جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)
دوره جدید، سال پانزدهم، شماره ۵۵، زمستان ۱۳۹۶

ارزیابی مطالعات ژئوتکنیک در نشست سازه‌ها با تاکید بر ژئومورفولوژی کلانشهر مشهد

عزت‌الله قنواتی[۱]، سیدرضا حسین‌زاده[۲]، امیر کرم[۳] و میترا فرخ‌زاد[۴]
تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۴/۳۰، تاریخ تایید: ۱۳۹۶/۸/۱

چکیده

پژوهش حاضر، به تاثیر و اهمیت شناخت ژئومورفولوژی شهری در ارتباط با وقوع مخاطره نشست زمین و ریزش دیواره‌های گودبرداری در سازه‌های عمرانی در کلانشهر مشهد می‌پردازد. داده‌ها شامل پارامترهای ژئوتکنیکی و سطح آب زیرزمینی و نقاط نشست و ریزش می‌باشد. ابزار مورد استفاده شامل نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰ شهری و توپوگرافی مشهد و نیز تصاویر ماهواره‌ای (MMS)و (TM) و (ETM^{+}) مربوط به سال‌های ۱۳۵۳و ۱۳۵۹و۱۳۹۰ و عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۲ است که با استفاده از نرم‌افزارهای GIS وSPSS وExcel وmatlab مدل‌سازی‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی انجام شد و نقشه پهنه‌بندی خطر نشست در پنج سطح استخراج گردید. نقشه‌ها نشان می‌دهد که بخش مرکزی شهر که از لحاظ ژئومورفولوژیکی منطبق بر دشت آبرفتی است و بخش جنوب‌غربی شهر که از لحاظ ژئومورفولوژیکی لندفرم‌های دشت‌سر و مخروطه‌افکنه و کوهستان و گسل به‌گونه‌ای بسیار پیچیده در کنار یکدیگر قرارگرفته‌اند، بالاترین احتمال وقوع خطر را دارند و بخش شمال‌غرب و غرب مناسب برای توسعه فیزیکی با احتمال خطر بسیار پایین است.

کلیدواژگان: نشست، ساختمان، ژئوتکنیک، ژئومورفولوژی.

۱. دانشیار دانشگاه خوارزمی، گروه جغرافیا، تهران.
۲. استادیار دانشگاه فردوسی، گروه جغرافیا، مشهد.
۳. دانشیار دانشگاه خوارزمی، گروه جغرافیا، تهران.
۴. دانشجو دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، (نویسندهٔ مسئول)، پست الکترونیک: mitre.farokhzad@gmail.com

مقدمه

مخاطره نشست ساختمان‌ها که ناشی از نشست زمین در پی ساختمان است و نیز ریزش خاک در هنگام گودبرداری زمین، یکی از مباحث مهم و قابل اهمیت در مطالعات شهری و عمران و نیز ژئوتکنیک است. هرساله در گزارش‌های شهری شاهد چنین حوادثی هستیم و بررسی علل علمی جهت جلوگیری از رخداد این مخاطره، بسیار مهم و ضروری است.

کلانشهر مشهد هم نیز هر ساله شاهد مخاطراتی همچون ریزش دیواره‌های گودبرداری و یا نشست زمین در پی ساختمان یا در خیابان‌ها و پیاده‌روهایی که هنوز مدت‌زیادی از بازسازی و مرمت آنها نگذشته است نیز می‌باشد. این مخاطره هرساله خسارت مالی و جانی چشمگیری را بر شهروندان تحمیل می‌کند. سازمان آتش نشانی مشهد آماری به صورت غیرمنسجم و تفکیک نشده از این مخاطره ثبت کرده‌است و سایر سازمان‌ها مانند نظام مهندسی، شهری، پلیس ساختمان هیچ گزارش مکتوبی از این مخاطره موجود ندارند. بنابراین بخش عمده‌ای از شناسایی مکان‌های دچار خطر توسط گزارش‌های میدانی و توضیحات شهروندان و نیز کارمندان سازمان‌های فوق تهیه گردیده است و همین عدم وجود بانک اطلاعاتی از مکان‌های دچار خطر، اهمیت پرداختن به این موضوع را ضروری می‌کند. طبق گزارش سازمان آتش نشانی در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲ تعداد ۷ کارگر ساختمانی و راننده و تعداد ۵ نفردیگرکه دونفراز این جانباختگان زائر شهر مشهد بوده‌اند، قربانی این مخاطره شده‌اند. لزوم پرداختن به این مخاطره به‌دلایل نقش زیارتی و قطب پزشکی گردشگری شهر مشهد و نوع خاک و وضعیت ژئومورفولوژیکی شهرقابل اهمیت است. هدف از این پژوهش، تشریح و بیان اهمیت مطالعات ژئومورفولوژیکی در سازه‌های شهری و ارائه پهنه‌بندی خطر نشست و ریزش در محدوده مطالعاتی با مدل‌سازی‌های آماری است. خروجی‌های مدل و مطالعات نشان می‌دهد که مطالعات شکل‌شناسی زمین تا چه حدی می‌تواند در کاهش اینگونه مخاطرات قابل اهمیت باشد. فرضیه پژوهش این است که بین مطالعات ژئومورفولوژیکی و کاهش مخاطره نشست و ریزش رابطه معناداری وجود دارد و با شناسایی مکان‌های مستعد این مخاطره، تا حد زیادی می‌توان از بروز این مخاطره جلوگیری نمود.

مطالعه و بررسی منابع کتابخانه‌ای نشان می‌دهد که بسیاری از تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در شهر و دشت مشهد مربوط به بررسی نشست پهنه‌ای و نشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد و به‌نظر می‌رسد در زمینه مخاطرات نشست نقطه‌ای و ریزش دیواره‌های مطالعات منسجم و آکادمیکی انجام نشده است. در این پژوهش بانک اطلاعاتی از نقاط دچار خطر تهیه و نقشه ژئومورفولوژی محدوده مطالعاتی با پراکندگی نقاط خطرتهیه گردیده است. به‌طورکلی شرایط محیطی ایران به‌عنوان بستری مخاطره‌آمیز معرفی شده‌است و جدیت بر تاکید بر برنامه‌ها و طرح‌های توسعه شهری جهت جلوگیری از ایجاد هزینه‌های سنگین اجتماعی و اقتصادی و روانشناختی در تبیین برنامه‌ریزی‌های شهری امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (حسین‌زاده،۱۳۸۳).مطالعات نشان می‌دهد که نشست زمین در برخی از سطوح مخروطه‌افکنه‌های غرب شهرستان فرزنو، کالیفرنیا منجر به خرابی و آسیب‌دیدگی کانال‌ها و جاده‌ها و خطوط لوله و برق و ساختمان‌ها و اختلال در کشاورزی شده‌است مطالعات موجود نشان می‌دهد که نشست

زمین و نیز نوع خاک‌های مخروطه‌افکنه موجود در این منطقه با ضریب نفوذ بالا و تراکم بسیارکم در این شهر مهمترین عامل موثر در بروز این اختلالات است (ویلیام. بی،۱۹۶۴)[1]. تحلیل و بررسی ایجاد ساخت‌وسازها بر روی سطوح مخروطه‌افکنه‌ای به ویژگی‌های جغرافیای و ژئومورفولوژیکی آن‌ها بستگی دارد و ارائه قوانین و برنامه‌های منسجم با نظارت مستمر به ساخت‌وسازها و یا منع ساخت‌وساز بر روی سطوح مخروطه افکنه‌ها تا حد زیادی می‌تواند به کاهش مخاطره نشست کمک کند (آژانس مدیریت بحران فدرال، گزارش دفتر بیمه کاهش خسارات، ۱۹۸۹). بررسی‌های موجود در شهرهای توسعه‌یافته بر روی مخروطه‌افکنه‌ها نشان از اهمیت شناخت ویژگی مخروطه‌افکنه‌ها دارد و نشان می‌دهد که شهرهایی که بر روی این سطوح بنا شده‌اند به‌طور دائم در حال فرونشست هستند و بخشی از حوضه‌های رسوبی محسوب می‌شوند (پارکر و همکاران، ۱۹۹۸)[2]. بررسی سازه‌های شهر فلوریدا که برروی فروچاله‌ها واقع شده‌اند نشان می‌دهد که بعضی از این چاله‌ها توسط انسان پر شده‌اند و ممکن است از تراکم لازم برخوردار نباشند. بنابراین لازم است که به‌طور جدی قوانین و ارائه راهکارهایی برای ساخت‌وساز در این‌گونه مکان‌ها درنظر گرفته‌شود (اسچ میت، ۲۰۰۵)[3]. مطالعه شهرهایی که بر روی رسوبات ناپایدار استقرار یافته‌اند نشان می‌دهد که علت فرونشست در این شهرها، نوع خاک و ناپایداری خاک است. این نوع خاک‌ها اغلب در شهرهایی که بر روی رسوبات آبرفتی دلتاها و مخروطه‌افکنه‌ها ساخته شده‌اند مشاهده می‌شود و به‌طور دائم در معرض خطرهای ژئومورفولوژیکی همچون نشست هستند. نظارت و ثبت دائم میزان نشست زمین در دلتای مروارید چین به تجزیه و تحلیل نیروهای محرکه فرونشست کمک می‌کند و از این طریق می‌توان راهکارهایی جهت جلوگیری از بروز این مخاطره تدوین کرد (چن و همکاران،۲۰۱۲)[4]. مطالعه و شناسایی ساختمان‌های بنا شده بر روی شیب‌ها از روش تحلیل غیرخطی با دو روش اتصال پایه در زمین و تحریک ساختمان در دامنه‌های شیب، می‌تواند میزان جابه‌جایی را در شیب‌ها اندازه‌گیری کرد و سپس با درنظر گرفتن میزان جابجایی اقدام به تقویت ستون‌ها در پی ساختمان کرد. در مطالعات ژئوتگنیک میزان جابه‌جایی‌ها در پی ساختمان تا حدودی تعیین‌کننده نوع مصالح و ترکیب به‌کاررفته در مواد پی خواهد بود (نارایانا و همکاران،۲۰۱۱)[5]. شرکت مهندسان سازه لندن، انواع نشست در ساختمان‌ها را طبقه‌بندی نموده و به‌بیان شناخت مهمترین دلایل نشست که شامل نوع خاک و ویژگی‌های آنها و عوامل موفولوژیکی زمین زیر سازه و سطح آب زیرزمینی است می‌پردازند و نیز هزینه‌ها و خسارات مالی و جانی اتفاق افتاده بر اثر این مخاطره را برآورد نموده است.

