

ارزیابی خصوصیات بسترهای خاکی برای زیرساخت‌های حمل و نقل بر اساس نتایج گمانه‌های ژئوتکنیک (مطالعه موردی: شهر سمنان)

حامد جاودانیان*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد

عبدالحسین حداد، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

علیرضا میرنژاد، کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

Email: javdanian@eng.sku.ac.ir

دریافت: ۹۵/۰۶/۲۶ - پذیرش: ۹۵/۱۰/۳۰

چکیده

طراحی ابنیه فنی و زیرساخت‌های شهری، از جمله سیستم‌های حمل و نقل، نیازمند تخمین اولیه‌ی پارامترهای ژئوتکنیک می‌باشند. از این رو، ارزیابی دقیق خصوصیات مهندسی نهشته‌های خاکی بر اساس تحقیقات ژئوتکنیک در نواحی مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این مطالعه، برآورد خصوصیات بستر خاکی و به دنبال آن ایجاد یک بانک اطلاعات ژئوتکنیک برای گستره‌ی شهر سمنان می‌باشد. بدین منظور، اطلاعات وسیعی از ۱۱۰ گمانه‌ی ژئوتکنیک گردآوری شده است. علاوه بر تحلیل آماری نتایج، با استفاده از روش درونیابی آماری کریجینگ و به کمک برنامه‌ی ArcGIS اقدام به ارزیابی پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بستر خاکی در نواحی مختلف گستره‌ی شهر سمنان شده است. تهیه چنین سیستم اطلاعات پایه‌ای، ضمن اینکه قابلیت تکمیل و به‌روز شدن را دارا می‌باشد، می‌تواند شرایط تخمین بهتر پارامترهای ژئوتکنیک در نواحی مورد مطالعه را فراهم آورد. پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، دانسیته و درصد رطوبت خاک با استفاده از روش درونیابی آماری ارزیابی شد. در نهایت، بر اساس نتایج حاصل، وضعیت زمین در نواحی مختلف گستره‌ی مورد مطالعه تشریح شد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک، گمانه ژئوتکنیک، ArcGIS، سمنان

۱. مقدمه

بندی ژئوتکنیک با فراهم کردن اطلاعات تفصیلی از مشخصات فیزیکی و مکانیکی زیرسطحی بستر، پیش-آگاهی و یا حتی هشدار در خصوص وضعیت پهنه‌ها در نواحی مختلف ارائه می‌دهد (الانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ پاولویچ، ۲۰۰۶؛ الخولی و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، نقشه‌های پهنه‌بندی ژئوتکنیک را می‌توان راهنمایی برای شناسایی نقاط مطلوب و مستعد جهت اجرای

مطالعات اولیه برای توسعه‌ی پایدار زیرساخت‌های شهری، پروژه‌های عمرانی و ابنیه‌ی فنی نیازمند اطلاعات کلی از وضعیت ژئوتکنیک و ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. اطلاعات کامل از نهشته‌های خاکی در نواحی مختلف، از جمله نقشه‌های پهنه-

عکس فاصله وزن‌دار و کریجینگ، از روش‌های آماری خطای میانگین، جذر میانگین مربعات خطا و مقایسه شیب خط برازش شده حاصل از زوج مرتب‌های مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده استفاده گردید. با مقایسه نتایج به‌دست آمده از اعتبارسنجی برای کلیه درون‌یابی‌ها، روش کریجینگ از خطای میانگین و جذر میانگین مربعات خطای کمتری نسبت به روش عکس فاصله وزن‌دار برخوردار بود و مقادیر پیش‌بینی شده در روش کریجینگ به مقادیر واقعی نزدیکتر می‌باشد. بنابراین، از لحاظ آماری، روش کریجینگ روش مناسب‌تری جهت درون‌یابی مقادیر می‌باشد. پارامترهای خاک توسط ابزار تحلیل‌گر زمین‌آماری و به روش درون‌یابی کریجینگ و برای ژرفای از سطح زمین تا ۲، ۴ تا ۴ و ۶ متر ارزیابی گردید.

بر اساس پهنه‌های حاصل، به تشریح وضعیت زمین در گستره‌ی مورد بررسی و شرایط خاک در نواحی مختلف پرداخته شد. نتایج حاصل می‌تواند در جهت توسعه‌ی زیرساخت‌های حمل و نقل شهری، مسیر اجرای پروژه‌های راه‌سازی و همچنین تصمیم در مورد مشکلات احتمالی ژئوتکنیک در پروژه‌های عمرانی نقشی اساسی ایفا نماید.

۲. گستره‌ی مورد بررسی

گستره‌ی مورد بررسی در این مطالعه، شهر سمنان می‌باشد. محدوده‌ی مذکور در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع شهر سمنان از سطح دریا ۱۱۳۲ متر می‌باشد. این منطقه در بیضی‌وار مبنای WGS84 و در سیستم مختصات جغرافیایی UTM در قسمت ۳۹ شمالی، در محدوده‌ای با طول شرقی ۷۱۳۰۰۰ الی ۷۲۱۰۰۰ و عرض شمالی ۳۹۳۷۰۰۰ الی ۳۹۴۳۰۰۰ قرار گرفته است.

