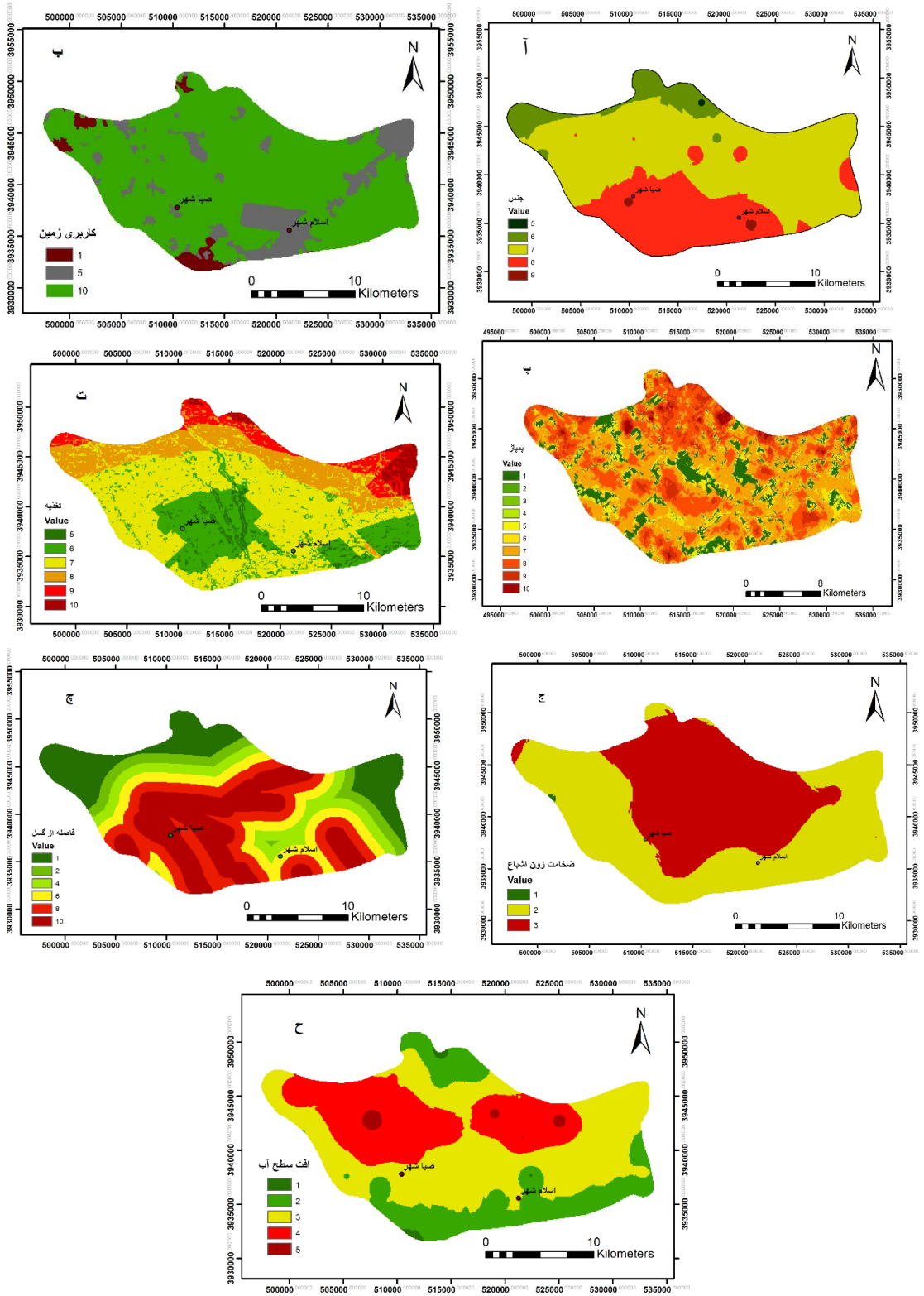
فاصله از گسل: برای به‌دست آوردن فاصله گسل از هر نقطه دشت، از دستور Euclidean distance استفاده شد و نقشهٔ حاصل از آن بر اساس جدول ۲ کلاس‌بندی و تبدیل به لایهٔ رستری شد. هر قدر نقاط از گسل فاصله بگیرند، تأثیری کم‌تری در فرونشست دارند. شکل ۳ چ لایهٔ رستری فاصله از گسل را برای دشت بررسی شده نشان می‌دهد.