در ایران عوامل ژئومورفولوژیکی تاثیرگذار بر شهر داراب مورد بررسی قرار گرفته است و عوامل مهم محیطی مانند سطوح مخروطه‌افکنه‌ها و میزان بارش مورد ارزیابی قرار داده است (خشامی،۱۳۷۸). مطالعات نشان می‌دهد که در اجرای ساختمان‌سازی‌ها باید شکل و شرایط زمین در بستر و محتوایی وسیع‌تر از آنچه که در مطالعات ژئوتکنیک انجام می‌شود، مدنظر قرارگیرد. تغییر شکل‌های ژئومورفولوژیکی سطح زمین مانند پُرشدن گودال‌ها و یا خاک‌برداری‌ها و در

1.WILLIAM,B
2.Parker
3.Schmidt& Others
4.Chen& Others
5.Narayanan& Others

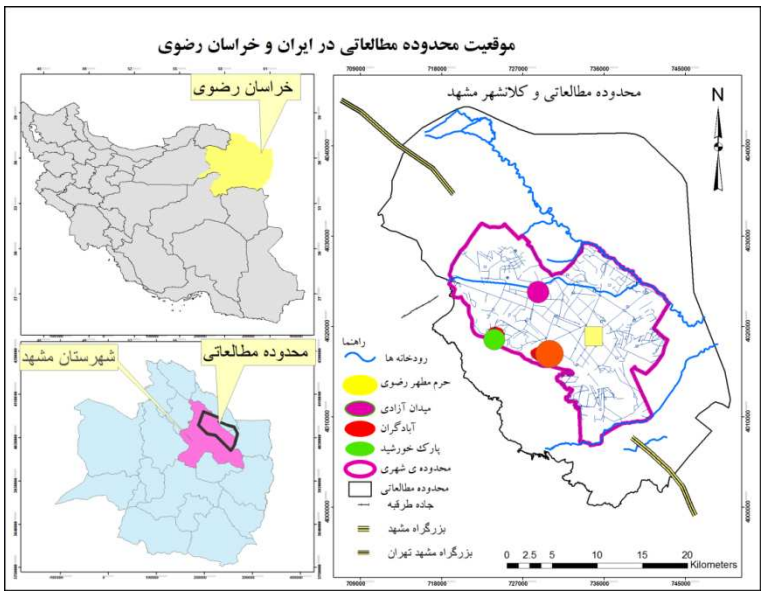
نتیجه ایجاد لندفرهای جدید تاثیر مهمی بر مخاطرات مرتبط با زمین دارند، لذا شناخت ژئومورفولوژیکی زمین می‌تواند آثار زیان‌آور احتمالی چنین بلایایی را در پروژه‌های شهری کاهش دهد (صادقی،۱۳۹۱). مطالعات و بررسی ترک‌های ناشی از نشست ساختمان و ارتباط ترک‌ها و نشست‌ها را انواع خاک زیرسازه مورد طبقه‌بندی قرارگرفته است و نوع خاک تا حدودی می‌تواند تعیین‌کننده نوع ترک ایجاد شده و نشست رخ داده در ساختمان باشد (ابراهیمی قاجار،۱۳۹۰). خطر قنات‌های متروکه شهر مشهد با استفاده از نرم‌افزار پلاکسیس مورد ارزیابی قرار گرفته‌است و سپس پهنه‌بندی خطر نشست ناشی از پرشدن قنات‌های متروکه انجام شده‌است (صالحی متعهد و همکارانش،۱۳۹۳). در مورد نهشته‌های آبرفتی شهر مشهد، مطالعات مفصلی انجام شده است و انواع نهشته‌ها در مخروطه‌افکنه‌های غربی و جنوب‌غربی شهر مشهد مورد شناسایی و سپس مقایسه شده است. نوع این نهشته‌ها با مطالعات ژئوتکنیکی به طورکامل شناسایی و تعریف شده است، اما از لحاظ مستعدبودن در رابطه با مخاطره نشست و ریزش هیچ مطالعه‌ای صورت نگرفته‌است (قزی و همکاران۱۳۹۲). در نهایت، این پژوهش ابتدا با شناخت و ارزیابی خاک سطحی منطقه تا عمق ۳ متر با استفاده از مطالعات ژئوتکنیکی با تاکید بر حدود آتربرگ خاک و با استفاده از مدل سازی‌های آماری به پهنه‌بندی خطر با تاکید بر پراکندگی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

با توجه به مرتبط‌بودن مخاطره نشست و ریزش با سازه‌های ساختمانی و توسعه فیزیکی شهر، لذا محدوده حریم شهر مربوط به مصوبه۱۳۹۱ شهر مشهد به‌عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده تا پهنه‌بندی خطرنشست و ریزش در این محدوده به‌عنوان محدوده توسعه فیزیکی آینده شهر تدوین گردد (شکل۱). این منطقه به وسعت ۱۰۸۰/۶ کیلومترمربع و محیط آن ۱۱۵۵۰۱/۹ کیلومتر می‌باشد. گسترش شهر از لحاظ واحدهای ژئومورفولوژیکی از دشت آبرفتی آغاز شده و سپس بخش بسیار عمده‌ای از مخروطه‌افکنه‌های جنوب و جنوب‌غربی را پوشانده است و در بعضی از نقاط نیز بر روی کوهستان‌ها توسعه یافته‌است. در جهت شمال و شمال‌شرق محدوده مطالعاتی بستر رودخانه کشف‌رود با حداقل ارتفاع در منطقه با ۹۸۵ متر قرار دارد. بیشترین ارتفاع در محدوده مطالعاتی ۱۴۵۰ متر واقع در جنوب‌غرب کلانشهر مشهد در ارتفاعات بینالود است.