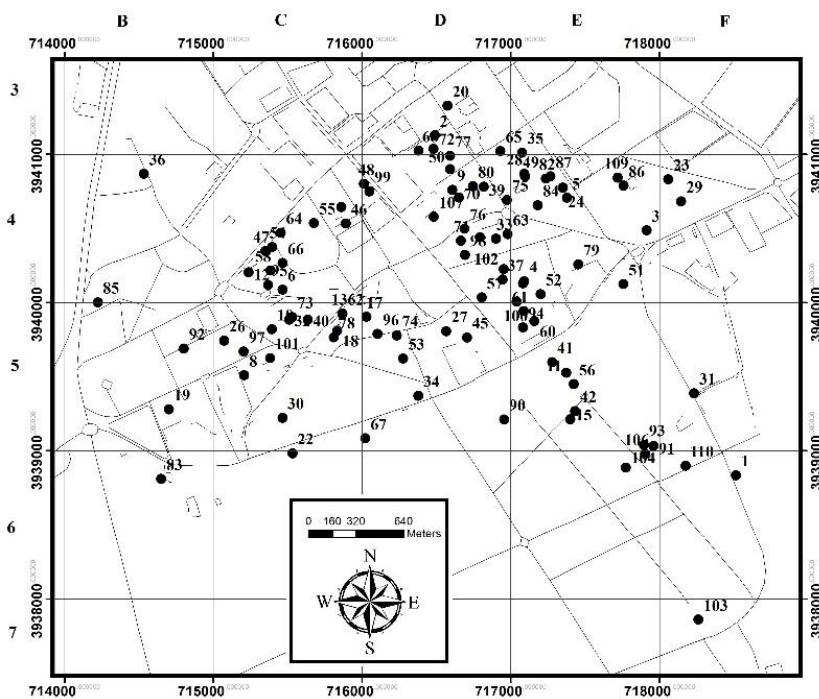
پروژه‌های بزرگ تلقی نمود (سالبرگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ اورهان و تاسون، ۲۰۱۰؛ کوچکار و آکگون، ۲۰۰۸؛ لوبرن و همکاران، ۲۰۰۴). در واقع می‌توان بر اساس این نقشه‌ها، بهترین مسیر ممکن جهت توسعه در ساخت و ساز شهری، از جمله توسعه‌ی زیرساخت‌های حمل و نقل شامل بستر راه‌ها، پل‌ها و خطوط ریلی را بر اساس وضعیت لایه‌های خاک در منطقه مورد نظر محقق ساخت.

شهر سمنان به لحاظ اجتماعی و به‌دلیل وجود صنایع و اهمیت ژئوپلیتیک به عنوان یکی از شهرهای مهم کشور محسوب می‌شود. از این‌رو شناخت هر چه بیشتر وضعیت ژئوتکنیک و زمین‌شناسی گستره‌ی این شهر از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی، بایستی به این نکته توجه نمود که امروزه به دلیل انجام مطالعات گسترده و به تبع آن حجم بالای اطلاعات، روش‌های سنتی گردآوری و تحلیل نتایج و داده‌ها پاسخگوی نیاز پژوهشگران نمی‌باشد. این امر لزوم تشکیل مجموعه‌هایی سازمان‌یافته از داده‌ها را مشخص می‌سازد.

در این پژوهش، مهم‌ترین پارامترهای بستر خاکی شامل زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، دانسیته و درصد رطوبت خاک بر اساس گزارش‌های مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (۱۳۹۲) از گمانه‌های ژئوتکنیک در گستره‌ی شهر سمنان گردآوری و در ژرفای مختلف مورد تحلیل آماری قرار گرفتند. سپس، جهت ایجاد بانک اطلاعات ژئوتکنیک شهر سمنان و پهنه‌بندی پارامترهای مکانیکی خاک این شهر از برنامه ArcGIS و ابزار تجزیه و تحلیل زمین‌آمار استفاده شده است (ESRI). روش‌هایی که ابزار تجزیه و تحلیل زمین‌آماری جهت پهنه‌بندی ارائه می‌دهد، روش‌های آماری عکس فاصله وزن‌دار و کریجینگ می‌باشد. از هر دو روش آماری جهت پهنه‌بندی استفاده گردید و نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های آماری با یکدیگر مقایسه شدند. جهت اعتبارسنجی و مقایسه دو روش درون‌یابی

این مطالعه نیز گستره شهر سمنان به پهنه‌های 1000×1000 متر تقسیم‌بندی شد و پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک بر اساس نتایج گمانه‌های ژئوتکنیک مورد ارزیابی قرار گرفت. اطلاعات مهمترین پارامترهای خاک شامل زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، دانسیته و درصد رطوبت خاک و برای سه ژرفای از سطح زمین تا ۲، از ۲ تا ۴ و از ۴ تا ۶ متر تحلیل شد. موقعیت گمانه‌های ژئوتکنیک در گستره‌ی شهر سمنان در شکل ۱ آمده است. قابل ذکر است که در برخی از نواحی، به دلیل اجرای پروژه‌های مهم و ساخت و سازهای بسیار، اطلاعات ژئوتکنیک بیشتری نسبت به سایر نواحی وجود دارد.

بر اساس راهنمای پهنه‌بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای (TC4-ISSMGE)، طبقه‌بندی زمین که بر پایه اطلاعات گمانه‌ها یا داده‌های ژئوتکنیک صورت می‌گیرد، نسبت به داده‌های زمین‌شناسی سطحی شاخص بهتری برای تأثیر شرایط محل می‌باشد. از آنجایی‌که آزمایش‌های مربوط به گمانه‌ها، معمولاً برای ساخت و سازهای شهری انجام گرفته و اطلاعات آن‌ها در دسترس می‌باشد، این روش طبقه‌بندی در جهت ارزیابی آثار محل بسیار عملی بوده و در کدهای (ضرایب) زلزله معمول شده است. در پهنه‌بندی یک منطقه، ضرایب تشدید برای هر جزء از یک شبکه 500×500 یا 1000×1000 متر تعیین می‌گردد (TC4). در



شکل ۱. جانمایی گمانه‌های ژئوتکنیک در گستره شهر سمنان

پارامترهای خاک، عملیات آماری در مورد اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیک (شکل ۱) انجام شده که نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول، مشخصات آماری پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی (Φ)، چسبندگی (c)، وزن مخصوص (γ) و درصد

۳. مشخصات خاک

با توجه به وسعت زیاد گستره‌ی مورد مطالعه، امکان آگاهی از خصوصیات کامل آن وجود ندارد. از این‌رو، مهمترین روش تحلیل داده‌های ژئوتکنیک، مدل-سازی آماری می‌باشد. به منظور مشخص شدن شرایط

رطوبت (ω) مصالح خاکی شامل مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات ارائه شده که نشانگر اطلاعات کلی از خصوصیات ژئوتکنیک شهر سمنان می‌باشد. پارامترهای آماری داده‌های موجود در هر واحد، در سه عمق صفر تا ۲، ۲ تا ۴ و ۴ تا ۶ متر آمده است (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات آماری پارامترهای ژئوتکنیک در گستره‌ی شهر سمنان