افت سطح آب زیرزمینی: برای به‌دست آوردن این لایه از اطلاعات یک ساله (مهر ۹۴ تا مهر ۹۵) چاه‌های پیزومتری موجود در دشت استفاده شد. مقادیر داده‌ها برای کل منطقه با روش IDW درون‌یابی و سپس لایهٔ رستری برای تلفیق با سایر لایه‌ها تهیه شد. سپس با استفاده از جدول ۲، این لایه کلاس‌بندی شد. شکل ۳ ح لایهٔ رستری افت سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

شکل ۴، نقشهٔ ارتفاعی دشت بررسی شده از سطح آب‌های آزاد بر حسب متر، موقعیت قرارگیری چاه‌های پیزومتری، چاه‌های بهره‌برداری و محل رودخانه‌های موجود در دشت را نشان می‌دهد.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]

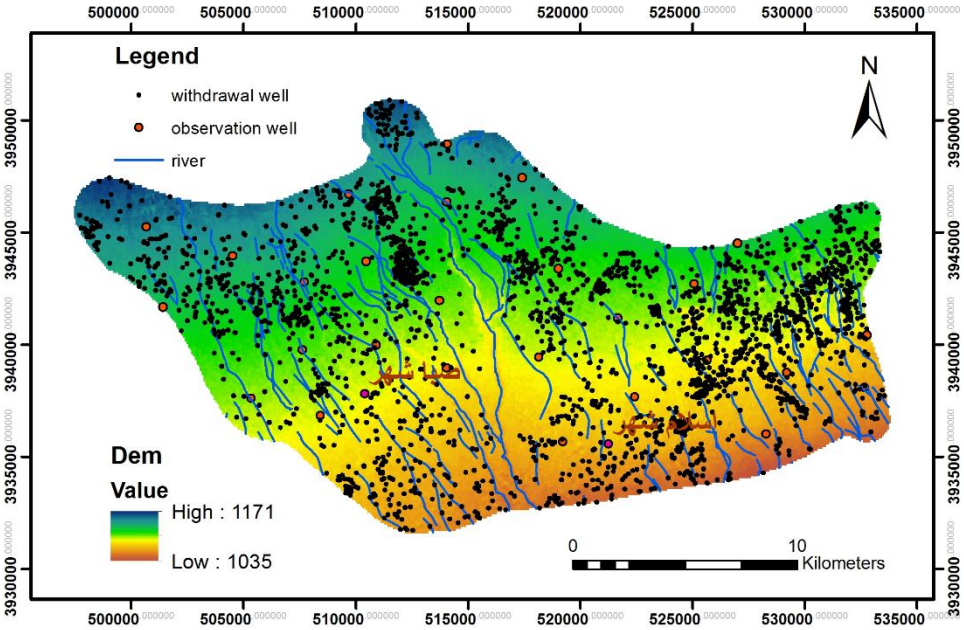
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]



شکل۳. لایه‌های رستری پردازش شده ALPRIFT. آ) جنس لایه‌های زیرین، ب)کاربری زمین، پ)پمپاژ، ت)تغذیه، ج) ضخامت آبخوان، چ) فاصله از گسل، ح) افت سطح آب زیرزمینی

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]

