



## پهنه بندی پارامترهای مقاومتی خاک شهر رشت با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS)

نسرين صابريزيبی<sup>۱</sup>، مهران کریمپور فرد<sup>۲\*</sup>، میثم عفتی<sup>۱</sup>

۱- دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

بازنگری: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۴

ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

### کلمات کلیدی:

پارامترهای مقاومتی

پهنه بندی

سیستم اطلاعات مکانی (GIS)

شهر رشت

مطالعات ژئوتکنیک

**خلاصه:** یکی از بخش های کلیدی در پروژه های مهندسی عمران، مطالعات ژئوتکنیک می باشد. این مطالعات، تأثیرات اقتصادی و کیفی در سازه ها و افزایش ایمنی ساختمان را در مراحل ساخت و بهره برداری به همراه خواهند داشت. حفر گمانه، نمونه برداری و انجام آزمایش های ژئوتکنیکی علاوه بر صرف هزینه و زمان، گاهی منجر به تلفات و خسارات جبران ناپذیری مثل انفجار لوله های گاز، واژگونی ساختمان های مجاور و غیره می شود. در ساختمان های متعارف می توان با استفاده از توابع تحلیلی سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، بدون انجام آزمایش های لازم این مشکل را حل نمود. در این پژوهش تلاش شده با مختصات دار کردن مکان مطالعات ژئوتکنیک سازه های مسکونی و تولید یک پایگاه داده مناسب، با بهره گیری از توابع درون یابی سیستم اطلاعات مکانی، با تهیه نقشه های پهنه بندی، تجسمی کلی از وضعیت ژئوتکنیک منطقه ارائه گردد. لذا در این تحقیق با جمع آوری اطلاعات ژئوتکنیکی ۱۷۰ گمانه حفاری شده در رشت شامل پارامترهای مقاومتی خاک به تفکیک لایه های خاک تا عمق ۱۲ متر از سطح زمین و انتقال داده ها به توابع درون یابی سیستم اطلاعات مکانی، لایه های رستری (شبکه ای) ایجاد و پس از انتخاب بهترین روش درون یابی، نقشه های پهنه بندی پارامترهای ژئوتکنیکی ترسیم گردید. نتایج به دست آمده در این تحقیق بطور کلی نشان می دهد که بیش از ۹۹ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای عدد SPT بیش از ۱۰ و زاویه اصطکاک داخلی خاک کمتر از ۲۸ درجه می باشد. از نظر توصیفی نیز در منطقه مورد مطالعه، عموم خاک های دانه ای از نظر تراکم نسبی در رده خاک های ماسه ای متوسط و عموم خاک های چسبنده از نظر پایداری در رده خاک های سفت و خیلی سفت قرار دارد.

### ۱- مقدمه

شرایط پهنه های مختلف منطقه ارائه خواهد کرد، می تواند دورنمایی از نقاط مستعد برای اجرای پروژه های عمرانی خاص نیز ارائه کند. در واقع می توان به کمک این نقشه ها، شرایط انواع ساخت و سازهای شهری در نقاط مختلف را بررسی و با توجه به شرایط لایه های خاک، بهترین شکل توسعه شهری را در پیش گرفت. در فاز مطالعات اولیه از طراحی یک پروژه عمرانی، اطلاعات دقیقی از جنس و مقاومت خاک، شیب، توپوگرافی، سطح آب زیرزمینی، محل احداث و غیره مورد نیاز می باشد، و بهره گیری از سیستم اطلاعات مکانی در جمع آوری این

نقشه های پهنه بندی ژئوتکنیکی از فاکتورهای مهم و ضروری جهت تحقق توسعه پایدار شهری به شمار می آید. کاهش خسارات در پروژه های عمرانی و اتفاقاتی نظیر فرونشست های زمین و غیره نیازمند تهیه نقشه های پهنه بندی ژئوتکنیکی دقیق است. نقشه های پهنه بندی ژئوتکنیکی با فراهم کردن اطلاعات تفصیلی از مشخصات فیزیکی و مکانیکی بستر، علاوه بر اینکه نوعی پیش آگاهی در خصوص

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: karimpour\_mehran@iust.ac.ir



در محدوده شهرستان ارومیه استفاده شد. برای هر پارامتر حاصل از تجزیه شیمیایی، از روش های گوناگون درون یابی استفاده شد و مناسب ترین روش انتخاب گردید. برای ارزیابی صحت روش های درون یابی از خطای جذر میانگین مربعات،<sup>۴</sup> ( $RMSE$ ) و ضریب همبستگی مقادیر مشاهده ای و برآوردی ( $R$ ) استفاده شد. نتیجه ها حاکی از آن بوده که روش Kriging با داشتن کمترین  $RMSE$  و بیشترین مقدار  $R$ ، روش مناسب تری نسبت به بقیه روش ها جهت درون یابی می باشد [۴]. کدخدا زاده و رهنما (۲۰۱۵)، در مطالعه خود، به پهنه بندی مقاومت برشی خاک شهر نهبندان پرداختند. در این تحقیق، نقشه پهنه بندی چسبندگی ( $C$ ) و زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) خاک نهبندان با تأکید بر ارزیابی ظرفیت باربری مجاز بر اساس ۳۳ گمانه ژئوتکنیکی شهر ارائه شده است. برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی، گمانه ها حفاری شدند و آزمایش برش مستقیم در نمونه های دست خورده و بازسازی شده انجام گرفت. نتایج نشان داد زاویه اصطکاک داخلی خاک شهر از جنوب به سمت شمال افزایش می یابد و خاک ها دارای پارامترهای مقاومت برشی پایین هستند [۵].

Sharma و Shaffi (۲۰۱۶)، با استفاده از GIS به ارزیابی خاک شهر گوآهاتی<sup>۵</sup> پرداختند. با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی خاک زیرسطحی این شهر یک بانک اطلاعاتی تهیه شد و پارامترهای عدد نفوذ استاندارد، سرعت موج برشی و سطح آب زیرزمینی شهر در قالب نقشه های مبتنی بر GIS برای ارزیابی مقدماتی خاک پهنه بندی شد [۶].

متقی و آل شیخ (۲۰۱۷)، به پهنه بندی ژئوتکنیکی شهر مهاباد با استفاده از GIS پرداخت. در این تحقیق، از گزارشات ژئوتکنیک ۵۰ گمانه مربوط به منازل مسکونی حفاری شده در سطح شهر و از روش معکوس فاصله استفاده شده است. برای اجرای تحقیق، در فاز اول داده های مورد نیاز از گزارشات ژئوتکنیک گردآوری گردید. در فاز دوم با تعیین مختصات UTM<sup>۶</sup> گمانه ها، پایگاه داده تشکیل داده شد و در فاز سوم با استفاده از قابلیت های GIS، امکان پهنه بندی ژئوتکنیکی منطقه فراهم گردید. پهنه بندی حاصل نشان داد بیشترین مقدار زاویه اصطکاک داخلی در غرب و در مناطق محدودی در شرق

اطلاعات و نهایتاً، تهیه نقشه های پهنه بندی پارامترهای مقاومتی جهت استفاده هم زمان از داده های مختلف، مانند مطالعات مکانیک خاک، توپوگرافی و غیره باعث کاهش هزینه انجام مطالعات می شود. مطالعات متفاوتی تاکنون در خصوص روش های پهنه بندی، نوع نقشه های پهنه بندی، روش های درون یابی در مهندسی ژئوتکنیک و زمین شناسی و بهترین روش برای درون یابی در موضوعات مختلف انجام شده که در ادامه به چند مورد از آن ها اشاره می شود.

Ahmad و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، پارامترهای خاک شهر Peshawar پاکستان را پهنه بندی نمودند. این تحقیق به طور کلی با هدف تهیه نقشه هایی قابل استفاده در ارزیابی ژئوتکنیکی پروژه های ساختمانی در مناطق شهری Peshawar انجام شده است. اطلاعات ژئوتکنیکی خاک منطقه، از آزمایشگاه های مهندسی مربوط به خاک و راهسازی و دانشگاه های فنی مهندسی شهر Peshawar جمع آوری شد [۱]. Tadios (۲۰۱۳)، شهر Shire-Endalaise در شمال اتیوپی را مورد مطالعه قرار داد. هدف از این پژوهش، تهیه نقشه های پهنه بندی ژئوتکنیکی در منطقه مورد مطالعه به منظور انتخاب محل مناسب برای ساخت ساختمان های مسکونی بوده است. به منظور تولید نقشه های پهنه بندی ژئوتکنیکی در این تحقیق، از مدل وزن دهی خطی<sup>۱</sup> (WLC) استفاده شده که پس از ترکیب عوامل مختلف و تحلیل آماری، نقشه ای که شاخص بیشتری داشته باشد، به عنوان نقشه پایه و مناسب برای هدف این تحقیق انتخاب شده است [۲].

Al-Ani (۲۰۱۴)، به منظور کاهش هزینه های مربوط به مطالعات ژئوتکنیکی و ارائه تخمینی مناسب از مقاومت خاک، خاک منطقه Surfers Paradise استرالیا را براساس عدد نفوذ استاندارد<sup>۲</sup> (SPT)، با استفاده از توابع درون یابی سیستم اطلاعات مکانی، پهنه بندی نمود. براساس نتایج، روش معکوس فاصله<sup>۳</sup> (IDW)، برای پهنه بندی عدد SPT در منطقه، نسبت به ۸ تکنیک درون یابی دیگر عملکرد بهتری نشان داد [۳]. نصیری (۱۳۹۲)، به ارزیابی روش های مختلف درون یابی به منظور پهنه بندی کیفیت آب های زیرزمینی با استفاده از توابع درون یابی سیستم اطلاعات مکانی پرداخت. برای این کار، از داده های ۱۱۴ حلقه چاه در منطقه ای آبرفتی و تقریباً همگن