پارامتر		Φ (deg.)			c (kPa)			γ (kg/m ³)			ω (%)	
واحد	عمق	میانگین	انحراف	ضریب	میانگین	انحراف	ضریب	میانگین	انحراف	ضریب	میانگین	انحراف
		مقادیر	معیار	تغییرات	مقادیر	معیار	تغییرات	مقادیر	معیار	تغییرات	مقادیر	معیار
۰-۲		۳۳/۸	۶/۵۵	۰/۱۹۴	۱/۷۵	۱/۹۲	۱/۱	۲۰۴۵	۰/۰۶۲	۰/۰۳	۳/۰۲	۰/۱
۲-۴	۴C	۳۴/۲۳	۲/۴۳	۰/۰۷	۳/۱۲۵	۲/۹۳	۰/۹۴	۲۰۴۰	۰/۰۲۶	۰/۱۳	۳/۲۲	۰/۱۲۲
۴-۶		۳۷/۰۲	۳/۵۹	۰/۱	۴/۵	۱/۸	۰/۴	۲۱۱۴	۰/۰۳۷	۰/۰۱۸	۳/۰۲۵	۰/۱۳۴
۰-۲		۳۶/۹۹	۲/۳۲	۰/۰۶۳	۳/۹	۶/۸	۱/۷۴	۱۹۱۷	۰/۰۲۴	۰/۱۳	۳/۶۸	۰/۲۷
۲-۴	۴D	۳۴/۸	۰/۷۲	۰/۰۲	۸/۳	۹/۹۴	۱/۲	۱۹۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۹	۳/۲	۰/۰۶
۴-۶		۳۵/۷۷	۳/۵۱	۰/۱	۱۴/۸	۱۰/۷	۰/۷۲	۱۹۹۰	۰/۰۱۷	۰/۰۹	۴/۱	۰/۵۴
۰-۲		۳۶/۴	۲/۰۳	۰/۰۵۶	۲/۸	۳/۲	۱/۱۴	۲۰۲۰	۰/۰۲۶	۰/۰۶	۳/۳۸	۰/۵۶
۲-۴	۴E	۳۶/۴۹	۲/۶۸	۰/۰۷	۴	۳/۶۵	۰/۹۱	۲۰۸۰	۰/۰۷	۰/۳۴	۳/۳۹	۰/۲۶
۴-۶		۳۶/۷۳	۲	۰/۰۵۵	۵/۲۵	۴/۳۲	۰/۸۲	۲۰۸۰	۰/۰۱۳۸	۰/۰۷	۳/۵۴	۰/۲۲
۰-۲		۳۵/۶۳	۳/۳۵	۰/۰۹	۱/۱۲۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۲۰۰۰	۰/۰۸	۰/۰۴	۲/۶۴	۰/۲۳
۲-۴	۵C	۳۴/۱۶	۲/۸۷	۰/۰۸	۸/۷۲	۱۶/۳	۱/۸۷	۲۰۵۰	۰/۰۳۳	۰/۱۶	۳/۱۸	۰/۱۷
۴-۶		۳۲/۸۸	۲/۷۲	۰/۰۸	۹	۵/۶	۰/۶۲	۲۰۶۰	۰/۰۱۱	۰/۰۵	۳/۱۱	۰/۲۶
۰-۲		۳۴/۱۳	۳/۹۸	۰/۱۲	۴/۳۳	۳/۴۹	۰/۸	۱۸۵۰	۰/۰۱۸	۰/۱	۴/۰۱	۰/۳۸
۲-۴	۵D	۳۳/۷	۳/۵۸	۰/۱۱	۹/۸۳	۱۰/۵۴	۱/۱	۲۰۷۰	۰/۰۲۲	۰/۱۱	۳/۶۸	۰/۲۱
۴-۶		۳۲/۴	۲/۵۵	۰/۰۸	۱۲/۷	۱۱/۹	۰/۹۳	۲۰۳۰	۰/۰۰۹	۰/۰۵	۲/۷۳	۰/۳۱
۰-۲		۳۶/۴	۷/۵۹	۰/۲۱	۱/۸	۲/۶۳	۱/۴۶	۱۹۳۰	۰/۰۲۶	۰/۱۳	۳/۷۳	۰/۵۸
۲-۴	۵E	۳۲/۷۴	۴/۰۴	۰/۱۲۳	۵/۵۷	۲/۳۸	۰/۴۲	۲۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۶	۴/۹۶	۱
۴-۶		۳۱/۹۴	۴/۱۵	۰/۱۳	۱۰/۲	۱۰/۲۸	۱	۱۹۷۰	۰/۰۲۶	۰/۱۳۲	۳/۹	۰/۵۲۲

۴. روش کریجینگ

که $Z^*(x)$ عیار برآوردی، ω_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه \bar{A}_m و Z_i مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند، زیرا ترکیب خطی از n داده است.

تخمین‌گر کریجینگ یکی از مهمترین تخمین‌گرهای خطی نارایب است. زیرا اولاً بدون خطای سیستماتیک می‌باشد و ثانیاً واریانس تخمین آن حداقل است. لازمه‌ی برقراری شرط اول، صفر بودن میانگین خطای تخمین می‌باشد (الیویر و ویستر، ۱۹۹۰). این مدل در تخمین کمیت مجهول نقاط با مختصات

روش درونیابی کریجینگ یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار و واریانس فضایی استوار می‌باشد. به طوری که می‌توان گفت این روش بهترین برآوردکننده خطی نارایب می‌باشد. در روش کریجینگ، واریانس فضایی تابعی از فاصله شناخته می‌شود (اندرسون، ۲۰۰۲). این برآوردکننده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x) = \sum_{i=0}^n w_i Z_i \quad (1)$$

مورد نظر برای پیش‌بینی نقاط مجهول قابل قبول است یا خیر. در این روش اعتبارسنجی، ابتدا یکی از نقاط نمونه‌برداری شده را حذف نموده و سپس با استفاده از روش میان‌یابی مورد نظر و داده‌های باقی مانده برآورد آماری صورت می‌گیرد و مقدار نقطه حذف شده با استفاده از روش فوق‌الذکر پیش‌بینی می‌شود. در مرحله بعد، این نقطه به جای خود بازگردانده می‌شود و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمامی نقاط موجود، برآورد صورت می‌گیرد و نتایج در قالب دو ستون مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی ارائه می‌گردد. هرچه خط برازش شده از داده‌ها به خط یک به یک نزدیک‌تر باشد، میزان دقت روش درون‌یابی بیشتر می‌باشد. تعدادی روش آماری خطایاب نیز جهت اعتبارسنجی مدل کریجینگ مورد استفاده قرار گرفته است. در ابزار ارزیابی متقابل از پارامترهای آماری خطای میانگین، جذر میانگین مربعات خطا و خطای میانگین استاندارد جهت اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی شده استفاده گردید (محمدی مطلق، ۱۳۹۱).