[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

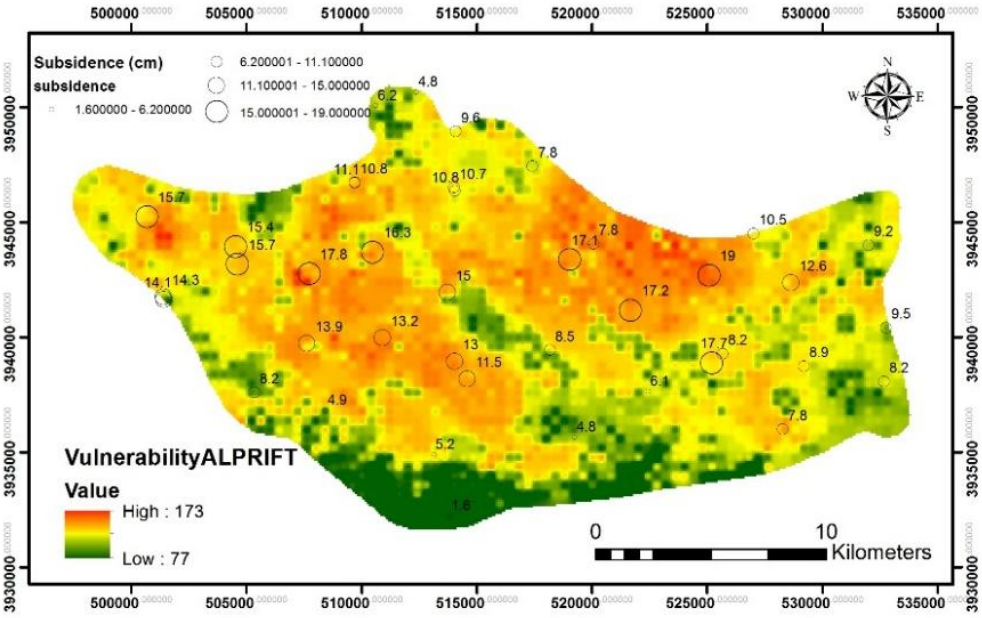


شکل۴. موقعیت چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری در دشت بررسی شده

بحث و نتایج

نتایج حاصل از مدل ALPRIFT

پس از آماده‌سازی ۷ لایه مؤثر بر فرونشست و کلاس‌بندی آن‌ها طبق جدول ۲، این لایه‌ها بر اساس وزن تعیین شده برای هر لایه (جدول۱) روی هم تلفیق شدند و نهایتاً نقشه آسیب‌پذیری فرونشست دشت جنوب‌غربی تهران حاصل شد و شاخص فرونشست برای کل دشت بین ۷۷ تا ۱۷۳ برآورد شد (شکل ۵).



شکل ۵. نقشهٔ آسیب‌پذیری دشت حاصل از تلفیق لایه‌های مدل ALPRIFT

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک (GA)

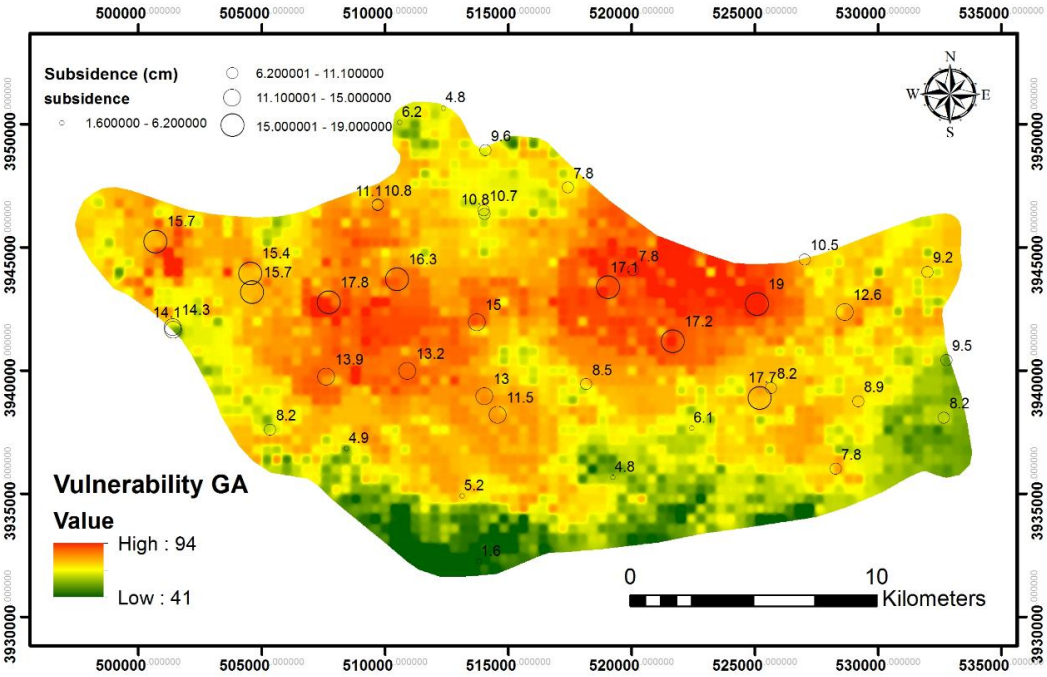
به‌منظور بهینه‌سازی و تدقیق وزن‌های استفاده شده در مدل ALPRIFT از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. از این الگوریتم بهینه‌سازی برای افزایش مقدار هم‌بستگی بین مقادیر فرونشست نرمال شده و مقادیر نرمال شده پتانسیل فرونشست با بهینه‌سازی وزن‌ها استفاده شد. هم‌بستگی پیرسون بین شاخص پتانسیل فرونشست (ALPRIFT) و فرونشست داده‌های رادارای (InSAR) به‌عنوان تابع هدف انتخاب و اجرا شد. در این مرحله با استفاده از تابع هدف (رابطهٔ ۲) و قید (رابطهٔ ۳) مقادیر وزن‌های هر لایه بهینه شد.