4 Root Mean Square Error

5 Guwahati

6 Universal Transform Mercator

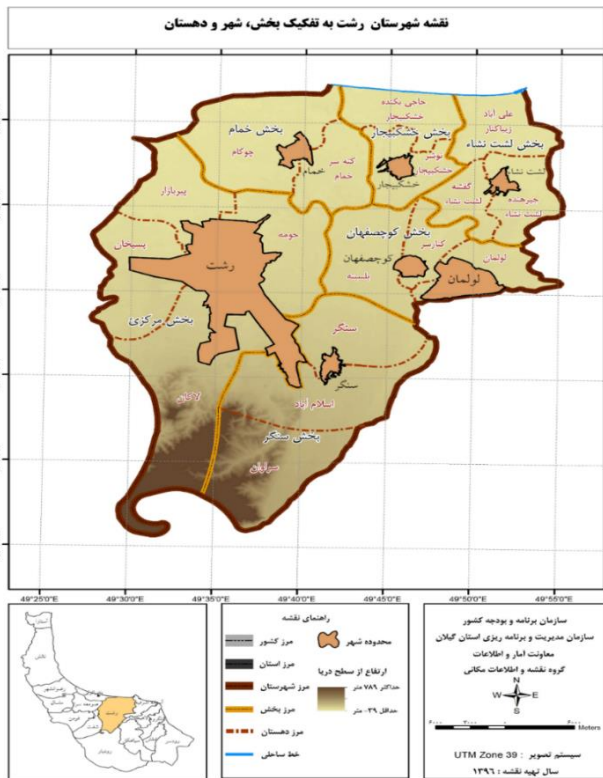
1 Weighted Linear Combination

2 Standard Penetration Test

3 Inverse Distance Weighted

از نقاط حوزه آبریز دریای خزر، خصوصاً دره سفیدرود و حوزه بین کوهستانی منجیل واقع شده و رسوبات یخچالی نیز بر روی تعدادی از زمین های مرتفع، توسط یخچال های طبیعی، انباشته شده است [۹]. در بحث چینه شناسی به ویژه مراحل زمین ساخت ناهمواری های گیلان، به ایجاد گسل های متعدد منطقه ای یا ناحیه ای اشاره شده است. این گسل ها در زمان های متفاوت ایجاد شده و به احتمال زیاد، در اثنای هر حرکت، علاوه بر ایجاد گسل های جدید، متناسب با کیفیت نیرو و چگونگی مقاومت سنگ ها در برابر آن گسل های قدیمی تر نیز فعال می شده اند. اصولاً استان گیلان که در قلمرو چین خوردگی های آلپ - هیمالیا قرار دارد جز قلمروهای ناپایدار کره زمین محسوب می شود و پوسته جامد در حوزه این سیستم به تعادل قطعی دست نیافته است. مهمترین گسل های استان گیلان شامل گسل البرز، گسل آستارا و گسل سفیدرود می باشند. با توجه به موارد فوق توان لرزه خیزی منطقه بالا بوده و در طراحی سازه ها می بایست تمهیدات لازم لحاظ گردد [۱۰-۱۱].

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهر رشت را در شهرستان رشت و



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی شهر رشت در شهرستان و استان [۱۲]  
 Fig. 1. Map of the geographical location of the city of Rasht in the Rasht county and the Gilan province [12]

منطقه دیده می شود. همچنین وزن مخصوص خاک بر خلاف زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی، به مراتب دارای نوسان کمتری می باشد و در مناطق شمالی، دارای مقادیر بیشتری هستند [۷]. رزم یار و اسماعیلی (۲۰۱۷)، به پهنه بندی ژئوتکنیکی منطقه شرق و غرب تهران پرداختند. از آنجا که با توجه به افزایش جمعیت در تهران، در مناطق خاص نیاز به شناسایی بهتر ویژگی های خاک برای ساخت و ساز امن تر بوده، در این مطالعه، در این مناطق، پهنه بندی انجام شده است. داده های به دست آمده از گمانه های ژئوتکنیکی حفاری شده توسط شرکت های مختلف در منطقه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. عمق حفاری گمانه ها بین ۱۵ تا ۳۶ متر قرار دارد. نتایج نشان می دهد که نوع خاک در این مناطق درشت دانه است و زاویه اصطکاک داخلی خاک بین ۳۰ تا ۳۷ درجه است. خاک درشت دانه این منطقه در رده خاک متوسط و متراکم قرار دارد [۸].

## ۲- منطقه مورد مطالعه

شهر رشت در ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه و ۴۵ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد و مساحت آن حدود ۱۰۲۴۰ هکتار می باشد. این شهر از شمال به بخش خام، از جنوب به دهستان لاکان، از غرب به صومعه سرا و از شرق به بخش کوچصفهان محدود است. شهر رشت در حدود ۲۴ متر پایین تر از سطح آبهای آزاد اقیانوس ها قرار گرفته است. شهر رشت در جنوب جلگه خزر، دارای لایه های خاکی متنوعی از ریزدانه ها با نفوذپذیری پایین تا مصالح ماسه ای است. اغلب رسوبات این شهر را خاک های رسی و یا لای دار و گاه لایه هایی از ماسه های ریزدانه با نفوذپذیری پایین تا مصالح ماسه ای است. ماسه ها از فرسایش فیزیکی سنگ مادر به وجود می آیند، در حالی که رس ها و لای ها حاصل از تخریب شیمیایی هستند و لذا خصوصیات آنها با سنگ مادر متفاوت است.

به طور کلی از نظر تقسیم بندی زمین شناسی، شهر رشت بر روی نهشته های کواترنری دشت خزر که موسوم به دشت رشت می باشد، واقع شده است. مطابق نقشه های زمین شناسی شهر رشت، رسوبات تشکیل دهنده آن از انواع نهشته های دریایی، دلتایی و آبرفتی می باشد. این موضوع در گمانه های حفاری شده به صورت رسوبات ریزدانه، شن و ماسه قابل مشاهده است. این نهشته ها در نواحی مختلفی در بسیاری

استان گیلان نشان می‌دهد.

### ۳- روش انجام تحقیق

گام نخست در فرآیند پهنه‌بندی، به دست آوردن اطلاعات مکانی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به این منظور، بایستی نقشه شهری و اطلاعات مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده، به صورت دقیق در دسترس باشد تا بتوان با استفاده از کلیه اطلاعات ذکر شده تقریب خوبی از پارامترهای موردنیاز ژئوتکنیکی محل مورد نظر داشت. در گام بعدی نیاز است اطلاعات لازم برای پهنه‌بندی، در نقشه تهیه شده وارد گردد. برای این منظور، از اطلاعات برداشت شده در سال‌های اخیر استفاده می‌شود. در این تحقیق با جمع‌آوری داده‌ها از شرکت‌های دولتی و خصوصی و اطلاعات نظام مهندسی ساختمان گیلان و همچنین بانک مطالعات ژئوتکنیک کشور و گزارشات خط لوله شهر رشت و اطلاعات ساختمان تلمبه‌خانه و فاضلاب شهری رشت و پروژه‌های ساختمانی استفاده شده است. در این پژوهش، پارامترهای مقاومتی خاک مدنظر بوده، لذا پهنه‌بندی برای پارامترهایی نظیر زاویه اصطکاک داخلی خاک و عدد SPT پهنه‌بندی گردیده است. در این پژوهش از پایگاه داده مکانی، جهت ذخیره اطلاعات ژئوتکنیکی شهر رشت استفاده شده است. تحلیل‌های مکانی این امکان را می‌دهد که داده‌ها، نقشه‌ها، آدرس‌ها، خصوصیات و غیره به صورت لایه‌ای، روی هم قرار گرفته و سپس با توجه به نیاز کاربر، پروسه سه بعدی روی داده‌ها انجام می‌شود. در مطالعه پیش‌رو از سیستم مختصات UTM استفاده می‌شود. ۲۰۰ فقره گزارش مطالعات خاک جمع‌آوری و با توجه به بررسی‌های اولیه ۳۰ فقره گزارش که حاوی اطلاعات کامل نبوده و یا این که کیفیت گزارش از نظر عملیات صحرائی و آزمایشگاهی ناقص بوده، به گونه‌ای که در تمامی لایه‌ها بعضاً آزمایش‌های لازم انجام نگردیده و یا اینکه در گزارشات آورده نشده، از لیست گزارشات حذف و نهایتاً اطلاعات ۱۷۰ پروژه در بانک اطلاعات آورده شده است. کلیه اطلاعات برای هر پروژه به تفکیک لایه‌های خاک در هر ۲ متر تا عمق حفاری ۱۲ متری از سطح زمین در شهر رشت درج شده است. پس از تکمیل بانک اطلاعاتی، داده‌ها به توابع درون‌یابی سیستم اطلاعات مکانی انتقال داده شده و لایه‌های رستری (شبکه‌ای) ایجاد گردید. تحلیل آماری بر روی لایه‌ها صورت گرفته و پس از انتخاب بهترین روش درون‌یابی برای نقاطی که فاقد اطلاعات بوده،

نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مقاومتی ترسیم گردید.

### ۱-۳ روش معکوس فاصله (IDW)

در این روش مقادیر نقاط مجهول از طریق میانگین‌گیری مقادیر نقاط معلوم در نزدیکی تخمین زده می‌شود. هرکدام از نقاط در محاسبه دارای وزنی می‌باشند، به طوری که هر چه فاصله نقطه معلوم به نقطه مجهول کمتر باشد، ارزش وزنی آن نیز بیشتر است و هر چه این فاصله بیشتر شود، اثربخشی نقطه معلوم در تخمین نقطه مجهول و محاسبه میانگین نیز کاهش می‌یابد، پس فواصل نزدیک‌تر وزن بالاتری می‌گیرند. این وزن‌ها توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شوند، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه‌ی مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طول بکناخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند [۱۳]. توان عکس فاصله توسط کاربر قابل انتخاب است و هرچه بیشتر باشد، تصاویر و شکل‌های شبکه‌بندی حالتی نرم، غیرخشن و غیرتیز خواهند داشت. این توان اگر از مرتبه یک باشد، شبکه حالت تیز و اگر از مرتبه ۲ باشد، شبکه حالتی متوسط دارد و اگر از مرتبه ۳ یا ۴ باشد شبکه به حالتی نرم است. هر چه مقادیر بیشتری برای توان عکس فاصله انتخاب شود، نقاط دورتر تأثیر کمتری بر روی مقدار عددی گره شبکه خواهند داشت. با استفاده از رابطه (۱) می‌توان مقادیر مربوط به نقاط مختلف را به دست آورد.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^m}} \quad (1)$$

که در آن  $z_i$  مقادیر نمونه،  $d_i$  فاصله اقلیدسی هر مکان تا محل نمونه،  $m$  عامل توان و  $n$  تعداد نقاط نمونه است. نسبت کاهش وزن بستگی به مقدار  $m$  دارد. اگر  $m = 0$  در نظر گرفته شود، در این صورت فاصله باعث کاهش در وزن نمی‌شود. بنابراین وزن در سطح فضا برابر فرض می‌شود. با افزایش مقدار  $m$ ، وزن برای نقاط دورتر با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. اگر مقدار  $m$  خیلی بزرگ باشد، تنها نقاط مشاهده در پیش‌بینی تأثیر خواهد داشت. یکی دیگر از عوامل مؤثر در درون‌یابی به روش عکس فاصله وزن دار، تعداد و موقعیت نقاط مجاور و به عبارتی وضعیت واحدهای همسایگی است. آن جایی

### ۳-۴- روش Kriging

این روش مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری (شبکه‌ای) تولید شده از این روش، سطحی بسیار دقیق را نمایش می‌دهد. این روش در مورد مناطق کوهستانی بهترین و دقیق‌ترین خروجی را تولید می‌کند. این روش برخلاف روش IDW که یک روش درون‌یابی محلی است، روشی جهانی است؛ به این معنا که در این روش تمام مشاهدات منطقه مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش بسیار انعطاف پذیر بوده و در صورتی که تعداد داده‌ها زیاد باشد، نتایج مطلوبی به دست می‌دهد. در این شیوه، برای تعیین مقدار تابع هدف، به داده‌های نزدیک تر و داخل قطعه نسبت به داده‌های دورتر و یا خارج قطعه، وزن آماری بیشتری داده می‌شود. در ضمن ترکیب وزن‌های آماری به گونه‌ای انتخاب می‌شود که واریانس تخمین کمینه گردد. سطح نهایی درون‌یابی شده در این روش از نوع بهترین برازش است و این قابلیت را دارد تا با افزایش داده‌ها و کنترل ضرایب به سطح با برازش دقیق نزدیک گردد [۱۷].

