

ارزیابی فرونشست دشت شهریار و ملارد ناشی از برداشت آب‌های

زیرزمینی و تأثیر آن بر سازه‌های زیربنایی

سعید کلاتری^۱، ناصر عبادتی^{۲*} و محمود ذاکری نیری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی و مدیریت منابع آب، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۲- گروه زمین شناسی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران. drebadati@yahoo.com

۳- گروه مهندسی عمران، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

چکیده

با توجه به پیامدهای ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در این تحقیق سعی شده است فرونشست زمین در دشت شهریار و ملارد بر اثر برداشت آبهای زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر آن بر سازه‌های زیربنایی بررسی و تعیین گردد و بدین منظور ابتداء پس از جمع آوری آمار چاههای آب موجود در منطقه و تعیین مشخصات سفره آبخوان و مواردی از نظیر عمق سطح آب زیرزمینی، میزان برداشت سالانه و پراکنش چاه‌ها داده‌های مورد نظر اولیه بدست آید، سپس با مشخص نمودن ضخامت آبرفت و لایه‌های رسوبی بر روی سنگ بستر منطقه از روی گمانه‌های اکتشافی و لاگ‌های چاه تنوع لایه بندی و جنس رسوبات شناسایی شد و بر اساس روابط ژئوتکنیکی حاکم بر رسوبات و با در نظر گرفتن میزان تخلخل، ضرایب نفوذ پذیری و بافت رسوبات سعی گردید، با محاسبه تعیین نشست تحکیم و آنی، نرخ سالانه فرونشست محاسبه شده و از طریق داده‌های ماهواره ایی میزان فرونشست در منطقه مورد مطالعه تعیین گردد، در طی این تحقیق نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیشترین میزان نرخ فرونشست زمین ۸ سانتی متر تعیین گردید.

واژگان کلیدی: دشت شهریار و ملارد، آبهای زیرزمینی، فرونشست زمین.

مقدمه

به‌طور کلی ناشی از عوامل عمده‌ای همچون انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات و افت سطح سیالات زیرزمینی و همچنین عوامل تکتونیکی می‌باشد. استخراج مایعات به‌ویژه آب و نفت از مهم‌ترین علل فرونشینی سطح زمین است. در سال‌های اخیر افزایش روزافزون جمعیت و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی جهت تأمین آب برای مصارف خانگی، کشاورزی و حتی صنعتی در بعضی از نقاط جهان به‌ویژه در حوضه‌هایی که با نهشته‌های آبرفتی، دریای کم‌عمق یا دریاچه‌ای تحکیم نیافته انباشته شده‌اند، به نشست و یا فروریزش سطح زمین منجر شده و باعث به وجود آمدن به خاطر فرونشست شده است (Wang et al, ۲۰۰۵). افزایش

فرونشست عبارت است از حرکت قائم یا نشست تدریجی یا فرورفتن ناگهانی سطح زمین، که به علت‌های گوناگونی نظیر انحلال، آب‌شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها، حرکات پوسته زمین و خروج گدازه‌ها از پوسته جامد و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدن کاری، برداشت آب‌های زیرزمینی و یا نفت رخ می‌دهد. ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک با نزولات جوی بسیار اندک است که منبع اصلی تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و نیز صنعتی، آب‌های زیرزمینی است و در زمره کشورهای مواجه با بحران کمبود آب قلمداد می‌شود (اسدزاده، ۲۰۱۶). پدیده فرونشست که ممکن است به صورت نشست تدریجی یا ناگهانی در سطح زمین ایجاد شود،

روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی، علی‌الخصوص از حوزه‌هایی که با رسوبات تحکیم نیافته آبرفتی یا نهشته‌های کم عمق دریایی انباشته شده‌اند منجر به فرونشست سطح زمین و یا به عبارتی نشست عمومی زمین می‌شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

گراهام اولین شخصی بود که در سال ۱۹۷۴ میلادی اصول روش تداخل سنجی راداری را بیان کرد این فن برای اندازه‌گیری جابه‌جایی حاصل شده از زمین‌لرزه، جابه‌جایی‌های یخچال‌ها و پدیده فرونشست و رو راندگی با موفقیت به کار گرفته شده است. فرونشست زمین به‌عنوان پدیده مورفولوژیکی، نوعی از تغییر شکل زمین که با دگرشکلی عمودی و یا حرکت رو به پایین سطح زمین همراه است (شریفی کیا، ۲۰۱۱) هدف از تحقیق حاضر بررسی میزان فرونشست دشت شهریار و ملارد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱ برای تاریخ‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ و همچنین تخمین افت سطح آب‌های زیرزمینی با توجه به داده‌های چاه‌های پیرومتری است و تخمین میزان فرونشست در کاربری‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت.

(Raspini et al, 2014)، پدیده فرونشست را در دلتای شمال یونان با استفاده از مدل‌سازی ژئوتکنیک و تداخل سنجی مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش با استفاده از ۴۲ تصویر راداری SAR (آژانس هوایی اروپایی) در سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۵ به روش تداخل سنجی PSI به بررسی الگوهای مکانی و زمانی تغییر شکل زمین در شمال یونان در محل دلتای دشت تسلا نوکی پرداخته که منطقه‌ای با سابقه فرونشست در اثر فشردگی سیستم آبخوان است. با استفاده از تجزیه و تحلیل PSI و با توجه به افت زیاد آب زیرزمینی و سرعت جابجایی آب از جنوب غرب و جنوب، نرخ فرونشست را در حدود ۴/۵ سانتی‌متر در سال برای این منطقه طی دوره شش ساله ارزیابی کرده است. این نرخ با توجه به مدل دو بعدی بر اساس اطلاعات PSI اندازه‌گیری شد. به بررسی پدیده فرونشست در آبخوان شهر پکن پرداخته‌اند.

هدف از این مطالعه برای تعیین کمیت فرونشست زمین در طول دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ و درک روند این پدیده و بررسی رابطه آن با عوامل تحریک کننده در منطقه است که با جمع‌آوری داده‌های منابع آب و بررسی سطح آب‌های زیرزمینی، ضخامت لایه‌های متراکم، انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که فرونشست زمین به طور یکنواخت و به طور مداوم در دوره‌های زمانی مورد مطالعه افزایش یافته است که متوسط نشست در طول پایش ۹۲ میلی‌متری بوده است. در واقع لایه‌های رسی - سیلتی در گسترش فرونشست نقش مؤثری داشته است. از تصاویر راداری برای بررسی نشست زمین در شهر پکن در کشور چین استفاده نمودند. (Esmitt et al, 2017) در تحقیق خود به‌عنوان برآورد از دست دادن دائمی ذخایر آب زیرزمینی در دره سن ژوآکونین کالیفرنیا عنوان کردند اگر آب بیش از حد از آبخوان‌ها استخراج شود، مخصوصاً در نواحی که لایه‌های خاک رس دارند، متراکم شدن لایه‌های خاک به دلیل افت فشار آب باعث ایجاد حالت غیرقابل برگشت می‌شود و توانایی خاک برای حفظ و نفوذ آب از دست می‌رود، از این رو آبخوان ظرفیت دریافت آب خود را به‌طور دائم از دست می‌دهد. همچنین آن‌ها در تحقیق خود کاهش حجم آبخوان را ۴۱۴ تا ۷۴۷ میلیون مترمکعب برآورد کردند. (مقصودی و همکاران ۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری، میزان فرونشست غرب تهران را ۱۵ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند. روزبان و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی (DInSAR) و تصاویر سنتینل ۱، میزان فرونشست سالانه دشت رفسنجان را ۲۸ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. میزان فرونشست به دست آمده از روش تداخل سنجی راداری در دشت نوق - بهرمان واقع در استان کرمان را با تغییرات تراز آبی استخراج کرده از چاه‌های پیرومتری مقایسه نموده و پی به ارتباط عددی بین آن‌ها برده است. نرخ و محدوده فرونشست در دشت رفسنجان با پردازش