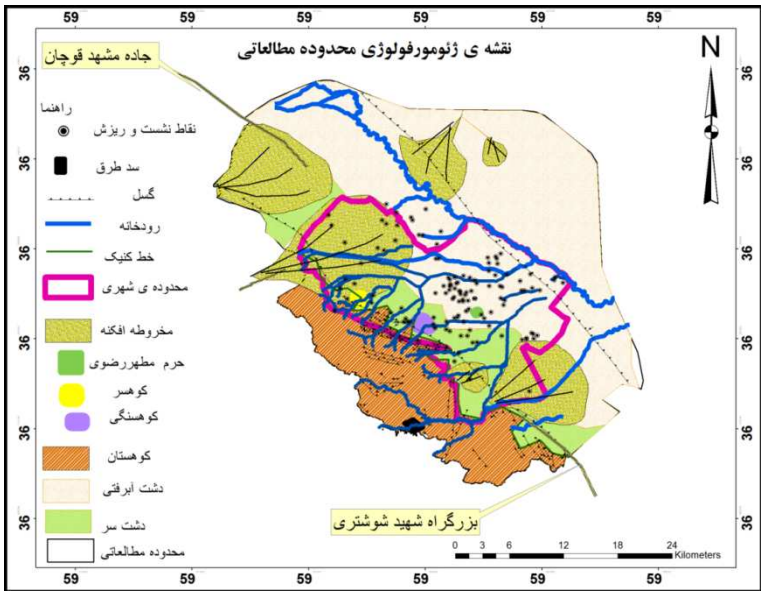
منطقه موردمطالعه از لحاظ ژئوموفولوژی شامل چهار واحد کوهستان، دشت‌سر، مخروطه‌افکنه و دشت آبرفتی است. کلانشهر مشهد در داخل یک حوضه آبرفتی واقع شده‌است که از طرف غرب و جنوب‌غربی توده آذرین بینالود و از طرف شمال و شمال‌شرق ارتفاعات رسوبی کپه‌داغ و هزارمسجد این منطقه را در برگرفته است. یکی از عارضه‌های ژئومرفولوژیکی دشت مشهد مخروطه‌افکنه‌های وسیع دامنه‌های بینالود با ساختار رسوبات سنگی درشت‌دانه و شیب نسبتاً زیاد است در این بخش، قسمت راس مخروطه‌ها توسط گسـل جنوب مشهد با ایجاد شکست، شیب نسبتاً تندی



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران و خراسان رضوی

را در منطقه ایجاد کرده‌است. این مخروطه‌افکنه‌ها اکنون به‌دلیل توسعه فیزیکی شهر کاملاً تخریب شده‌اند و سازه‌های عمرانی روی آنها را پوشانده است. گروه دیگر، مخروطه‌افکنه‌های کم‌شیب دامنه‌های کپه‌داغ و هزارمسجد با رسوبات نرم آبرفتی است که در بخش شمال و شمال‌شرقی گسترش یافته‌است. این مخروطه‌افکنه‌ها به‌دلیل شیب بسیار ملایم و رسوبات بسیار نرم آبرفتی و پیوستگی در قائده، باجاداها را تشکیل داده است و مکان بسیار مناسبی را برای توسعه کشاورزی ایجاد کرده‌است و به‌همین دلیل این مخروطه‌افکنه‌ها فقط در نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری قابل مشاهده و ترسیم هستند و بر روی تصاویر ماهواره‌ای به‌دلیل تخریب این لندفرم‌ها به‌راختی قابل روئیت نیستند. عارضه دیگر دشت مشهد رودخانه کشف‌رود است که جریان‌های رودخانه‌های کپه‌داغ و بینالود را زهکشی می‌کند و دشت آبرفتی مشهد نیز حاصل رسوبگذاری رودخانه‌هایی است که به کشف‌رود تخلیه می‌شوند و همین امر باعث شده که در نواحی شمال و شمال‌غرب و شمال‌شرق به‌تدریج به ضخامت و وسعت دشت آبرفتی افزوده شود. گسل کشف‌رود تقریباً به موازت این رود در شمال شهر مشهد واقع شده‌است و به‌طور مورب رودخانه کشف‌رود را از لحاظ طولی به دو قسمت شمال‌غربی و شمال‌شرقی تقسیم کرده است. وجود این دو گسل همراه با ارتفاعات شمالی و جنوبی واحد مورفوتکتونیک گرابن مشهد را با دو واحد هورست منطبق بر لندفرم‌های ارتفاعی بینالود و کپه‌داغ ایجاد کرده است. به‌طورکلی می‌توان گفت واحدهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی دشت مشهد تا حدودی منطبق بر یکدیگر هستند. در محدوده شهر مشهد نهشته‌های آهکی، دولومیتی، شیلی، ماسه سنگی متراکم و دگرگونه دوران اول در ارتفاعات بینالود کم و بیش گسترش دارند (کره‌ای و همکاران،۱۳۸۵ :۶۴). سایر گسل‌ها به‌صورت متراکم و در جهت شمال‌غرب به جنوب‌شرق در گوشه جنوب‌شرقی ارتفاعات بینالود در لندفرم‌های کوهستان و دشت‌سر توسعه یافته‌اند. گسترش شهر از واحد ژئومورفولوژی دشت آبرفتی آغاز و به‌سمت کوهستان‌های غرب و جنوب‌غرب تمام سطح مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و پدیمنت‌ها را پوشانده است. گسترش و توسعه فیزیکی شهر به

سمت جنوب و غرب است و منجر به تسخیر بخش عمده‌ای از دشت‌سرو مخروط‌افکنه‌ها و کوهستان‌های شهر شده است.



شکل۲: نقشه ژئومورفولوژی محدوده موردمطالعه در سال ۱۳۴۲

● داده‌ها

در بررسی ژئومورفولوژی این پژوهش از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰ شهری و توپوگرافی مشهد استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای (MMS)و (TM) و (ETM^{+}) مربوط به سال‌های ۱۳۵۳و ۱۳۵۹و ۱۳۹۰ و عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۲ می‌باشد که در بسته نرم‌افزاری GIS محدوده‌های دشت و دشت‌سر و کوهستانی منطقه مورد مطالعه و شناسی قرار گرفت و با تطبیق بر عکس‌های هوایی این سه محدوده از یکدیگر تفکیک شد. برای تهیه داده‌های مربوط به نشست منبع و داده‌ای موجود نبود، بنابراین با توجه به گزارش‌های سازمان آتش‌نشانی و پلیس ساختمان و سازمان نظام مهندسی، مناطق دچار حادثه شناسایی شدند و سپس موقعیت این مکان‌ها توسط GPS برداشت گردید. برای تهیه نقشه‌های خاک در محدوده موردمطالعه، ابتدا با استفاده از دستگاه گمانه‌زنی دستی در ۱۹ نقطه شهر مشهد گمانه‌ها استخراج گردید و در آزمایشگاه شرکت مهندسین جهدآزما، مطالعات ژئوتکنیکی انجام شد. سایر گمانه‌ها که تقریباً به تعداد ۱۵۰۰ مورد گمانه می‌رسد مربوط به گزارش‌های ژئوتکنیک مهندسین مشاور جهدآزما است. سپس جدول اطلاعاتی شامل جنس خاک و حد روانی و شاخص خمیری از گزارش‌های ژئوتکنیکی استخراج شد و به محیط نرم‌افزاری Excel منتقل گردید. داده‌های مربوط به جنس خاک در محیط Surfer 12 تبدیل به لایه پلی‌گون گردید و سپس در محیط Gis طبقه‌بندی و پردازش شد. داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه گردید و بعد از پردازش و کلیپ‌کردن محدوده مطالعاتی، داده‌های پردازش شده به محیط نرم‌افزاری Excel منتقل گردید. داده های سطح آب زیرزمینی و حد روانی و شاخص خمیری خاک در محیط ARC MAP با استفاده از دستورIDW درون‌یابی و طبقه‌بندی انجام گرفت. سپس تمام لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده شامل لایه نقاط

نشست و ریزش که متغیر وابسته نامیده می‌شود و لایه حد روانی، لایه شاخص خمیری و لایه جنس خاک و لایه سطح آب زیرزمینی که متغیرهای مستقل هستند در محیط Gis تبدیل به رستر و رسترها تبدیل به point گردید و داده‌ها با پیکسل سایز ۱۰ در فرمت dbf خروجی گرفته شد. در مرحله بعد داده‌ها به محیط Excel انتقال یافته و جهت پردازش به نرم‌افزار spss منتقل شد و سپس ضریب همبستگی آنها نسبت به متغیر وابسته که نشست و ریزش می‌باشد محاسبه شد. ضریب‌ها استخراج شده در محیط ARC MAP مدل‌سازی رگرسیون خطی چندمتغیره انجام شد و خروجی با فرمت نقشه استخراج گردید.

برای مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی ابتدا ماتریس استخراج شده از لایه هایی که رستر شده‌بودند در محیط Matlab پردازش و آماده‌سازی داده‌ها انجام شد و سپس ضرایب خروجی از نرم‌افزار Matlab در محیط ARC MAP مدل‌سازی شبکه عصبی انجام شد. قابل ذکر است تعداد نقاط نشست و ریزش که به‌عنوان متغیر وابسته در این نوشتار از آنها نام برده می‌شود ۱۵۰ نقطه می‌باشد که ده مکان توسط سازمان نظام مهندسی و ۴ تا پلیس ساختمان و حدود ۱۵ نقطه مشاهدات میدانی و۱۲۰ نقطه‌دیگر توسط سازمان آتش‌نشانی طی سال‌های ۸۹ تا ۱۳۹۲ثبت گردیده. اطلاعات و آدرس مکان‌های دچار خطر، جمع‌آوری گردید و سپس توسط دستگاه GPS برداشت نقاط انجام شد و سپس لایه نقطه‌ای آن در بسته نرم‌افزاری GIS آماده گردید. برای تحلیل داده‌ها ابتدا از همپوشانی لایه‌ها در محیط GIS استفاده شده و رابطه هر یک از چهار متغیر مذکور با متغیر وابسته مورد تفسیر و توضیح قرار گرفت و نقشه‌ای خروجی در هر مدل که نشان‌دهنده میزان همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته است مورد تحلیل و توصیف آماری قرار گرفت. در مرحله بعد ضرایب همبستگی متغیرها که از محیط spss استخراج شده بود در محیط GIS با استفاده از معادله زیر نقشه مدلسازی شده رگرسیون خطی چندمتغیره خروجی گرفته شد رابطه (۱).