که نقاطی که نزدیک تر هستند شباهت بیشتری دارند، مکان‌های دورتر تأثیر کمتر داشته و می‌توان آن‌ها را از محاسبات خارج نمود تا سرعت محاسبات افزایش یابد. بنابراین انتخاب و محدود کردن تعداد نقاط همسایگی و به عبارتی پنجره جستجو برای نقاط مجاور در تحلیل‌ها مهم می‌باشند. این روش در مواقعی که داده‌ها از یک ساختار مکانی خوب برخوردار نباشند (مناطق که پستی و بلندی داشته باشند)، می‌تواند نسبت به روش‌های دیگر درون‌یابی نتایج بهتری را به همراه داشته باشد.

### ۳-۱- مزایای روش IDW

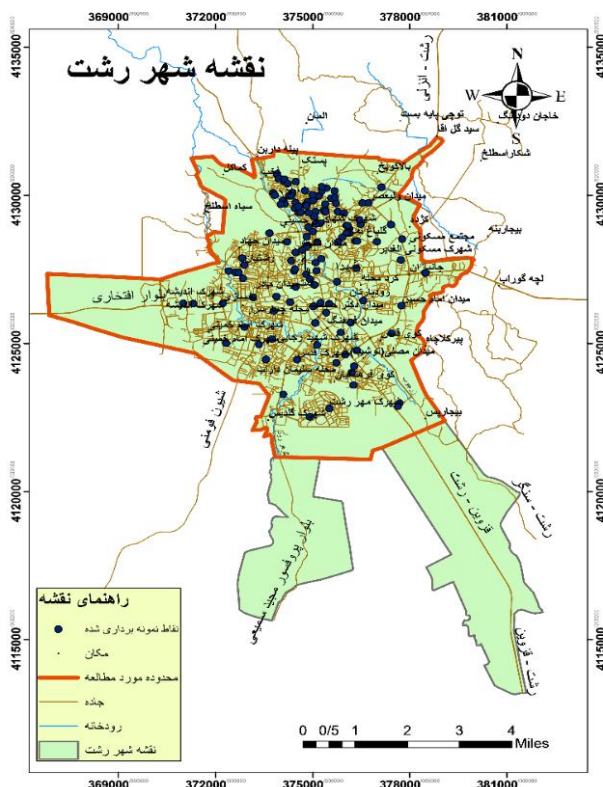
۱- به صورت محلی برخورد می‌کند. یعنی برای پیش‌بینی مقادیر، از نقاط اندازه‌گیری شده در درون همسایگی‌ها، که در ناحیه مورد مطالعه بزرگتر، نواحی مکانی کوچکتر هستند استفاده می‌شود.  
 ۲- جزء درون‌یابی‌های دقیق است، یعنی توانایی پیش‌بینی مقادیری مطابق و همسان با مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط نمونه‌برداری شده را دارد.  
 ۳- اشکال و شبکه‌های ممتد و نرمی تولید می‌کند و این اشکال حالتی خشن و گوشه تیز نخواهند داشت [۱۴].

### ۳-۲- روش چند جمله‌ای موضعی (LPI)

این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد و به فاصله نقاط حساس است. از داده‌های همه نقاط برداشت شده برای برآورد مقدار نقطه مجهول استفاده نمی‌شود. در این روش نقاط همسایه براساس تعداد یا فاصله تعریف می‌شوند. اگر تغییرات مکانی متغیر زیاد باشد، مدل‌های محلی نتایج بهتری به دست می‌دهد [۱۵].

### ۳-۳- روش تابع شعاع محور<sup>۱</sup> (RBF)

این روش دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی و بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل است. RBF می‌تواند روی داده‌های نوپزداری که به طور منظم در یک منطقه پخش شده اند اعمال شود و یک درون‌یابی چند متغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. به عبارت دیگر، روش تابع شعاع محور، تابعی را می‌یابد که مشابه ورقه‌ای نازک است که به طور هموار خم شده و باید از تمامی داده‌ها بگذرد [۱۶].



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری  
 Fig. 2. Study area and location of samples

1 Radial Basis Function

جدول ۱. مقایسه عملکرد روشهای مختلف درونیابی استفاده شده در تحقیق حاضر (روش جبری)

Table 1. Comparison of the performance of different interpolation methods used in the present study (algebraic method)

روش درونیابی	مدل تئوری نیم‌تغییر نما	ME	RMSE
IDW	-	-0.0015	8.731
RBF	-	-0.652	8.723
LPI	Constant	0.888	9.168
LPI	Quartic	0.685	8.967
LPI	Gaussian	0.567	7.050
LPI	Polynomial	0.694	9.01
LPI	Exponential	0.2670	8.888

جدول ۲. مقایسه عملکرد روشهای مختلف درونیابی استفاده شده در تحقیق حاضر (روش زمین‌آماری)

Table 2. Comparison of the performance of different interpolation methods used in the present study (statistical method)

روش درونیابی	مدل تئوری نیم‌تغییر نما	ME	RMSE
Ordinary Kriging	Stable	-0.081	9.0478
Ordinary Kriging	Gaussian	-0.093	9.075
Ordinary Kriging	Exponential	-0.108	9.009
Ordinary Kriging	Spherical	-0.076	9.012
Ordinary Kriging	Circular	-0.079	9.007
Simple Kriging	Stable	-0.776	8.893
Simple Kriging	Gaussian	-0.776	8.893

در شکل ۲ موقعیت منطقه و نقاط نمونه برداری شده نشان داده شده است.

#### ۴- نتایج و بحث

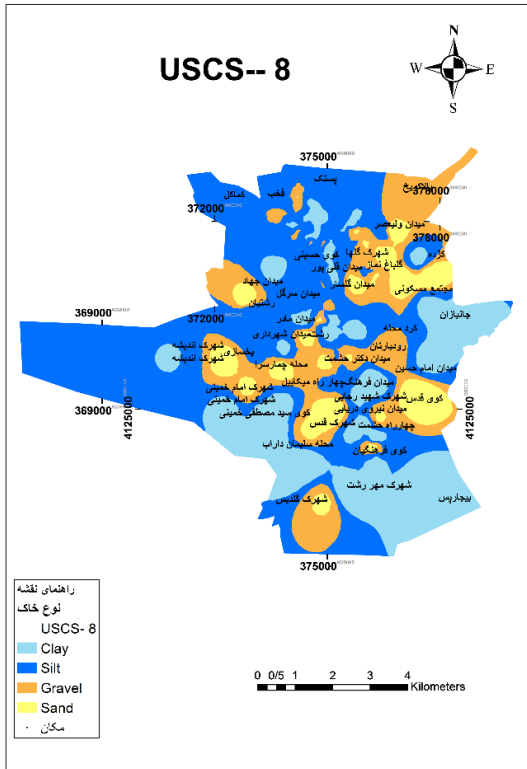
با توجه به روش کار در بخش ۳، تحلیل‌های لازم بر روی پارامترهای عدد SPT، زاویه اصطکاک داخلی و سرعت موج برشی در لایه‌های عمق ۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ متر انجام و سپس نقشه‌های پهنه بندی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از توابع درونیابی سیستم اطلاعات مکانی تهیه و ترسیم گردیده است. تاکنون، روابط تجربی مختلفی بین زاویه اصطکاک داخلی خاک و نتایج آزمایش نفوذ استاندارد، در مراجع مختلف علمی ارائه شده است که براساس نتایج آزمون نفوذ استاندارد، مقادیر زاویه اصطکاک داخلی خاک تخمین زده می‌شود. رابطه (۲)، رابطه ارائه شده توسط Peck و همکاران (۱۹۷۴) برای برقراری ارتباط بین عدد SPT و زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌باشد [۱۸]. در این مطالعه، در لایه‌هایی از خاک که مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک در نتایج آزمایشات جمع‌آوری شده مشخص نگردیده و یا اینکه آزمایش برش مستقیم برای تعیین آن صورت نگرفته، از رابطه (۲) برای تعیین زاویه اصطکاک استفاده شده است.

$$\varphi = 0.3N + 27 \quad (2)$$

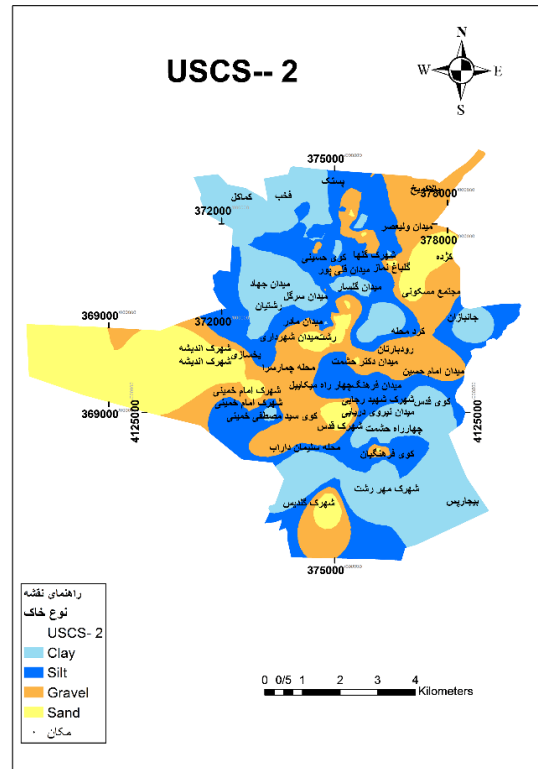
در این رابطه  $\varphi$  زاویه اصطکاک داخلی برحسب درجه و  $N$  عدد SPT می‌باشد.

