نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹.
صفحات ۱۵۳ تا ۱۷۶

تحلیل فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکنیکی و پیزومتری (مطالعه موردی: منطقه شهری۱۸تهران)

آیدین مرادی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
سمیه عمادالدین[۱] استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان،ایران.
صالح آرخی، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
خلیل رضائی، استادیار زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۱۱/۰۶ پذیرش نهایی:۱۳۹۸/۰۸/۱۰

چکیده

پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش[۲]یا نشست رو به پائین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابجایی افقی اندک باشد. تهران به عنوان پایتخت و بزرگترین شهر ایران در سال‌های اخیر متاثر از پدیده‌های فرونشست و فروریزش بوده است. با آگاهی از میزان فرونشست و عوامل موثر در ایجاد آن و نیز شناسائی مناطق مستعد در ناحیه‌های شهری ارائه راهکار برای کاهش ریسک و یا در صورت امکان جلوگیری از وقوع این پدیده میسر خواهد بود. مطالعه حاضر در منطقه شهری ۱۸ صورت پذیرفته است. منطقه ۱۸ شهری در جنوب غربی کلان‌شهر تهران گسترش یافته است. در فرایند پژوهش، در مرحله اول تصاویر سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ مربوط به سنجنده سنتینل – ۱ اخذ گردید و سپس در نرم افزار اسنپ(SNAP) پردازش شد. بدین صورت نرخ و دامنه فرونشست بدست آمد. سپس به منظور شناسائی رفتار دانه‌بندی‌های آبرفتی در قسمت‌های زیرین، نقشه-های توزیع گراول، شن و ماسه و همچنین ریزدانه با استفاده از اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی تهیه گردید. نتایج نشان داد که از جهت شمال منطقه مورد مطالعه به سمت جنوب دانه بندی کوچکتر می‌شود. اما در کل میزان توزیع گراول قابل توجه است. درصد توزیع انواع دانه‌بندی‌ها از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر و همچنین در سطوح مختلف متفاوت بدست آمد که این امر بیانگر رسانائی بالا از نظر آب زیرزمینی می‌باشد. منطقه ۱۸ شهری بر روی مخروط‌افکنه جوان کن که توزیع بالای گراول و متخلخل را در عمق‌های تحتانی دارا می‌باشد قرار گرفته است. با توجه به عمق چاه‌های موجود در منطقه که ضخامت بالای آبرفت را نشان می‌دهد، به همراه افت سطح ایستابی و خالی شدن خلل و فرج بین دانه‌بندی‌ها که منجر به افزایش وزن آبرفت در جهت نیروی گرانشی می‌شود وجود پدیده فرونشست را موجه نشان می‌دهد. حداکثر میزان فرونشست بدست آمده از مطالعه تداخل سنجی راداری در حدود ۴۳۰ میلی‌متر و در محدوده محله یافت‌آباد می‌باشد. نرخ فرونشست از غرب به شرق و از شمال به جنوب با افزایش همراه است. به طوری که قسمت شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه در پهنه کامل فرونشست قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعه تداخل سنجی راداری بخش شرقی منطقه ۱۸ شهری بیشترین تاثیر را از پدیده فرونشست می-پذیرد. در ادامه نتایج مطالعه چاه‌های ژئوتکنیکی نشان داد در محدوده‌هائی که بافت خاک ریزدانه می‌باشد با میزان فرونشست ارتباط دارد و در قسمت‌هائی که ریزدانه‌های سیلتی تشکیل‌دهنده آبرفت منطقه هستند به راحتی در تنش حاصل از فرونشست زمین عکس‌العمل نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: فرونشست زمین، تهران، تداخل‌سنجی راداری، ژئوتکنیک، آب‌های زیرزمینی، GIS، SNAP.

[۱] . نویسنده مسئول: Email: s.emadodin@gu.ac.ir

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

مقدمه

فرونشست‌زمین[۱] به‌عنوان پدیده‌ای مورفولوژیک، نوعی از تغییر شکل سطح زمین است که با دگرشکلی عمودی و یا حرکت رو به پایین سطح زمین و همچنین نشست تدریجی یا دفعی مواد سطحی همراه است (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۳). به‌عبارتی دیگر پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش[۲] یا نشست رو به پائین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابجایی افقی اندک باشد. این حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر، محدود نمی‌باشد(سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا[۳] ۱۹۹۹). عوامل متعددی باعث ایجاد پدیده فرونشست می‌شوند. رخداد زلزله، انحلال، آب‌شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها؛ حرکت آرام زمین و خروج گدازه و یا عملیات انسانی نظیر معدن‌کاری یا برداشت آب زیرزمینی و استخراج نفت از جمله مواردی هستند که در ایجاد فرونشست نقش دارند(یونسکو[۵] ۲۰۱۴). مهمترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین، در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم آب سفره‌های زیرزمینی و بهره‌برداری بیش از حد آن‌ها است(عفیفی، ۱۳۹۵). این وضعیت به‌ویژه درجایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آبدار ماسه‌ای متخلخل که به صورت بین‌لایه‌ای با لایه‌های آبدار رسی نفوذ ناپذیر بویژه در حوضه‌هایی با نهشته‌های آبرفتی، دریایی کم عمق یا دریاچه‌ای تحکیم نیافته[۶]، قرار دارد بسیار حاد بوده و موجب فرونشست گسترده می‌گردد(شریفی‌کیا و همکاران۱۳۹۳ ؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳). نرخ شدید فرونشست می‌تواند موجب آسیب رسانی به سیستم‌های آبیاری و خاک‌های کشاورزی(با پائین آوردن تراکم آن-ها)، تغییر شیب سطح زمین و به دنبال آن تغییر هیدرولوژی منطقه و ایجاد سیلاب و آسیب ساختمان‌ها، تاسیسات، باند فرودگاه‌ها، خیابان‌ها، پل‌ها، بزرگ‌راه‌ها، خطوط راه‌آهن، سدهای‌خاکی، تصفیه‌خانه‌ها، اختلال در خطوط انتقال نیرو، آب‌رسانی، گاز رسانی و فاضلاب شوند (حشمی و همکاران، ۱۳۹۱). این موارد اهمیت موضوع مورد مطالعه را دوچندان می کنند.

از تکنیک‌ها و روش‌های متعددی برای مطالعه میزان و نحوه گسترش و رفتارسنجی زمین در رابطه با فرونشست زمین استفاده شده است. یکی از جدیدترین و موثرترین روش‌ها تکنیک تداخل‌سنجی تصاویر راداری است. برای مثال استرامندو و همکاران(Stramondo, et at all, 2008) با تکنیک تداخل سنجی راداری نقطه‌ای[۷](IPTA) در شهر رم ایتالیا، کالدرهد و همکاران(Calderhead, et at all, 2011) در دره تلوکا[۸] واقع در مکزیک، وی کی دانگ و همکاران(V. K. Dang, et at all, 2012) در منطقه شهری هانوی واقع در ویتنام، جیمینگ گوو و همکاران (Jiming Guo, et at all, ۲۰۱۶) در محدوده تانژو[۹] اینگونه مطالعات را انجام داده‌اند. بطور کلی پمپاژ آب‌های زیر زمینی و شرایط تنش موثر در محل، فشرده‌سازی پیوسته و چسبناکی و ویژگی‌های خاک بارگذاری شده، ضخامت قشر متراکم، زمان بارگذاری لحظه‌ای، و وجود بارگذاری به عنوان عوامل موثر در ایجاد فرونشست معرفی گردیده‌اند.

---

۱ Land Subsidence
۲ Sinkhole
۳ USGS
۴ Collapse
۵ unesco
۶ Unconsolidated
۷ Interferometric Point Target Analysis
۸ Toluca
۹ Tongzhou

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

اولین فرونشست ثبت شده در ایران نیز مربوط به دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ بوده است(عالی‌پور اردی و همکاران، ۱۳۹۳). به طور کلی از مجموع قریب به ۶۰۰ دشت کشور، بیش از نیمی در معرض نشست زمین می‌باشد(مرتضی کریمی و همکاران۱۳۹۲). در ایران مطالعات متعددی با تکنیک تداخل‌سنجی راداری، استفاده از سری زمانی و تکنیک D_InSAR ، داده‌های راداری دو سنجنده ASAR و PalSAR ، سیستم موقعیت‌یاب جغرافیائی، گمانه های ژئوتکنیکی و تهیه مدل سه بعدی از آنها در مناطقی از جمله منطقه هشتگرد(حقیقت‌مهر و همکاران(۱۳۹۰))، دشت نیشابور (حشمی و همکاران(۱۳۹۱))، دشت دامغان (شریفی‌کیا و همکاران(۱۳۹۴))، منطقه اسلامشهر (رضایی(۲۰۱۷))، انجام شده است.

تهران به عنوان پایتخت و بزرگترین شهر ایران در سال‌های اخیر متاثر از پدیده‌های فرونشست و فروریزش شده است (مقیمی و همکاران،۱۳۸۹). طی دوره ۴۷ ساله به دلیل افزایش جمعیت، تغییرات عمده‌ای در پوشش و کاربری اراضی منطقه رخ داده است که به صورت افزایش ساخت و ساز نمود پیدا کرده است(حسینی و همکاران، ۱۳۹۷). رشد و توسعه شهرهای بزرگ مانند تهران از نظر ابنیه و نیز توسعه شریان‌های مهم مانند خطوط انتقال برق، گاز، بزرگراه‌ها و ساختمان‌های مهم بیش از هرچیزی بررسی وشناخت پدیده‌های مذکور را طلب می‌نماید تا مناطق متاثر از پدیده های فرونشست زمین شناسائی و مورد ارزیابی قرار بگیرد. پرداختن به قسمت زیرسطحی و شناسائی لایه‌های زمین از نظر ضخامت آبرفت و جنس تشکیل‌دهنده به همراه مطالعه سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دید کامل‌تری را می‌تواند در اختیار بگذارد. با آگاهی از میزان فرونشست و عوامل موثر در ایجاد آن و نیز شناسائی مناطق مستعد در ناحیه‌های شهری ارائه راهکار برای کاهش ریسک و یا در صورت امکان جلوگیری از وقوع این پدیده میسر خواهد بود.

هدف از این تحقیق در مرحله اول برآورد نرخ فرونشست زمین در منطقه ۱۸ با تکنیک تداخل‌سنجی راداری می‌باشد. سپس با استفاده از اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی توزیع اندازه‌های ذرات تشکیل‌دهنده خاک در این محدوده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مرحله بعدی میزان تغییرات آب‌های زیرزمینی با استفاده از اطلاعات چاه‌های پیزومتری تحلیل شده و سپس ارزیابی جمعیتی، مسکن و راه‌های اصلی انجام شده و میزان خطر پذیری منطقه مشخص می گردد.