۵. نتایج و بحث

۵-۱. نوع مصالح آبرفت

جهت پهنه‌بندی نوع مصالح بستر شهر سمنان از روش درون‌یابی پلیگون تیسن استفاده شده است. در این روش، ارزش موقعیت‌های نمونه‌برداری نشده با ارزش نزدیک‌ترین نقطه نمونه‌برداری شده برابر است. در این روش، مرزهای پلیگون از نقاط همسایه فاصله یکسان دارد و هر نقطه در داخل پلیگون، به نقطه مرکزی آن پلیگون، نسبت به هر نقطه دیگر نزدیک‌تر است. پلیگون‌های تیسن با توجه به برداشت‌های نقطه‌ای به این ترتیب ایجاد می‌شود که نقاط نمونه به وسیله خطوط مثلثی به نزدیک‌ترین همسایه‌شان متصل می‌شوند؛ سپس عمود منصف کشیده شده برای هر ضلع با دو عمود منصف دیگری که آنرا قطع می‌کند گره

معلوم، مقدار واریانس را به حداقل می‌رساند. هموارسازی یا نرم شدن تغییرات هنگام درون‌یابی، از ویژگی‌های مدل کریجینگ می‌باشد. بدین معنا که واریانس نمونه‌های تخمین زده شده نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری دارد (دیویس، ۱۹۸۶). مهمترین قسمت روش کریجینگ تعیین وزن‌های آماری w_i می‌باشد، که جهت ناریب بودن برآوردها، این وزن‌ها بایستی به نحوی تعیین گردند که مجموع آنها یک باشد. برای محاسبه وزن از معادله ماتریس زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & 0 & \gamma(h_{23}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & 0 & \dots & \gamma(h_{3n}) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(h_{n1}) & \gamma(h_{n2}) & \gamma(h_{n3}) & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_1 \\ \dots \\ w_1 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda(h_{p1}) \\ \lambda(h_{p1}) \\ \dots \\ \lambda(h_{pn}) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ماتریس بالا را می‌توان به صورت رابطه زیر نوشت:

$$\sum_i (w_i * \gamma(h_{ik})) + \lambda = \gamma(h_{pi}) \quad (3)$$

که در این روابط، h_{ik} فاصله‌ی بین نقاط ورودی i و k ، h_{pi} فاصله بین مقادیر برآورد شده p و مقادیر معلوم i ، $\gamma(h_{ik})$ مقدار شبه‌واریوگرام برای فاصله h_{ik} ، w_i عامل وزن و λ ضریب لاگرانژ (که برای کمینه‌سازی خطای تخمین استفاده می‌شود) می‌باشند (فرجی و عزیزی، ۱۳۸۵). در روش کریجینگ، برای برآورد وزن از انواع واریوگرام‌ها استفاده می‌شود، که می‌توان به واریوگرام دایره‌ای، نمایی، گوسن و کروی اشاره نمود. ولی اینکه از کدامیک برای برآورد وزن استفاده می‌شود بایستی متذکر شد که ابزار تحلیل‌گر زمین‌آماري مناسب‌ترین واریوگرامی که بیشترین همبستگی با مدل مذکور را داراست، انتخاب می‌کند.

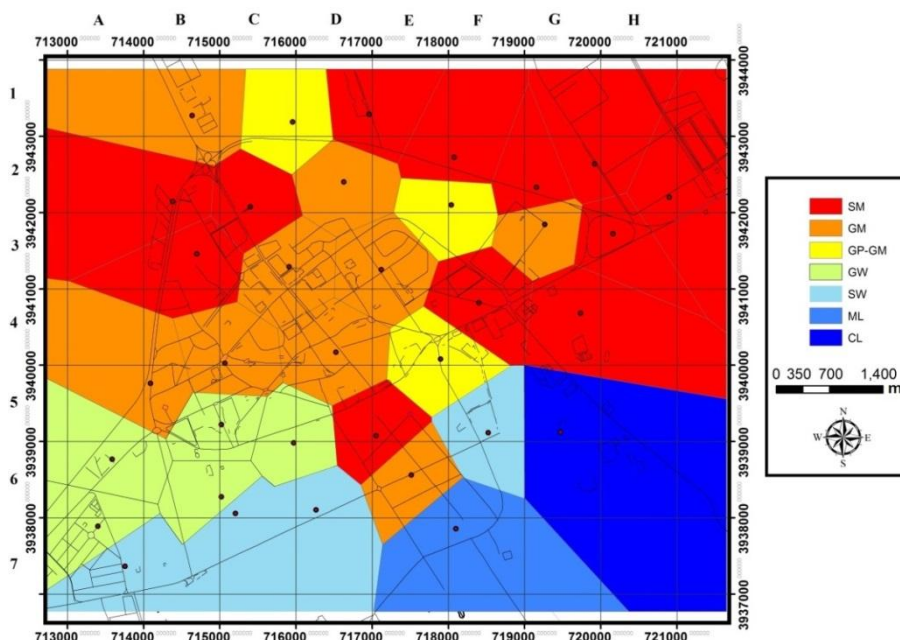
با استفاده از ابزار ارزیابی متقابل در تحلیل‌گر زمین‌آماري، به ارزیابی روش کریجینگ پرداخته شد. ارزیابی متقابل به کاربر این امکان را می‌دهد که آیا مدل

ارزیابی خصوصیات بسترهای خاکی برای زیرساخت‌های حمل و نقل بر اساس نتایج گمانه‌های ژئوتکنیک
(مطالعه موردی: شهر سمنان)