در این تحقیق، برای تعیین بهترین روش درونیابی از روش ارزیابی متقابل استفاده شده است. در این روش، یک نقطه به صورت موقت حذف و با اعمال درونیابی موردنظر برای آن نقطه مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده در جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط به صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد، به طوری که در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد. در این تحقیق برای این کار و جهت انتخاب مدل بهینه از معیار  $ME^1$  استفاده شده است. روش‌های درونیابی جبری بر نقاط اندازه‌گیری شده متکی است و برای درونیابی از توابع ریاضی استفاده می‌کند. این درونیابی فرض می‌کند که تخمین پدیده مورد نظر قطعی انجام می‌شود و با خطا مواجه نیست. این گونه درونیابی دقیق است و مقدار برآوردی تنها تابعی از ساختار مکانی متغیر مورد نظر است و در آن نشانی از تغییرات تصادفی وجود ندارد (مانند روش عکس فاصله وزنی). روش‌های تصادفی یا روش‌های زمین‌آمار، توابع ریاضی و آماری را در درونیابی به کار می‌گیرند و بر پایه ویژگی‌های آماری داده‌ها می‌باشند. این تکنیک، نقاط مجهول را بر اساس خودهمبستگی بین

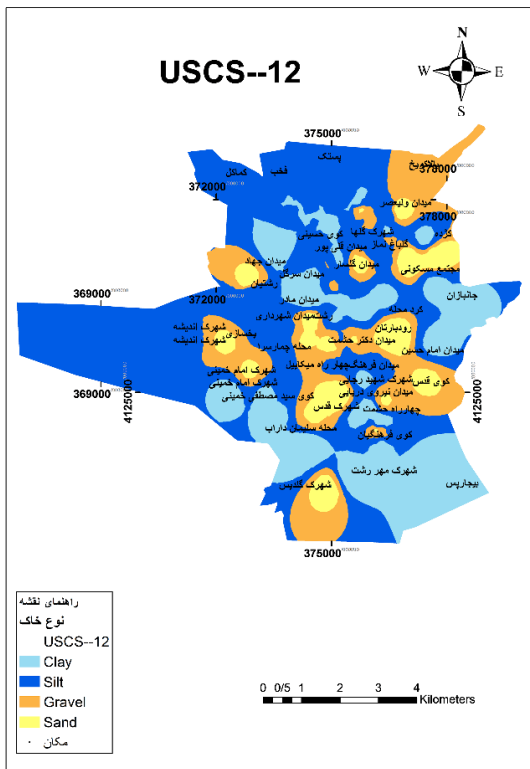
1 Mean Error



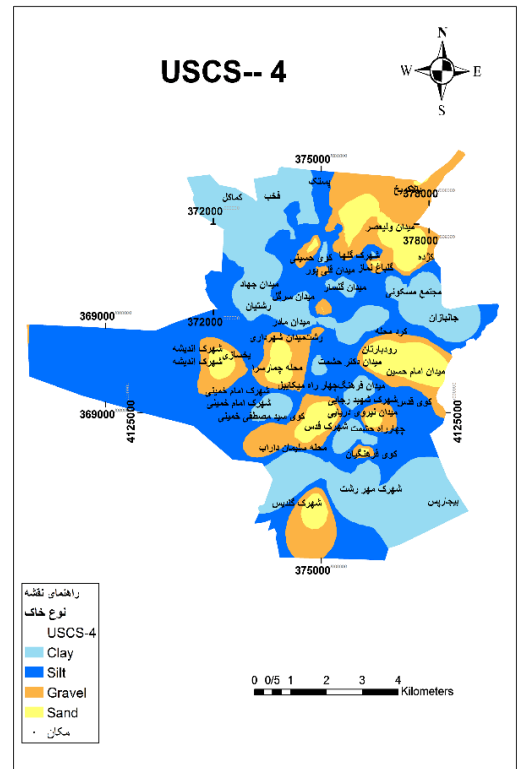
شکل ۵. نقشه پهنه بندی نوع خاکهای رشت در عمق ۸ متری  
Fig. 5. Zoning map of Rasht soils at a depth of 8 m



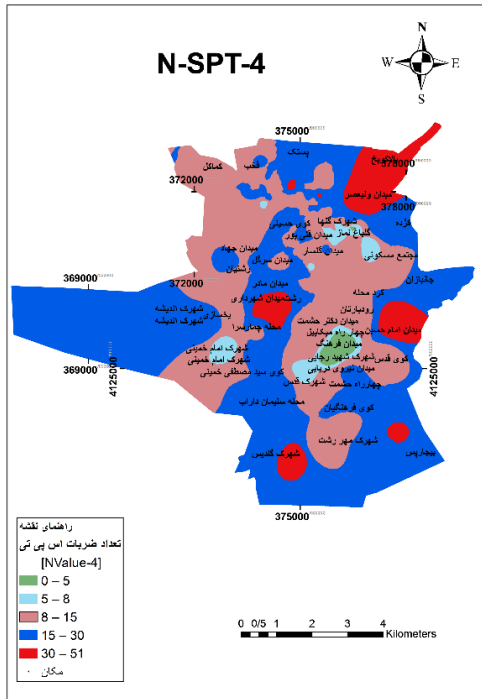
شکل ۳. نقشه پهنه بندی نوع خاکهای رشت در عمق ۲ متری  
Fig. 3. Zoning map of Rasht soils at a depth of 2 m



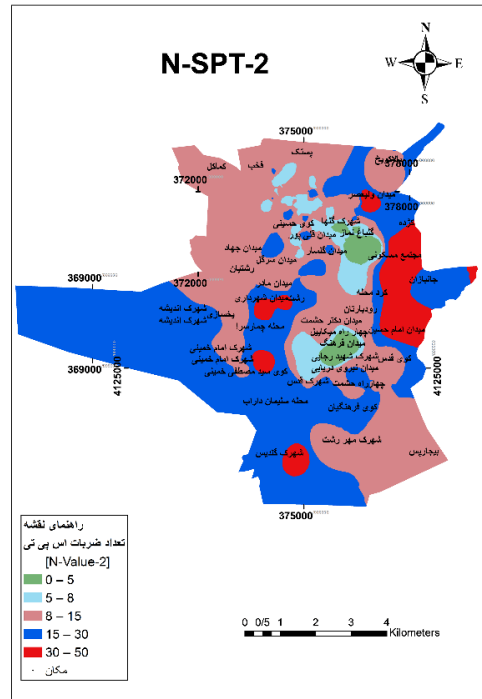
شکل ۶. نقشه پهنه بندی نوع خاکهای رشت در عمق ۱۲ متری  
Fig. 6. Zoning map of Rasht soils at a depth of 12 m



شکل ۴. نقشه پهنه بندی نوع خاکهای رشت در عمق ۴ متری  
Fig. 4. Zoning map of Rasht soils at a depth of 4 m



شکل ۸. نقشه پهنه بندی عدد SPT در عمق ۴ متری رشت  
Fig. 8. Rasht SPT zoning map at a depth of 4 m



شکل ۷. نقشه پهنه بندی عدد SPT در عمق ۲ متری رشت  
Fig. 7. Rasht SPT zoning map at a depth of 2 m

نقشه های پهنه بندی نوع خاک شهر رشت نشان می دهند که به تدریج با افزایش عمق، لایه های خاک رشت به سمت خاک های ریزدانه کشیده می شود، به طوری که در عمق ۸ متری به بعد، بیشتر از ۸۰ درصد خاک رشت، رس و لای را شامل می شود. این خاک های ریزدانه عمدتاً در شمال، شمال غربی و جنوبی شهر واقع بوده، و در رده های CL و ML طبقه بندی یونیفاید قرار می گیرند، اکثر خاک های درشت دانه در مرکز شهر، در محدوده شرق تا غرب واقع بوده و در رده های GC و SC طبقه بندی یونیفاید قرار می گیرند. هر چند نمی توان به صورت قطعی این مطلب را بیان کرد، چون رس و لای در این مناطق هم به صورت پراکنده وجود دارند. در تمام اعماق، رس و لای بیشترین مساحت خاک را به خود اختصاص می دهند که این مسأله با افزایش عمق بیشتر هم می شود.

در شکل های ۷ تا ۱۱ نقشه های پهنه بندی عدد SPT برای اعماق ۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ متر ارائه داده شده است.

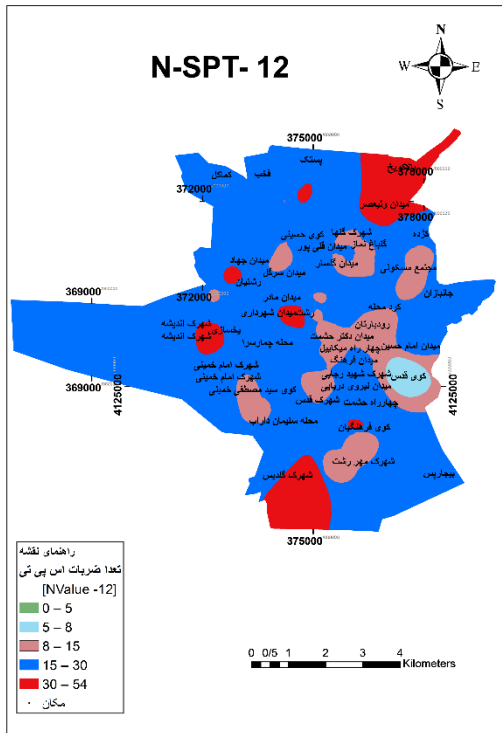
با توجه به نقشه های پهنه بندی عدد SPT می توان این گونه بیان نمود که کمترین مقدار عدد SPT در شمال به سمت مرکز و بخشی از جنوب شهر رشت می باشد. بیشترین مقدار عدد SPT مربوط به غرب و جنوب شهر رشت می باشد. بیش از ۹۹ درصد از

نقاط اندازه گیری شده و ساختار فضایی آنها پیش بینی می کند. در واقع درون یابی زمین آماری، یک درون یابی غیردقیق یا احتمالی است که در آن نقاط پیش بینی شده با اندازه های واقعی تفاوت دارد (مانند روش Kriging) [۱۹].

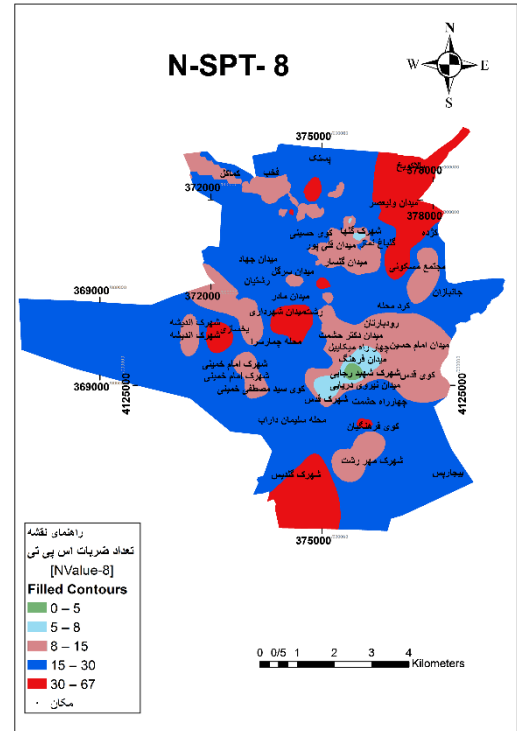
جدول های ۱ و ۲، عملکرد روش های درون یابی استفاده شده در این تحقیق را براساس دو معیار  $RMSE$  و  $ME$  ارائه می کند. با در نظر گرفتن کمترین مقدار برای معیار  $RMSE$  و همچنین مقدار عددی نزدیکتر به صفر برای معیار  $ME$ ، از بین روش های درون یابی جبری روش IDW در جایگاه نخست، روش LPI در جایگاه دوم قرار دارد. همچنین از بین روش های زمین آماری روش Ordinary Kriging در مدل Spherical نسبت به روش های دیگر بهتر می باشد. در این مطالعه، روش IDW به عنوان مناسب ترین روش برای درون یابی انتخاب و از آن استفاده شد. جهت تعیین تعداد نقاط بهینه در برآورد منطقه مورد مطالعه، درون یابی داده ها در لایه های مختلف با تعداد نقاط همسایگی حداکثر ۱۰ و حداقل ۵ و توان بهینه ۴ انجام گردید.