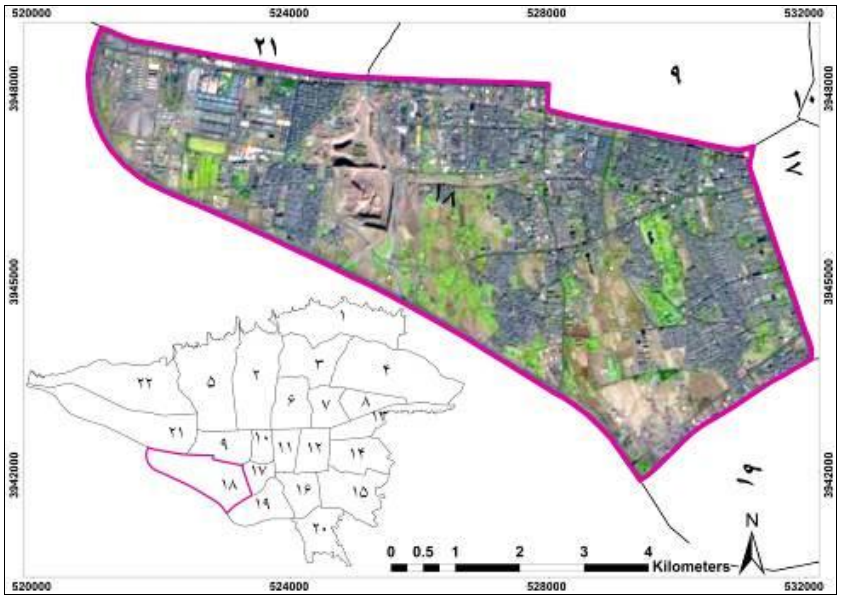
داده‌ها و روش کار

الف) معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه ۱۸ شهری در جنوب غربی کلان‌شهر تهران گسترش یافته و در مختصات جغرافیائی بین ۳۵,۶۱۹ درجه و ۳۵,۶۸۳ درجه شمالی و طول جغرافیائی بین ۵۱,۲۳۲ و ۵۱,۳۵۴ درجه شرقی واقع شده و مساحت آن در حدود ۳۸۰۷,۹۸ هکتار می‌باشد(شهرداری تهران، ۱۳۹۵). این منطقه به دلیل موقعیت استقرار مناسب به عنوان مدخل شهر و قیمت پائین اراضی، جاذب مهاجران کم‌درآمد و کارگران کارخانجات می‌باشد(شکل۱).

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]



شکل۱: نقشه موقعیت محدوده مورد موطالعه

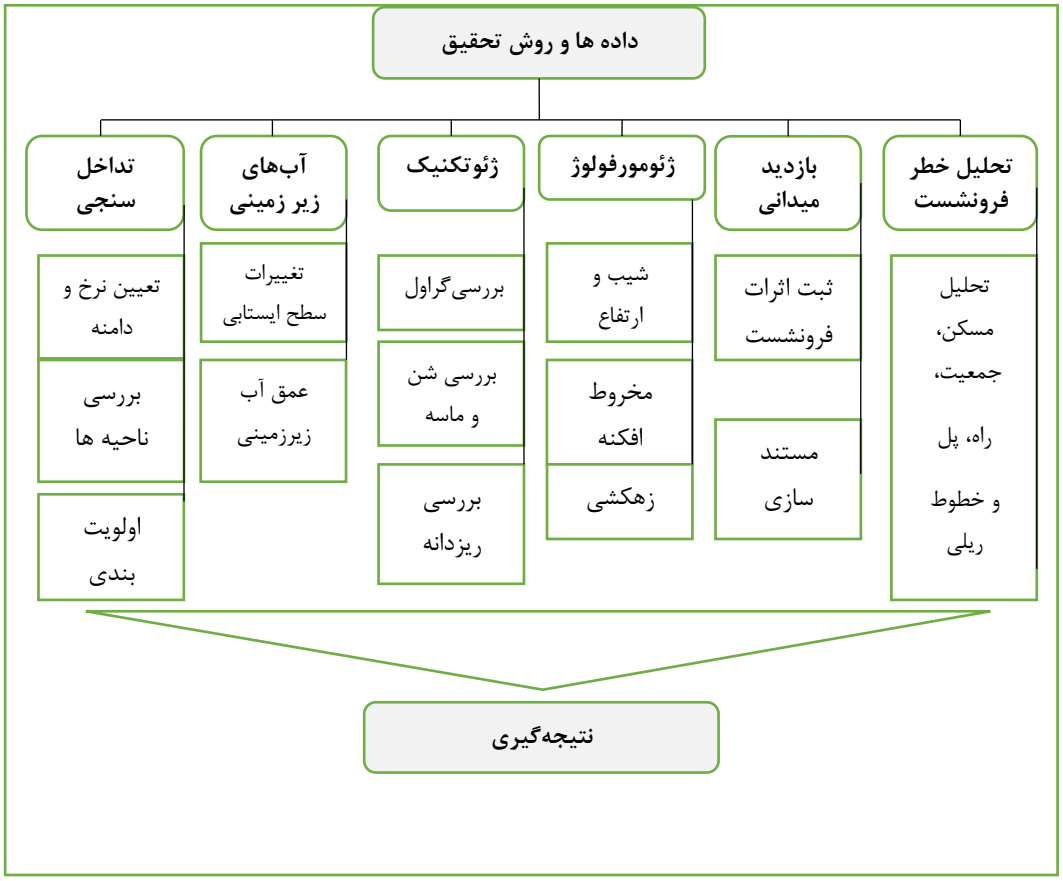
تهران در گودی پای البرز، بر روی نهشته های آبرفتی که از فرسایش شدید البرز در راستای گسل های گوناگون تشکیل شده، قرار گرفته است. این گودی از دو بخش تشکیل شده است: الف- بخش کوهپایه ای (Pediment) در شمال که بوسیله روراندگی شمال تهران از چین های کناری البرز جدا می شود. ب- گودی شمالی ایران مرکزی یا دشت تهران - ری در جنوب. دشت تهران- ری در برگیرنده قسمت های مرکزی و جنوبی شهر تهران، شهر ری و جنوب شهر ری بوده که متشکل از نهشته‌های آبرفتی جوان و کمی قدیمی تر است. مخروط افکنه های کن، کرج و جاجرود قسمتهای جنوبی آن را می پوشانند. دشت تهران متشکل از آبرفت C و D است. گسل شمال ری این بخش را از بخش بعدی جدا می کند. کلیه نهشته‌هایی که به صورت دگر شیب بر روی قلوه‌های سازند A قرار گرفته اند به وسیله Rieben (۱۹۵۵)سازند B (کهریزک) نامیده شد. بدلیل تفاوت ویژگیها، بربریان و همکاران(۱۳۶۴) این سازند را در شمال تهران با نام سازند آبرفتی ناهمگن شمال تهران(Bn)و در جنوب تهران با نام سیلت رسی کهریزک(Bs) نامیده اند. در منطقه ری و کهریزک نقاط دور از گسله‌های شمال و جنوب ری و کهریزک به وسیله پوشش بسیار نازکی از رسوبات دانه‌ریز آبرفت‌های D پوشیده شده است. در بخش‌های شمالی‌تر به وسیله دامنه جنوبی مخروط‌افکنه‌های آبرفت C پوشیده می‌شود (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴). سازند آبرفتی تهران یا آبرفت‌های (C) (Rieben,1955,1966) شامل آبرفت‌های جوان مخروط‌افکنه‌ای است که از دامنه جنوبی البرز به سمت جنوب ادامه داشته و بخش هموار دشت تهران به طور عمده به وسیله آن پوشیده شده است. سنگ کف در زیر بخش‌های آبرفت‌های، سنگ‌های سازند کرج(توف) است. به طور کلی رسوبات آبرفتی تهران(C) همگن بوده، به سبب داشتن سیمان سست میان قلوه‌ها نفوذپذیر بوده و از دیدگاه مقاومت مکانیکی دارای مقاومت نسبتا بالایی است. در نتیجه رسوبات آبرفتی تهران بهترین انبار آب را به ویژه در مخروط افکنه‌های گستره تهران تشکیل می‌دهند. مهمترین مخروط‌افکنه‌های اصلی این سازند عبارتند از مخروط افکنه کرج و مخروط افکنه کن. مخروط افکنه کرج در مسیر رودخانه کرج یکی از وسیع‌ترین و عمیق‌ترین مخروط‌افکنه‌های زون تهران و از نظر منابع آب زیرزمینی بسیار غنی است. مخروط افکنه کن در شمال غرب تهران یکی از منابع مهم آب‌های زیرزمینی است(نبوی(۱۳۵۵)). آبرفت‌های کنونی یا آبرفت‌های (D)

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

(Rieben,1955,1966) یا سازند خرمدره در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها پادگانه‌های آبرفتی، مخروط‌افکنه‌های جوان بر جای گذاشته شده‌اند. دشت جنوب تهران از این آبرفت پوشیده شده است، ضخامت این نهشته‌ها به ندرت از ۲۰ متر فراتر می‌رود(خادم(۱۳۶۹)).

ب) روش تحقیق

روش تحقیق این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت پیمایشی، تحلیلی و استدلالی می‌باشد. فلوچارت روش تحقیق برای پژوهش حاضر در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲: نمودار مراحل پژوهش

بررسی و پایش میدان جابجایی ناشی از دگرشکلی، از پژوهش‌های مهم و کاربردی در مباحث گوناگون ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی است.در این راستا فن تداخل سنجی راداری قابلیت کار در تمام شرایط جوی و طول مدت شب و روز دارد. هم چنین این تکنیک با برخوردار بودن از پوشش زمینی وسیع، مکرر و پیوسته و نیز قدرت تفکیک زمانی و مکانی زیاد، به یکی از فن‌های مهم و قابل توجه تبدیل شده است(واجدیان و همکاران ۱۳۹۰؛ شهرام روستایی ۱۳۹۲). در تداخل سنجی راداری پیکسل به پیکسل تصاویر SAR مورد مقایسه قرار می‌گیرد و از تفاضل گیری بین مقادیر آنها تصویر جدید به نام اینترفروگرام[1] یا تداخل‌نگاشت به دست می‌آید(Hooper, et al, 2012).

[1] Interferogram

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

برای انجام این مرحله از تحقیق از داده‌های سنجنده سنتیل – ۱ با طول موج ۵٫۶ سانتی‌متر (باند C)برای بازه زمانی ۲ ساله (بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷) استفاده گردید. اطلاعات کلی تصاویر SAR مورد اشتفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات عمومی تصاویر استفاده شده در تداخل سنجی راداری

Granule Details	**۲۰۱۵**[۲]	**۲۰۱۷**[۱]
Acquisition Date	۲۰۱۵-۰۴-۰۶	۲۰۱۷-۰۲-۰۶
Beam mode	IW	IW
Path	۳۵	۳۵
Frame	۴۷۴	۴۷۴
Ascending/Descending	Descending	Descending
Polarization	VV+VH	VV
Absolute Orbit	۵۳۵۷	۱۵۱۵۷
Frequency	C-Band	C-Band
Mission	SENTINEL-1[۴]	SENTINEL-1[۳]

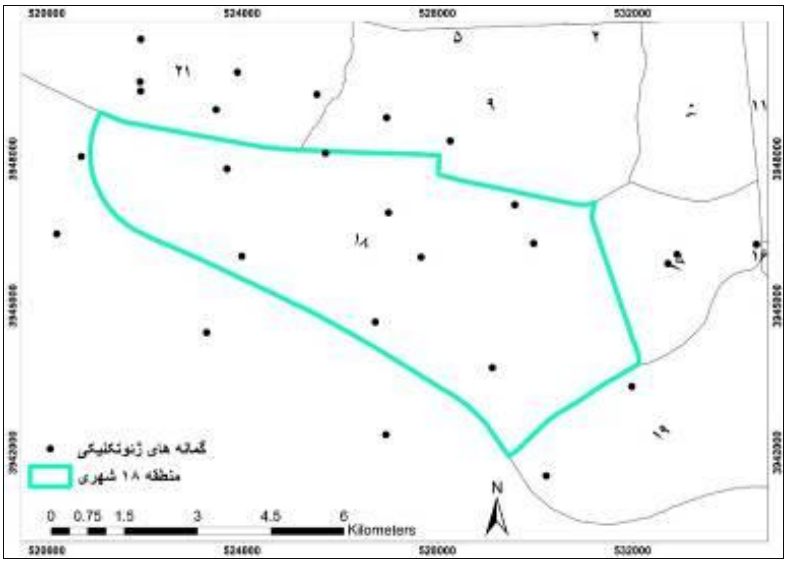
ابتدا تصاویر SAR در نرم افزار SNAP که توسط آژانس فضائی اروپا[۵]ارائه شده است فراخوانی گردید. سپس اطلاعات مداری و سایر متادیتاها از طریق نرم افزار برای هر یک از تصاویر دریافت و اعمال گردید. مدل رقومی استفاده شده در این مطالعه برای حذف اثر توپوگرافی از نوع SRTM با حد تفکیک ۳۰ متر بوده است. در نهایت نرخ دامنه و فرونشست زمین در منطقه مورد نظر بدست آمده و مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس اثرات و رخنمون‌های این پدیده بوسیله پیمایش میدانی بازدید شد.