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3+B_4X_4+\ldots\ldots B_NX_N$$

برای مدل‌سازی در شبکه عصبی به‌دلیل بالابودن و تعداد زیاد پکسل‌ها و عدم امکان انتقال آنها به Excel نمونه‌گیری در GISARC با دستور Create Random و Extract volues to point انجام شد و به‌طورکلی تعداد ۱۵۰۰۰ نقطه نمونه به صورت تصادفی انتخاب شد و ابتدا به نرم‌افزار Excel وسپس وارد نرم‌افزارMatlab گردید. بعد از آماده‌سازی با ابزار nn tool در Matlab و الگوی Neural network pattern Recognition Tool را انتخاب کرده و ماتریسی که در اینجا Result نام دارد استخراج گردید. دستور Result. net را در مورد داده‌های ماتریس اجرا کرده و داده‌ها به‌صورت وزنی برای هر متغیر نمایش داده می‌شود. سپس وزن‌های خروجی از شبکه عصبی در متلب را به محیط GISARC برده و بر روی معیارها پیاده کرده و خروجی به شکل نقشه تهیه گردید.

داده‌های ژئوتکنیکی و سطح آب زیرزمینی

اطلاعات بدست آمده از هر گمانه شامل حد روانی (LL)، شاخص خمیری (PI) و جنس خاک در عمق۰ تا ۳ متر و عدد نفوذ استاندار (SPT) می‌باشد. به‌غیر از جنس خاک سایر پارامترها تعیین‌کننده حدود آتربرگ خاک هستند. حدود

آتربرگ یک معیار تعریف‌شده برای میزان رطوبت خاک است. براساس این معیار سه حد برای مقدار رطوبت موجود در آب تعریف می‌شود: SL حد انقباض[1] Pl شاخص خمیری[2] و LL حد روانی[3]. خاکهای ریزدانه بر اساس مقدار آب جذب شده توسط آنها حالت‌های مختلفی به‌خود می‌گیرند. این سه حد مرز میان چهار حالت رفتار خاک که عبارتنداز: سفت (جامد) و نیمه‌سفت (نیمه جامد) و خمیر (پلاستیک) و مایع (روان)، می‌باشند. برای به‌دست آوردن حد روانی از آزمایش تعیین حد روانی استفاده می‌شود. برای به‌دست‌آوردن حدود آتربرگ خاک نیاز است که اطلاعات حد روانی و شاخص خمیری خاک استخراج شود. شاخص خمیری با پارامترهای مهندسی خاک دارای اهمیت بسیار زیادی است و در سیستم طبقه‌بندی خاک مورداستفاده قرار می‌گیرد. نشانه روانی هم برای تشخیص رس‌های حساس مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۴ نشان‌دهنده جنس خاک محدوده شهری کلانشهر مشهد در عمق ۰ تا ۳ متر است. در بخش‌های مرکزی شهر شاهد خاک‌های دست‌ریز و یا به اصطلاح علم عمران خاک مسئله‌دار هستیم. سپس خاک غالب در این محدوده رس و شیل و ماسه است. با توجه به اینکه شهر بر روی لندفرم دشت آبرفتی و مخروطه‌افکنه‌ای شکل گرفته، لذا بررسی حدود نفوذ استاندار خاک‌های این محدوده لازم و ضرروی به‌نظر می‌رسد. آزمون نفوذ استاندار[4] (SPT) برای تخمین مقاومت خاک استفاده می‌شود. این آزمون یکی از بررسی‌های ژئوتکنیکی است که برای نمونه‌برداری از خاک و تعیین مشخصات مکانیکی و مهندسی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های مربوط به نفوذ استاندار از گزارش‌های شرکت جهدآزما نشان می‌دهد که شهر مشهد بر روی بخش آبرفتی و دشت‌سر و مخروطه‌افکنه‌های جنوب و جنوب‌غربی گسترش یافته است. خاک‌های این پهنه را می‌توان جزو خاک‌های سخت و متراکم دسته‌بندی نمود. در پهنه‌های دشت آبرفتی محدوده عددی نفوذ استاندار بیشتر است و از میانگین ۲۱ برای خاک‌های رسی و سیلتی با انحراف معیار ۹ تا ۴۰ برای خاک‌های شنی گسترده است (قزی و همکاران ۱۳۹۲). در خاک‌های سیلتی مقادیر (SPT)۱۶ ودر خاک‌های شنی ۳۴ است. خاک‌های ریزدانه در گروه متوسط تا سفت و خاک‌های درشت‌دانه در گروه خاک‌های با تراکم متوسط و متراکم قرار دارند. مقادیر عدد SPT در خاک‌های رسی و ماسه‌ای افزایش دارد. از آنجائیکه تراکم آبراهه‌ها در مناطق مرتفع‌تر جنوبی بیشتر است و همچنین میزان تبخیر در این مناطق کمتر است، درصد رطوبت در این مناطق بیشتر می‌باشد. علاوه بر ریخت‌شناسی، میزان رطوبت تابعی از نوع خاک است. به‌طوری که خاک‌های ریزدانه زمان ماندگاری رطوبت بیشتری نسبت به خاک‌های درشت‌دانه دارند. درصد رطوبت خاک‌های درشت‌دانه در بخش‌های دشت‌سر و مخروطه‌افکنه بیشتر از سایر بخش‌های دشت آبرفتی می‌باشد، در حالی‌که میزان رطوبت در خاک‌های ریزدانه به‌ویژه در قسمت‌های هموار بیشتر است. بنابراین میزان رطوبت در بخش مرکزی و پست شهر باتوجه به جنس رس و سیلت موجود در آن منطقه نیز بیشتر است.

1. Shrinkage limit
2. PlasticIndex
3. Liquidlimit
4. Standard penetration test

• حد روانی خاک

به‌طورکلی در عمق‌های بیشتر رطوبت افزایش می‌یابد و این مسئله با توجه به جنس خاک شهر مشهد که بیشتر سیلت و رس است مصداق بیشتری دارد. بنابراین، می‌تواند افزایش حد روانی خاک را از سطح به عمق پیش‌بینی کرد. خاک‌های سطحی در مناطق مرتفع و هم در بخش پست شهر، بالاترین حد روانی را دارند. نواحی مرتفع به‌دلیل بارش‌های نسبتاً بیشتر و نیز دمای پایین‌تر نسبت به نواحی مرکزی شهر دارای رطوبت زیاد و تبخیر کم هستند و نواحی پست به‌دلیل داشتن خاک آبرفتی و نرم در محدوده کشف‌رود و نیز با درنظرگرفتن شیب توپوگرافی رطوبت بالا و در نتیجه حد روانی بالاتری نسبت به سایر محدوده‌ها دارند. بخش محدودی از گوشه غربی شهر با توجه به گسترش ماسه‌ای که دارد، باعث عبور و جریان آب می‌شود و به دلیل نفوذپذیری و تخلخل بالا نگهدارای رطوبت در خاک بسیارکم است و در نتیجه دارای حد روانی پایینی در محدوده مطالعاتی می‌باشد.

• شاخص خمیری خاک

به‌نظر می رسد که شاخص خمیری خاک نیز تا حدودی از شرایط توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند، به‌طوری‌که همانند حد روانی خاک نیز شاخص خمیری مربوط به بخش محدوده غربی کم و هرچه به نواحی مرکزی شهر و نواحی مرتفع جنوب‌غربی و جنوب نزدیک می‌شویم شاخص خمیری خاک افزایش می‌یابد.