شکل ۶ نقشهٔ آسیب‌پذیری دشت جنوب‌غربی تهران با استفاده از مدل GA را نشان می‌دهد. جدول ۳ وزن‌های بهینه‌شده حاصل از روش الگوریتم ژنتیک و وزن‌های اعمال شده از مدل ALPRIFT را مقایسه می‌کند. چنان‌که نشان داده شده است، وزن‌های به‌دست آمده بین ۵ و ۱ است که بیش‌ترین وزن مربوط به افت سطح آب زیرزمینی است. شاخص آسیب‌پذیری فرونشست در مدل الگوریتم ژنتیک بین ۴۱ تا ۹۳ است.

$$r = \frac{n\,(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \qquad (۲)$$

$$5 < w_i < 1 \qquad (۳)$$

w_i وزن اعمال شده به هرپارامتر و r ضریب هم‌بستگی پیرسون را نشان می‌دهد. برای بهینه‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک نیاز به تعیین مقدار بهینه چهار عملگر الگوریتم ژنتیک شامل برازندگی یا تناسب[1]، انتخاب[2]، ترکیب یا ادغام[3] و جهش[4] است که باید مقدار بهینهٔ آن‌ها تعیین شود [۱۷].



شکل۶. نقشهٔ آسیب‌پذیری دشت حاصل از مدل الگوریتم ژنتیک (GA)

1 Fitness
2 Selection
3 Crossover
4 Mutation

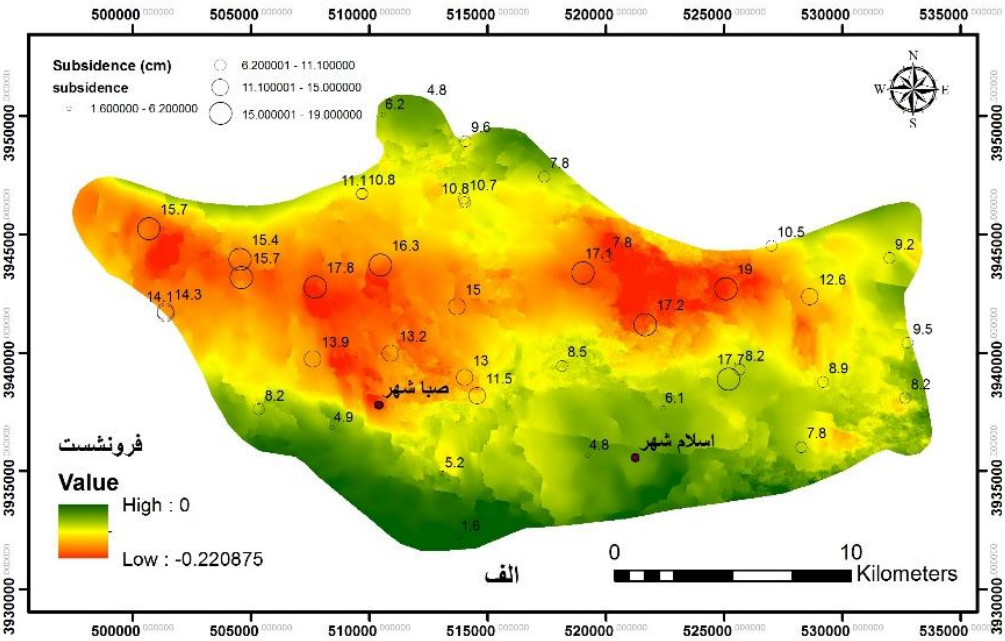
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