در مرحله بعد اطلاعات ۲۶ گمانه از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی اخذ شد(شکل۴). از اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی میزان توزیع گراول، شن و ماسه و در عمق‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری استخراج و نقشه هر یک از آنها با روش درون‌یابی در GIS تهیه گردید.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

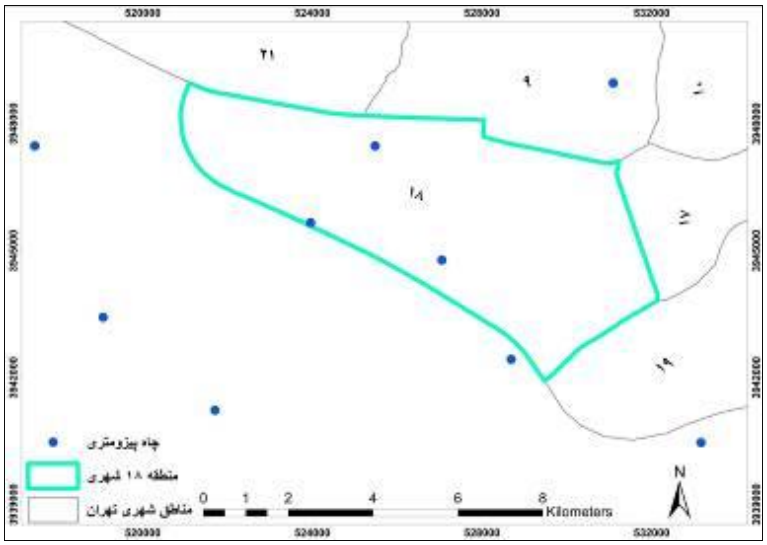
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

۱S1A_IW_SLC__1SSV_20170206T023654_20170206T023722_015157_018CC6_B1E6.SAFE
۲S1A_IW_SLC__1SDV_20150406T023645_20150406T023712_005357_006CC6_70DF.SAFE
۳SENTINEL-1 Interferometric Wide swath Level 1 Product
۴SENTINEL-1 Interferometric Wide swath Level 1 Product
۵ESA



شکل ۲: موقعیت گمانه‌های ژئوتکنیکی در محدوده مورد مطالعه

در مرحله سوم اطلاعات چاه‌های پیزومتری منطقه ۱۸ و پیرامون آن از آب منطقه‌ای تهران اخذ گردید. پس از بررسی ۹ مورد از چاه‌های پیزومتری با فاصله حداکثر ۷ کیلومتر از مرکز گستره مورد نظر مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت(شکل۱۰). قابل ذکر است که اطلاعات سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری در دو سال ۱۳۸۱ و ۱۳۹۵ با بازه زمانی ۱۴ ساله می‌باشد.



شکل ۳: نقشه موقعیت چاه‌های پیزو متری

در مرحله آخر تحلیل فرونشست زمین در منطقه ۱۸ شهری تهران، نقشه فرونشست به همراه نقشه ژئومورفولوژی و هیدرولوژی منطقه تهیه گردید و پدیده فرونشست زمین از نظر عوارض ژئومورفولوژیکی و همچنین شکل زهکشی سطحی مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت.

همچنین المان‌های مهمی که قابل دسترس بود مورد ارزیابی قرار گرفت. المان‌های مهمی که در این پژوهش مورد تحلیل قرار گرفت شامل موارد جمعیت، مسکن، راه، پل و خطوط ریلی می‌باشد.

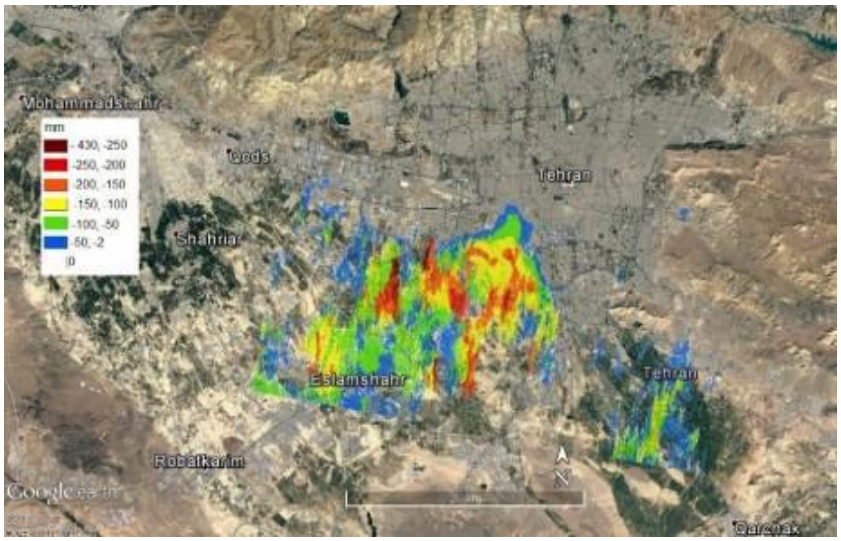
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

شرح و تفسیر نتایج

- **تداخل‌سنجی راداری**

نتیجه مطالعه تداخل‌سنجی راداری در شکل – ۲ نشان داده شده است. با توجه به نقشه بدست آمده از میزان و دامنه فرونشست از تکنیک تداخل سنجی راداری ملاحظه می‌گردد که مناطق خیلی وسیعی از کلان‌شهر تهران از جمله منطقه ۱۸ شهری در معرض فرونشست زمین قرار گرفته است.

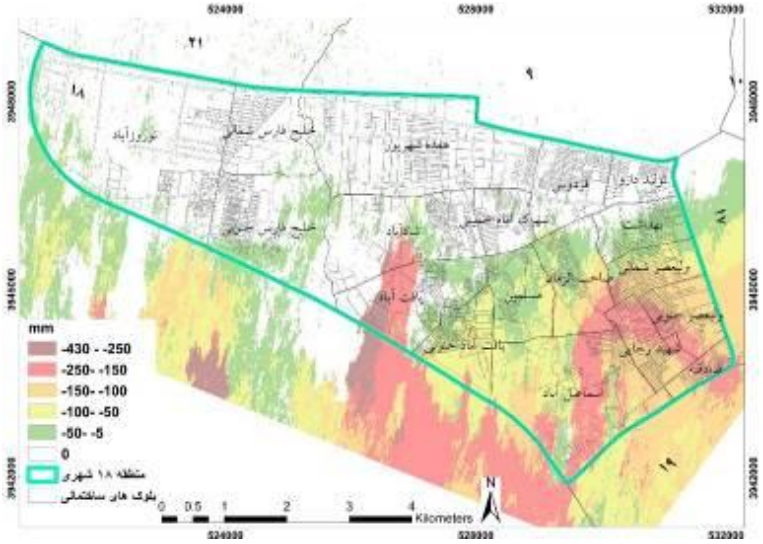


شکل ۴ : میزان فرونشست زمین بدست آمده از مطالعه تداخل‌سنجی راداری

در مرحله بعدی میزان فرونشست زمین در محدوده منطقه ۱۸ شهری به صورت نقشه تهیه گردید(شکل ۵). در کل میزان فرونشست از جهت غرب به شرق و شمال به جنوب افزایش می‌یابد بطوریکه بیشترین میزان در جنوب این منطقه و در محله یافت‌آباد قرار گرفته است. پس از یافت اباد محله‌های صادقیه، اسماعیل‌آباد، شهید رجائی، ولیعصر جنوبی و جنوب صاحب‌الزمان بیشترین میزان فرونشست زمین را با رقم بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر دارا می‌باشند و می‌توان این مناطق را از نظر نرخ فرونشست به عنوان اولویت اول معرفی نمود. محله‌های یافت‌آباد جنوبی، مسلمین، صاحب‌الزمان، ولیعصر شمالی، بهداشت، شادآباد و خلیج فارس جنوبی با توجه به اینکه از میزان فرونشست کمتری برخوردار هستند به عنوان اولویت دوم می‌توانند قلمداد شوند. میزان فرونشست در این مناطق حداکثر تا ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. محله‌های فردوس، شهرک امام خمینی، هفده شهریور، خلیج‌فارس شمالی و نوروز آباد نیز با توجه به اینکه نسبت به اولویت‌های قبلی دارای میزان کمتری از پدیده فرونشست می‌باشند، می‌توان به عنوان اولویت سوم در نظر گرفت. حداکثر میزان فرونشست در محدوده‌های با اولویت سوم ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به پهنه‌های فرونشست به دست آمده ملاحظه می‌گردد که محله‌های ولیعصر، یافت‌آباد و بهداشت از تراکم ساختمانی بالائی نسبت به سایر مناطق دارند. وجود ترک در ابنیه مختلف و شکاف بر روی زمین که در بازدیدهای میدانی مشاهده گردید می‌تواند از تاثیرات فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه باشد(شکل ۶).