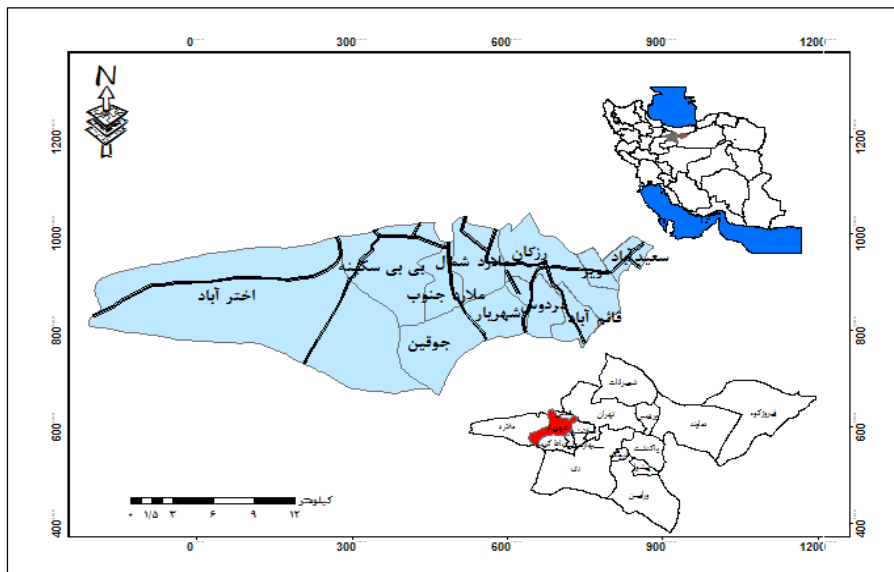
در ۱۵ کیلومتری شمال غرب شهریار قرار دارند. شهرستان شهریار از سه بخش قدس، مرکزی و ملارد تشکیل شده است. شهریار، اندیشه، باغستان، فردوسیه، شاهد شهر، صبا شهر و وحیدیه از شهرهای شهرستان شهریار به شمار می‌روند.

شهرستان ملارد با مساحت ۹۳۰ کیلومترمربع و جمعیتی بالغ بر ۴۰۰ هزار نفر یکی از شانزده شهرستان استان تهران است. دارای دو بخش مرکزی و صفادشت می‌باشد که در غرب استان تهران واقع شده است. شهرستان ملارد از غرب و شمال با استان البرز، از جنوب با استان مرکزی و از شرق با شهرستان شهریار مرز مشترک دارد. فاصله شهرستان ملارد تا مرکز استان ۵۰ کیلومتر است. تا سال ۱۳۸۸ شهرستان ملارد در تقسیمات کشوری یکی از بخش‌های شهرستان شهریار محسوب می‌شد تا اینکه بر اساس مصوبه شماره ۴۱۸۳۶/ت/۱۹۰۹۴ مورخ ۱۳۸۸/۰۲/۰۱ هیئت محترم دولت و ابلاغیه شماره ۶۱۱/۱۷۶۹۴۹ مورخ ۱۳۸۸/۰۹/۰۸ استانداری تهران، با انتزاع از شهرستان شهریار به شهرستانی مستقل ارتقاء یافت. این شهرستان دارای دو بخش مرکزی و صفادشت، دو شهر به نام‌های ملارد و صفادشت، چهار دهستان به نام‌های ملارد شمالی، ملارد جنوبی، بی‌بی سکینه و اخترآباد می‌باشد. در راستای انجام این پژوهش از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای متعددی استفاده شده است که عمده آنها مشتمل بر موارد زیر خواهد بود: در این پژوهش از تصاویر سنتینل ۱ که در محدوده باندها C امواج ماکروویو اخذ تصویر می‌کند، استفاده شده است. سپس پردازش‌های لازم از طریق افزونه SARSCAPE 5.2 در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد و تکنیک مورد استفاده در این پژوهش به منظور تعیین میزان فرونشست، روش تداخل‌سنجی

تصاویر از ماهواره‌های ALOS, ENVISAT, Sentinel-1 S1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ محاسبه شده است. (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۴)، اقدام به بررسی پیش‌بینی افت سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی ام اس و جی ای پی نمودند نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که با افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۹۵ سانتی‌متر و ۳۴۳ سانتی‌متر، نشست زمین به ترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۴۵,۳۹ سانتی‌متر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که در دشت دامغان سطح آب زیرزمینی به‌طور مداوم در حال پایین آمدن و مقدار نشست زمین در حال افزایش می‌باشد. لذا پمپاژ از چاه‌های واقع در نواحی با ریسک بالا باید کاهش یابد. (صفاری و همکاران، ۱۳۹۵)، به بررسی پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات ناشی از برداشت آب حدود ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر مربع می‌باشد. میزان افت سطح آب ۲۲ متر در طی ۱۲ سال می‌باشد. میزان برداشت آب از چاه‌ها حدود ۶۰۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. با توجه به موارد مذکور هدف از تحقیق حاضر بررسی میزان فرونشست دشت شهریار و ملارد با استفاده روش تداخل‌سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱ برای تاریخ‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ و همچنین بررسی تأثیر و ارتباط افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی بر میزان فرونشست در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهرستان شهریار واقع در غرب استان تهران است که قبلاً به آن علیشاه گفته می‌شد. شهرستان شهریار با قدمت تاریخی خود، در گذر زمان نام‌های متفاوتی داشته است. خششیره دار، شتردار، شهردار و علیشاه عوض نام‌های پیشین شهریار بوده‌اند. کرج در ۴۰ کیلومتری شمال شهریار، شهر قدس در ۲۰ کیلومتری شمال شرق، اسلامشهر در ۳۵ کیلومتری جنوب شرق، رباط‌کریم در ۲۰ کیلومتری جنوب، پرند در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب، ملارد در ۱۵ کیلومتری غرب و اندیشه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات تصاویر راداری در تحقیق انجام گرفته در دشت شهریار و ملارد

Year	Sensor name	passage Satellite	Sub-image
016	Sentinel1	Ascending	20140703 S1A_OPER_AUX20140703
2020	Sentinel1	Ascending	S1A_OPER_AUX_20200419

است. فاز در تصویر راداری از طریق فاصله بین آنتن سنجنده و عارضه زمینی مشخص می‌گردد. اگر چه فاز یک تصویر منفرد به سختی اطلاعات مفیدی در اختیار قرار می‌دهد اما تفاوت فاز یک زوج تصویر هم‌مرجع و هم‌دوس اطلاعات ذی‌قیمتی در اختیار محققان قرار می‌دهد. در تداخل سنجی راداری تفاوت فاز دو تصویر از یک منطقه زمانی و خط مبنای مشخص تعیین می‌گردد (دهقانی بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۹). روش تداخل سنجی راداری امکان تولید مدل رقومی ناهمواری‌های زمین را فراهم می‌آورد که دقت ارتفاع بهینه آن برای داده‌های نوار C با طول موج ۵/۶ سانتیمتر حدود پنج متر است (Chatterjee, 2006). این روش را برای اولین بار

تفاضلی با گشودگی ترکیبی دو عبور مکرر و یا غیر مکرر می‌باشد. از اساسی‌ترین مراحل در پردازش تداخل سنجی راداری انتخاب مناسب زوج تصویر مناسب است که چند عامل همچون فرکانس سنجنده، خط مبنای مکانی، خط مبنای زمانی و همچنین همپوشانی فضایی در راستای حرکت سنجنده در انتخاب زوج تصاویر مؤثر می‌باشند. در پژوهش حاضر از دو تصویر Sentinel-1-A از نوع SLC مربوط به سال ۲۰۱۴ و سال ۲۰۲۰ استفاده گردید. مشخصات تصاویر راداری در جدول ۱ ارائه شده است. یک سیگنال راداری با درجه مصنوعی از دو بخش دامنه و فاز تشکیل شده است. دامنه، قدرت سیگنال برگشتی است و فاز کسری از یک سیگنال کامل موج سینوسی

(Dt) تابع اختلاف فاز دو تصویر $(\Delta\Phi_{int})$ به همراه فاز ناشی از توپوگرافی (Φ_{Top}) و فاز ناشی از اتمسفر خواهد بود (Ding et al 2004).
رابطه (۲)

$$\Delta\Phi_{int} = 4\pi \frac{SP-MP}{\lambda} = \Phi_{Top} + \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm}$$