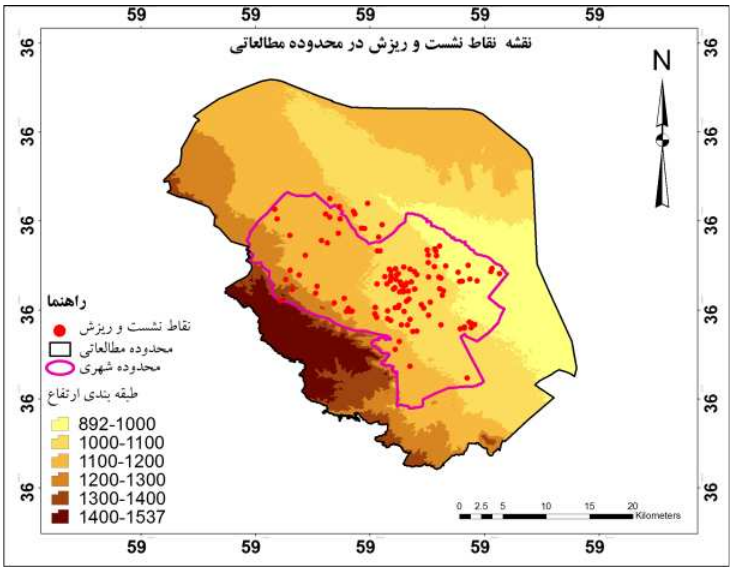
• سطح آب زیرزمینی

در شکل شماره (۷) مشاهده می‌شود که بالاترین سطح آب مربوط به نواحی شمالی و مرکزی شهر است که حدوداً سطح آب در عمق ۲۰ تا ۵۰ متری از سطح زمین واقع شده‌است. نواحی جنوب‌شرقی و جنوب‌غرب و جنوب شهر، سطح آب در عمق بیشتری است. به‌نظر می‌رسد سطح آب زیرزمینی از شیب توپوگرافی زمین تبعیت کرده و با توجه به مسیر و جهت جریان رودخانه‌های شهر که به کشف‌رود می‌پیوندند در همان جهت جغرافیایی سطح آب زیرزمینی بالاتر است.

نشست و ریزش

متغیر وابسته نقاطی هستند که دچار وقوع نشست و ریزش دیواره‌های گودبرداری و ترک‌های ناشی از آن شده‌اند. نشست در ساختمان‌ها و سازه‌های عمرانی با ترک‌هایی در اندازه و جهت‌های متفاوت خود را نشان می‌دهند. این ترک‌ها که ناشی از نشست خاک است معمولاً به‌علت متراکم‌شدن خاک زیرپی در اثر بار وارده، تقلیل رطوبت خاک و یا هرعلتی که باعث تغییر شکل خاک بشود ایجاد می‌شوند. این‌ها رایج‌ترین و مهم‌ترین عوامل ایجاد ترک در ساختمان‌ها شناخته می‌شوند. همچنین ترک‌های ناشی از جابه‌جایی حجم قابل‌توجهی از خاک زیر پی، مانند ریزش خاک به داخل چاه‌های فاضلاب ساختمان یا چاه‌های قنات متروکه که زیر و اطراف پی وجود دارند، نیز می‌توانند از عوامل نشست در ساختمان باشند (ابراهیمی قاجار،۱۳۹۲ :۶). ترک‌های موجود در ساختمان‌ها اگر مورد توجه قرار

نگیرند و علت‌یابی نشوند ممکن است در طی زمان کوتاهی منجر به ریزش دیواره ساختمان گردد. شکل (۳) موقعیت نقاط نشست و ریزش را در کلانشهر مشهد نشان می‌دهد.



شکل۳: موقعیت نقاط نشست وریزش در محدوده مطالعاتی

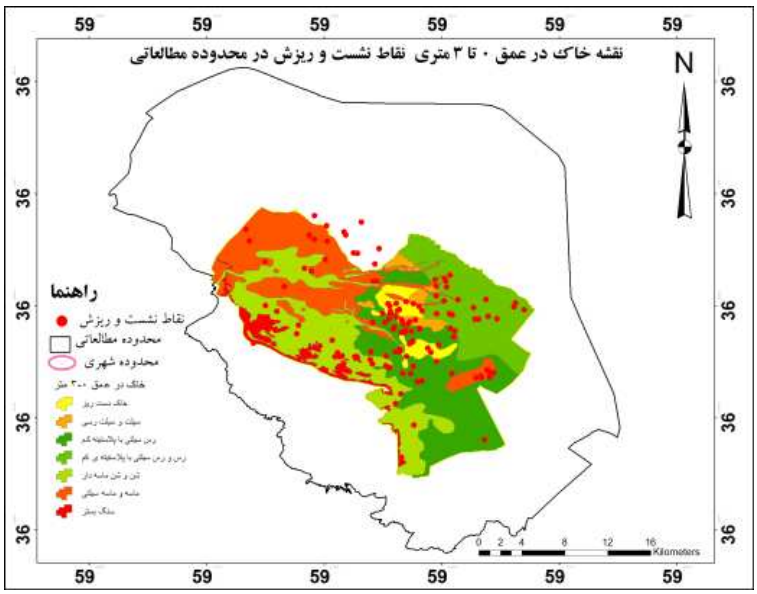
• تاثیر نوع خاک با نشست و ریزش

شکل (۴) همپوشانی لایه نشست با جنس خاک را نشان می‌دهد. کمترین ریزش در خاک‌هایی است که در حفاری به سنگ بستر برخورد شده است. هر چند که تعداد نقاط ریزش با توجه به طول زمان بسیار کوتاه آغاز ساخت‌وسازها در این بخش از شهر نسبتاً زیاد می‌باشد، ولی در ابعاد سطحی اگر درنظر گرفته شود، بیشترین تراکم نشست‌ها و ریزش‌ها در بافت قدیمی شهر است. بافت قدیمی شهر که منطبق بر بخش مرکزی شهر است با خاک دست‌ریز که شامل نخاله‌های ساختمانی و گاهاً زباله می‌باشد پُر شده‌است. این بخش تقریباً ۱۲٪ از نقاط نشست را به‌خود اختصاص داده‌است. زمین‌های با ستبرای رسی ـ سیلتی ۲۷٪ نقاط را شامل می‌شود. زمین‌هایی که با خاک دست‌ریز پُر شده‌اند، اگر سال‌های متمادی هم بگذرد باز نمی‌تواند جای زمین‌های طبیعی را بگیرد و این نوع زمین‌ها به‌هیچ عنوان برای ساخت‌وسازها مناسب نیستند و در هنگام اجرای ساخت باید پی‌کنی در آنها به‌طوری انجام گیرد که پی‌ها به زمین طبیعی یا زمین سنگی برسد. فراوانی بعدی ریزش‌ها در خاک‌های ماسه‌ای و رسی در بخش غربی شهر مشهد است. این زمین‌ها ۱۴٪ نقاط نشست و ریزش را به‌خود اختصاص داده‌اند. در خاک‌های رسی نرم، نشست تحکیم چندین برابر نشست آنی است (طاحونی،۱۳۷۶ :۲۴۰). به‌طورکلی خاک‌های ماسه‌ای و رسی دارای حد خمیری بالایی هستند. ترکیب و فراوانی خاک رسی– سیلتی در بخش مرکزی شهر و نیز وجود خاک‌های دست‌ریز در مجاورت خاک‌های رسی و سیلتی در محدوده مرکزی شهر، شرایط ایجاد نشست و ریزش را فراهم کرده‌است، به‌خصوص که سطح آب زیرزمینی دقیقاً در محدوده خاک‌های دست‌ریز و سیلت ـ رسی و رس سیلتی با پلاستیته کم بین۰ تا ۴۰ متر (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، گزارش۱۳۹۲) متغیر است. خاک‌های دست‌ریز به‌دلیل تنوع و فراوانی انواع نخاله‌ها با