در شکل های ۳ تا ۶، نقشه های پهنه بندی نوع خاک های رشت برای اعماق ۲، ۴، ۸ و ۱۲ متر ارائه شده است.





شکل ۱۱. نقشه پهنه بندی عدد *SPT* در عمق ۱۲ متری رشت  
Fig. 11. Rasht *SPT* zoning map at a depth of 12 m

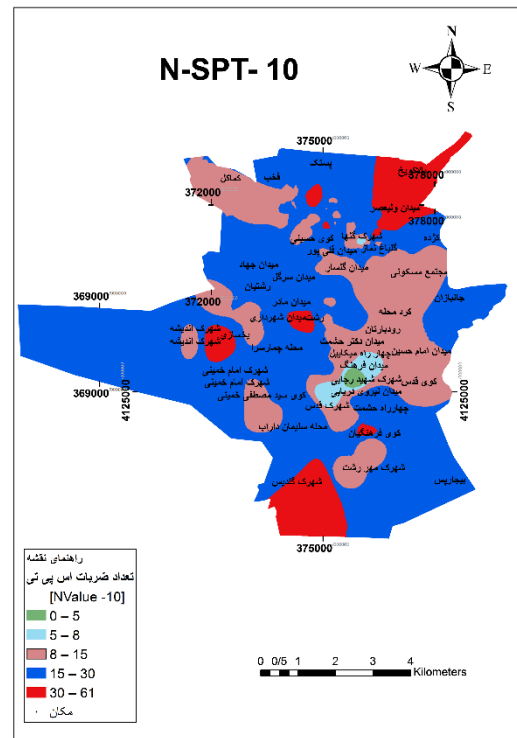


شکل ۹. نقشه پهنه بندی عدد *SPT* در عمق ۸ متری رشت  
Fig. 9. Rasht *SPT* zoning map at a depth of 8 m

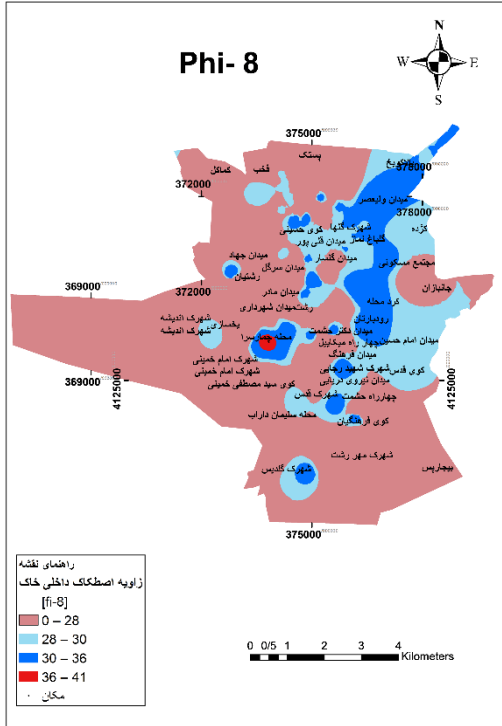
جدول ۳. پایداری نسبی خاکهای چسبنده [۲۰]  
Table 3. Consistency of cohesive soils [20]

پایداری نسبی	عدد <i>SPT</i>
خیلی نرم	۰ - ۲
نرم	۲ - ۴
متوسط	۴ - ۸
سفت	۸ - ۱۵
خیلی سفت	۱۵ - ۳۰
سخت	> ۳۰

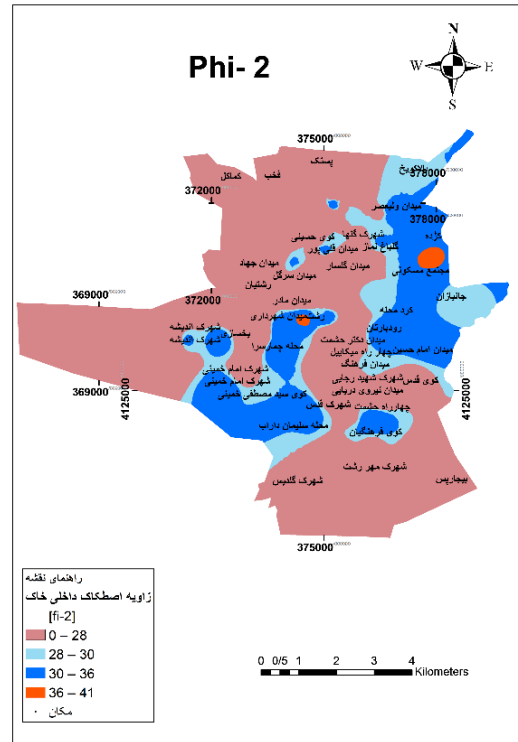
محدوده مورد مطالعه دارای عدد *SPT* بالاتر از ۸ می باشد. با افزایش عمق مقادیر *SPT* به یکدیگر نزدیک تر شده است که نشان دهنده یکنواخت بودن سطح زیرین خاک در این شهر می باشد. جدول ۳ پایداری نسبی خاک های چسبنده را براساس عدد *SPT* نشان می دهد. در مورد پایداری خاک های چسبنده شهر رشت، با توجه به جدول ۳، می توان گفت این خاک ها در رده خاک های سفت و خیلی سفت قرار دارند.



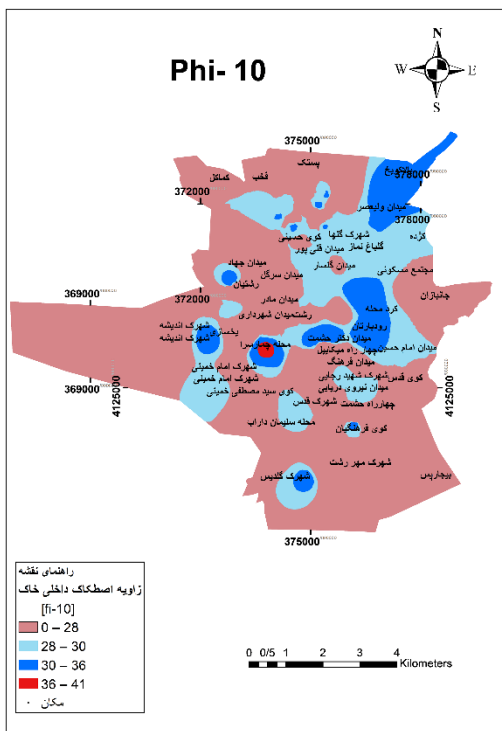
شکل ۱۰. نقشه پهنه بندی عدد *SPT* در عمق ۱۰ متری رشت  
Fig. 10. Rasht *SPT* zoning map at a depth of 10 m



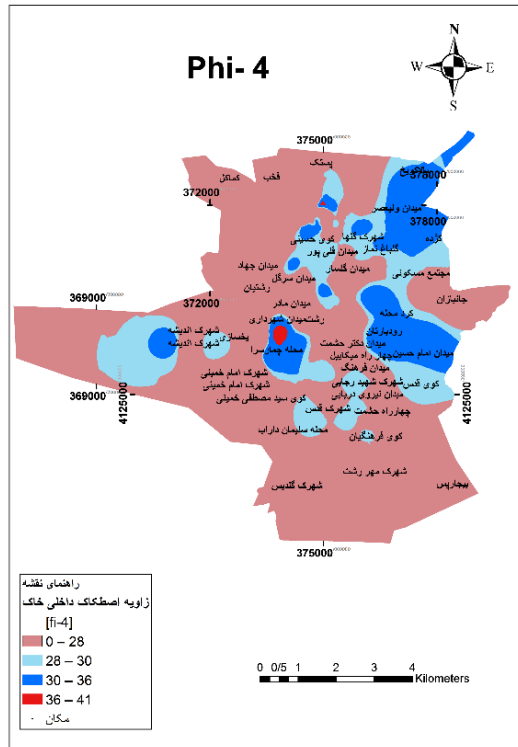
شکل ۱۴. نقشه پهنه بندی زاویه اصطکاک داخلی در عمق ۸ متری  
Fig. 14. Rasht internal friction angle zoning map at a depth of 8 m



شکل ۱۲. نقشه پهنه بندی زاویه اصطکاک داخلی در عمق ۲ متری  
Fig. 12. Rasht internal friction angle zoning map at a depth of 2 m



شکل ۱۵. نقشه پهنه بندی زاویه اصطکاک داخلی در عمق ۱۰ متری  
Fig. 15. Rasht internal friction angle zoning map at a depth of 10 m



شکل ۱۳. نقشه پهنه بندی زاویه اصطکاک داخلی در عمق ۴ متری  
Fig. 13. Rasht internal friction angle zoning map at a depth of 4 m

جدول ۴. همبستگی پارامترهای خاک و عدد *SPT* برای خاکهای درشدانه [۲۱]

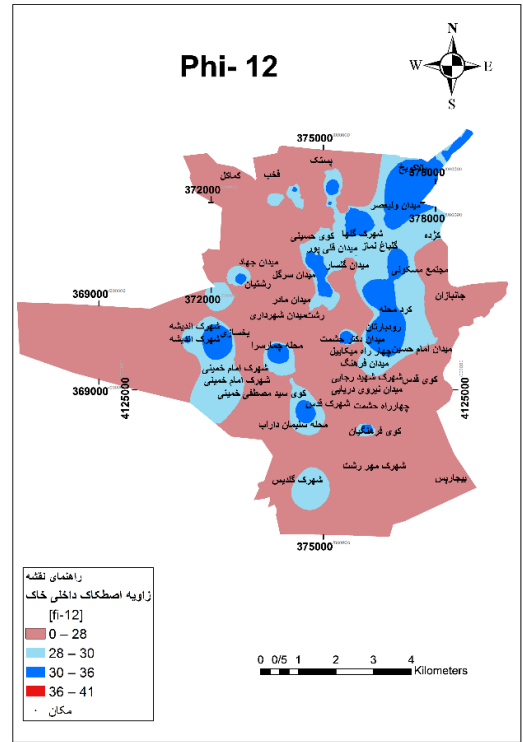
Table 4. Correlation between soil parameters and *SPT* [number for coarse-grained soils [21]

تراکم	$\phi$ (°)	$Dr$ (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{60}$
خیلی شل	< ۲۸	۰ - ۱۵	۱۱ - ۱۳	۰ - ۳
شل	۲۸ - ۳۰	۱۵ - ۳۵	۱۴ - ۱۶	۳ - ۹
متوسط	۳۰ - ۳۶	۳۵ - ۶۵	۱۷ - ۱۹	۹ - ۲۵
متراکم	۳۶ - ۴۱	۶۵ - ۸۵	۲۰ - ۲۱	۲۵ - ۴۵
خیلی متراکم	> ۴۱	> ۸۵	۲۱	> ۵۰

سرعت موج برشی لایه های خاک را می توان به دو روش تعیین کرد. روش اول اندازه گیری مستقیم سرعت موج برشی لایه ها و روش دوم استفاده از روابط تجربی برای پیش بینی سرعت موج برشی می باشد. بررسی روابط تجربی مختلف ارائه شده توسط محققان نشان می دهد که به ازای یک عدد *SPT* معین سرعت های موج برشی متفاوتی به دست می آید. بنابراین داشتن یک رابطه تجربی مناسب برای تخمین سرعت موج برشی از اهمیت بالایی برخوردار است. از میان پارامترهای مختلفی که به منظور ارزیابی بیشتر رابطه همبستگی بین سرعت موج برشی و  $N$  مورد مطالعه قرار گرفته اند، عمر زمین شناسی و نوع خاک بیشترین تاثیر را داشته اند.