در نهایت، با نادیده انگاشتن اثر اتمسفر در جابجایی‌هایی به میزان بالا (چند سانتی‌متر) و یا حذف آن به کمک تصاویر اپتیکی اختلاف فاز دو تداخل نگار فقط بیان کننده مقادیر جابجایی سطح (فرونشست) خواهد بود. تداخل نگار تفاضلی حاصل در برگزیده مقدراری نویز است. عامل به وجود آورنده این نویزها می‌تواند مختلف باشد، دو عامل اصلی در به وجود آمدن آن‌ها تأثیر گذار است (حیب زاده، ۱۳۹۲)

عامل اول مربوط به تفاوت زمانی بین دو تصویر اصلی و وابسته است. گاهی اوقات برخی از تغییرات در منطقه که در بین فاصله زمانی بین دو تصویر اتفاق می‌افتد جز عوامل به وجود آورنده نویز می‌باشند که می‌توان به ساخت و سازهای مربوط به فعالیت‌های عمرانی و یا فعالیت‌های کشاورزی در منطقه اشاره کرد. عامل دوم که در به وجود آوردن نویزها تأثیرگذار است خط مبنای مکانی می‌باشد که میزان نویزها در تصاویر ارتباط مستقیمی با خط مبنای مکانی دارد، هر چه این میزان بیشتر باشد ما شاهد وجود نویزهای بیشتری در تداخل نگار هستیم. در منطقه مورد مطالعه به دلیل مهاجر پذیر بودن شهرستان شهریار و ملارد و نرخ بالای رشد ساکنین آن شاهد ساخت و ساز و فعالیت‌های عمرانی زیادی هستیم. علاوه بر این عامل، وجود زمین‌های کشاورزی و باغات جز عوامل ایجاد نویز در تصاویر است و برای حذف و کاهش نویزها از عمل فیلترینگ استفاده شده است. به دلیل کارایی بالای فیلتر Goldstein در انجام این تحقیق از آن استفاده شده است، نتیجه اعمال فیلتر تولید تداخل نگار فیلتر شده است که این تداخل نگار از لحاظ بصری حاشیه‌های مرتب تری نسبت به تداخل

توسط Zebeke و Goldstein در سال ۱۹۸۹ ارائه شد. این اصطلاح به روش اندازه‌گیری پاره‌ای از پارامترها از قبیل توپوگرافی، تغییرات و جابجایی سطح زمین از طریق تداخل فاز دو یا چند تصاویر راداری با روزنه مجازی (SAR) اخذ شده از منطقه مشابه اطلاق شده است. این روش قادر است با استفاده از دست کم دو تصویر DEM یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری تغییرات سطحی رخ داده در زمین را در بازه‌های متفاوت با دقت‌های میلی‌متری آشکارسازی می‌کند. اصول بنیادین نحوه اندازه‌گیری تغییرات سطحی پوسته زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست (تصویر اصلی) T_0 ثبت و مقدار فاز را (Φ_m) آن را اندازه‌گیری می‌کند. مقدار نشست عبارت‌اند از فاصله P تا P_1 که طی زمان مشخصی صورت گرفته است (Dt). برای اندازه‌گیری این مقدار، سنجنده تصویر دومی (تصویر فرعی) در زمان t و با هندسه‌ای کاملاً شبیه به تصویر نخست اخذ کرده، مقدار فاز (Φ_m) را برای آن اندازه‌گیری می‌کند. روش تداخل سنجی تفاضلی، تفاضل فاز Φ_s و Φ_m را در فرم تداخل نگار فازی نمایش می‌دهد $(\Delta\Phi_{int})$. در صورت ثابت و پایدار بودن سطح، تفاضل فاز این دو تصویر ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده و مقدار آن به کمک رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\Delta\Phi_{int} = 4\pi \frac{SP-MP}{\lambda} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن SP فاز تصویر اول، MP فاز تصویر دوم، عدد پی با مقدار ثابت $3/14$ و λ طول موج می‌باشد. در اندازه‌گیری مقدار فرونشست در این روش، سطح ناپایدار تصور شده، به طوری که سطح از P به P_1 تنزل یافته است. تعیین مقدار نشست در فاصله زمانی دو تصویر

نحوی تعریف می‌شوند تا تابع درون یابی بهینه شود و برآورد دقیق تری از متغیر مورد بررسی امکان پذیر شود. از همین روش‌ها می‌توان برای بهینه سازی تراکم نمونه‌ها نیز استفاده کرد علاوه بر آن عدم اطمینان درون یابی یا به عبارت دیگر کیفیت درون یابی نیز قابل برآورد است. رابطه (۳)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

که در این رابطه $\gamma(h)$ ، مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند؛ $n(h)$ تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند؛ $z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر x در موقعیت i و $z(x_i + h)$ ، مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله h از x_i است.

چنانچه واریوگرام بدون توجه به جهت بین زوج نمونه‌ها تهیه شود، اصطلاحاً واریوگرام ایزوتریپیک نامیده می‌شود. گاهی ممکن است تغییر پذیری در جهات مختلف تفاوت‌های زیادی داشته باشد. در این شرایط استفاده از واریوگرام جهتی مفیدتر خواهد بود. با استفاده از واریوگرام جهتی، وابستگی مکانی در جهات مختلف قابل مدل سازی است و سوال مربوط به تعیین جهت همسایگی در درون یابی که در روش عکس فاصله مطرح است، تا حد زیادی در این مدل به صورت کمی و نه تنها با قضاوت شخصی قابل پاسخ است (دکترعباس علی محمدی، ۱۳۸۸).

بعد از اینکه روش‌های مختلف درون یابی را بر روی داده‌های عمق آب‌های زیرزمینی سنجیدیم برای رسیدن به بهترین مدل تغییرات سطح در آب زیرزمینی در منطقه‌ی شهریار و ملارد مقایسه‌ای بین این روش‌ها صورت گرفته است و آن روشی که دارای کمترین میزان خطا باشد به عنوان بهترین مدل شناخته شده است.

معیارهای اعتبارسنجی به شرح زیر است:

$$MBE = \frac{1}{N_V} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \hat{z}(x_i)] \quad \text{رابطه (۴)}$$

نگار فیلتر نشده دارد و میزان نویز در آن‌ها کاهش چشمگیری داشته است. ویژگی این فیلتر این است که به صورت انتخابی عمل می‌کند و عمل فیلتر گذاری به صورت محلی انجام می‌شود، نوع عملکرد این فیلتر تحت تأثیر همبستگی تداخل نگار است، در مواردی که شاهد همبستگی پایین است مقدار پیکسل‌های بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در مواردی که شاهد همبستگی بالا است تعداد پیکسل‌های محدودی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (حبیب زاده و علی المدرسی، ۱۳۹۲).

مدل رقومی ارتفاعی: SRTM فاز اینترفروگرام حاوی اثر توپوگرافی، خطای مداری و اثرات اتمسفر می‌باشد. برای به دست آوردن جابه جایی سطح زمین در یک بازه زمانی، می‌بایست خطاهای مداری، اثرات توپوگرافی و نویز اتمسفر از اینترفروگرام‌ها حذف گردند. برای حذف اثر توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر مورد استفاده قرار گرفته است. خطاهای مداری نیز با برازش یک رویه به مناطقی که فاقد جابه جایی هستند مدل سازی شد و از اینترفروگرام مورد نظر کم گردید. خطای اتمسفر را می‌توان به کمک اطلاعات جوی و مدل اتمسفری تعدیل نمود (Maisonet and Figel, 1998).

برای درون یابی داده‌های آب زیرزمینی از روش کریجینگ استفاده گردید.

کریجینگ

کریجینگ روش درون یابی مبتنی بر اصول قوی است. ایده‌ی کلی این روش برآورد ویژگی‌های کلی یک سطح با استفاده از نقاط اندازه‌گیری شده و همچنین ویژگی‌های عمومی مشخص شده در برآورد نقاط مجهول است. همواری از مهم‌ترین ویژگی‌هایی محسوب می‌شود که با استفاده از روش‌های آماری معتبر در کریجینگ به صورت عملی پیاده شده است.