درجه جورشدگی کاملاً گوناگون دارای تخلخل زیاد و نفوذپذیری بالا هستند و نیز همچنین به‌دلیل پست‌بودن موقعیت جغرافیایی، جریان‌های آب سطحی و زیرسطحی به‌راحتی به بخش سیلتی و رسی و ماسه‌ای خاک در مسیرهای عمودی و نیز در جهت شیب جریان می‌یابد و منجر به تغییرات در بافت خاک و شکسته‌شدن ساختار خاک می‌شود و نشست قابل‌توجهی در خاک رخ می‌دهد. از طرف‌دیگر، خاک سیلتی- رسی با جذب آب و دورگیری ذرات رس به وسیله آب، خاک خاصیت خمیری پیدا می‌کند و این خاصیت می‌تواند نشست خاک را بعد از خشک‌شدن افزایش دهد. در بخش شمال‌شرقی شهر که ساختمان خاک در این عمق رسی است نشست‌هایی مشاهده می‌شود، هرچند ارتفاع این بخش از شهر کمتر از قسمت ماسه‌ای است، اما هنگامی‌که لایه خاک رس اشباع تحت‌تاثیر افزایش تنش قرار می‌گیرد، ابتدا نشست آنی رخ می‌دهد. اما از آنجایی‌که ضریب نفوذپذیری رس به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کوچکتر از ضریب نفوذپذیری ماسه است، زهکشی آب حفره‌ای سریعاً انجام نشده و زایل‌شدن اضافه فشار آب حفره‌ای ناشی از بارگذاری به‌طور تدریجی و در یک زمان نسبتاً طولانی رخ می‌دهد. بنابراین کاهش حجم خاک به‌شکل نشست تحکیمی رخ می‌دهد. در این رابطه می‌توان به گزارش‌های سازمان آتش‌نشانی درخصوص علت نشست‌ها در این بخش شهر اشاره کرد. گزارش‌ها حاکی از این است که نشت آب از لوله‌های فرسوده و ترکیدگی لوله‌ها عامل اصلی نشست‌ها بوده‌است. پس می‌توان با درنظرگرفتن جنس خاک و جریان آب در این خاک‌ها علت نشست گزارش شده را تا حدودی تایید کرد. به‌طورکلی هرچقدر عمق خاک افزایش یابد رطوبت خاک نیز بیشتر می‌شود، زیرا خاک به تراز و یا سطح آب زیرزمینی نزدیک‌تر می‌شود. هر چقدر تغییرات در سطح آب و تراز آب بیشتر باشد احتمال رخ داد نشست بیشتر می‌شود، زیرا خشک و مرطوب‌شدن متوالی خاک منجر به تغییر حجم در خاک می‌شود، به‌خصوص در خاک‌های سطح شهر مشهد که بخش عمده آن از رس و سیلت و ماسه است. تغییرات جوی و نیز تغییرات در برنامه‌ریزی‌های شهری، باعث تغییرات اساسی در سطح تراز و سطح آب زیرزمینی می‌شود و می‌تواند نتایج غیرقابل پیش‌بینی را ایجاد نماید. به‌عنوان مثال ایجاد فنداسیون‌های عمیق همراه با دیواره‌های بتنی ضخیم و عمیق در بافت جدید اطراف حرم‌مطهر باعث تغییر در مسیر جریان آب زیرسطحی و گاهاً زیرزمینی می‌شود. در این حالت، آب به داخل لایه‌هایی از خاک جریان پیدا می‌کند که تا قبل از آن کاملاً خشک و فاقد رطوبت بوده‌است و حتی در مطالعات ژئوتکنیکی شرکت مطالعاتی آن سازه نیز این مهم دیده نشده‌است و چون در مطالعات، گمانه‌ها به آب برخورد نکرده است، لذا تمهیدات لازم هم انجام نشده‌است. ولی با ایجاد یک سازه جدید در بالادست آن، جریان آب مسیرش را تغییر داده و آب به داخل لایه‌های خاک جریان می‌یابد.

جدول۱: فراوانی نقاط نشست و ریزش در خاک عمق ۰ تا ۳ متر

عمق‌ها	عمق ۰ تا ۳ متر						
جنس	دست ریز	سیلتی رسی	رسی سیستمی	رسی - رسی سیلتی	شن رسی	رسی سیلتی - بلادستیه کم	رسی سیلتی - شن
تعداد نقاط	۱۵	۷	۳۲	۲۲	۱۸	۱۸	۰
درصدها	۱۲	۶	۲۷	۱۸	۱۴	۱۴	۰



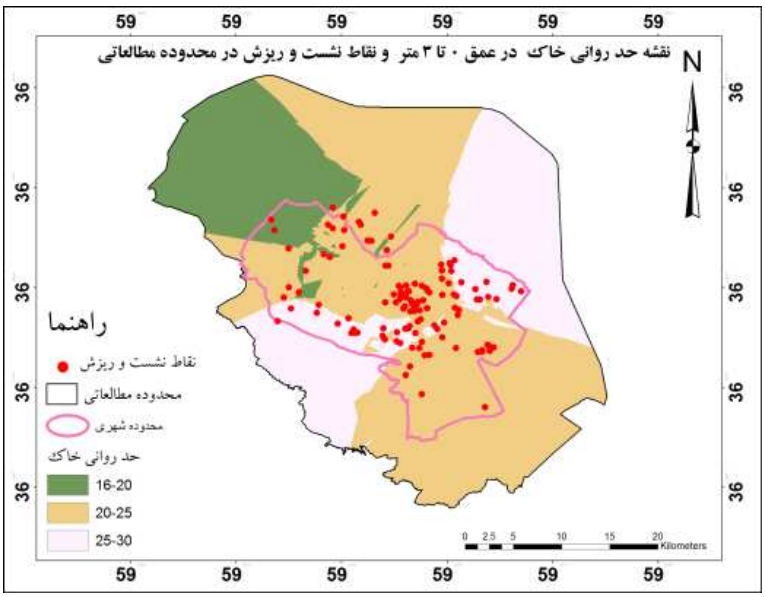
شکل٤: همپوشانی لایه نشست و ریزش با لایه خاک در عمق ۰ تا۳

• تاثیر حد روانی خاک بر نشست و ریزش

در عمق۰ تا ۳ متر خاک طبق شکل (۵) بخشی از مخروطه‌افکنه‌های جنوب‌غربی و نیز محدوده مرکزی مسیر کشف‌رود دارای حد روانی بالایی هستند و۲۶ درصد نقاط نشست و ریزش را به‌خود اختصاص داده‌اند. بیشترین نشست‌ها در حد ۲۰ تا ۲۵ و کمترین در حد ۱۶ تا ۲۰ رخ داده است. در حد روانی ۲۵ تا ۳۰ که بیشترین حد روانی است ۳۳ مورد نشست اتفاق افتاده ولی نکته قابل تامل این است که این حد روانی در ارتفاعات شهر و اطراف کشف‌رود است که تراکم ساختمان‌ها در آنجا بسیارکم است. بنابراین طبیعی است که تعداد نقاط نشست و ریزش کم باشد. نکته دیگر این است که محدوده کشف‌رود خارج از محدوده شهری است و ساخت‌وسازهای ایجاد شده به‌هیچ عنوان مطابق با اصول و ضوابط و نظارت نیست. اغلب خانه‌های بنا شده در این محدوده از مواد و مصالح دست‌دوم ساخته شده است، بنابراین اگر هم نشست و ریزشی اتفاق بیفتد چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد، اما مشاهدات میدانی نگارنده و مصاحبه با ساکنین اطراف کشف‌رود و جاده سیمان نشان از رخداد این مخاطره داشت، اما هیچ گزارشی در اسناد موجود نبود.

جدول۲: فراوانی نقاط نشست و ریزش در حدروانی خاک

عمق‌ها	عمق ۰ تا ۳ متر		
حد روانی	۱۶–۲۰	۲۰–۲۵	۲۵–۳۰
تعداد نقاط	۶	۸۶	۳۳
درصد ها	۴/۸	۶۴	۲۶



شکل۵: همپوشانی لایه نشست و ریزش با لایه حد روانی خاک در عمق ۳ تا ۱۰متر

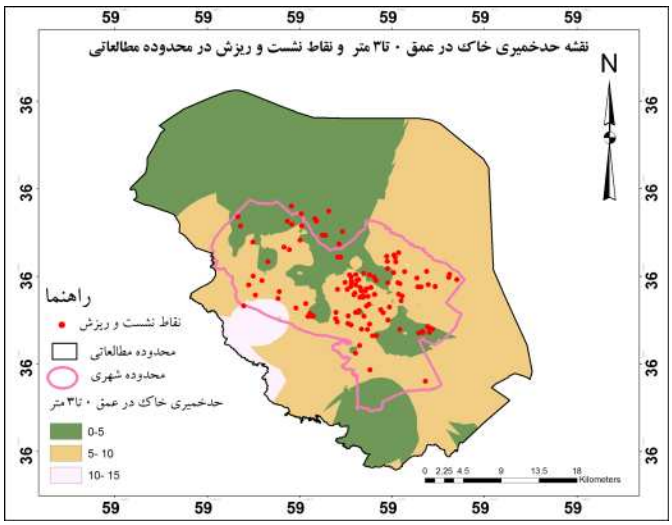
● تاثیر شاخص خمیری خاک بر نشست و ریزش

خاک‌هایی که دارای شاخص خمیری بالایی هستند بیشتر از جنس رس و لای و سیلت هستند. این خاک‌ها دارای لایه آب مضاعف هستند که با جاذبه بسیار قوی آب را در اطراف ذرات خود نگه می‌دارند. این آب ویسکوز، تراز آب آزاد است. دورگیری ذرات رس به‌وسیله آب به خاک‌رس خاصیت خمیری می‌دهد (طاحونی،۱۳۷۶ :۱۸). مشاهده شکل۶ نشان می‌دهد که شاخص خمیری خاک در این عمق مانند حد روانی خاک، در بخش‌های شمال و شمال‌غربی دارای کمترین و در بخش‌های مرتفع دارای بیشترین شاخص است تا حدودی می‌توان چنین استنباط کرد که شاخص خمیری و حد روانی خاک تا حدودی به شیب زمین و سطح آب‌های زیرزمینی وابسته است. یعنی هرجا سطح آب زیرزمینی بالا است حد روانی و شاخص خمیری خاک نیز بالا است.