صابر (۱۳۹۱)، به پهنه بندی سرعت موج برشی براساس آزمایشات درجا در شهر رشت پرداخت. او با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد و آزمایش سرعت موج برشی به روش Down-hole برای خاک های سطح شهر رشت یک رابطه بین سرعت موج برشی و عدد نفوذ استاندارد ( $N$ ) ارائه کرد تا بتوان بدون انجام آزمایش سرعت موج برشی را براساس عدد نفوذ استاندارد پیش بینی کرد. طبقه بندی نوع زمین، یکی از پارامترهای تأثیرگذار در تعیین طیف پاسخ طراحی می باشد. در اغلب آیین نامه های طراحی لرزه ای موجود از جمله استاندارد ۲۸۰۰ و USB، سرعت موج برشی متوسط لایه های خاک مبنای طبقه بندی نوع زمین قرار می گیرد. لذا پس از تحلیل رابطه به صورت  $V_s = aN^b$  برای کل خاک های شهر رشت، رابطه (۳) برای خاک های این شهر پیشنهاد شد [۱۰].

$$V_s = 141.8N^{0.244} \quad (3)$$

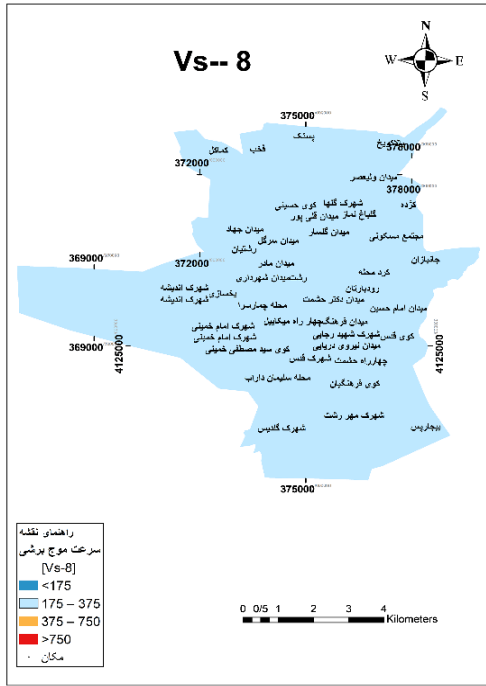


شکل ۱۶. نقشه پهنه بندی زاویه اصطکاک داخلی در عمق ۱۲ متری  
Fig. 16. Rasht internal friction angle zoning map at a depth of 12 m

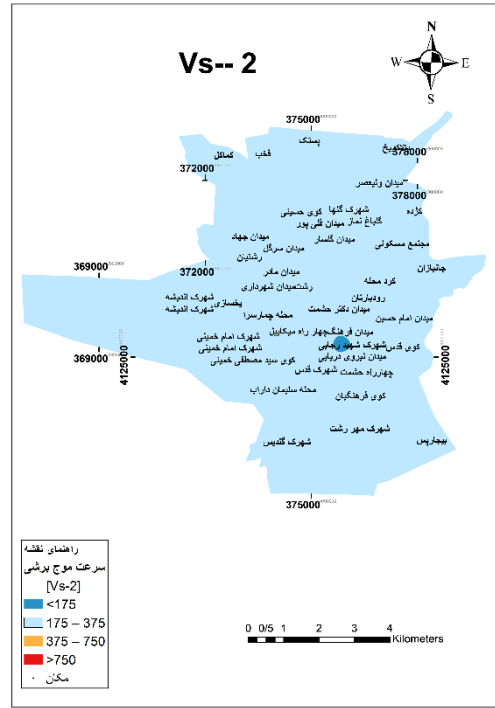
در شکل های ۱۲ تا ۱۶ نقشه های پهنه بندی زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ))، برای اعماق ۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ متر نشان داده شده است. همان گونه که بیان شد خاک های درشت دانه در محدوده شرق تا غرب وجود دارند و در این محدوده زاویه اصطکاک داخلی خاک بین ۳۰ تا ۳۶ درجه است. جدول ۴، همبستگی بین پارامترهای خاک درشت دانه را ارائه کرده و بر این اساس سختی خاک را تعیین کرده است. در این جدول،  $N_{60}$  عدد *SPT* اصلاح شده برای نسبت انرژی ۶۰ درصد،  $\gamma$  وزن مخصوص خاک و  $Dr$  تراکم نسبی خاک می باشد. با توجه به این جدول، می توان نتیجه گرفت که خاک درشت دانه شهر رشت به طور کلی از نوع خاک ماسه ای متوسط است. همچنین خاک های ریزدانه که در قسمت های شمالی، شمال غربی و جنوبی واقع شده اند، دارای زاویه اصطکاک کمتر از ۲۸ درجه مربوط به خاک های رسی و زاویه اصطکاک داخلی ۲۸ تا ۳۰ درجه مربوط به خاک های سیلتی هستند.

یکی از مهم ترین پارامترهای مورد نیاز جهت انجام آنالیز دینامیکی سازه های خاکی سرعت موج برشی ( $V_s^1$ ) لایه های زمین می باشد.

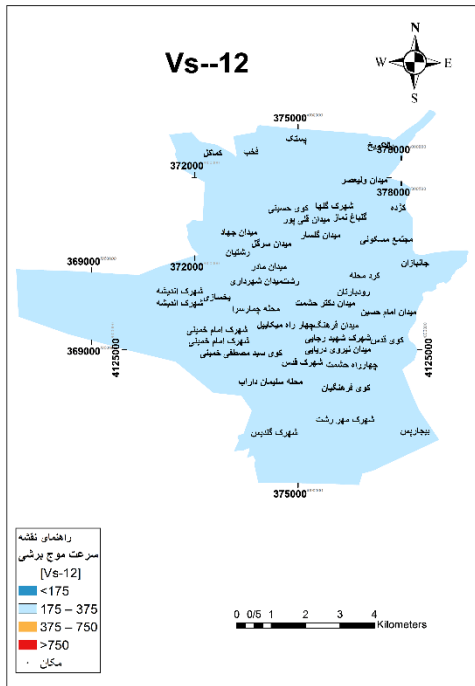
1 Shear Wave velocity



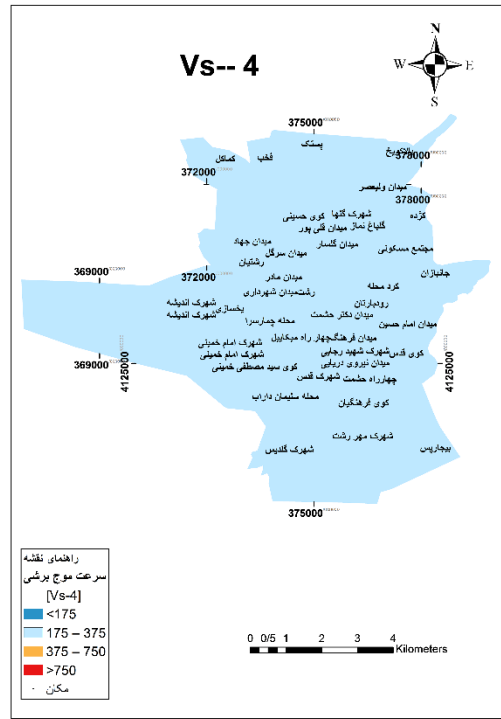
شکل ۱۹. نقشه پهنه بندی سرعت موج برشی در عمق ۸ متری  
Fig. 19. Rasht shear wave velocity zoning map at a depth of 8 m



شکل ۱۷. نقشه پهنه بندی سرعت موج برشی در عمق ۲ متری  
Fig. 17. Rasht shear wave velocity zoning map at a depth of 2 m



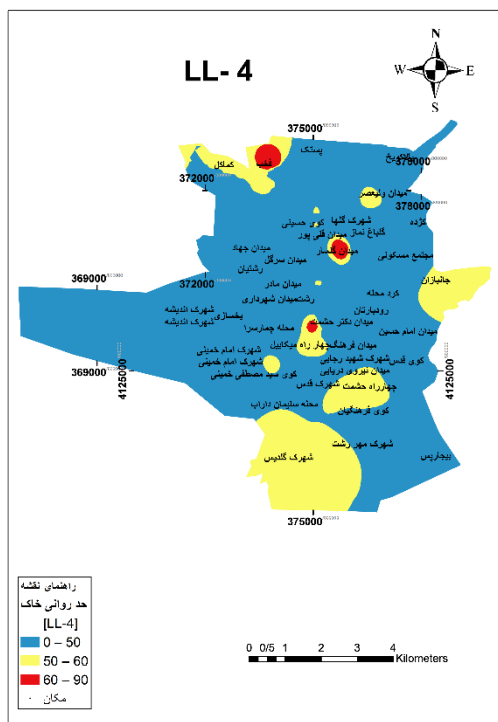
شکل ۲۰. نقشه پهنه بندی سرعت موج برشی در عمق ۱۲ متری  
Fig. 20. Rasht shear wave velocity zoning map at a depth of 12 m