جدول ۳. وزن پارامترهای مؤثر بر فرونشست

	جنس لایه‌های زیرزین	کاربری زمین	پمپاژ	تزریق	ضخامت آبخوان	فاصله از گسل	افت سطح آب زیرزمینی
ALPRIFT	۵	۳	۴	۴	۲	۱	۵
الگوریتم ژنتیک (GA)	۱	۱/۰۳	۱/۰۴	۳/۲۴	۲/۶۰	۱	۵

صحت‌سنجی نتایج

در این پژوهش از تصاویر راداری (InSAR) ماهواره سنتینل ۱ سال ۲۰۱۵ پردازش شده استفاده شد تا بتوان به‌وسیلهٔ این تصویر، چارچوب کلی ارائه شده برای آبخوان دشت جنوب‌غربی تهران را ارزیابی کرد. ماهواره سنتینل ۱ به‌صورت شبانه‌روزی با استفاده از باند C به تصویربرداری از سیاره زمین می‌پردازد. این ماهواره برای بررسی پدیده‌های مختلف سطح زمین در بازهٔ زمانی طولانی مدت طراحی شده‌است. ماهوارهٔ سنتینل ۱ به‌عنوان نخستین ماهواره از سری ماهواره‌های پنج‌گانهٔ کوپرنیکوس سازمان فضایی اروپا است. ماهواره سنتینل با ۴ حالت تصویربرداری توان تفکیک مکانی کم‌تر از ۱۰ متر را دارد. داده‌های ماهواره سنتینل به‌صورت دوقطبشی و با توان تفکیک زمانی زیاد است. ماهواره سنتینل ۱ ادامه‌دهندهٔ راه سایر ماهواره‌های راداری است که در باند C تصویربرداری می‌کنند (مانندERS-1، ERS-2، ENVISAT، RADARSAT-1 و RADARSAT-2.) شکل ۷ تصویر ماهواره‌ای فرونشست از دشت بررسی شده را بر حسب سانتی‌متر برای مدت زمان یک سال (۲۰۱۵) را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نقشهٔ ماهواره‌ای فرونشست دشت بررسی شده

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]

[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

مقایسهٔ مدل ALPRIFT و مدل الگوریتم ژنتیک (GA)

برای مقایسهٔ دو مدل به‌دست آمده، از شاخص هم‌بستگی (CI) بین شاخص آسیب‌پذیری فرونشست حاصل از نقشهٔ ماهواره‌ای و شاخص آسیب‌پذیری دو مدل ALPRIFT و GA و ضریب پیرسون استفاده شد. شاخص هم‌بستگی (CI) یک سیستم امتیازدهی است که محققان آن را به‌طور گسترده استفاده می‌کنند. از شاخص هم‌بستگی به‌منظور بررسی دقیق‌تر شاخص آسیب‌پذیری فرونشست، استفاده می‌شود. به این منظور مقدار میزان فرونشست به ۴ دسته، بسیار کم، کم، متوسط و زیاد تقسیم شد. سپس تعداد چاه‌هایی که مقادیر فرونشست آن با نقشه‌های آسیب-پذیری ارزش یک‌سانی دارند و در یک گروه قرار دارند در ۴ ضرب می‌شوند و آن تعداد چاه‌هایی که میزان فرونشست و گروه آسیب‌پذیری آن به مقدار ۳، ۲ و ۱ اختلاف دارند به‌ترتیب به ۳، ۲ و ۱ ضرب می‌شوند. سپس مقادیر حاصل با هم جمع و شاخص هم‌بستگی (CI) به‌دست می‌آید. در این پژوهش از ۴۰ چاه پیزومتری موجود در دشت برای به‌دست آوردن شاخص هم‌بستگی استفاده شد جدول ۴ نتایج مقایسهٔ دو مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقایسهٔ شاخص هم‌بستگی بین دو مدل ALPRIFT و GA

شاخص آسیب‌پذیری ALPRIFT	باند۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	CI حاصل از چاه‌های پیزومتری	ضریب پیرسون (r)	R^2
باند ۱	۰	۱	۵	۰			
باند ۲	۰	۱	۱۳	۰	۱۱۰	۰/۶۴	۰/۴۱
باند ۳	۰	۷	۲	۰			
باند ۴	۰	۷	۳	۰			
شاخص آسیب‌پذیری GA	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴			
باند ۱	۱۳	۰	۰	۰			
باند ۲	۷	۲	۰	۰	۱۱۳	۰/۷۵	۰/۵۷
باند ۳	۶	۱	۰	۰			
باند ۴	۳	۷	۰	۰			