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]



شکل ۵. میزان و دامنه فرونشست زمین در منطقه ۱۸ شهری

شکل ۶: نمونه آی از آثار احتمالی فرونشست زمین بر ابنیه مختلف منطقه مورد مطالعه

- **اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی**

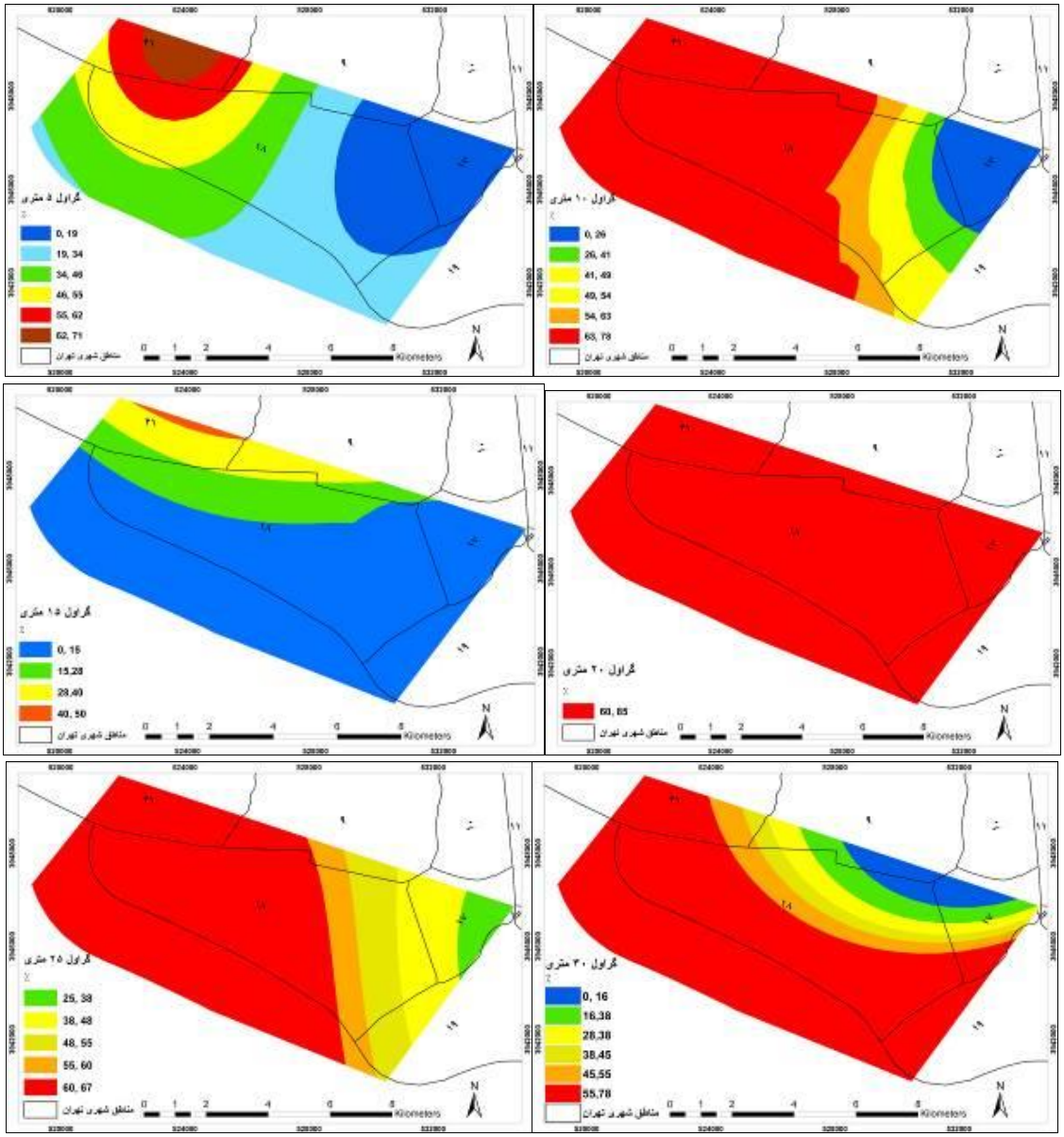
بدین صورت با نتایج بدست آمده از اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی، میزان نفوذپذیری از نظر انتقال آب‌های زیرزمینی در سطوح زیرین گستره مورد مطالعه بدست آمد. در ادامه به توضیح چگونگی پخش و پراکنش انواع ذرات پرداخته می شود.

- **توزیع گراول**

با توجه به نقشه‌های توزیع گراول، در عمق ۵ متری توزیع گراول از غرب به شرق کاسته می‌شود. بیشترین میزان توزیع در عمق ۵ متری در محدوده شمال غربی بوده که بیش از ۵۵ درصد توزیع گراول را شامل می‌شود. در عمق ۱۰ متری نحوه توزیع همانند عمق ۵ متری بوده و از غرب به سمت شرق کاهش پیدا می‌کند با این تفاوت که میزان توزیع آن با افزایش همراه می‌باشد. کمترین مقدارگراول در این عمق، در شمال‌شرقی گستره مورد مطالعه با میزان حداکثر ۲۶ درصد قرار دارد. در عمق ۱۵ متری از میزان توزیع گراول نسبت به عمق ۱۰ متری کاسته شده و در اغلب محدوده‌های منطقه در حدود حداکثر ۱۵ درصد می‌باشد. با افزایش عمق مطالعه و در سطوح ۲۰ متری گراول با حداکثر میزان توزیع و به صورت یکنواخت پراکنش دارد. میزان توزیع گراول در عمق ۲۰ متری بین ۶۰ تا ۸۵ درصد می‌باشد. در عمق ۲۵ متری در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی از میزان توزیع گراول نسبت به عمق قبلی کاسته شده اما در سایر مناطق درصد بالای توزیع حفظ شده است. در تحتانی‌ترین سطح مطالعه که مربوط به عمق ۳۰ متری می‌باشد تنها در

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

قسمت شمال شرقی و در مرز منطقه ۹ میزان توزیع گراول از درصد پائین برخوردار بوده و در سایر قسمت‌ها با درصد بالا و همانند سطوح قبلی پراکنش دارد. نحوه توزیع از عمق ۵ متری تا عمق ۲۰ متری به صورت متوالی متغیر می‌باشد و در عمقی میزان توزیع گراول کم اما در عمق دیگر زیاد است. اما از عمق ۲۰ متری تا تحتانی‌ترین عمق مطالعه درصد توزیع گراول بالا و به صورت یکنواخت است که بیانگر آبرفت درشت دانه با ضخامت بالا می‌باشد(شکل ۷). گذر رودخانه کن از این منطقه و همچنین امتداد مخروط افکنه کن می‌تواند توجیه مناسبی برای فراوانی توزیع بالای گراول در کل گستره بخصوص در عمق‌های تحتانی باشد.



شکل ۷: نقشه‌های توزیع گراول در عمق‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری در محدوده مورد مطالعه

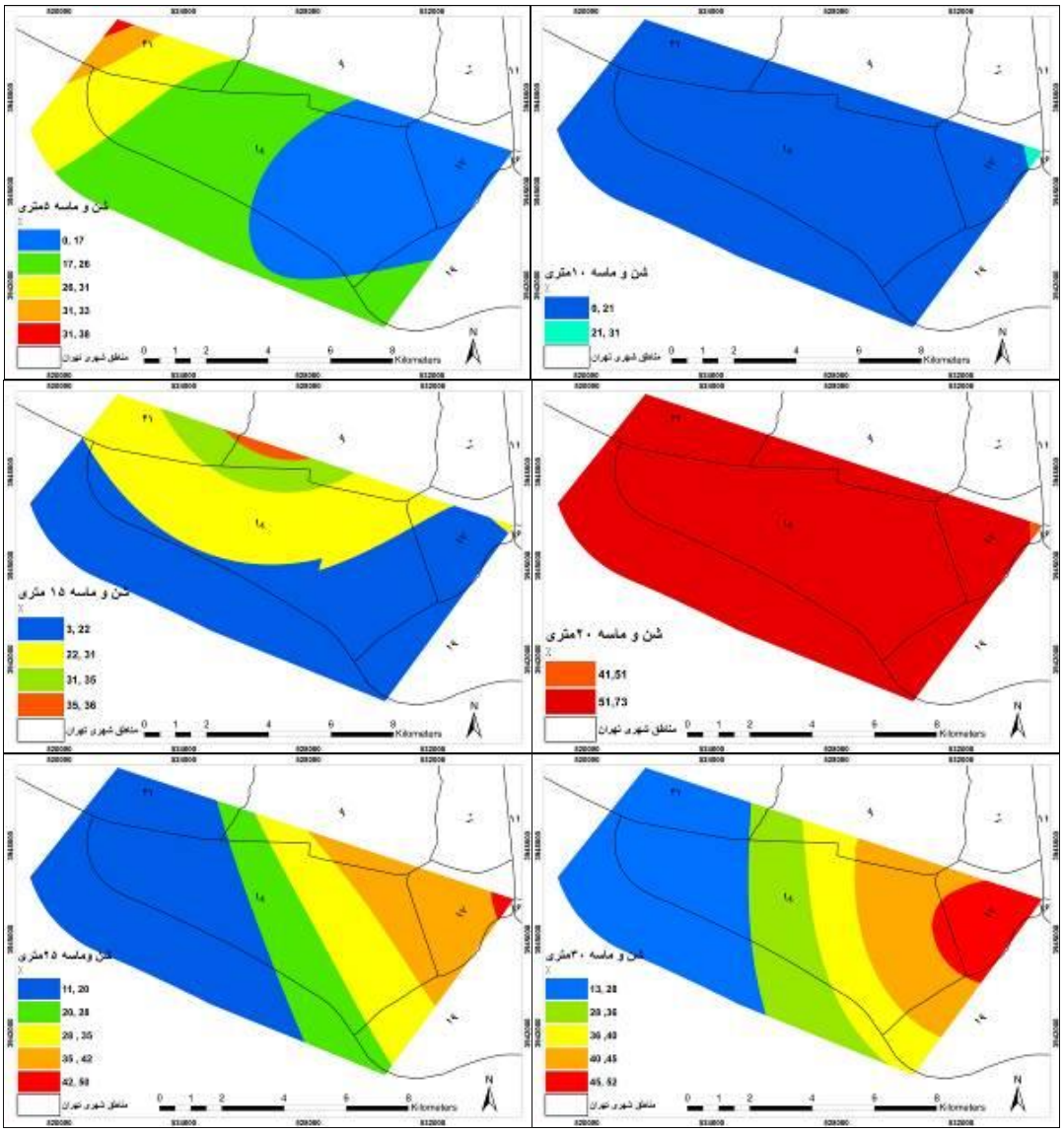
- **توزیع ماسه**

نقشه‌های توزیع ماسه از روی اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی موجود در محدوده مورد مطالعه با استفاده از تکنیک درون یابی در نرم‌افزار GIS تهیه گردید (شکل ۸). در عمق ۵ متری ماسه در قسمت‌های شرقی گستره مورد مطالعه

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

نسبت به مناطق غربی از درصد نسبتا کمتری برخوردار می‌باشد. در عمق ۱۰ متری ماسه به صور یکنواخت و با درصد پائین توزیع یافته است. میزان تغییرات توزیع ماسه در عمق ۱۵ متری در بخش‌های شمالی و در مرز مناطق ۹ و ۲۱ بوده که با افزایش توزیع همراه است. بیشترین توزیع ماسه در گستره مورد مطالعه مربوط به عمق ۲۰ متری است که به صورت یک‌نواخت در کل گستره پراکنش دارد. در عمقهای ۲۵ و ۳۰ متری درصد توزیع ماسه در مقایسه با سطوح سطحی به طور معکوس بوده و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. با مقایسه نقشه‌های توزیع ماسه در اعماق مورد مطالعه می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که نحوه توزیع شن و ماسه به طور کلی در دولایه بوده است. بطوریکه در سه عمق اول میزان توزیع از شرق به غرب و در عمق‌های پائینی از غرب به شرق افزایش می‌یابد. همچنین توزیع نسبتا بالای ماسه در اعماق بالا در نیمه شرقی و در محل‌هائی که فرونشست زمین قرار دارد قابل توجه است.