با مدل سازی رابطه بین اختلاف فاصله و اختلاف Z ها می‌توان نسبت به بهینه سازی اندازه و شکل و جهت همسایه‌ها و تعداد نمونه‌ها اقدام کرد. وزن نمونه‌ها نیز به

RMSE ریشه دوم میانگین مربعات خطا

که هر چقدر کمتر باشد، نشانگر خطای کمتر مدل بوده و فرمول عمومی آن به صورت زیر می‌باشد:

رابطه (۵)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{N_v} [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2}$$

در روابط فوق $z(x_i)$ مقدار برآوردی متغیر در (x_i) ؛ \hat{z} مقدار مشاهده‌ای متغیر در x_i ؛ n تعداد نقاط با متغیر مشاهده‌ای می‌باشد.

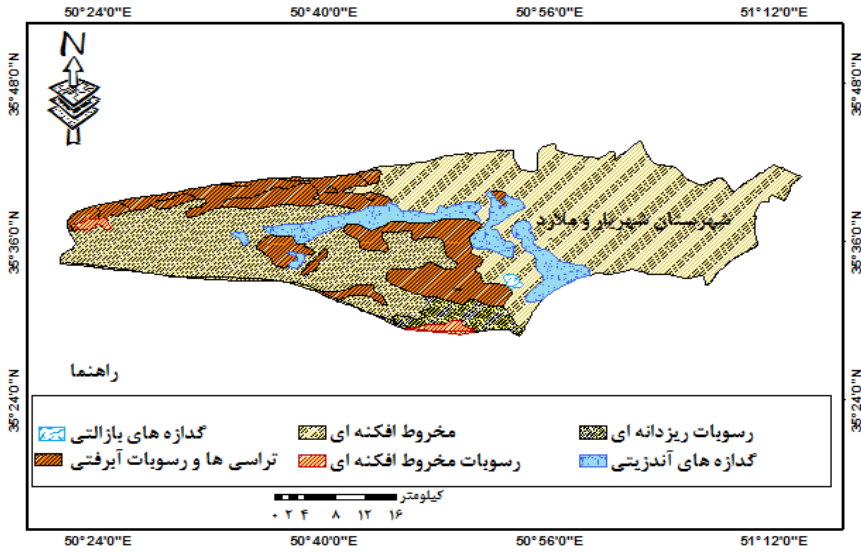
MBE نشانگر میانگین انحراف مقدار برآوردی از مقدار مشاهده شده است که مسلماً هر چه کمتر باشد، بهتر است این آماره می‌تواند مثبت و یا منفی باشد که اگر برآورد بیشتر صورت گرفته باشد، مثبت و بر عکس، منفی خواهد شد (سقفیان و همکاران، ۲۰۱۰)

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

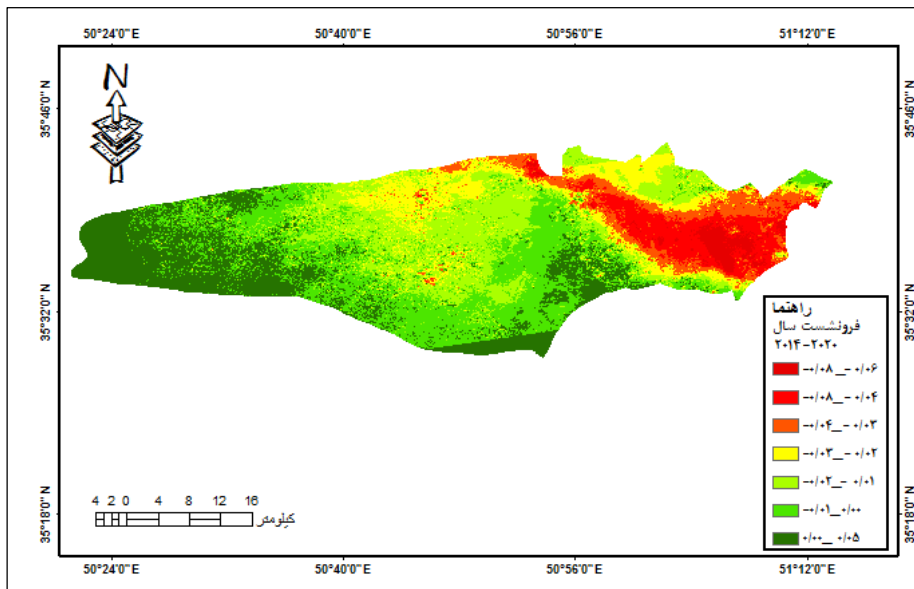
این منطقه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی دارد که اغلب شامل آبرفت‌های جوان موسوم به آبرفت‌های سری C و B است. سنگ بستر در این منطقه از نهشته‌های کواترنری و سازندهای کهن تر است و در آن‌ها سنگ‌های آتش فشانی ائوسن نیز دیده می‌شود. نهشته‌های کواترنری، شامل رسوبات و آبرفت‌های نیمه سخت شده یا سخت نشده دشت‌ها می‌باشد. این آبرفت‌ها متشکل از جوان ترین نهشته‌های رودخانه‌ای یا سیلابی است که در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، مخروط افکنه‌های جوان در شهریار و ملارد بر جای گذاشته اند و دشت شهریار از این آبرفت‌های کنونی تشکیل شده که دارای نفوذپذیری زیاد بوده و میزان مقاومت مکانیکی آن در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد. به‌طور کلی تشکیلات زمین‌شناسی شهریار و ملارد را می‌توان به دو بخش سنگ‌های آتش فشانی و تشکیلات رسوبی تقسیم نمود. سنگ‌های آتشفشانی: که شامل آندزیت‌هایی به رنگ قهوه‌ای بوده و تشکیلات زمین‌شناسی غرب منطقه را

تشکیل می‌دهند، این آندزیت‌ها به طور عمده از سنگ‌های آذرین و آمفیبول تشکیل شده‌اند که به واسطه تجزیه اکسیدهای آهن سطح آن‌ها رنگ قهوه‌ای و سیاه به خود گرفته اند.

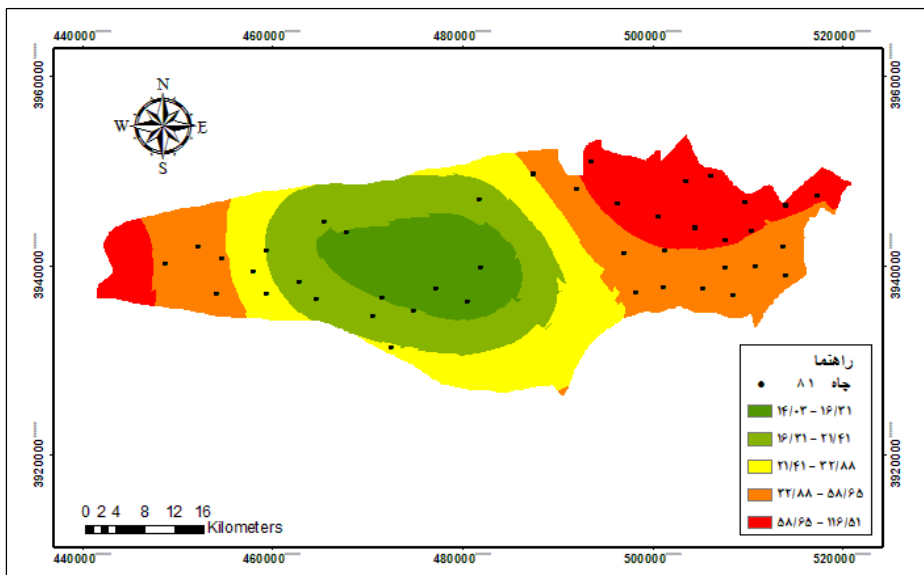
تشکیلات رسوبی: که بخش وسیعی از زمین‌های این منطقه را به خود اختصاص داده و از تشکیلات آبرفتی که بر روی رسوبات میوسن فوقانی رسوب کرده‌اند تشکیل شده است. نقشه خروجی حاصل از مقادیر مثبت جابجایی مربوط به حرکت زمین به سمت دید راداری (بالا آمدگی) و مقادیر منفی بیانگر دور شدن سطح زمین از سنجنده در راستای دید راداری (فرونشست) نام دارد. نتایج حاصله در شکل ۳ نمایش داده شده است. بررسی وضعیت فرونشست در ۶ سال اخیر از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۲۰ میزان فرونشست افزایش یافته است. مناطق قرمز رنگ دارای بیشترین میزان فرونشست ۸ سانتیمتر را نشان می‌دهد و مناطق سبز رنگ دارای بالا آمدگی ۵ سانتیمتری می‌باشد. فرونشست دشت شهریار و ملارد مشخص شد که در دوره مطالعه شده میزان فرونشست قابل توجهی را شاهد هستیم و مقایسه آن با اطلاعات به دست آمده از سطح همراه می‌باشد. بر اساس اطلاعات به دست آمده از نقشه آب، پدیده فرونشست را تأیید می‌کند و بیان می‌دارد که زمانی که در منطقه فرونشست صورت می‌گیرد، فقط پایین رفتن صورت نمی‌گیرد، بلکه البته یا بالا آمدگی نیز کاهش سطح آب در منطقه دلیل اصلی فرونشست است. در نقشه فرونشست بیشترین میزان نشست در قسمت شرقی و شمال دشت و کمترین میزان آن در شمال غرب و جنوب دیده می‌شود. به منظور انتخاب بهترین مدل درونیابی از بین مدل‌های مختلف، تمامی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و تنها مدل‌هایی انتخاب شدند که دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بودند. به منظور پایش سطح تراز آب‌های زیرزمینی نقشه سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای هر چهار سال با روش مدل‌های کریجینگ نتایج از دقت بالایی را نشان می‌دهد.