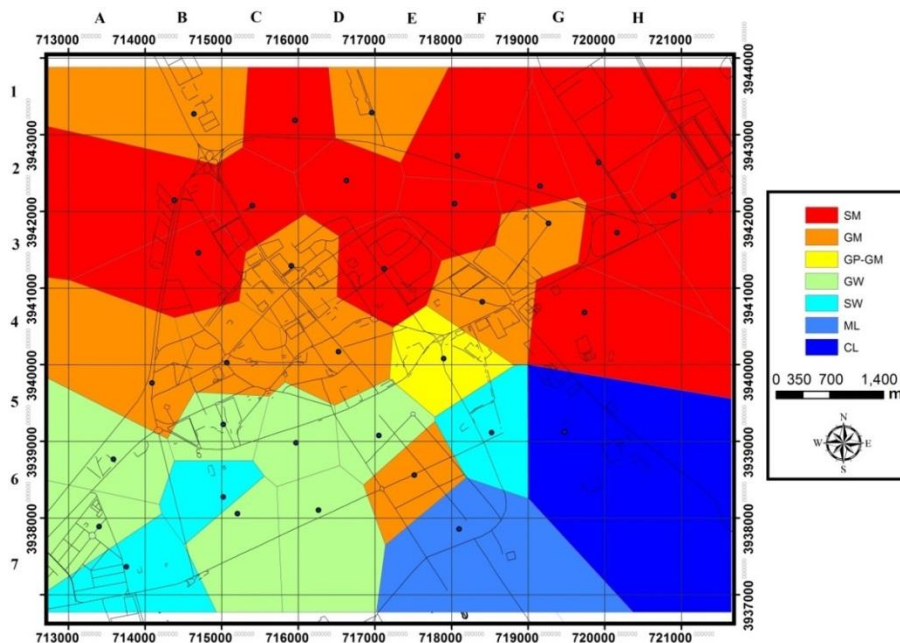
دانه‌بندی شده و در نواحی جنوبی‌تر نیز از ماسه خوب دانه‌بندی شده تشکیل شده است. مقایسه‌ی نتایج (شکل‌های ۲ و ۳) بیانگر آن است که از عمق ۵ تا ۱۰ متری تغییر چندانی در ریزدانه و درشت‌دانه بودن مصالح نسبت به عمق تا ۵ متری (شکل ۲) ایجاد نشده است. قابل ذکر است که در قسمت جنوب غربی، با افزایش عمق، اندازه دانه‌ها تا حدودی بزرگ‌تر شده است. همچنین مشاهده می‌شود که با فاصله گرفتن از نواحی شمالی محدوده‌ی مورد مطالعه، به تدریج از اندازه‌ی ذرات کاسته می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). در نواحی جنوب شرق، احتمالاً به دلیل توپوگرافی ناحیه و قرارگیری در بستر رودخانه فصلی و حمل و ته‌نشینی رسوبات در بستر رودخانه، بافت خاک ریزدانه و چسبنده می‌باشد.

پلیگون تیسن را می‌سازد. در خاتمه، خطوط اولیه بین نقاط برداشته می‌شود و تقسیم یک ناحیه به پلیگون‌های تیسن به وسیله قرارگیری نقاط نمونه به طور کامل تعیین می‌گردد.

نتایج پهنه‌بندی به روش پلیگون تیسن نشانگر آن است که بخش وسیعی از مصالح آبرفت گستره‌ی شهر سمنان تا عمق ۵ متر را مصالح درشت‌دانه تشکیل داده است (شکل ۲). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بر اساس نتایج ارزیابی خصوصیات خاک، تنها در نواحی جنوب شرقی گستره‌ی شهر سمنان مصالح آبرفت ریزدانه (واحدهای ۵G، ۵H، ۶G، ۶H، ۷E، ۷F، ۷G و ۷H) وجود دارد. مناطق مرکزی گستره‌ی بیشتر از شن لای‌دار با ماسه و مناطق شرقی و شمال شرقی غالباً از ماسه لای‌دار تشکیل شده است. مناطق شمالی از ماسه لای‌دار و بیشتر مناطق جنوبی از شن خوب



شکل ۲. پهنه‌بندی مصالح آبرفت از سطح تا ژرفای ۵ متر



شکل ۳. پهنه‌بندی مصالح آبرفت از ژرفای ۵ تا ۱۰ متر

۵-۲. ارزیابی زاویه اصطکاک داخلی خاک

زاویه اصطکاک داخلی یکی از پارامترهای مقاومت برشی خاک می‌باشد. مقادیر این پارامتر از آزمایش‌های مختلف قابل اندازه‌گیری می‌باشد. داده‌های موجود برای خاک سمنان غالباً از آزمایش برش مستقیم حاصل شده‌اند. نتایج حاصل از آزمایش‌های برش مستقیم روی مصالح گمانه‌های حفاری شده در گستره‌ی سمنان برای برآورد پارامتر زاویه اصطکاک داخلی برای سه عمق از سطح زمین تا ۲ متر، ۲ تا ۴ متر و ۴ تا ۶ متر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

برای ژرفای از سطح تا ۲ متر، داده‌های ۶۲ گمانه برای پارامتر زاویه اصطکاک داخلی موجود می‌باشند. بیشترین زاویه اصطکاک داخلی مربوط به گمانه‌ی ۹۳ (شکل ۴) و برابر ۴۵ درجه و کمترین مقدار نیز مربوط به گمانه‌ی شماره ۳۱ (شکل ۴) برابر ۲۰/۳ درجه می‌باشد. بیشترین فراوانی داده‌ها به زاویه اصطکاک ۳۸ درجه، با تعداد ۱۸ آزمایش تعلق دارد. میزان میانگین نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۳۵ درجه و انحراف معیار داده‌ها برابر ۴/۷۹ می‌باشد. ضریب تغییرات زاویه