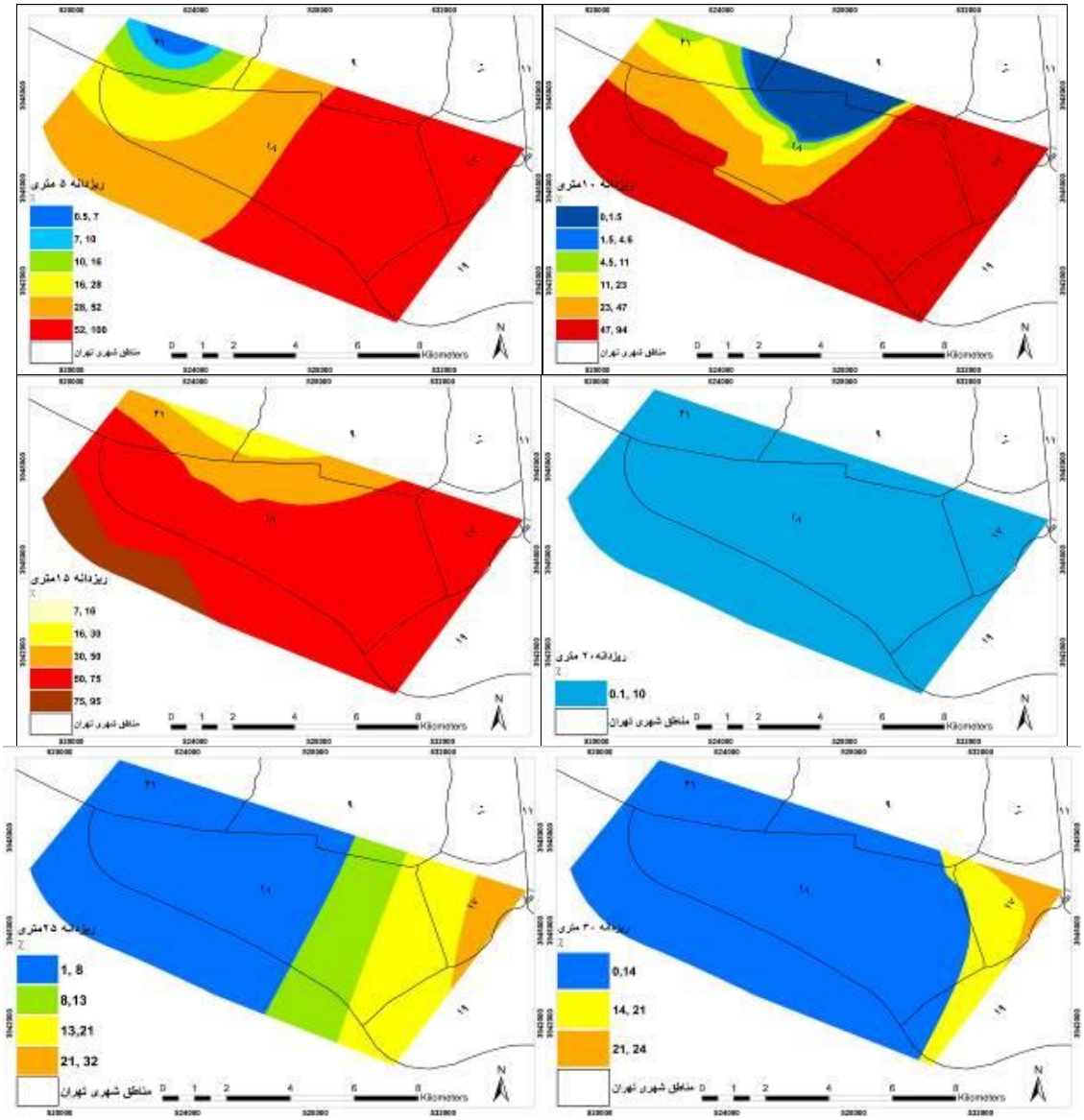
شکل – ۸: نقشه‌های توزیع ماسه در عمق‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری در محدوده مورد مطالعه

- **توزیع ریز دانه(سیلت و رس)**

شکل ۹ میزان توزیع بافت ریزدانه را در گستره مورد مطالعه نشان می‌دهد، بطور کلی در جهت عمق دو نوع توزیع وجود دارد. نوع اول مربوط به عمق‌های ۵ تا ۱۵ متری بوده که از درصد توزیع نسبتا بالائی برخوردار می‌باشد. وجود

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

کوره‌های آجرپزی متعدد در قسمت‌های جنوبی منطقه ۱۸ گواه خوبی بر این مورد می‌تواند باشد(شکل ۱۰). نوع دوم مربوط به عمق‌های ۲۰ تا ۳۰ متری می‌باشد که از توزیع ریزدانه با درصد پائین تشکیل یافته‌اند. بنابراین به طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیر نمود که توزیع بافت ریزدانه آبرفتی در گستره مورد مطالعه از سطح به سمت عمق با افزایش توزیع همراه است. البته این نکته قابل ذکر است که در اعماق سطحی برخی از محدوده‌ها در شمال شرقی منطقه با سایر بخش‌ها متفاوت بوده و از رقم توزیع پائینی برخوردار می‌باشد.



شکل – ۹: نقشه‌های توزیع ریزدانه(سیلت و رس) در عمق‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری در محدوده مورد مطالعه

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

شکل ۱۰: وجود کوره‌های آجرپزی متعدد گواهی بر فراوانی توزیع ریزدانه در بخشی از گستره مورد مطالعه

با بررسی نقشه‌های توزیع دانه‌بندی آبرفت‌های منطقه مورد مطالعه در عمق‌های مختلف، می‌توان استنباط کرد که به طور کلی اولویت توزیع به ترتیب با گراول، شن و ماسه و ریزدانه(ریزانه ها بیشتر در حاشیه جنوبی منطقه) می‌باشد. همچنین وجود دوگانگی توزیع دانه بندی در جهت عمق در کنار متنوع بودن توزیع ماسه در مناطق مختلف می‌تواند بیانگر این باشد که به احتمال زیاد شدت و نیروی بارگذاری رسوبات در ادوار گذشته متغیر بوده است. وجود ماسه و یا گراول در یک عمق و وجود ریزدانه در عمق و ناحیه‌ای دیگر نشان از افزایش و کاهش انرژی و همچنین تغییر مسیر جریان رودخانه ها در گذشته می‌باشد. با توجه به مطالعات بخش ژئوتکنیک می‌توان گفت که رسوبات آبرفتی کواترنر جدید دارای بافت سست و فرسایش پذیر هستند. در محدوده فرونشست، سطح دشت از آبرفتهای سیلتی- رسی سری B یا سازند کهریزک و آبرفتهای سری C یا سازند آبرفتی تهران پوشیده شده است. سازند کهریزک که بوسیله مخروط افکنه های بزرگ و سازند آبرفتی تهران پوشیده می‌شود، سازندی قدیمی تر از سازند آبرفتی تهران محسوب می گردد. بر این اساس این انتظار وجود دارد که رسوبات سازند سری C نسبت به رسوبات مشابه (از دیدگاه رسوب شناختی) در سازند سری B، تحت تنش تراکمی کمتری قرار گرفته و در نتیجه از تراکم و تاب فشارشی کمتر و قابلیت هدایت هیدرولیکی بیشتری برخوردار باشند.

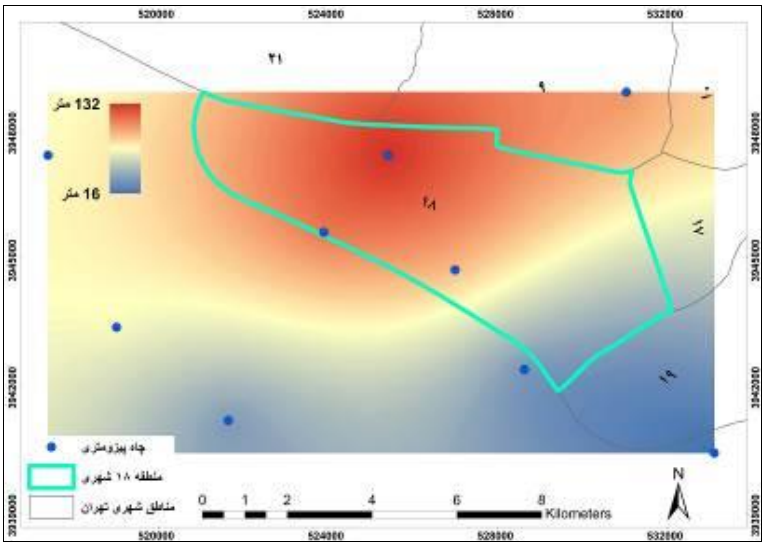
- **اطلاعات چاه‌های پیزومتری**

نقشه سطح آب‌های زیر زمینی نشان می‌دهد از سمت شمال منطقه مورد مطالعه به سمت جنوب و نیز از سمت غرب به شرق سطح آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد. عمق سطح ایستابی آب‌های زیر زمینی در شمال منطقه در حدود ۱۳۲ متر و در جنوب منطقه در حدود ۱۵ متر از سطح زمین می‌باشد(شکل ۱۱). همچنین پس از بررسی اطلاعات چاه‌های پیزومتری نتایج به دست آمده به صورت نمودار تهیه گردید(شکل ۱۲) نتایج بدست آمده نشان داد که در سال ۱۳۹۵، همه موارد با افت سطح ایستابی همراه است. میانگین افت سطح ایستابی در در حدود ۱۳ متر به دست آمد. بیشترین تغییرات در محدوده‌ای بنام سعید آباد می‌باشد که حدودا ۳۲ متر افت سطح آب دارد. این چاه در غرب و خارج از محدوده مورد مطالعه واقع شده است. همچنین میزان افت سطح ایستابی در محدوده شادآباد حدودا ۱۷ متر، در محله یافت آباد ۱۲ متر و در محدوده میدان فتح ۱۶ متر می‌باشد. نکته قابل تامل در مورد سطح آب‌های زیر زمینی نقاطی مانند خلازیر، بنز خاور، علی‌آباد مختارخانی و احمد آباد موستوفی می‌باشد که تغییرات سطح

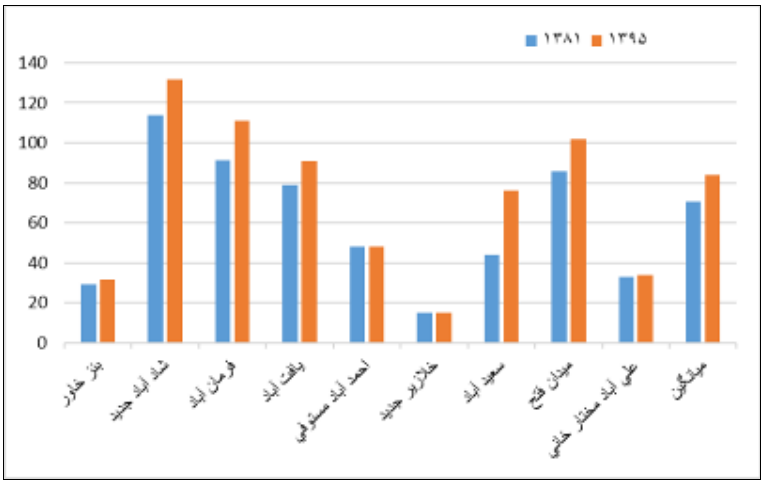
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

ایستابی در آنها ناچیز می‌باشد. به نظر می‌رسد نشت فاضلاب شهری به این چاه‌ها سبب شده است که افت سطح ایستابی در این نقاط به شکل واقعی نمود نداشته باشد. این نقاط خارج از محدوده مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به اعداد عمق چاه‌های پیزومتری می‌توان دریافت که در منطقه مورد مطالعه، ضخامت آبرفت خشک بالا می‌باشد و با افت سطح ایستابی بر ضخامت آن افزوده می‌شود.