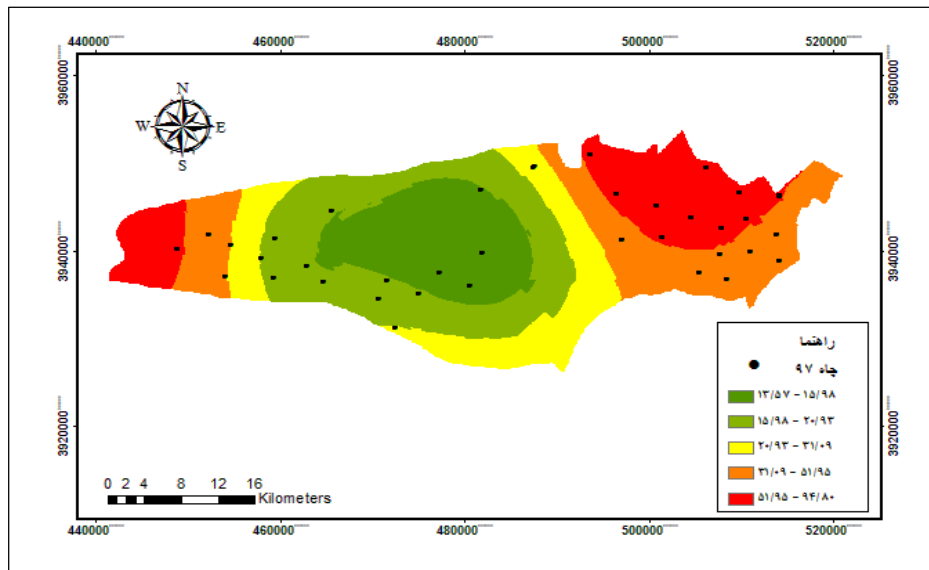
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



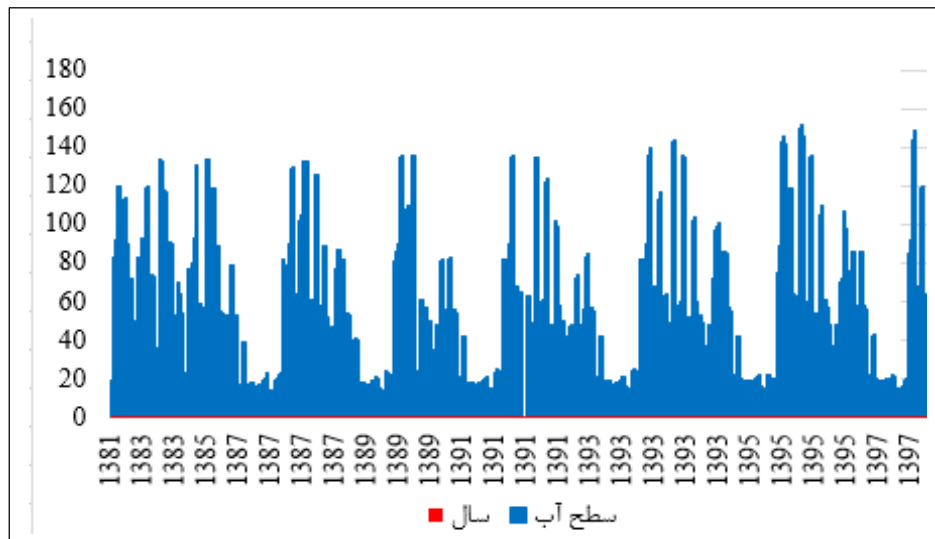
شکل ۳- نقشه فرونشست زمین در دشت شهریار و ملارد بر اساس داده های راداری



شکل ۴- نقشه سطح آب در دشت مورد مطالعه در ۸۱ سال



شکل ۵- نقشه سطح آب در دشت مورد مطالعه در سال ۹۷



شکل ۶- نمودار تغییرات سطح آب از سال ۸۱ تا ۹۷ مربوط به ۸۰ حلقه چاه پیزومتری در دشت مورد مطالعه

جدول ۲- خصوصیات لایه‌های رسوبی دشت مورد مطالعه

واحد	لیتولوژی	ضخامت (m)	رده بندی خاک	وزن واحد حجم	شاخص خمیری	نسبت پوکی	رطوبت	حد روانی
رس ریزدانه	رس و سیلیت	۲۷-۷	CL-ML	۱۶/۲-۱۶/۹	۴-۲۱/۸	۰/۵۸-۰/۷۵	۲۲/۶-۲۹	۲۴/۷-۴۴/۶
آبخوان	ماسه لای و ماسه رسی	۳-۱۲	SM-SC	۱۶/۴-۱۶/۵	۶/۰-۱۰/۵	۰/۲۵-۰/۳۲	-	۲۰/۱-۳۷/۵
رس ریزدانه	رس و در مواردی سیلیت	۱۶-۲۹	CL	۱۶-۱۷/۵	۸-۲۲	۰/۵۲-۰/۷۶	۲۱-۲۹/۷	۲۷-۴۶/۸
آبخوان	ماسه، ماسه لای دار و ماسه رسی	۶-۱۸	SM, SC, SP	۱۸/۹-۲۱	۱۰/۹-۱۴/۹	۰/۲۵-۰/۳۴	-	۲۲/۴-۳۱/۵
رس ریزدانه	رس و سیلیت	۹-۴۱	CL, ML	۲۰/۱-۲۰/۹	۶/۶-۲۲/۱	۰/۶۴-۰/۸۲	۲۰-۳۳/۸	۲۳/۳-۴۸/۸
آبخوان	ماسه لای دار و ماسه رسی	۲-۲۰	SM, SC	۲۱/۱-۲۲/۴	۱۲/۱-۱۹/۸	۰/۲۵-۰/۳۴	-	۲۲/۶-۳۹/۴

۱) سنگ‌های آتشفشانی و توفی: این تشکیلات قسمت بالادست دشت مخروطی (حوضه آبریز کرج) را در بر می‌گیرد. این سنگ‌های توفیک و آتشفشانی دوره ائوسن (شامل شیل زیرین، توف میانی، شیل‌های آسارا، توف بالایی و شیل‌های کندوان) با عنوان سازند کرج نام گذاری شده‌اند.

۲) تشکیلات رسوبی: در حوضه آبریز بیشتر سازندها از نوع توفهای سبز و سنگ‌های آتشفشانی سازند ائوسن کرج هستند، مواد دشت مخروطی به‌ویژه در شمال محدوده بیشتر دانه درشت است. این رسوبات حاصل فعالیت رودخانه کرج و همچنین رودخانه‌ها و سیلاب‌های فصلی هستند. مطالعه تعدادی از ترانسه‌ها در برداشت‌هایی که توسط نگارنده نیز انجام شده است مشاهده می‌گردد عناصر تشکیل دهنده آبخوان به نسبت‌های متفاوت از قلوه سنگ، شن و ماسه، سیلت و رس تشکیل یافته و از حاشیه شمالی به سمت بخش‌های میانی و خروجی دشت، قطر ذرات رسوبی به تدریج کاهش می‌یابد.