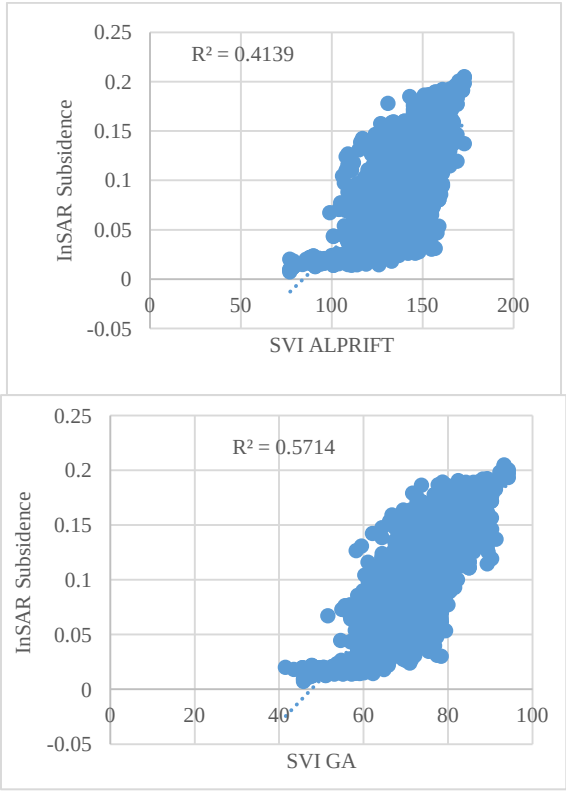
چنان‌که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، شاخص آسیب‌پذیری به ۴ باند که محدودهٔ این باندها در جدول ۲ ارائه شده است، تقسیم‌بندی شده است. به‌دلیل این‌که شاخص آسیب‌پذیری مدل ALPRIFT بین ۷۷ تا ۱۷۳ است شامل باند ۲ و ۳ است و شاخص آسیب‌پذیری مدل GA بین ۴۱ تا ۹۴ است، شامل باند ۱ و ۲ است. میزان فرونشست حاصل از نقشهٔ ماهواره‌ای نیز به ۴ باند کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد و سپس تعداد چاه‌های قرار گرفته هر باند مدل‌های کار شده نسبت به نقشهٔ ماهواره‌ای حساب شد. محاسبه CI هر مدل بدین‌صورت است:

$$CI = 4(1+2) + 3(1+13+7+3) + 2(5+7) + 1(10) = 110$$ حاصل از $ALPRIFT$

$$CI = 4(13+2) + 3(7+1) + 2(6+7) + 1(3) = 113$$ حاصل از GA

چنان‌که مشخص شد CI حاصل از مدل GA بیش‌تر از مدل ALPRIFT به‌دست آمد و این نشان‌دهندهٔ زیاد بودن شاخص هم‌بستگی مدل GA نسبت به مدل ALPRIFT است. از طرفی ضریب پیرسون حاصل از مدل الگوریتم ژنتیک بیش‌تر از مدل ALPRIFT است. شکل ۸ نمودار R^2 دو مدل ALPRIFT و GA را نشان می‌دهد. دلیل هم‌بستگی کم مدل ALPRIFT با میزان فرونشست واقعی مربوط به زمان تأخیر فرونشست است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]
[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]



شکل ۸. نمودار هم‌بستگی بین مدل‌ها و میزان فرونشست

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی پتانسیل فرونشست در دشت جنوب‌غربی تهران با به‌کارگیری مدل ALPRIFT شامل ۷ لایهٔ مؤثر بر فرونشست است. دشت تهران از دشت‌های مهم کشور با کاربری عمدهٔ کشاورزی است که برداشت آب‌های زیرزمینی به‌منظور تأمین نیازهای آبی، سطح زمین را در این منطقه در معرض خطر فرونشست قرار می‌دهد. بنابراین بررسی و ارزیابی پتانسیل فرونشست در این دشت، به‌منظور مدیریت اثرات آن امری ضروری است. در مدل ALPRIFT هفت پارامتر مؤثر، حنس لایه‌های زیرین، کاربری زمین، پمپاژ، تزریق، ضخامت آبخوان، فاصله از گسل و افت سطح آب زیرزمینی طبق نظر کارشناسی ارائه شده، رتبه‌بندی و کلاس‌بندی شد و از تلفیق این پارامترها در محیط ArcGIS نقشهٔ آسیب‌پذیری دشت با شاخص بین ۷۷ تا ۱۷۳ حاصل شد. سپس به‌منظور بهینه‌سازی وزن‌های اعمال شده، روش الگوریتم ژنتیک تحت نرم‌افزار اکسل به‌کار گرفته شد. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان می‌دهد که روش الگوریتم ژنتیک به‌دلیل ایجاد هم‌بستگی زیاد بین شاخص فرونشست و فرونشست رخ داده در محدودهٔ بررسی شده، بهتر از روش ALPRIFT، آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. بر اساس این مدل نواحی مرکزی و شمال غربی در معرض فرونشست قرار دارند و باید برنامه‌های مدیریتی لازم برای کنترل آن‌ها اعمال شود.