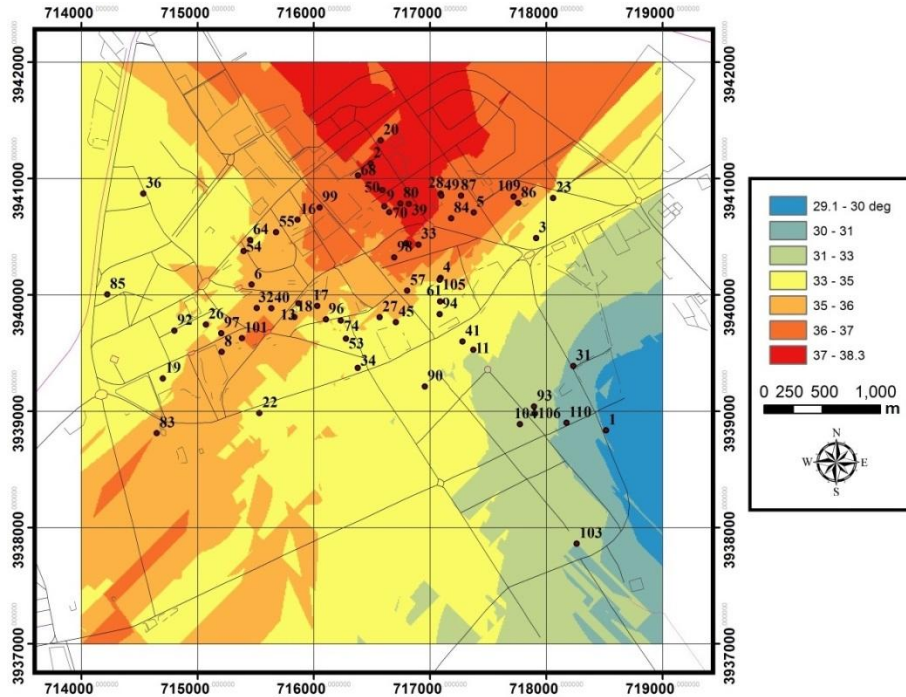
اصطکاک برای عمق صفر تا دو متر برابر ۱۴٪ حاصل شده که حاکی از پراکندگی نسبتاً کم داده‌ها نسبت به مقدار میانگین است. نتایج برآورد Φ بر اساس روش درونیابی کریجینگ حاکی از آن است که مقادیر Φ از سمت شمال به جنوب و جنوب شرق کاهش می‌یابد (شکل ۴). بیشترین فراوانی مقادیر پیش‌بینی شده Φ ، مربوط به پهنه‌ی مقادیر ۳۳ تا ۳۵ درجه می‌باشد. میانگین سلول‌های پیش‌بینی شده برای پهنه‌ی سمنان بر اساس روش کریجینگ برابر ۳۴/۲ درجه و انحراف معیار داده‌ها برابر ۱/۸۹ به‌دست آمده است. ضریب تغییرات Φ نیز برابر ۵/۵ درصد می‌باشد، که نشان دهنده‌ی تمرکز داده‌ها در بازه‌ی کوتاه و پراکندگی کم مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد. بنابراین، مقدار میانگین را می‌توان به عنوان معیاری مناسب جهت معرفی پارامتر Φ در عمق سطحی قلمداد نمود.

برای ژرفای ۲ تا ۴ متر، داده‌های ۸۲ گمانه برای پارامتر زاویه اصطکاک داخلی خاک موجود می‌باشد. بیشترین و کمترین زاویه اصطکاک داخلی به ترتیب مربوط به گمانه‌های ۷۰ (۴۲ درجه) و ۳۱ (۲۲/۶ درجه)

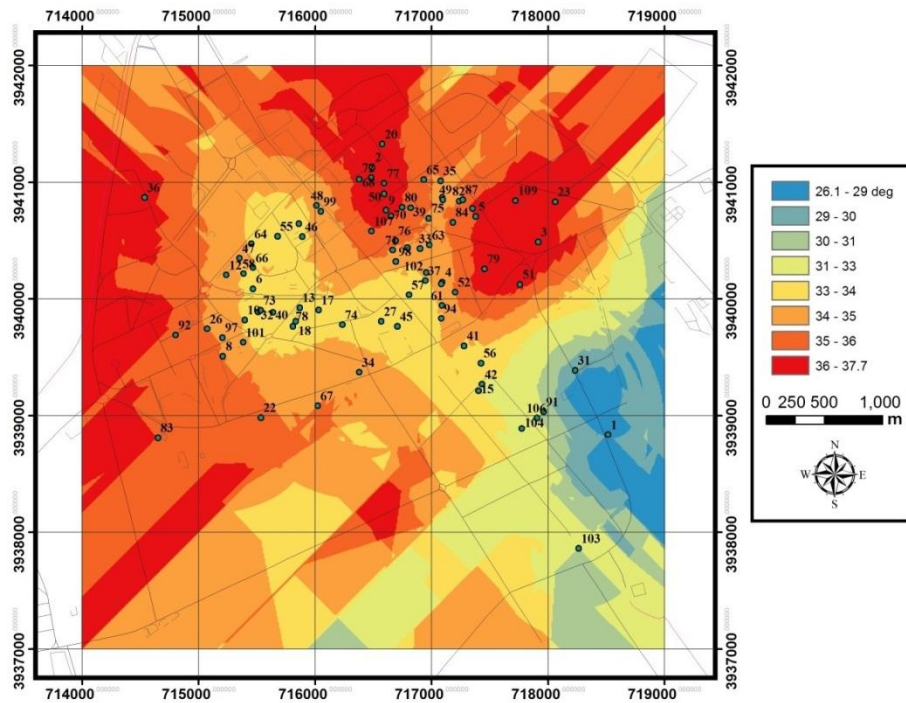
عمق ۴ تا ۶ متر، برابر ۹/۴ درصد به‌دست آمده است، که حاکی از تمرکز داده‌ها حول مقدار میانگین و پراکندگی کم آنها می‌باشد. بر اساس نتایج برآورد Φ به روش درونیابی آماری کریجینگ (شکل ۶)، مقادیر Φ روندی نزولی از سمت شمال غربی به سمت نواحی جنوب شرقی دارد. البته کمترین مقدار Φ مربوط نواحی جنوب غرب می‌باشد. بیشترین فراوانی مقادیر پیش‌بینی شده Φ ، توسط روش کریجینگ، مربوط به پهنه‌ی ۳۳ تا ۳۴ درجه می‌باشد. میانگین سلول‌های پیش‌بینی شده برای پهنه‌ی سمنان بر اساس روش کریجینگ برابر ۳۳/۹ درجه و انحراف معیار داده‌ها برابر ۱/۴۶ به‌دست آمده است. ضریب تغییرات Φ نیز برابر ۴/۳ درصد می‌باشد، که نشان دهنده‌ی تمرکز نتایج حول مقدار میانگین و پراکندگی کم نتایج می‌باشد. بنابراین مقدار میانگین را می‌توان به عنوان معیاری مناسب جهت معرفی پارامتر Φ کل گستره‌ی شهر سمنان قلمداد نمود. لازم به ذکر است که در درونیابی آماری کریجینگ، محدوده‌ای که در خارج از نقاط معلوم قرار می‌گیرد با عدم همبستگی بین پارامترها مواجه می‌شود و با فاصله گرفتن از نقاط معلوم عدم قطعیت افزایش می‌یابد و مقادیر پیش‌بینی شده از خطای بیشتری برخوردار می‌شود. بدین صورت پهنه‌ها به صورت کشیده شده و شکل‌های قابل مشاهده در مقاله در خارج از محدوده داده‌های معلوم تشکیل می‌شوند.