روش K-Bessel با مقدار RMS ۰/۱۳۴، روش Gaussian با مقدار RMS ۰/۱۳۵، دقیق‌ترین روش شناخته شده، استخراج شدند. در این پژوهش، نرخ و دامنه فرونشست استخراج شده به وسیله تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی از طریق اطلاعات چاه‌های پیژومتری مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. به این ترتیب یافته‌های تحقیق به کمک داده‌های چاه‌های پیژومتری و کاربری اراضی مورد کنترل و ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نقشه درونیابی شکل ۴ و ۵ با توجه به سطح آب زیرزمینی دشت علیرغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود سطح آب در سال ۸۱ به ۱۱۶ متر و در سال ۹۷ سطح آب به ۹۴/۸۰ متر رسیده است که در طی ۱۷ سال گذشته کاهش ۲۲ متری افت سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. به طور کلی از لحاظ لیتولوژی و چینه شناسی دشت مورد مطالعه و حوضه آبخیز آن به دو بخش تقسیم می‌شود:

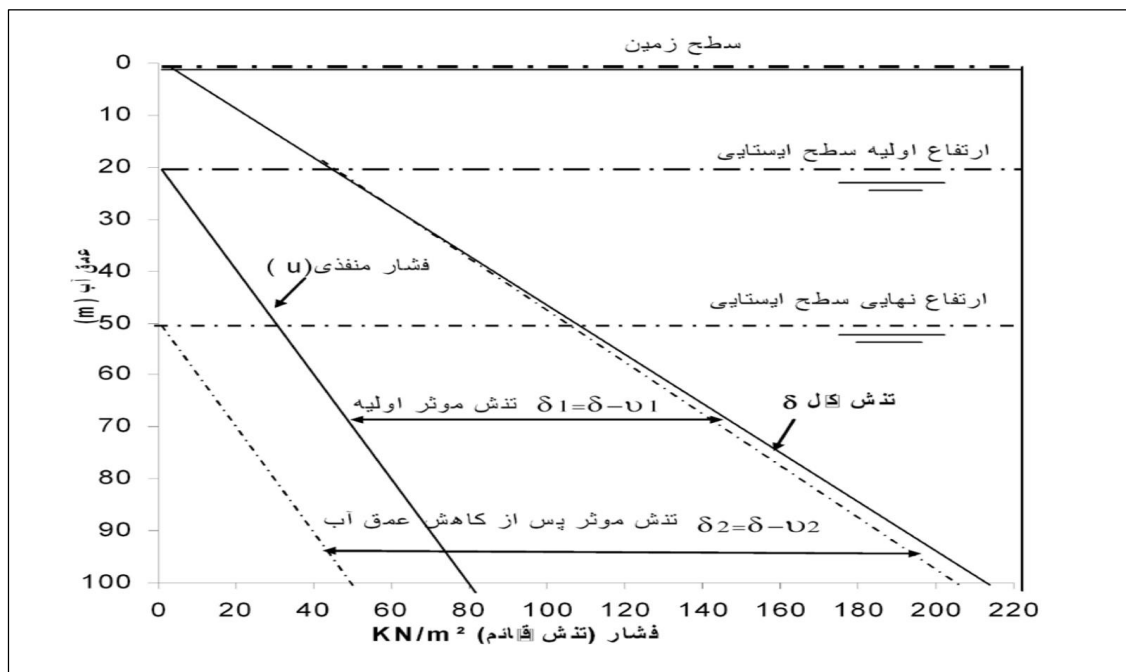


شکل ۷- کج شدن خطوط انتقال برق در اثر فرونشست زمین در دشت ملارد

شکل ۸- بیرون زدگی بئج مارک خط لوله انتقال نفت ۱۶ اینچ از ری به تبریز اثر پدیده فرونشست زمین در دشت ملارد



شکل ۹- ترک‌های ایجاد شده در دیوار باغ بر اثر پدیده فرونشست زمین در دشت شهریار



شکل ۱۰- افزایش تنش موثر قائم در اثر افت سطح آب زیرزمینی

به هم ، تحمل می شود این قسمت با شدت مساوی در تمام جهات عمل می کند و تشکیل فشار منفذی (u) را می دهد بقیه تنش کل توسط قسمت جامد خاک در نقاط تماس آنها تحمل می شود که در حقیقت همان وزن خاک

ارزیابی و محاسبه نشست زمین

تنش کلی (δ) در ستونی از خاک که بخشی از آن توسط سفره آب زیرزمینی اشباع شده است به دو قسمت تقسیم می شود. قسمتی که توسط آب موجود در منافذ مرتبط

پیش بارگذاری طبیعی خاک مربوط به وزن رسوبات قبلی می باشد. مرحله دوم تحکیم اولیه که در طی آن به دلیل خروج آب منفذی، فشار آب منفذی به تدریج به تنش موثر تبدیل می شود و مرحله سوم تحکیم ثانویه است که بعد از دفع و از بین رفتن کامل فشار آب منفذی اضافی و در زمانی که تغییر شکل نمونه به علت شکل گیری مجدد و وضعیت خمیری خاک اتفاق می افتد، انجام می شود. در یک خاک دانه ریز اشباع برای محاسبه نشست ناشی از تحکیم اولیه (S) در زمین با فرض تحکیم یک بعدی می توان با داشتن حد روانی میانگین لایه های خاک (II) و نسبت منافذ (e) اقدام نمود با توجه به شکل (۱۰) و داشتن حجم جامد خاک (VS) و نسبت منافذ اولیه (e۰) کاهش حجم قابل محاسبه می باشد.

رابطه (۷)

$$V_s = \frac{V_0}{1 + e_0} = \frac{AH}{1 + e_0}$$

$$S.A = \Delta e V_s = \frac{AH}{1 + e_0} \Delta e$$

$$S = H \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

در رابطه با خاک های دانه ریز تغییرات حجم و نسبت منافذ نسبت به افزایش فشار و تنش موثر به صورت یک منحنی نیمه لگاریتمی می باشد و زمانی که فشار کل اعمال شده بر روی خاک بزرگتر از حداکثر فشار موثر سربار باشد تغییر در نسبت منافذ بسیار بیشتر بوده و منحنی به صورت خطی و با شیب تندتری خواهد بود. که این وضعیت به عنوان شاخص فشردگی (تراکم) خاک (CC) مشهور است.

$$C_C = \frac{\Delta e}{[\log(P_0 + \Delta P) - \log P_0]} \quad \text{رابطه (۸)}$$

با توجه به رابطه (۷) مقدار نشست بدست می آید:

$$S = \frac{C_C H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right) \quad \text{رابطه (۹)}$$

آقای ترزاقی و پک (۱۹۷۶) رابطه تجربی زیر را برای تعیین CC ارائه کرده اند.

بوده و مجموع مولفه های قائم نیروهای وارده در نقاط تماس ذرات جامد یا تنش موثر (δ') می باشد

$$\delta = u + \delta' \quad \text{رابطه (۶)}$$

تنش موثر در هر نقطه ای از خاک به دلیل بهره برداری از آب زیرزمینی و کاهش سطح ایستابی دستخوش تغییراتی خواهد شد و همچنین وضعیت تخلخل در خاک غوطه ور در آب زیرزمینی با تخلخل آن در خاک بالای سطح آب زیرزمینی متفاوت است و تنش موثر در خاک تغییر حجم و مقاومت آن را کنترل می کند و افزایش مقدار تنش موثر باعث می شود که خاک به حالت فشرده و متراکم تری نسبت به قبل در آید و در نتیجه با توجه به رابطه (۶) هر چه میزان ارتفاع آب کاهش یابد باعث کم شدن فشار منفذی و به عبارتی باعث افزایش تنش موثر می گردد و در شرایطی که این فشار خارج از تحمل خاک باشد لایه های خاک متحمل مقدار مشخصی فشردگی و نشست خواهند شد. این نشست در اثر تغییر شکل ذرات خاک، تغییر جا و مکان آنها، حذف آب بین منافذ و دلایل دیگر می باشد. بطور کلی نشست خاک به دو نوع قابل تقسیم است: اول نشست تحکیم که ناشی از کاهش حجم خاک اشباع بر اثر خروج آب داخل منافذ می باشد و نشست آبی، که ناشی از تغییر شکل الاستیک خاک خشک و نیز ناشی از تغییر شکل الاستیک خاک های مرطوب و اشباع بدون هیچگونه تغییری در میزان رطوبت آنها می باشد.