منابع

1. Waltham A. C., "Ground Subsidence", Chapman & Hall (1955) 202.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]

[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]

2. Darini G., "Land subsidence due to groundwater withdrawal: the case of Bologna", Ph. D. Thesis (2007).

3. Hu R. L., Z. Q. Yueb, L. C. Wanga, S. J. Wang, "Review on Current Status and Challenging Issues of land Subsidence in China", Elsevier Science – Engineering Biology, Vol. 76 (سال؟) 65-77.

4. Bell F. G, "Geological Hazards: Their assessment, avoidance and mitigation", Department of Geological and Applied Geology, University of Natal, Durban, South Africa, (1999) 625.

5. Poland J. F., ed., "Guidebook to studies of land subsidence due to ground water withdrawal", United Nations Educational. Scientific and Cultural Organization. Paris. Studies and reports in hydrology (2001) 40 (1984) 305.

٦. اسکندری شهرکی علی، ترویجی امید، مهدی‌زاده، "بررسی فرونشست زمین در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی"، دومین کنگره سراسری فناوری‌های نوین ایران، مرکز راهکارهای دست‌یابی به توسعه پایدار (١٣٩٤).

٧. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، " بررسی فرونشست زمین در دشت تهران-شهریار"، (گزارش نخست) (١٣٨٤) ٥٤.

٨. محمودپور مسعود، "نقش اندرکنش ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و برداشت آب‌های زیرزمینی در سازوکار و الگوی فرونشست زمین در گشتره جنوب باختری تهران"، رسالهٔ دورهٔ دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (١٣٩٤).

9. Rieben E. H., "The geology of the Tehran plain", American Journal of Science, 253, 617-639

١٠. سازمان آب منطقه‌ای تهران، "آمار تعداد و تخلیه چاه‌های مجاز استان تهران به تفکیک شهرستان و نوع مصرف"، (١٣٩٣).

١١. شمشکی ا.، قاسمی ا.ر. "گزارش آب زمین‌شناسی ناحیه فرونشست زمین جنوب‌غربی دشت تهران (بیلان آب زیرزمینی)"، (١٣٨٧) ٢٤.

12. Nadiri A., Taheri Z., Khatibi R., Barzegari G.,Dideban Kh., "Introducing a new framework for mapping subsidence vulnerability indices (SVIs): ALPRIFT" Science of the Total Environment, 628-629 (2018) 1043-1057

13. Holland J., "Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI. Information Located, Assess on September 2011 :http://water.usgs.gov/ogw/pubs/fs00165 (1975).

14. Melanie M., "An Introduction to Genetic Algorithms", A Bradford Book The MIT Press Cambridge, Massachusetts-London, England, Fifth Printing (1999).

١٥. موسویان س.م.، اسدزاده ا.، "پیش‌بینی تقاضای بنزین در ایران بر مبنای شاخص‌های اقتصادی: یک تحلیل مقایسه‌ای بین الگوریتم ژنتیک و pso"، چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه‌ریزی و مدیریت، ٢-٣ خرداد ماه (١٣٩٦).

16. Piscopo G., "Groundwater vulnerability map. Explanatory notes Castlereagh Catchment", NSW. Centre for Natural Resources. NSW Department of Land and Water Conservation, Parramatta.

١٧. تیرداد کیوان.، "اگوریتم ژنتیک-پرواز در فضای حالت مسئله"، ماهنامهٔ شبکه، شمارهٔ ٧١ (آذر-١٣٨٥).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-29]

[DOI: 10.29252/gnf.4.2.199]