در جدول ۳ مشاهده می‌شود که۷۰٪ نشست‌ها در شاخص خمیری ۵ تا ۱۰ رخ داده است. کمترین مربوط به شاخص خمیری ۱۵–۱۰ با۰/۸٪ است. این محدوده مطابق با ارتفاعات غربی شهر مشهد است که تعداد سازه‌های عمرانی بسیار محدود و کم است.

جدول۳: فراوانی نقاط نشست و ریزش در شاخص خمیری خاک

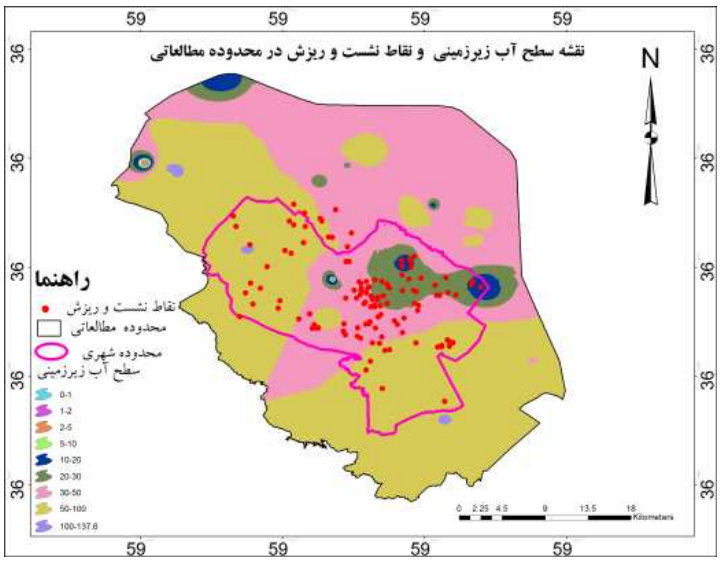
عمق به متر	عمق ۰ تا ۳ متر		
شاخص خمیری	۵–۰	۱۰–۵	۱۵–۱۰
نقاط	۳۶	۸۸	۱
درصد ها	۲۹	۷۰	۰/۸



شکل٦: همپوشانی لایه نشست و ریزش با لایه شاخص خمیری خاک در عمق ۰ تا ۳متر

● تاثیر سطح آب زیرزمینی بر نشست و ریزش

داده‌های جدول و مشاهده شکل شماره (۷) نشان می‌دهد که ۴۵/۶٪ نشست‌ها و ریزش‌ها در مساحت ۴۲۹۰.۲ هکتار در سطح آب زیرزمینی ۵۰-۳۰ متر در بخش مرکزی شهر اتفاق افتاده و در سطح ۱۳۷-۱۰۰ متر هیچ‌گونه نشست و ریزشی ثبت نگردیده است. در واقع بیشترین درصد در مساحت نسبتاً کمی اتفاق افتاده‌است. به‌طورکلی نشست‌ها در فاصله طبقاتی بین ۱۰ متر تا ۱۰۰ متر پراکنده و متغیر هستند. در واقع بین این دو متغییر می‌توان رابطه معناداری را بیان کرد.



شکل۷: سطح آب زیرزمینی و نقاط نشست و ریزش در محدوده مطالعاتی

نتایج و بحث

محدوده موردمطالعه در این پژوهش، با تاکید به ژئومورفولوژی منطقه شامل لندفرم‌هایی مانند بستر رودخانه‌ها و مخروطه‌افکنه‌ها و دشت آبرفتی و دشت‌سر و نواحی کوهستانی است. با تاکید بر نگرش سیستمی به محدوده موردمطالعه پیش‌نیاز شناخت لندفرم‌ها، شناخت اجزاء و عناصر سیستم ژئومورفولوژی است. بنابراین، بررسی خاک و رفتار مواد متشکله لندفرم در ارتباط با متغیرهای تاثیرگذار بر آن جهت جلوگیری از بروز مخاطرات نشست و ریزش ضرروی به‌نظر می‌رسد. مطالعات انجام شده در این پژوهش تائید می‌کند که جنس خاک و رفتار آن با توجه به‌شکل لندفرم که مخروطه‌افکنه است یا کوهستان، تا حدودی تعیین‌کننده میزان رخداد مخاطره نشست و ریزش است. در پهنه‌بندی خطر مشاهده می‌شود که دشت آبرفتی با توجه به جنس خاک دارای بیشترین میزان وقوع مخاطره است، اما نواحی که فاقد پیکره ژئومورفولوژی خاصی هستند مانند نواحی غربی و شرقی شهر در پهنه‌بندی احتمال خطر بسیار کم واقع شده‌اند. در بخش جنوب‌غربی محدوده مطالعاتی که چندعارضه ژئومورفولوژیکی در کناریکدیگر قرار گرفته‌اند و در بخش‌هایی بکدیگر را پوشش داده‌اند. ایجاد سازه‌های عمرانی دچار ۴۰ مورد نشست و ریزش شده است و ۳۲٪ نشست‌ها را به‌خود اختصاص داده‌است (مطابق شکل۲ و جدول۱). این لندفرم‌ها و عارضه‌ها شامل بخشی است که گسل از راس مخروطه‌افکنه عبور کرده و با شیب نسبتاً زیاد، منطقه کوهستانی را از دشت‌سر جدا کرده است.

جدول٤: درصد فراوانی نقاط نشست و ریزش در واحدهای ژئومورفولوژیکی

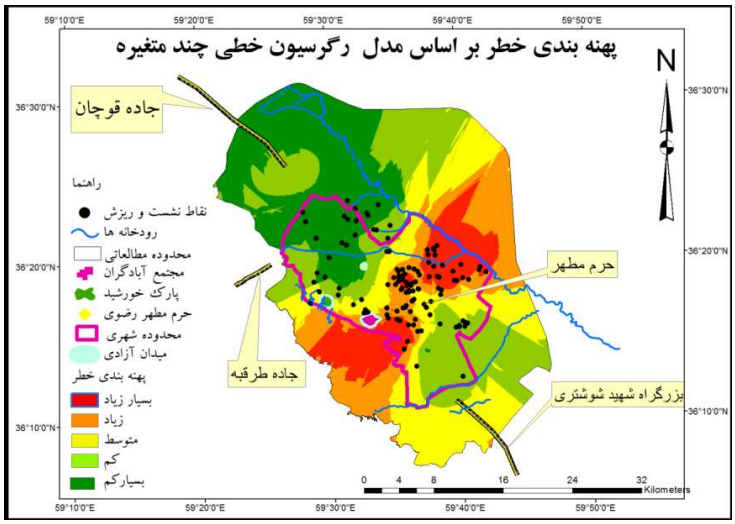
واحد ژئومورفولوژیک	نقاط نشست و ریزش	درصد نقاط نشست و ریزش	مساحت به هکتار
واحد کوهستان	۲	٪۱/۶	۱۸۱۲۵
واحد مخروطه‌افکنه	۱۷	٪۱۳/۶	۲۸۰۳۹
واحد دشت‌سر	۲۱	٪۱۴/۸	۹۹۲۶
واحد دشت آبرفتی	۸۵	٪۶۸	۵۲۸۵۸

به‌طورکلی، متغیره سطح آب زیرزمینی و جریان‌های سطحی آب عوامل تاثیرگذار بر رفتار خاک‌ها هستند و نکته بسیار قابل تامل این است که نوع هر لندفرم تا حدودی تعیین‌کننده جهت جریان و میزان آب در محدوه موردمطالعه می‌باشد. به‌عنوان مثال لندفرم‌های کوهستانی به‌دلیل داشتن ارتفاع، دارای حد روانی و شاخص خمیرایی بالایی هستند. دشت آبرفتی به‌دلیل پست‌بودن و شیب بسیار ملایم، محل تجمع و گاهاً حرکت بسیار آرام جریان‌های زیرسطحی می‌شوند و این عامل می‌تواند در تعیین رفتار خاک‌ها بسیار تاثیرگذار باشد.