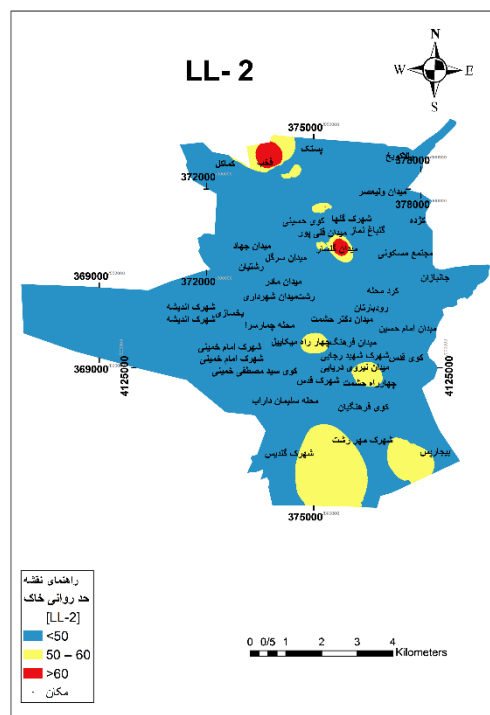
شکل ۱۸. نقشه پهنه بندی سرعت موج برشی در عمق ۴ متری  
Fig. 18. Rasht shear wave velocity zoning map at a depth of 4 m

جدول ۵. طبقه بندی نوع زمین [۲۲]  
Table 5. Soil type classification [22]

پارامتر	توصیف لایه بندی زمین	نوع زمین
$V_s$ (m/s)		
$>750$	سنگ و شبه سنگ، شامل سنگ های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک های سیمانته بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف تر تا سطح زمین	I
$750-375$	خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به تدریج بهبود یابد.	II
$375-175$	سنگ های آذرین و رسوبی سست مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده	III
$<175$	خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس های سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	III
	خاک متوسط تا نرم، لایه های خاک غیر چسبنده یا با کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم، لایه های خاک کاملاً چسبنده نرم تا محکم	IV



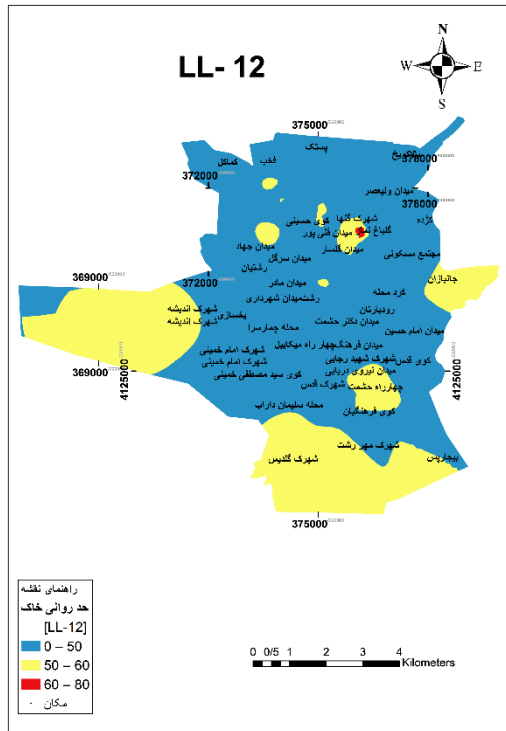
شکل ۲۲. نقشه پهنه بندی حد روانی در عمق ۴ متری  
Fig. 22. Rasht liquid limit zoning map at a depth of 4 m



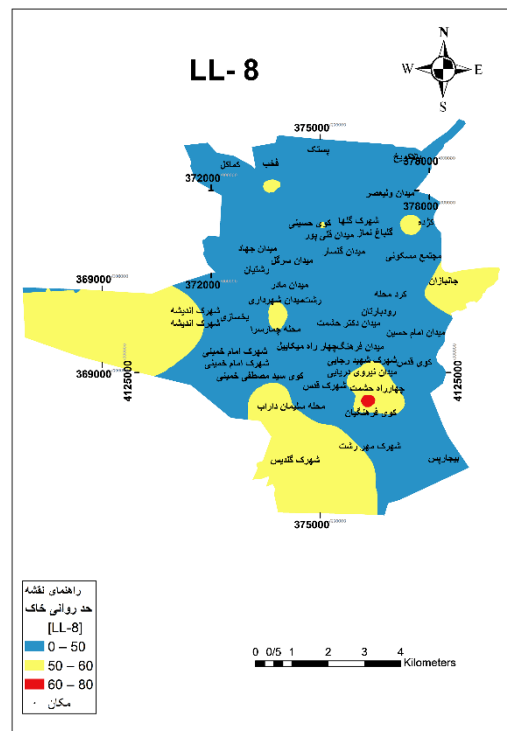
شکل ۲۱. نقشه پهنه بندی حد روانی در عمق ۲ متری  
Fig. 21. Rasht liquid limit zoning map at a depth of 2 m

براساس نقشه های پهنه بندی سرعت موج برشی به دست آمده، بیش از ۹۹ درصد سرعت موج برشی در بازه ۱۷۵-۳۷۵ قرار دارد. در جدول ۵ طبقه بندی نوع زمین براساس آیین نامه ۲۸۰۰ ارائه شده است. بر طبق این جدول، خاک شهر رشت از نوع ۳ (خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس های سخت با

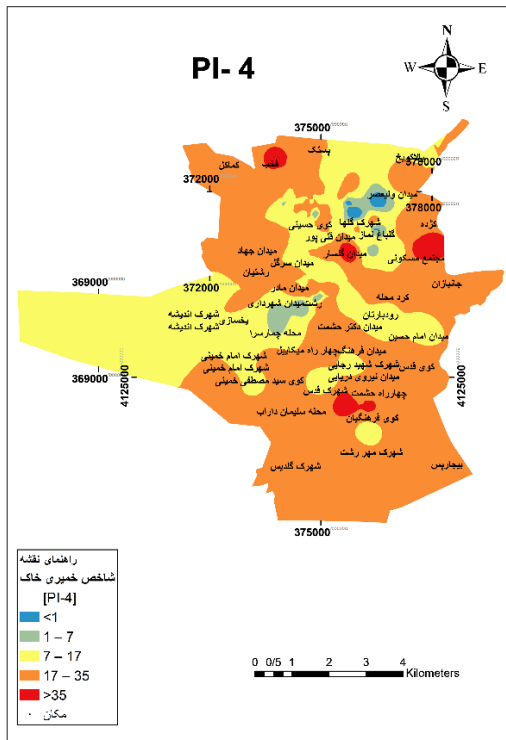
در این مقاله، با استفاده از رابطه (۳)، نتایج آزمایشات نفوذ استاندارد موجود در بانک داده ها به سرعت موج برشی معادل تبدیل شده و بر این اساس نقشه های پهنه بندی سرعت موج برشی ارائه شده است. در شکل های ۱۷ تا ۲۰ نقشه های پهنه بندی سرعت موج برشی، برای اعماق ۲، ۴، ۸ و ۱۲ متر ارائه شده است.



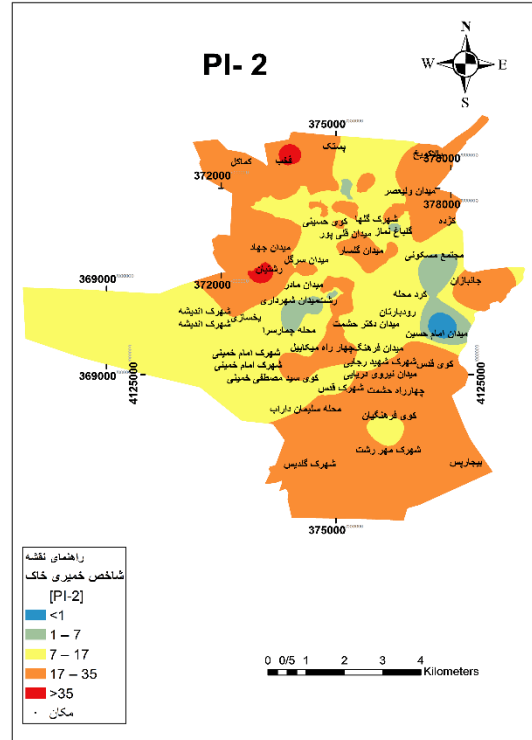
شکل ۲۴. نقشه پهنه بندی حد روانی در عمق ۱۲ متری  
Fig. 24. Rasht liquid limit zoning map at a depth of 12 m



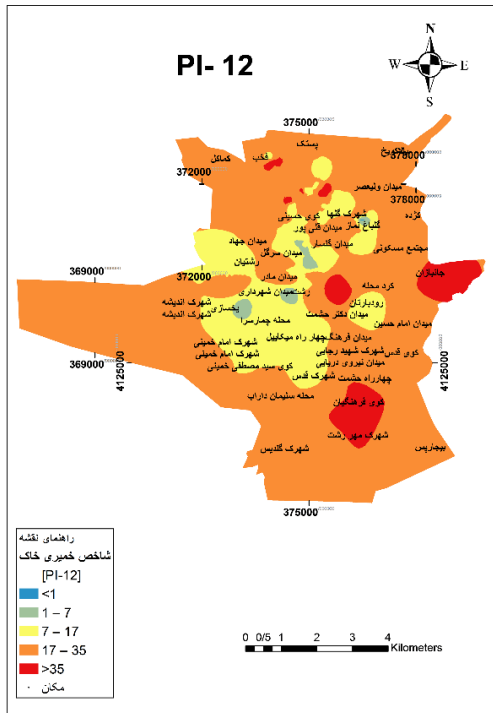
شکل ۲۳. نقشه پهنه بندی حد روانی در عمق ۸ متری  
Fig. 23. Rasht liquid limit zoning map at a depth of 8 m



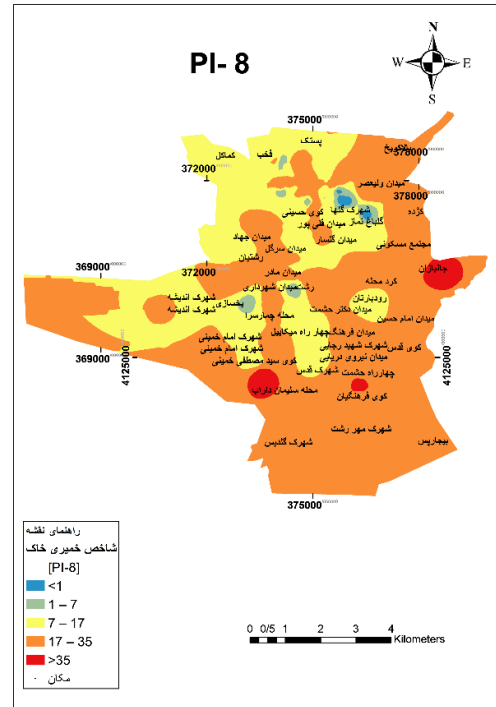
شکل ۲۶. نقشه پهنه بندی شاخص خمیری خاک در عمق ۴ متری  
Fig. 26. Rasht plastic index zoning map at a depth of 4 m



شکل ۲۵. نقشه پهنه بندی شاخص خمیری خاک در عمق ۲ متری  
Fig. 25. Rasht plastic index zoning map at a depth of 2 m