می‌باشند (شکل ۵). میزان میانگین نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۳۴/۵ درجه و انحراف معیار داده‌ها برابر ۳/۵۹ می‌باشد. ضریب تغییرات زاویه اصطکاک برای عمق ۲ تا ۴ متر، برابر ۱۰٪ به‌دست آمده است. نتایج درونیابی آماری زاویه اصطکاک داخلی نشان می‌دهد که مقادیر Φ از سمت شمال به جنوب و جنوب شرق کاهش می‌یابد (۵). کمترین مقدار Φ نیز در مناطق شرق و جنوب شرق شهر سمنان اتفاق افتاده است. بیشترین فراوانی مقادیر پیش‌بینی شده Φ ، مربوط به بازه ۳۴ تا ۳۵ درجه می‌باشد. میانگین مقادیر سلول‌های پیش‌بینی شده برای پهنه‌ی سمنان بر اساس روش کریجینگ برابر ۳۴/۲ درجه و انحراف معیار داده‌ها برابر ۲/۰۳ به‌دست آمده است. ضریب تغییرات Φ نیز برابر ۵/۹ درصد می‌باشد، که نشان دهنده‌ی تمرکز نتایج حول مقدار میانگین و پراکندگی کم نتایج می‌باشد. بنابراین مقدار میانگین را می‌توان به عنوان معیاری مناسب جهت معرفی پارامتر Φ برای کل گستره‌ی شهر سمنان قلمداد نمود.

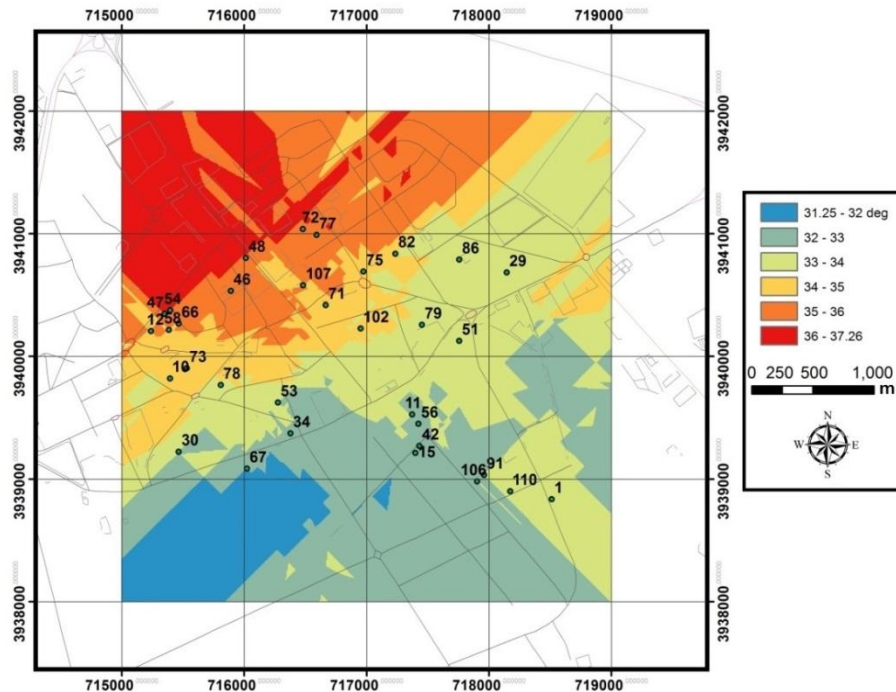
از عمق ۴ تا ۶ متری، داده‌های ۳۳ گمانه برای پارامتر زاویه اصطکاک داخلی موجود می‌باشد. بیشترین زاویه اصطکاک داخلی مربوط به گمانه‌های ۵۸ و ۶۶ و برابر ۴۲/۳ درجه می‌باشد. کمترین زاویه اصطکاک داخلی نیز مربوط به گمانه‌ی شماره ۱۱ و برابر ۲۴/۷ درجه می‌باشد. ضریب تغییرات زاویه اصطکاک برای



شکل ۴. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی از سطح زمین تا ژرفای ۲ متر



شکل ۵. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در ژرفای ۲ تا ۴ متر



شکل ۶. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در ژرفای ۴ تا ۶ متر

مقادیر Φ کاهش می‌یابد. در هر سه عمق، نواحی جنوب شرقی شهر دارای کمترین مقادیر Φ هستند. در این مناطق با افزایش عمق، مقدار Φ تا ۲۴ درجه افزایش می‌یابد؛ ولی در مقایسه با دیگر مناطق شهر که نوع مصالح درشت‌دانه می‌باشد، مقادیر Φ بسیار کم است. در نواحی شمال غربی، با افزایش عمق Φ افزایش می‌یابد. ولی در مناطق جنوب غربی، با افزایش عمق، میزان Φ کاهش می‌یابد.

۳-۵. ارزیابی چسبندگی خاک

چسبندگی یکی دیگر از پارامترهای مقاومت برشی خاک می‌باشد که توسط آزمایش‌های برش مستقیم، سه‌محوری و یا تک محوری به دست می‌آید. داده‌های موجود در این پژوهش، عمدتاً از نتایج آزمایش برش مستقیم روی نمونه‌های خاک از گمانه‌های ژئوتکنیک حاصل شده است. پهنه‌بندی مقادیر چسبندگی از سطح زمین تا ژرفای ۲ متر به روش کریچینگ در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، میانگین مقادیر پیش‌بینی شده برابر ۳/۳۵ کیلوپاسکال و انحراف