در خاک های ماسه ای که نفوذپذیری بیشتری نسبت به خاک های ریزدانه دارند نشست آبی و تحکیم همزمان می باشد و در خاک های ریزدانه رسی با افزایش تنش موثر بلافاصله نشست الاستیک خواهیم داشت و تغییر حجم (تحکیم) مربوط به آن نیز مدت طولانی بعد از نشست آبی ادامه پیدا می کند و این نشست به مراتب بیشتر از نشست آبی می باشد. عموماً سه مرحله در تاریخ تغییر شکل و نشست خاک یک منطقه می توان در نظر گرفت: مرحله اول تراکم و نشست اولیه که غالباً در اثر

$$S = \sum_1^n \frac{h_1}{E_1} \cdot \Delta P_1$$

رابطه (۱۱)

$$C_c = 0.009(l - 10)$$

رابطه (۱۰)

h میزان کاهش ارتفاع آب زیرزمینی و Δp اختلاف فشار حاصل از افزایش تنش موثر می باشد.

برای تعیین نشست الاستیک خاک در اثر افزایش فشار که بخاطر کاهش ارتفاع آب زیرزمینی می باشد می توانیم برای هر یک از لایه ها میزان نشست را با داشتن مدول الاستیسیته (E) خاک محاسبه نمائیم.

جدول ۳- ویژگیهای رسوبات و ضخامت لایه های رسوبی بر مبنای لوگ های حفاری دشت ملارد و شهریار

موقعیت محل چاه	مختصات چاه (x)	مختصات چاه (y)	جنس رسوبات	ضخامت رسوبات
سه راه ملارد- بلوار رسول اکرم- روبروی بخشداري - محوطه فضای سبز شهری	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	قلوه سنگ	از عمق صفر تا ۲۰ متری
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	قلوه سنگ ، شن درشت ریزشی	از عمق ۲۰ متر تا ۵۰ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	قلوه سنگ ، شن درشت	از عمق ۵۰ متر تا ۸۵ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	قلوه سنگ ریز ، شن ، رس	از عمق ۸۵ متر تا ۱۱۵ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	قلوه سنگ ریز ، شن ، رس کم	از عمق ۱۱۵ متر تا ۱۴۵ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	شن درشت ، رس کم	از عمق ۱۴۵ متر تا ۱۵۲ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	شن ، رس	از عمق ۱۵۲ متر تا ۱۵۸ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	شن درشت ، رس کم	از عمق ۱۵۸ متر تا ۱۶۴ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	رس ، شن کم	از عمق ۱۶۴ متر تا ۱۷۴ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	شن ، رس	از عمق ۱۷۴ متر تا ۱۸۳ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	رس با میان لایه های شنی	از عمق ۱۸۳ متر تا ۱۹۸ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	رس	از عمق ۱۹۸ متر تا ۲۰۵ متر
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	شن ، رس	از عمق ۲۰۵ متر تا ۲۱۰ متر
۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	رس	از عمق ۲۱۰ متر تا ۲۱۲ متر	

موقعیت محل چاه	مختصات چاه (x)	مختصات چاه (y)	ضخامت رسوبات	جنس رسوبات
سه راه ملارد- بلوار رسول اکرم- روبروی بخشداري - محوطه فضای سبز شهری	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	از عمق ۲۱۲ متر تا ۲۱۷ متر	شن ، رس
	۴۹۸۱۶۴	۳۹۴۷۱۱۷	از عمق ۲۱۷ متر تا ۲۲۵ متر	رس

موقعیت محل چاه	مختصات چاه (x)	مختصات چاه (y)	ضخامت رسوبات	جنس رسوبات
شهریار - میدان نماز - جاده اندیشه - روستای محمد آباد - جنب کانال آب - - -	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	صفر تا ۶ متر	قلوه سنگ
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۶ متر تا ۱۲ متر	شن درشت
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۲ متر تا ۲۲ متر	قلوه سنگ ریز ، شن درشت
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۲۲ متر تا ۳۷ متر	قلوه سنگ
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۳۷ متر تا ۱۰۲ متر	قلوه سنگ ، شن درشت
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۰۲ متر تا ۱۲۷ متر	قلوه سنگ ریز ، شن
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۲۷ متر تا ۱۳۸ متر	شن درشت ، رس کم
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۳۸ متر تا ۱۶۶ متر	شن، قلوه سنگ ریز دانه
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۶۶ متر تا ۱۷۵ متر	شن درشت ، قلوه سنگ ریز دانه ، رس کم
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۷۵ متر تا ۱۸۰ متر	قلوه سنگ ریز دانه ، شن
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۸۰ متر تا ۱۹۲ متر	شن
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۱۹۲ متر تا ۲۰۰ متر	شن ، رس کم
	۵۰۶۰۷۹	۳۹۳۷۷۰	۲۰۰ متر تا ۲۰۹ متر	شن

نتیجه گیری

پدیده فرونشست با این گستردگی، ابعادی فراتر از یک رخداد ساختاری داشته و در حال تبدیل شدن به یک معضل ملی است. مخاطره‌ای که حال و آینده بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان آب را به چالش کشیده و با مشکلات حل نشده مواجه می‌سازد. با توجه به مستقر شدن نواحی پر جمعیت کشور در کانون‌های پر خطر زمین لرزه، همزادی و همزمانی بعضی از فرونشست‌ها با همزمانی زمین لرزه یک فاجعه بزرگ و پر خطر است. فروریزش یکباره و ناگهانی بستر در اراضی که به سبب فرونشست واجد چنین قابلیت است را فعال کرده و منجر به تلفات جانی و مالی خواهد شد. فرونشست زمین سبب تغییر در سطح ایستابی و تغییر در مرفولوژی سطحی می‌شود. این مسئله بستر رودخانه‌ها و مسیل‌های کم شیب موجود در دشت‌ها را دگرگون می‌سازد و با تغییر در شیب بستر و در مواردی ایجاد شیب معکوس، امکان سیل‌گیری نواحی مسکونی را فراهم می‌سازد. به طوری که نواحی و عرصه‌هایی که هرگز در معرض سیل و یا آب گرفتگی تاریخی قرار

نداشته‌اند، مورد تهدید این مخاطره قرار خواهد داد. در چنین بستر مخاطره‌آمیزی به سبب عدم اطلاع‌رسانی مناسب از رویداد فرونشست و شرایط جدید حادث شده در بستر حریم رودخانه، ساخت و ساز و همچنان بر پایه ضوابط متداول تعیین حریم و بستر صورت خواهد پذیرفت. حریم قبلی رودخانه‌ها به سبب تغییر در بستر دگرگون شده و تعیین حریم جدید مستلزم اطلاع از میزان و دامنه فرونشست است. پیامد این مسئله استمرار سکونت در عرصه‌های پرخطر سیل و تحمل خسارت ناشی از آن رویداد است. بررسی وضعیت فرونشست در ۶ سال اخیر از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۲۰ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست ۸ سانتی‌متر می‌باشد. این مسئله می‌تواند به طور عمده به موضوع استحصال آب زیرزمینی برای آب شرب، کشاورزی و احتمالاً سایر عوامل مؤثر همچون زمین‌شناسی و تکنیکی مرتبط باشد. فرونشست ۸ سانتی‌متری برای کاربری مناطق مسکونی می‌تواند شرایط زیستی ناامنی را برای ساکنین فراهم آورده و خطرپذیری