شکل ۱۱: نقشه سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



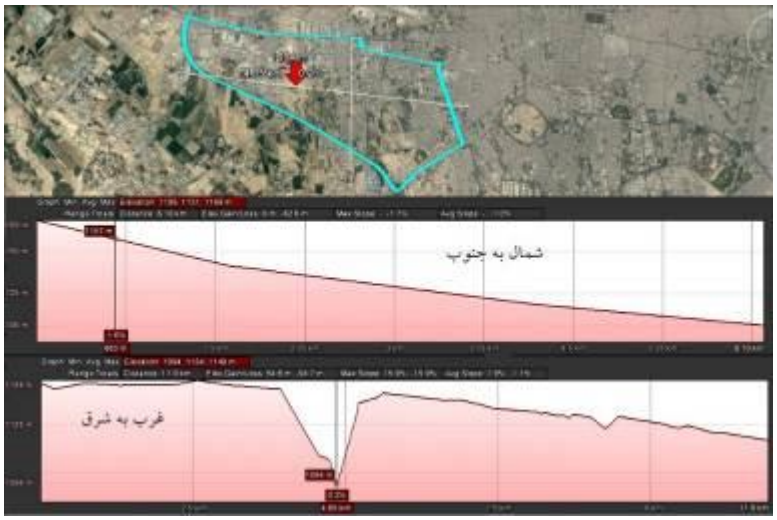
شکل ۱۲: نمودار تغییرات سطح ایستابی گستره مورد مطالعه و پیرامون آن

- **ژئومورفولوژی و هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه**

محدوده مورد مطالعه در منتهی الیه مخروط‌افکنه آبرفتی جوان کن و در محل تلاقی این مخروط افکنه با دشت‌های آبرفتی جنوب تهران قرار گرفته است. سطح این واحد عموما تخت است اما به طور ملایمی از جهت‌های شمال به جنوب و غرب به شرق شیب دارد. متوسط شیب منطقه از جهت شمال به جنوب حدود ۱ درصد و از غرب به شرق کمتر از یک درصد می‌باشد(شکل ۱۳). منطقه دارای خاک‌های آهکی و رسی با بافت ریزدانه است که اراضی حاصل-خیزی را به صورت زمین‌های کشاورزی تهران تشکیل می‌دهد(شکل ۱۴). البته خاک‌های جنوب تهران دارای مقاومت پائینی بوده و از خاک‌های ضعیف تشکیل شده است(قهرمان وعطار، ۱۳۸۰).

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]



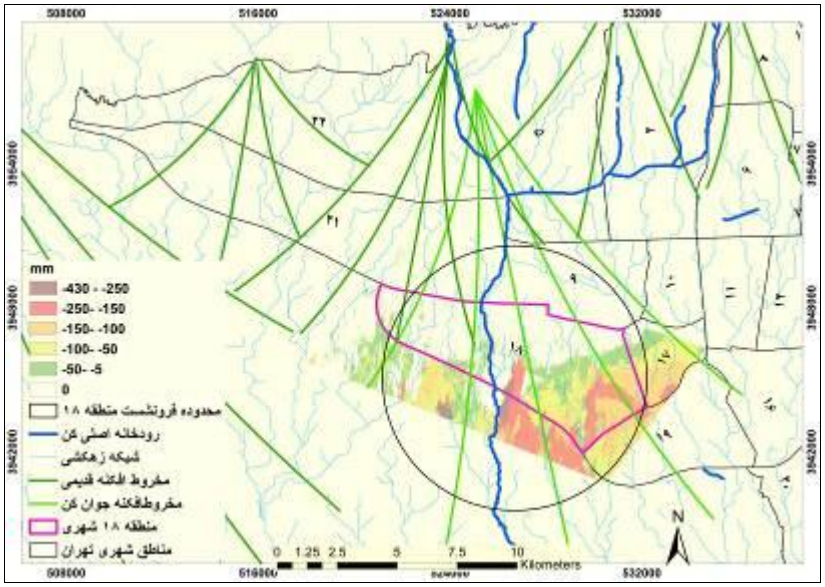
شکل ۱۳: میزان شیب منطقه مورد مطالعه در جهت‌های اصلی جغرافیائی

شکل ۱۴ : نمونه‌ای از زمین‌های کشاورزی در گستره مورد مطالعه

با توجه به اینکه عمق چاه‌های پیزومتری در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد عوارض طبیعی می‌تواند بر ضخامت آبرفت و توزیع دانه بندی تاثیرگذار باشد (شکل۱۵). منطقه ۱۸ شهری بخصوص در بخش‌های شمالی تحت تاثیر مخروط افکنه‌های قدیمی و جوان کن و دارای عمق سطح آب‌های زیرزمینی نسبتا بالا می‌باشد و آبرفت این ناحیه از ضخامت بالائی برخوردار است. همچنین وجود رودخانه کن که از قسمت میانی منطقه گذر می‌کند و نقش زهکشی نیمه غربی شهر تهران را از قسمت‌های شمالی به عهده دارد، توزیع بالای گراول نسبت به شن و ماسه ونیز بافت ریزدانه را توجیه می‌نماید. توزیع بالای گراول در منطقه مورد مطالعه بیانگر تخلخل بالا و دانه‌بندی درشت بوده و می‌تواند بیانگر انتقال بالای آب‌های زیرزمینی باشد(شکل۱۶).

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]



شکل ۱۵ : نقشه ژئومورفولوژی و فرونشست زمین گستره مورد مطالعه

شکل ۱۶ : توزیع بالای گراول، عدم جوش زدگی و وجود تخلخل که بیانگر هدایت خوب آبهای زیرزمینی می‌باشد

با توجه به مطالعات تحقیق حاضر، بنظر می رسد که ترکیب عواملی چون برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی، ضخامت بالای لایه رسوبی و ویژگیهای ژئوتکنیکی از جمله درصد بالای گراول که دارای تخلخل بالا می-باشد، با در نظر داشتن وجود بار ساختمانی بر روی آبرفت، ارتعاشات حاصل از تردد وسائل نقلیه و ارتعاشات حاصل از خرد لرزه‌های تکتونیکی عامل اصلی ایجاد این فرونشست باشد. در اثر نیروهای مؤثر در ایجاد تراکم، رسوبات دانه ریز مانند سیلت و رس در مقایسه با رسوبات دانه درشت مانند شن وماسه تاثیر بسیار بیشتری می‌پذیرند. از سوی دیگر هر اندازه ضخامت رسوبات بیشتر باشد؛ آن منطقه نسبت به افت سطح آب زیرزمینی حساس‌تر عمل نموده و در اثر نیروی گرانشی، دچار فرونشست بیشتری خواهد شد. در این رابطه بر اساس مطالعات غیومیان و همکاران (۱۳۸۱) در رابطه با پهنه بندی استعداد توان باربری نهشته‌های کواترنری شهر تهران با استفاده از SPT، قسمت عمده شهر تهران دارای توان باربری مجاز متوسط به بالا هستند. با این وجود در چند نقطه از جنوب و جنوب غربی شهر ظرفیت باربری و

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

عوامل مقاومتی آبرفت‌ها پائین تا بسیار پائین است. نکته قابل توجه این که محدوده مورد بررسی در همین پهنه قرار دارد. این ویژگی می تواند یک عامل مهم در شکل گیری فرونشست مورد نظر باشد.

- **تحلیل ریسک المان‌های مهم**

ریسک(Risk) منجر شدن یک خطر به حادثه یا سانحه است. به عبارتی دیگر ریسک عبارت از احتمال نتایج مخرب یا خسارات قابل انتظار ناشی از تداخل مخاطرات و شرایط آسیب‌پذیری است(زارع، ۱۳۹۵). مطالعات تداخل‌سنجی راداری نشان داد که خطر فرونشست در محدوده جنوبی و شرقی منطقه ۱۸ شهری و در فضاهای متفاوت از جمله فضاهای مسکونی، تاسیساتی و زیرساختی به طور پیوسته رخ داده است. با توجه به بازدیدهای بعمل آمده می‌توان اظهار نمود که در منطقه ۱۸ شهری فضاهای باز به طور گسترده‌ای وجود دارد و این موضوع می‌تواند در بررسی‌های جمعیتی و مسکونی گمراه‌کننده باشد. زیرا با اینکه فضای باز از جمله زمین‌های کشاورزی، محوطه‌های باز مناطق صنعتی و کاربری‌های باز دیگر گسترش قابل توجهی دارند اما مناطق مسکونی متراکم بوده و به طور عمده در ۳ ناحیه قرار گرفته است. بخش شرقی محدوده از جمله مناطق مسکونی با تراکم بالا می‌باشد که از سمت شمال توسط منطقه ۹ و از سمت شرق با منطقه ۱۷ و از سمت جنوب شرقی با منطقه ۱۹ شهری محدود می‌گردد. از المان‌های مهم دیگر این منطقه می‌توان خط انتقال برق فشار قوی، خط ریلی بین شهری، خط مترو، راه‌ها و پل‌ها و همچنین ساختمان‌های مهم از جمله بیمارستان را نام برد. آگاهی از موارد ذکر شده در پهنه‌هائی که از فرونشست زمین تاثیر می‌پذیرند می-تواند در تکمیل مخاطره‌شناسی پدیده فرونشست زمین کمک قابل توجهی داشته باشد.

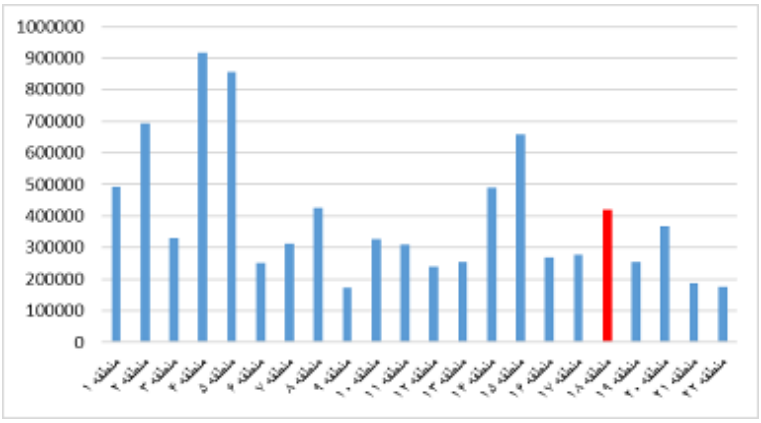
- **بررسی جمعیتی**

بر اساس آمار سال ۱۳۹۵ منطقه ۱۸ شهری تهران دارای ۴۱۹۲۴۹ نفر جمعیت می‌باشد که از این تعداد ۲۱۳۵۱۸ نفر مرد و ۲۰۵۷۳۱ نفر زن می‌باشند. منطقه ۱۸ شهری از نظر جمعیت در بین مناطق در رتبه ۹ قرار دارد. رقم بعد خانوار در منطقه ۱۸ شهری تهران ۳,۲ می‌باشد که از این نظر جزء مناطق با خانوار پر تعداد محسوب می‌شود. از نظر تراکم جمعیتی منطقه با ۱۱۲,۴ نفر در هکتار نسبت به سایر مناطق از نظر ارقام در وضعیت مناسبی قرار دارد اما با توجه به اینکه بخش وسیعی از این منطقه جزء فضاهای باز می‌باشد و مناطق مسکونی در مناطق محدودی تمرکز دارد، لذا بهتر است این مناطق از کل محدوده جدا شده و تراکم جمعیتی بر فضای اشغال شده مسکونی محاسبه گردد. با توجه به اینکه میزان مساحت اشغال شده توسط انواع ساختمان‌ها در حدود ۲۰۰۰ هکتار و تراکم جمعیت در بافت مسکونی در حدود ۲۰۹ نفر در هکتار است که در مقایسه با سایر مناطق می‌توان این منطقه را در رتبه ۷ در نظر گرفت. تفکیک فضای باز با مناطق مسکونی و صنعتی در شکل ۱۷ و وضعیت جمعیتی منطقه ۱۸ تهران در مقایسه با سایر مناطق در شکل‌های ۱۸ تا ۲۱ نشان داده شده است.