- **مدلسازی و تحلیل خروجی مدل رگرسیون خطی چندمتغیره**

جدول۵: ضرایب متغیرهای مستقل در SPSS در مدل رگرسیون خطی

ضریب ثابت	حد روانی ۳ تا ۱۰	شاخص خمیری	سطح آب زیرزمینی
-۴/۸۳۳	۰/۰۸۱	۰/۲۲۱	۰/۰۰۰



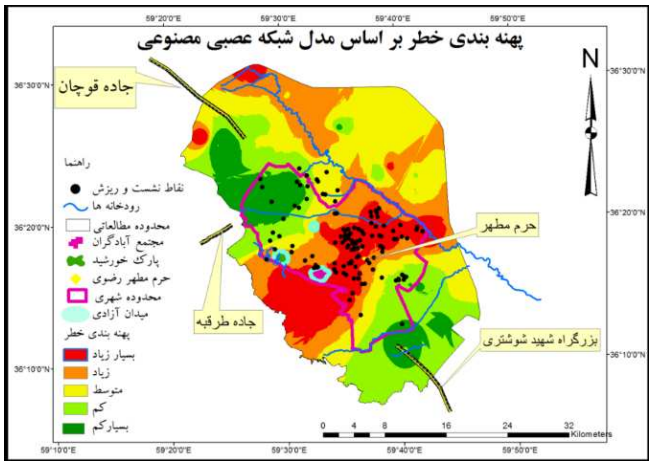
شکل۸: پهنه‌بندی خطرنشست و ریزش در مدل رگرسیون خطی چند متغیره

در مدل رگرسیون خطی نواحی شمال‌غرب و غرب در پهنه بسیارکم خطر واقع شده‌است. این بخش از شهر به‌خصوص ناحیه شمال‌غربی فاقد اشکال ژئومورفولوژی است و پهنه نسبتاً وسیعی از دشت را شامل می‌شود. نواحی جنوب و جنوب‌غربی و بخشی از نواحی جنوب‌شرقی در پهنه خطر بسیار زیاد تا متوسط است که این بخش از لحاظ ژئومورفولوژیکی منطبق بر مخروطه‌افکنه‌ها و نواحی دشت سر و کوهستان می‌باشد.

- **مدلسازی و تحلیل خروجی شبکه عصبی مصنوعی**

جدول۶: ضرایب متغیرها در نرم‌افزار Matlab برای مدل شبکه عصبی

ضریب ثابت	حد روانی	شاخص خمیری	سطح آب زیرزمینی
-۱/۵۰۲۶۷	۰/۸۶۲۳۳۳	-۲/۲۱۱۳۳	۱/۷۸۱۳۳۳



شکل۹: پهنه‌بندی خطر در مدل شبکه عصبی مصنوعی(ANN)

در این مدل پهنه‌هایی با خطر بسیار زیاد و متوسط مطابق با مدل خروجی در رگرسیون خطی است، اما نواحی با خطر بسیارکم، دارای وسعت کم و پهنه بسیار محدودی است. این پهنه‌ها مطابق بر بخشی از نواحی جنوب‌غربی و پهنه محدودی در شرق شهر است. بخش شرقی شهر فاقد اشکال ژئومورفولوژیکی می‌باشد و در واقع منطبق بر ناحیه پست دشت آبرفتی است.

نتیجه‌گیری

جدول (۷) مقایسه فراوانی نشست‌ها و ریزش‌ها و نیز مساحت‌های مناطق پهنه‌بندی شده در دو مدل رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. مقایسه داده‌ها بیان می‌کند که مدلسازی در شبکه عصبی مصنوعی از صحت و دقت بالاتری نسبت به رگرسیون خطی برخوردار است، زیرا پراکندگی و فراوانی نقاط نشست و ریزش از پهنه خطر خیلی‌زیاد به خیلی‌کم به نسبت منطقی کاهش می‌یابد و پهنه کم‌خطر در مدل شبکه عصبی نسبت به رگرسیون خطی فراوانی کمتری را شامل می‌شود. در مدل شبکه عصبی ۱۵ در صد مساحت شهر در پهنه خطر خیلی‌زیاد و ۱۱ درصد وسعت شهر در پهنه خطر خیلی‌کم واقع شده است ولی در مدل رگرسیون خطی چندمتغیره بیش از نیمی از وسعت شهر در پهنه خطر خیلی‌زیاد واقع شده است و فقط ۱۴درصد از وسعت شهر در پهنه خطر خیلی‌کم قرار گرفته است. با توجه به نوع خاک و عمق زیاد آب‌های زیرزمینی و نیز هموار‌بودن زمین، بخش غربی شهر فضای جغرافیایی مناسبی برای توسعه فیزیکی آتی شهر معرفی می‌گردد.

جدول۷: فراوانی نشست‌ها و ریزش‌ها در مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل ANN

طبقات خطر	تعداد نقاط نشست و ریزش		درصد نشست و ریزش		مساحت به هکتار		درصد مساحت	
	مدل ANN	رگرسیون خطی	مدل ANN	رگرسیون خطی	مدل ANN	رگرسیون خطی	مدل ANN	رگرسیون خطی
خیلی زیاد	۷۵	۴۴	٪۶۰	٪۳۵	۱۷۰۱	۱۱۸۱۱	٪۱۵/۷۳	٪۶۲/۳۱
زیاد	۱۷	۳۴	٪۱۳/۶	٪۲۷/۲	۲۵۴۰	۱۶۸۵	٪۲۳/۴۶	٪۸/۸۸
متوسط	۱۰	۱۸	٪۸	٪۱۴/۴	۲۹۵۹	۲۳۹۶	٪۲۷/۳۷	٪۱۲/۶۴
کم	۱۵	۱۴	٪۱۲	٪۱۱/۲	۲۴۱۰	۲۷۸۶	٪۲۲/۲۹	٪۱۴/۶۹
خیلی کم	۸	۱۵	٪۶/۴	٪۱۲	۱۲۰۰	۲۷۶۲	٪۱۱/۱	٪۱۴/۵۷

کتابشناسی

۱. **ابراهیمی‌قاجار، شاهرخ (۱۳۹۲)، ترک‌های ناشی از نشست در ساختمان، سلسله همایش‌های ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی. انجمن مهندسی راه و ساختمان ایران. صص ٦-۱۸. تهران؛**

۲. **حسین‌زاده، سیدرضا (۱۳۸۳)، برنامه‌ریزی شهری همگام با مخاطرات طبیعی با تاکید بر ایران. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره سوم. پاییز و زمستان، صص ۵۹-۸۸. تهران؛**

۳. **سازمان نقشه‌برداری استان خراسان رضوی؛**

٤. **سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی مدیریت منطقه شمال‌شرق؛**

۵. **شهرداری مشهد. معاونت برنامه‌ریزی و توسعه، مدیریت آماری و تحلیل اطلاعات. کد سند : FR -۵۲۱-۰۰۵، خلاصه گزارش پژوهش‌های صورت گرفته درخصوص آمار زائران و مسافران مشهد مقدس. ٦۸. مشهد؛**

٦. **صالحی متعهد، فهیمه؛ حافظی‌مقدس، ناصر؛ غفوری، محمد؛ لشکری‌پور، غلامرضا (۱۳۹۳)، ارزیابی خطر قنات‌های متروکه غرب**

مشهد با استفاده از نرم‌افزار پلاکسیس، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد هشتم، شماره ۳.صص،۲۲۷۷ تا۲۳۰۰. تهران؛

۷. فان استاورن، ماتین؛ صادقی، حسین؛ فتحی، مهدی (۱۳۹۱)، شرایط زمین و عدم قطعیت ان : رویکر مدیریت ریسک. پژوهشکده بیمه آمریکا، ص۱۱۸؛

۸. قزی، اعظم؛ حافظی‌مقدس، ناصر؛ صادقی، حسین؛ غفوری، محمد؛ لشکری‌پور، غلامرضا (۱۳۹۳)، بررسی تاثیر زمین ریخت‌شناسی بر روی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌ای آبرفتی شهرمشهد، مجله علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹٤، صص ۱۷– ۲۸. تهران؛

۹. قنواتی، عزت‌الله؛ بهشتی‌جاوید، ابراهیم (۱۳۹۲)، تکنیک‌های جدید ترسیم نقشه‌های ژئومورفولوژی. جهاد دانشگاهی دانشگاه خوارزمی، تهران؛

۱۰. مهندسین مشاور جهدآزما؛ مدیریت هماهنگی و برنامه‌ریزی امور عمرانی شهرداری مشهد. نتایج آزمایشات (C.B.R) ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱؛

۱۱. مهندسین مشاور توس‌آب، طرح‌های اجرایی جمع‌آوری آب‌های سطحی مشهد، ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱؛

12. **Chen, F. Lin, H. Zhang, Y. Lu, Z. (2012), Ground subsidence geo-hazards induced by rapid urbanization: implications from In SAR observation and geological analysis. 935;**
13. **Parker, Gary. 1998. ALLUVIALFANSFORMEDBYCHANNELIZEDFLUVIAL ANDSHEETFLOW. JOURNALOFHYDRAULICENGINEERING. 985;**
14. **Schmidt, Walt.(2005), Geological and Geotechnical Investigation Procedures for Evaluation of the Causes of Subsidence Damage In Florida. Florida Geological Survey Special Publication No. 57. 1-10;**
15. **Vijaya Narayanan, A.R. Goswami, Rupen. Murty, C.V.R.(2011), Performance of RC Buildings along Hill Slopes of Himalayas during 2011 Sikkim Earthquake. Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India. 520;**
16. **WILLIAM, B.(1964), Alluvial Fans and Near-Surface Subsidence in Western Fresno County California. GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER. 437-A.**