شکل ۲۸. نقشه پهنه بندی شاخص خمیری خاک در عمق ۱۲ متری  
Fig. 28. Rasht plastic index zoning map at a depth of 12 m



شکل ۲۷. نقشه پهنه بندی شاخص خمیری خاک در عمق ۸ متری  
Fig. 27. Rasht plastic index zoning map at a depth of 8 m

جدول ۷. طبقه‌بندی خاک از نظر حالت خمیری [۲۳]  
Table 7. Soil classification based on plasticity [23]

رده	$PI\%$ نشانه خمیری	توصیف خاک از نظر حالت خمیری
۱	$< 1$	غیر خمیری
۲	$1 - 7$	کم
۳	$7 - 17$	متوسط
۴	$17 - 35$	زیاد
۵	$> 35$	خیلی زیاد

جدول ۶. طبقه بندی خاک‌ها از نظر پتانسیل تورم بر اساس حد خمیری و حد روانی [۲۳]  
Table 6. Soil classification of swelling potential based on liquid limit and plastic limit [23]

حد روانی	حد خمیری	پتانسیل تورم
$LL\%$	$PL\%$	Swelling
$< 50$	$< 25$	کم
$50 - 60$	$25 - 30$	متوسط
$> 60$	$> 30$	بالا

در شکل‌های ۲۵ تا ۲۸ نقشه‌های پهنه بندی شاخص خمیری خاک ( $PI$ )، برای اعماق ۲، ۴، ۸ و ۱۲ متر نشان داده شده است. جدول ۷ طبقه‌بندی خاک از نظر حالت خمیری را ارائه می‌کند. نقشه پهنه بندی شاخص خمیری خاک با توجه به جدول ۸ در اعماق مختلف نشان‌دهنده این است که مناطق شمالی و مرکزی شهر رشت دارای شاخص خمیری متوسط و با افزایش عمق تا ۱۲ متری شاخص خمیری بین ۱۷-۳۵ است و نشان‌دهنده این است که شاخص خمیری زیاد می‌شود.

ضخامت بیش از ۳۰ متر) می‌باشد. در شکل‌های ۲۱ تا ۲۴ نقشه‌های پهنه بندی حد روانی خاک ( $LL$ )، برای اعماق ۲، ۴، ۸ و ۱۲ متر نشان داده شده است. جدول ۶ طبقه بندی خاک‌ها براساس حد خمیری و روانی را ارائه می‌کند. با توجه به نقشه پهنه بندی حد روانی خاک در اعماق مختلف خاک شهر رشت و با توجه به جدول ۶، به علت اینکه بیش از ۹۹ درصد حد روانی خاک کمتر از ۵۰ است می‌توان نتیجه‌گیری کرد که خاک شهر رشت دارای پتانسیل تورم کم است.

## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق پارامترهای مختلف ژئوتکنیکی شهر رشت، با استفاده از اطلاعات استخراج شده از ۱۷۰ گمانه‌های حفر شده در شهر، مربوط به مطالعات ژئوتکنیکی پیشین، جمع‌آوری شده و با استفاده از این اطلاعات، نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مقاومتی خاک شهر رشت ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده نتایج زیر حاصل می‌گردد.

۱- بیش از ۹۹ درصد محدوده مورد مطالعه دارای عدد  $SPT$  بیش از ۸ و زاویه اصطکاک داخلی کمتر از ۲۸ درجه می‌باشد.  
۲- در بیشتر محدوده مورد مطالعه، عدد  $SPT$  خاک در کلیه اعماق بین ۸ تا ۳۰ می‌باشند. افزایش عمق گمانه تأثیری بر افزایش عدد  $SPT$  ندارد که نشان‌دهنده یکنواخت بودن لایه‌های زیرین خاک در این شهر می‌باشد.

۳- با توجه به محدوده مقادیر عددی برای پارامترهای  $SPT$  و  $\phi$  خاک شهر رشت، می‌توان گفت که عموم خاک‌های دانه‌ای از نظر تراکم نسبی در رده خاک‌های ماسه‌ای متوسط و عموم خاک‌های چسبنده از نظر پایداری در رده خاک‌های سفت و خیلی سفت قرار دارد.

۴- کمترین مقدار عدد  $SPT$  در شمال به سمت مرکز و بخشی از جنوب شهر رشت می‌باشد. بیشترین مقدار عدد  $SPT$  مربوط به غرب و جنوب شهر رشت می‌باشد.

۵- به تدریج با افزایش عمق، لایه‌های خاک رشت بیشتر به سمت خاک‌های ریزدانه کشیده می‌شود، به طوری که در عمق ۱۰ متری به بعد، بیشتر خاک شهر رشت رس و لای است.

۶- نوع خاک‌های سطحی گزارش شده در گمانه‌ها را می‌توان خاک از نوع  $CL-ML$  برای ریزدانه‌ها و  $SC-GC$  برای خاک‌های درشت‌دانه لحاظ نمود.

۷- به دلیل اینکه سرعت موج برشی بیش از ۹۹ درصد خاک منطقه در بازه ۱۷۵-۳۷۵ متر بر ثانیه قرار دارد، خاک منطقه در طبقه بندی نوع زمین، در گروه خاک نوع ۳ (خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس‌های سخت با ضخامت بیش از ۳۰ متر) قرار دارد.

## ۶- ارائه پیشنهادات جهت ادامه مطالعات

۱- تخمین سایر پارامترهای ژئوتکنیکی با استفاده از اطلاعات به دست آمده از این پایان‌نامه

۲- با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، پیشنهاد می‌گردد در یک کار علمی-کاربردی بهترین روش بهسازی خاک، متناسب با شرایط بومی منطقه در جهت افزایش ظرفیت باربری خاک طراحی و ارائه گردد.

۳- بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی شهر رشت در اعماق بیشتر  
۴- پیشنهاد می‌گردد با استفاده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی حاصل از این تحقیق، امکان سنجی انتخاب بهترین مکان برای احداث پروژه‌های خاص به عمل آید.

۵- به منظور پوشش یکسان داده‌های ژئوتکنیکی لازم است که بانک اطلاعات ژئوتکنیکی رشت کامل‌تر شود. بطور قطع گمانه‌های بیشتری در سطح منطقه حفاری شده اند که داده‌های آن‌ها در شرکت‌ها و مؤسسات بایگانی شده و بلا استفاده مانده اند. لذا با جمع‌آوری آن‌ها و روزآمد کردن بانک ژئوتکنیکی شهر می‌توان ویژگی‌های ژئوتکنیکی شهر رشت را با دقت و صحت بیشتری شناسایی کرد.

۶- در صورتی که به اطلاعات جدیدتری دست پیدا کردند بانک اطلاعات پهنه‌بندی نقشه را تکمیل تر کنند تا با شناخت بهتری از زمین به احداث سازه بپردازند.

## مراجع

- [1] M. Ahmad, Q. Iqbal, F.A. Khan, Profiling and zoning of geotechnical sub-soil data using geographic information system, Science International, 25(3), 2013, 15-20.
- [2] S. Tadios, GIS-based Geotechnical Microzonation Mapping using Analytic Hierarchy Process: a case study in Shire-Endasilasie City, Tigray, Northern Ethiopia, Momona Ethiopian Journal of Science, 5(2), 2013, 101-116.
- [3] H. Al-Ani, E. Oh, G. Chai, B.N. Al-Uzairy, GIS-interpolated geotechnical zonation maps in surfers paradise, australia, in: 6th International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services (GEO-Processing 2014),



- village, 2017, <http://www.mpogl.ir>.
- [13] S. Sanjari, ARC GIS Application Guide, Abed, Tehran, 2012.
- [14] M.E. May, M. Dlala and I. Chenini, Urban geological mapping, Geotechnical data analysis for rational development planning, Engineering Geology, 2010, Vol. 116, 1–2, 27, pp. 129–138.
- [15] K. Johnston, J.M. Ver Hoef, K. Krivoruchko, N. Lucas, Using ArcGIS geostatistical analyst, Esri Redlands, 2001.
- [16] O.A. Nalivan, F. Haydari, A. Sour, A. Shahbazi, R. Kavandi, S. Gheiasi, Investigation of groundwater contamination trend in Silveh basin in terms of drinking applications, International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(8), 2013, 1826-1834.
- [17] M. Mirafshari, Arshadnejad, S, Comparison of Different Interpolation Methods in Topographic Mapping of Open Mines, in: 2nd Conference on Earth Sciences, Ashtian, Iran, 2011.
- [18] R.B. Peck, W.E. Hanson, T.H. Thornburn, Foundation engineering, Wiley New York, 1974.
- [19] M.A.B.F. Ghahrudi Tali, A., An Introduction to GIS, Payam Noor University, 2010.
- [20] V. Murthy, Advanced Foundation Engineering, CBS Publishers & Distributors, 2007.
- [21] B.M. Das, Principles of geotechnical engineering, PWS Publishing Company, 1990.
- [22] Road, Housing and Urban Research Center, Building Design Regulations against Standard Earthquake 2800, Fourth edition.
- [23] J.E. Bowles, Foundation Analysis and Design, 4th Edition, McGraw Hill. 1988.
- Spain, Barcelona, Citeseer, 2014, pp. 148.
- [4] F. Nasiri, Evaluation of Different Interpolation Methods for Groundwater Quality Zoning Using GIS, in: 32nd National and the 1st International Geosciences Congress, Tabriz, Iran, 2014.
- [5] M.H. Kadkhodazade, J. Rahnamarad, The Zoning of Nehbandan soil shear strength parameters using GIS, Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 5(S1), 2015, 2911-2915.
- [6] B. Sharma, S.K Rahman, Use of GIS Based Maps for Preliminary Assessment of Subsoil of Guwahati City, Journal of Geoscience and Environment Protection, 4(05), 2016, 106-116.
- [7] S. Mottaqi, A. Alesheikh, Using GIS Spatial Information System in Mahabad Geotechnical Zoning Maps, Miaad University National Conference on Civil Engineering, Architecture, Shahid Beheshti University, 2017, Tehran, Iran.
- [8] A. Razmyar, A. Eslami, Geotechnical characterization of soils in the eastern and western areas of Tehran, Engineering, Technology & Applied Science Research, 7(4), 2017, 1802-1810.
- [9] E. Arabani, Book of Guilan, Iranian Research Group Publications, 1996.
- [10] M. Saber, Shear wave velocity zoning based on in-situ test in Rasht, University of Gilan University Campus 2, 2012.
- [11] Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, Ministry of Industries and Mines, <https://www.gsi.ir>.
- [12] Guilan Province Management and Planning Organization, Map of Rasht city by district, city and

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

N. Saberelizei, M. Karimpour-Fard, M. Effati, *The Zoning of Soil Strength Parameters in Rasht using Geographical Information System (GIS)*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(8) (2021) 3317-3334.

DOI: 10.22060/ceej.2020.17862.6699