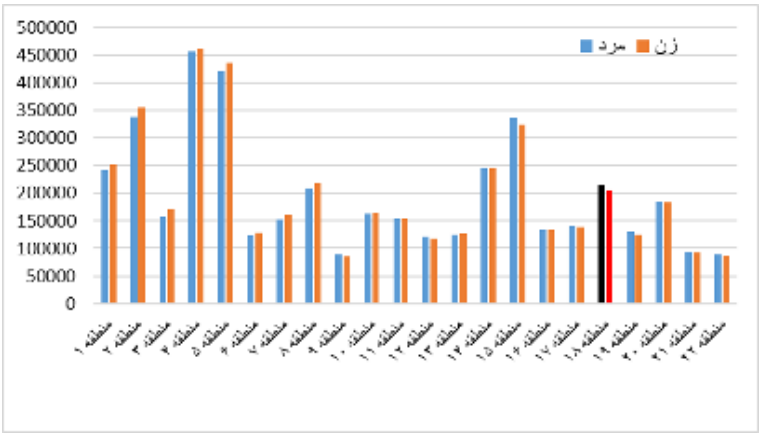
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

شکل – ۱۷ : وضعیت فضاهای باز و مناطق با کاربری مسکونی و صنعتی. محدوده های قرمز تحت اشغال ابنیه مسکونی می‌باشند.



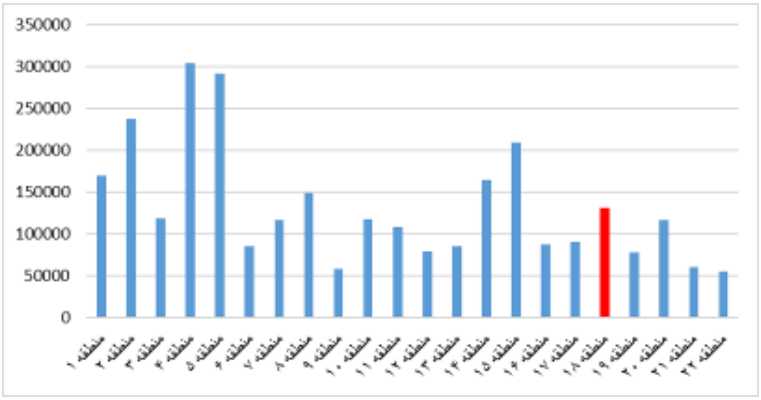
شکل – ۱۸ : موقعیت جمعیتی منطقه ۱۸ در بین مناطق شهری تهران



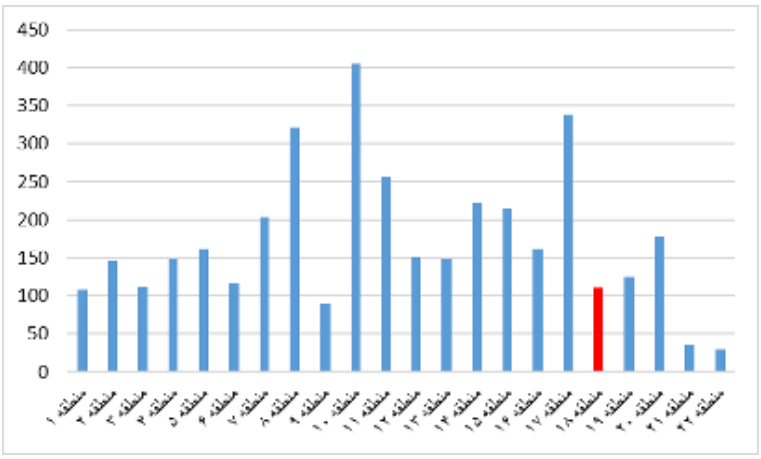
شکل – ۱۹ : وضعیت جمعیتی(جنسی) منطقه ۱۸ در بین مناطق شهری تهران

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]



شکل – ۲۰ : موقعیت تعداد خانوار منطقه ۱۸ در بین مناطق شهری تهران



شکل – ۲۱ : موقعیت تراکم جمعیتی منطقه ۱۸ در بین مناطق شهری تهران

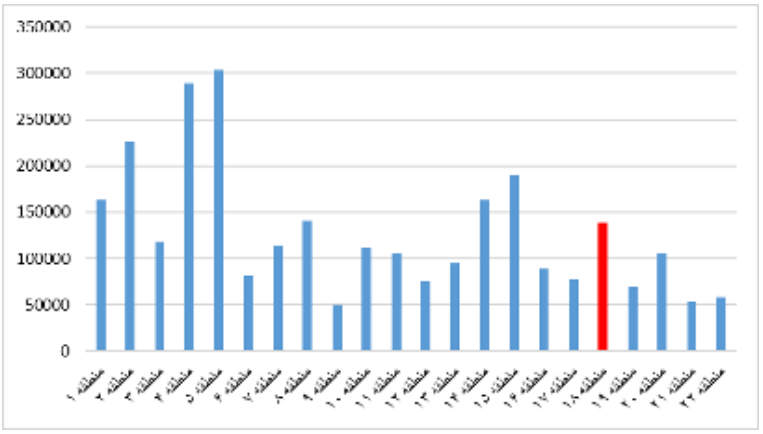
- **بررسی مسکن**

منطقه ۱۸ شهری تهران دارای ۱۳۸۲۶۲ واحد مسکن می‌باشد و در میان مناطق ۲۲ گانه، رتبه ۹ را به خود اختصاص می‌دهد. در واقع، حدود ۷۸۵۷ واحد مسکن نسبت به تعداد خانوار بیشتر می‌باشد. بافت فرسوده در این منطقه مساحتی بیش از ۱۰۲ هکتار دارد. اگر فضاهای باز از مناطق تحت اشغال تفکیک شود این نسبت به رقم ۵,۱ تغییر خواهد یافت. در هر هکتار ۳۶,۳ واحد خانه قرار گرفته و در بین مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در رتبه ۱۸ قرار دارد. اما در صورت حذف مناطق با فضای باز که اغلب در بخش کشاورزی، کوره‌های آجرپزی و موارد مشابه قرار دارند، میزان تراکم مسکن تا ۶۹ واحد در هکتار افزایش یافته و جزء مناطق با تراکم بالای مسکن قرار خواهد گرفت. در شکل ۲۲ تصویر هوائی با حد تفکیک ۵ متر به عنوان نمونه‌ای از بافت متراکم و فرسوده در منطقه ۱۸ نشان داده شده است. آمارهای تعداد و تراکم مسکن به همراه بافت فرسوده برای منطقه مورد نظر در مقایسه با سایر مناق شهری تهران در شکل‌های ۲۳ تا ۲۵ آورده شده است.

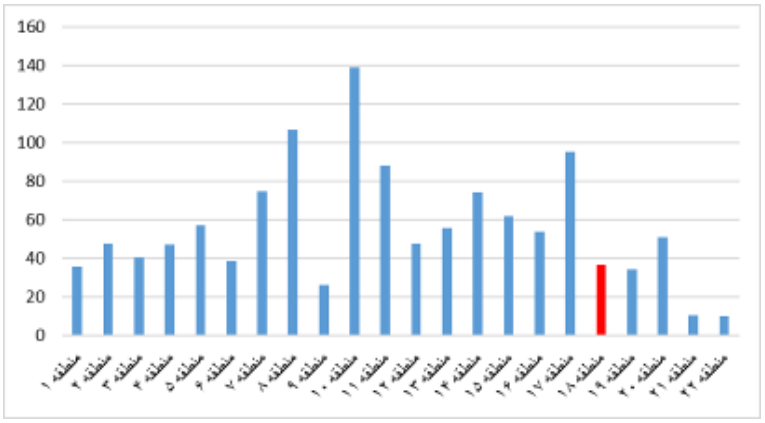
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

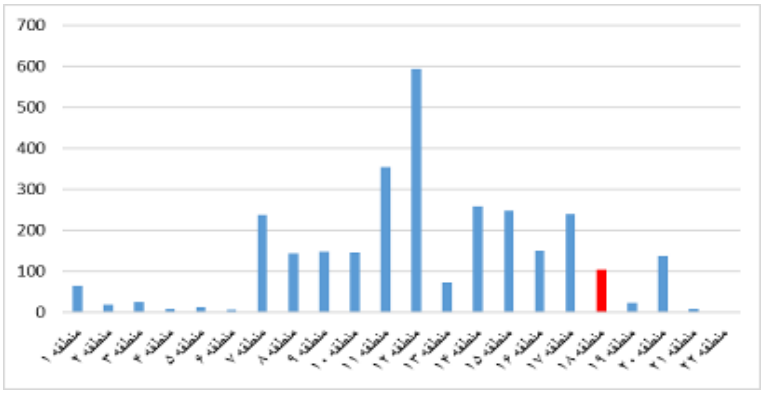
شکل – ۲۲: بافت متراکم در بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه



شکل – ۲۳ : مقایسه تعداد مسکن منطقه ۱۸ با سایر مناطق ۲۲ گانه تهران



شکل – ۲۴ : مقایسه تراکم مسکن منطقه ۱۸ با سایر مناطق ۲۲ گانه تهران



شکل – ۲۵ : مقایسه بافت فرسوده منطقه ۱۸ با سایر مناطق ۲۲ گانه تهران

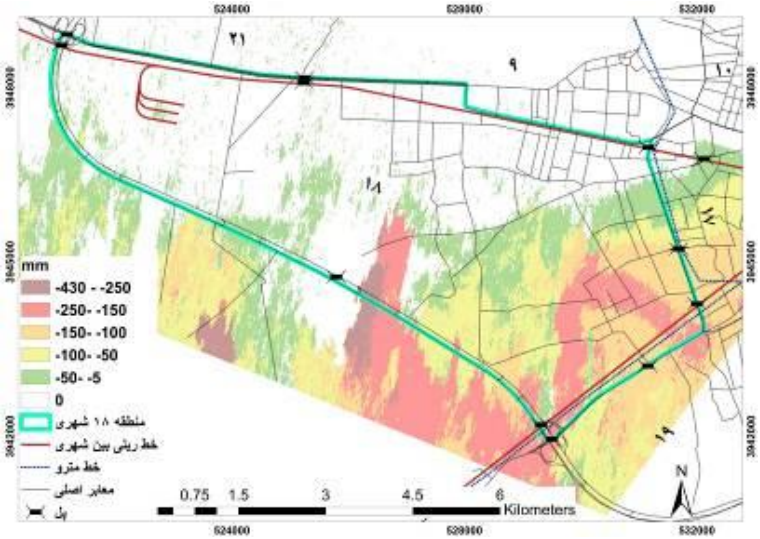
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