آن‌ها را از مخاطرات زمین افزایش دهد. رویداد مخاطره فرونشست در سکونتگاه‌ها علاوه بر ایجاد خسارات فراوان به ابنیه و تأسیسات، جمعیت‌های انسانی ساکن را تهدید می‌کند. نشست زمین پدیده‌ای فراگیر در سطح جهان است که عمدتاً در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شدت یافتن افت سطح آن، نمود کمی و کیفی قابل توجهی در چند دهه اخیر داشته است. برداشت بیش از حد و عدم وجود تعادل بین تغذیه لایه‌های آبدار و تخلیه آن‌ها باعث شده که سطح ایستابی در منطقه روند نزولی مداومی را دنبال کند. با خالی شدن آب موجود در حفره‌های لایه آبدار و جابجایی آب این حفره‌ها با هواپر شده، باعث کاهش میزان فشار شده و تعادل بین لایه‌ها به هم می‌خورد. به دلیل برهم خوردن تعادل بین فشار و وزن لایه‌های فوقانی، در اثر نیروی وزن لایه‌های فوقانی لایه‌های آبدار فشرده شده و کاهش سطح ایستابی افزایش پیدا می‌کند و چون این کاهش سطح با فرونشست زمین رابطه‌ای مستقیم دارد، شاهد افزایش میزان فرونشست در منطقه هستیم. کاهش میزان استخراج آب از سفره‌های آب زیرزمینی باعث تعدیل در فرونشست منطقه می‌شود. عمده مصرف چاه‌ها در منطقه مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است. تغییر در الگوی آبیاری باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی از الگوی سنتی به الگوی مدرن نظیر آبیاری قطره‌ای و بارانی می‌تواند باعث کاهش میزان آب مصرفی شده و نتیجه آن کاهش استخراج آب از چاه‌ها است و همچنین جلوگیری از حفر چاه‌های جدید در منطقه مانع از افزایش برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی می‌شود و این دو عامل باعث می‌شود که روند کاهشی سطح ایستابی کند شود که به طور مستقیم بر روی روند فرونشست منطقه تأثیرگذار است و می‌تواند از سرعت آن کم کند و حتی در بهترین حالت روند آن را متوقف کند. در سال‌های اخیر، مخاطره فرونشست به عنوان یکی از چالش‌های پیش روی برنامه‌ریزان مطرح شده است. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده که تا بیشتر دشت‌های آن، مستعد وقوع

پدیده فرونشست باشد. نتایج حاصله نشان داد با توجه به سطح آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه علیرغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی است. سطح آب در سال ۸۱ به ۱۱۶ متر و در سال ۹۷ سطح آب به ۹۴/۸۰ متر رسیده است که در طی ۱۷ سال گذشته کاهش ۲۲ متری افت سطح آب زیرزمین را در منطقه مورد مطالعه شاهد هستیم. ایجاد چنین شرایط و وضعیتی در رویداد پدیده فرونشست و پیامدهای مخاطره‌آمیز و فاجعه‌بار آن برای کشور، قبل از هر چیز عزم ملی برای پذیرش و مقابله با این پدیده به عنوان یک معضل و مخاطره منتهی به یک فاجعه را طلب می‌نماید. موضوعی که درک آن از یک سوی مستلزم افزایش مطالعات برای شناسایی کامل نواحی مستعد به صورت یک طرح ملی است. از طرفی لازم است زیرساخت لازم برای آگاهی رسانی و همگانی بودن اطلاع از نتایج و معضلات ناشی از این مسئله برای مردم در جهت مشارکت آن‌ها در جهت جلب مشارکت مردم و مسئولان در تعدیل زیرساخت‌های ایجابی فراهم گردد. و نهایتاً برای پیشگیری، کاستن، تعدیل حجم و دامنه فاجعه محتمل از این مخاطره، دستگاه‌های ذیربط تمامی مقررات و استانداردهای لازم ساخت و ساز را برای نواحی در معرض فرونشست، مورد بازنگری قرار داده و اساس را بر شرایط نوین استوار سازند.

منابع

- ۱- مقصودی، ی. امانی، ر. احمدی، ح. (۱۳۹۸). "بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل ۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی پراکنش گرهای دائمی"، مجله تحقیقات منابع آب ایران سال ۱۵ شماره ۱، ص ۲۹۹-۳۱۳.
- ۲- روزبان، ع. اسماعیلی، ع. معتق، م. (۱۳۹۵). "بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری و با به کارگیری تصاویر سنجنده". دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی.

13- Sharifikia, M, (2011), "Determining the extent and scope of land subsidence using InSAR) in plain Noogh- Bahreman". Soatial Planning. pp56-73.

14- Smith RG, Knight R, Chen J, Reeves JA, Zebker HA, Farr T, Liu Z. (2017), "Estimating the permanent loss of groundwater storage in the southern S an J oaquin V alley, C alifornia". Water Resources Research. pp133-48.

15- Wang GY, You G, Shi B, Yu J, Tuck M. (2009) ,"Long-term land subsidence and strata compression in Changzhou", China. Engineering Geology. pp109-18.

16- Zhu L, Gong H, Li X, Wang R, Chen B, Dai Z, Teatini P. (2015), "Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain", China. Engineering Geology.

۳- حسین زاده، م. م، نوحه گر، ا (۱۳۹۰)، " بررسی تأثیر خشکسالی دو دهه ی اخیر بر منابع آب زیرزمینی دشت میناب و وقوع پدیده ی فرونشینی"، علوم محیطی ۹ (۱) پاییز ۹۷.

۴- قنادی، م. ا، حصائی، ا، عنایتی، ح. (۱۳۹۷) " تولید مدل رقومی زمین با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری"، پژوهش اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۷، شماره ۱۰۸، زمستان ۹۷، ص ۱۱۴.

۵- صفاری، ا. جعفری، ف. توکل، م. (۱۳۹۵)، " پایش و فرونشست زمین و ارتباط آن با آب زیرزمینی مطالعه موردی دشت شهریار و کرج"، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، ص ۸۲-۹۳.

۶- شریفی کیا، م. (۱۳۹۱)، " تعیین میزان فرونشست زمین به کمک تداخل سنجی راداری در دشت نوق و بهرمان آمایش و فضا"، دوره شانزده، شماره ۳، ص ۷۷-۵۶.

۷- پرهیزکار، س. اژدری، خ. کاظمی، غ. ع. امام قلی زاده، ص. (۱۳۹۴)، "پیش بینی اقت سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل های جی ام اس و جی ای پی". مجله علوم دانشگاه تهران، دوره ۵، شماره ۱، ص ۸۰-۳۶.

۸- صالح زاده، ح. (۱۳۸۷)، (ترجمه) - اصول مهندسی خاک - مکانیک خاک، جلد اول، چاپ چهارم، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۴۰۶ ص.

9- Asadzadeh F, Kaki M, Shakiba S, Raei B. (2016) "Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in qorveh-chardoli plain. Iran-water resources research. pp 153-65.

10- Faizizadeh B., Hilali H. (2010). "Comparison of base pixel, object-oriented and effective parameters in land use coverage classification in West Azarbaijan Province", Geographical Research Journal, No. 71, PP. 73_84.

11- Raspini F, Loupasakis C, Rozos D, Adam N, Moretti S. (2014), "Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatterer Interferometry". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. pp 78-89.

12- Raucoules D, Colesanti C, Carnec C. (2007). "Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence". Comptes Rendus Geoscience. pp289-302.

Assessment of subsidence of Shahriar and Mallard plains due to groundwater abstraction and its effect on infrastructure

Saeed Kalantari ¹, Nasser Ebadati ^{2*}, Mahmoud zaheri nayyeri ³

1 Master Student of Water Resources Engineering and Management, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

2 Department of Geology, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

3 Department of Civil Engineering, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, iran

Abstract

Due to the consequences of falling groundwater levels in this study, land subsidence in Shahriar and Mallard plains due to groundwater abstraction has been investigated and its impact on infrastructure is investigated and determined. For this purpose, after collecting the statistics of water wells in the region and determining the characteristics of the aquifer and items such as depth of groundwater level, annual harvest and distribution of wells, the initial data were obtained, then by specifying the thickness of alluvium and layers Sediment taro of the bedrock of the area was identified from exploratory boreholes and well logs, diversity of stratification and sediment type in the area. Determining the immediate and consolidation meeting, the annual subsidence rate is calculated and the amount of subsidence in the study area is determined through satellite data from 2014 to 2020. During these years, the results showed that the highest subsidence rate in the region is 8 cm.

keywords: Shahriar and Mallard plains, groundwater, land subsidence.