- **بررسی راه، پل و خطوط ریلی**

در این پژوهش نقشه معابر اصلی، پل‌ها، خطوط مترو و خط ریلی بین‌شهری به همراه پهنه فرونشست منطقه تهیه گردید. در حدود بیش از ۳۰ کیلومتر از معابر اصلی در خطر فرونشست زمین قرار دارد. از معابر مهم منطقه ۱۸ شهری می‌توان اتوبان آزادگان و اتوبان آیت‌الله سعیدی را نام برد. بیش از ۱۱ کیلومتر از اتوبان آزادگان در مرز حدود جنوبی و غربی منطقه و بیش از ۶ کیلومتر از اتوبان آیت‌الله سعیدی در پهنه فرونشست قرار گرفته است. در منطقه ۱۸ شهری در حدود ۱۲ پل مهم بر روی محورهای مهم این منطقه قرار گرفته است. از این تعداد پل، ۵ مورد در پهنه فرونشست زمین قرار گرفته است. تمامی پل‌های موجود در پهنه فرونشست زمین مرتبط با اتوبان آیت‌الله سعیدی می‌باشد. با مشاهده نقشه معابر اصلی در زون فرونشست زمین (شکل ۲۶)ملاحظه می‌گردد در محل تقاطع اتوبان آزادگان و اتوبان فتح(جاده قدیم) ۲ مورد پل وجود دارد که متاثر از پدیده فرونشست زمین می‌باشد. اما در این نقطه از محدوده مورد مطالعه میزان فرونشست زمین نسبت به منطقه اتوبان آیت‌الله سعیدی از میزان فرونشست کمتری برخوردار است. در شکل ۲۷ نمونه‌هائی از آثار فرونشست بر روی پل‌های موجود در منطقه که در بازدیدهای میدانی تهیه گردید نشان داده شده است.

در قسمت شرقی و جنوب‌شرقی محدوده مورد مطالعه که حداکثر میزان فرونشست زمین را نیز دارا می‌باشد، بیش از ۴ کیلومتر خط ریلی بین شهری امتداد یافته است. خط ریلی تهران – تبریز و بیش از ۸ کیلومتر از خط مترو تهران در این گستره امتداد یافته است. خط مترو موجود در منطقه ۱۸ در پهنه فرونشست زمین با نرخ بالا قرار دارد. ایستگاه-های مترو زمزم، نعمت‌آباد و آزادگان مهمترین ایستگاه‌های مترو منطقه ۱۸ شهری است که در خطر فرونشست زمین قرار دارد.



شکل – ۲۶ : موقعیت معابر اصلی، پل‌ها، خط مترو و خط ریلی بین شهری منطقه ۱۸ شهری تهران

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

شکل – ۲۷ : نمونه‌هائی از گسیختگی در عناصر پل‌های موجود در منطقه ۱۸ شهری تهران

نتیجه گیری

حداکثر میزان فرونشست زمین در بازه دو ساله برای منطقه ۱۸ شهری حداکثر۴۳۰ میلیمتر در ناحیه یافت آباد و در مناطق جنوب شرقی منطقه میزان فرونشست زمین بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر بدست آمد. نرخ فرونشست زمین در منطقه ۱۸ شهری از جنوب به شمال و از شرق به غرب کاهش می‌یابد. کمترین نرخ فرونشست زمین مربوط به قسمت‌های شمالی و غربی منطقه ۱۸ می‌باشد که سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی نیز در این بخش‌ها بالا است. توزیع بالای گراول در عمق‌های زیرین که از تخلخل قابل ملاحظه‌ای برخوردار است، ضخامت بالای آبرفت خشک با توجه به عمق‌چاه‌های پیزومتری که با افت سطح ایستابی بر ضخامت آن افزوده می‌شود و بار فشارشی را در جهت نیروی گرانی افزایش می‌دهد و استقرار منطقه مورد مطالعه در بخش منتهی‌الیه مخروط‌افکنه کن و آبرفت‌های تحکیم نیافته، رخداد پدیده فرونشست زمین در منطقه ۱۸ شهری توجیه پذیر به نظر می‌رسد. همچنین با در نظر گرفتن نتایج مراحل انجام یافته در رابطه با بررسی پدیده فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه، چنین نتیجه گیری می‌شود که پدید فرونشست زمین با اندازه دانه‌بندی رابطه قابل ملاحظه‌ای داشته و با افت سطح آب زیر زمینی در مناطق حاوی ریزدانه، عمل متراکم شدن به طور برجسته‌تری نسبت به مناطق با دانه‌درشت انجام می‌پذیرد که منجر به فرونشست زمین می-گردد. نتایج مطالعات جمعیتی و مسکن نشان داد که در صورت حذف فضاهای باز حاوی فعالیت کشاورزی و صنعتی، جزء مناطق پرتراکم شهر تهران می باشد که در معرض خطر فرونشست قرار دارد. معابر اصلی مانند انوبان آیت‌الله سعیدی و آزادگان به همراه خطوط ریلی و مترو منطقه در صورت بروز گسیختگی و مشکل موجب اختلال در نظم شهری خواهد شد که دامنه آن فراتر از منطقه ۱۸ را در بر خواهد گرفت.

منابع

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی. ۱۳۸۳. بررسی فرونشست زمین در دشت تهران- شهریار، گزارش نخست.

حسینی، سیدموسی؛ سمانه‌ریاحی، عبدالکریم ویسی. ۱۳۹۸. تأثیر توسعه شهری بر وضعیت هیدرولوژی حوضه آبریز مطالعه موردی: حوضه تجریش (شمال تهران). نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال **۶(۱)** : ۹۶ - ۱۱۰.

زارع‌مهرجردی، حمدعلی. ۱۳۸۹. بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی‌های موجود در منطقه رستاق جنوب میبد. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال **۲۲(۳)**: ۱۵۵ - ۱۶۶.

حقیقت‌مهر،پریسا؛ محمدجواد ولدان‌زوج، رضا، تاجیک، سعید جباری، محمودرضا صاحبی، رضا اسالمی، مصطفی گنجیان، مریم دهقانی. ۱۳۹۰. تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و سامانه موقعیت‌یاب جهانی. مجله علوم زمین، سال**۲۲(۸۵)** : ۱۰۵ - ۱۱۴.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

صادقی، زهرا؛ محمدجواد ولدان‌زوج، مریم دهقانی. ۱۳۹۱. معرفی و مقایسه دو روش تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌کننده دائمی به منظور اندازه‌گیری زمین(مطالعه موردی: جنوب غرب دشت تهران).مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال **۴(۱)** : ۹۷ - ۱۱۰.

حشمی، شیما؛ سیدعلی المدرسی، مدل‌سازی فرونشست دشت نیشابور با استفاده از سری زمانی و تکنیک DINSAR.. ۱۳۹۲. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی،سال **۲۵(۱)** : ۶۷ - ۸۴.

شریفی‌کیا، محمد؛ عباسعلی افضلی، سیاوش شایان. ۱۳۹۴. استخراج و ارزیابی اثرات پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در دشت دامغان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی،سال **۴(۲)** : ۶۰ - ۷۴.

بابائی، سیدساسان؛ زهرا موسوی، مه‌آسا روستایی. ۱۳۹۵. آنالیز سری زمانی راداری تصاویر با استفاده از روشهای طول خط مبنای کوتاهSBAS و پراکنش‌کننده‌های دائمی PS در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین. نشریه علمی – پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری،سال **۵(۴)** : ۹۵ - ۱۱۱.

عفیفی، محمدابراهیم. ۱۳۹۵. ارزیابی پتانسیل فرونشست و عوامل موثر بر آن(مطالعه موردی: دشت سیدان فاروق مرودشت). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال **۵(۳)** : ۱۲۱ - ۱۳۲.

شهرداری تهران، معرفی منطقه ها https://www.mantagheha.com/article/233

وزارت راه و شهر سازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، https://www.bhrc.ac.ir/

سازمان آمار ملی کشور

Hole a, J.K.; C.J. Bromley b, N.F. Stevens c, G. Wadge a. 2007. Subsidence in the geothermal fields of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand from 1996 to 2005 measured by InSAR. *Journal of Volcanology and Geothermal*, **166**: 125–146.

Stramondo a, S.; F. Bozzano b, Marra a, F. U. Marra a, F.R. Wegmuller c, M. Cinti a, M. Moro a, d. Saroli .2008. Subsidence induced by urbanisation in the city of Rome detected by advanced InSAR technique and geotechnical investigations. *Remote Sensing of Environment*, **112:** 3160–3172.

Parks a, M.M.; J. Biggs b, T.A. Mather a, D.M. Pyle a, F. Amelung c, M.L. Monsalve d, L. Narváez Medina e, Co-eruptive subsidence at Galeras identified during an InSAR survey of Colombian volcanoes (2006–2009). 2011. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **202**: 228–240.

Calderhead, A.I.; R. Therrien, A. Rivera, R. Martel, J. Garfias. Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico. 2011. *Advances in Water Resources*, **34**: 83–97.

Dang, V. K.; C. Doubre, C. Weber, N. Gourmelen, F. Masson. Recent land subsidence caused by the rapid urban development in the Hanoi region (Vietnam) using ALOS InSAR data. 2014. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, **14:** 657–674.

Jiming Guo,; Lv Zhou, Chaolong Yao, Jiyuan Hu. Surface Subsidence Analysis by Multi-Temporal InSAR and GRACE: A Case Study in Beijing. 2016. (CC-BY) license (*http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/*).

The United Nations Organization for Education; Science and Culture (UNESCO) was founded on16 November 1945. (*http://landsubsidence-unesco.org/content/what-land-subsidence*).

Rezaei, Kh., 2017. Sedimentology studies and environmental impacts of land subsidence in Eslamshahr, SW Tehran, Iran Civil, *Architectural & Environmental Engineering (DRCAEE) Conferences*. 2017, May, ۱۷-۱۸, ۲۰۱۷ t Istanbul (Turkey), www.DRCAEE.org.

Finnegan, N.; M. Pritchard, Lohman, R, Lundgren, P., Constraints on surface deformation in the Seattle, WA, urban corridor from satellite radar interferometry timeseries analysis. 2008. *Geophysical Journal International*, **174**: 29 – 41.

Funning, G. J. , R. Burgmann,; A. Ferretti, F. Novali, & A. Fumagalli. 2007. "Creep on the Rodgers Creek fault, northern San Francisco Bay area from a 10 year PS-InSAR dataset." *Geophysical Research Letters*, **34**: 41 – 57.

Hooper, A.; Bekaert, D., Spaans, K., Arikan, M. 2012. "Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation," Tectonophysics, 7: 514 – 517.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]

hooper, A.; P. Segall, and H. Zebker. 2007. "Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volcan Alcedo, Galapagos," *Journal of Geophysical Research*, **7**: 112 – 124.

U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, December 2000. *USGS Fact*. **165**, *http://water.usgs.gov/ogw*.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.11]