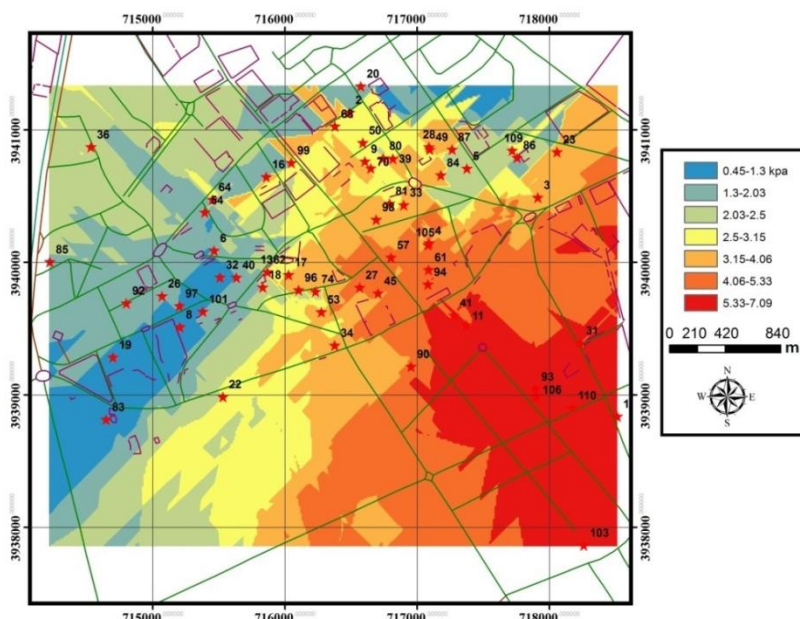
قابل ذکر است که بیشترین خطاها برای زاویه اصطکاک داخلی در عمق ۴ تا ۶ متری، مربوط به گمانه‌های شماره ۱، ۱۱، ۴۸، ۵۸ و ۶۶ می‌باشد، که در ناهمخوانی با داده‌های مجاور خود قرار دارند. لذا پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیشتری روی مصالح این گمانه‌ها صورت پذیرد و نتایج مطالعات تکمیلی جهت تأیید یا اصلاح به داده‌های موجود اضافه گردند.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی زاویه اصطکاک خاک در اعماق مختلف (سطح زمین تا عمق ۲ متر، عمق ۲ تا ۴ متر، و عمق ۴ تا ۶ متر) نشانگر آن است که میانگین مقادیر در سه عمق مورد بررسی بین ۳۴ تا ۳۵ درجه می‌باشد. در عمق ۰-۲ متر، زاویه اصطکاک بیشتر از اعماق زیرین می‌باشد. پراکندگی داده‌ها نیز در عمق ۰-۲ متر بیشتر می‌باشد. در این عمق ۱۸ گمانه دارای زاویه اصطکاک داخلی ۳۸ درجه می‌باشند که بیشتر در مناطق غربی و شمالی گستره‌ی مورد مطالعه قرار دارند. کمترین مقدار زاویه اصطکاک نیز مربوط به عمق سطحی است که متعلق به گمانه ۳۱ و برابر ۲۰/۳ درجه می‌باشد. با افزایش عمق، هر دو مقدار میانگین و میانه

۷۳ و کمترین مقدار برابر صفر می‌باشد. بیشترین فراوانی داده‌ها به بازه ۵ kPa تا ۶ kPa و پس از آن به بازه صفر تا ۱ kPa تعلق دارد. میزان میانگین داده‌ها برابر ۷ kPa و انحراف معیار برابر ۸/۹۴ می‌باشد. در شکل ۸ نتایج برآورد چسبندگی مصالح در عمق ۲ تا ۴ متری نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل، میانگین مقادیر پیش‌بینی شده برابر ۶/۲ kPa و انحراف معیار برابر ۲/۶ به دست آمده است. بیشترین مقدار چسبندگی ۱۴/۶ kPa و کمترین مقدار برابر ۰/۶۷ kPa می‌باشد. نمودار توزیع فراوانی مقادیر درون‌یابی شده نمایانگر توزیع تقریباً یکسان مقادیر در بازه‌ی ۳ kPa تا ۸ kPa می‌باشد. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، نواحی غربی و شمال شرقی از چسبندگی کمتری نسبت به نواحی جنوبی، شمال غربی و مرکزی برخوردارند. مقدار چسبندگی از شمال غربی به جنوب شرقی افزایش می‌یابد. یعنی مقادیر رس موجود در مصالح افزایش یافته و در نواحی جنوب شرقی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

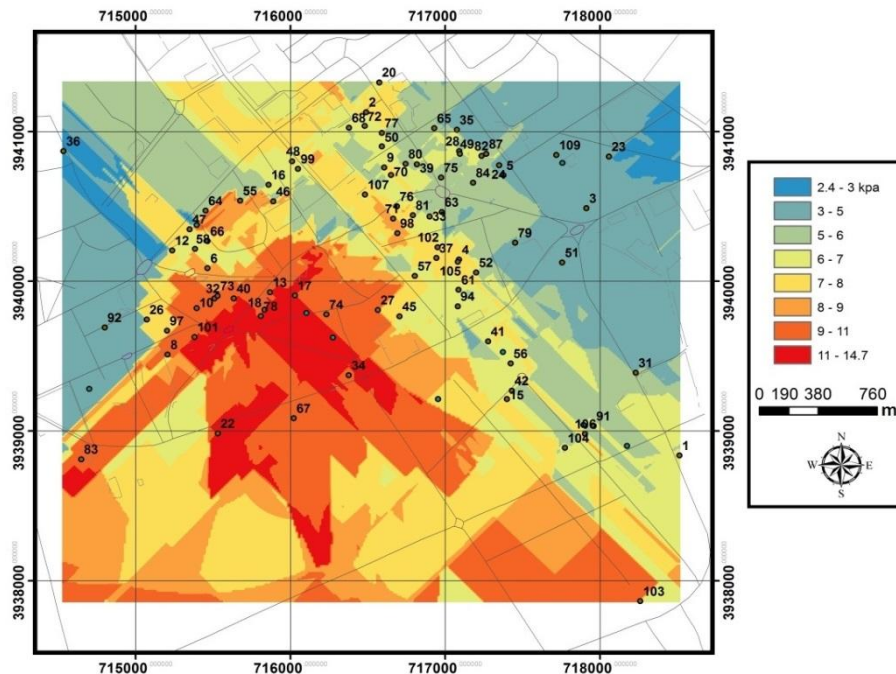
معیار برابر ۱/۵۹ به دست آمده است. بیشترین مقدار چسبندگی، ۷/۱ و کمترین مقدار برابر ۰/۴۵ به دست آمده است. بیشترین فراوانی مقادیر درون‌یابی شده مربوط به پهنه‌ی ۴ تا ۵/۳ کیلوپاسکال می‌باشد. با توجه به شکل ۷، نواحی غربی و جنوب غربی دارای کمترین میزان چسبندگی و نواحی جنوب شرقی دارای بیشترین میزان چسبندگی هستند. مناطق مرکزی در پهنه‌ی ۲/۵ تا ۴ کیلوپاسکال قرار می‌گیرند. به طور کلی می‌توان گفت که با گذر از مناطق غربی به مناطق شرقی میزان چسبندگی مصالح از مقادیر بسیار کم و نزدیک به صفر، افزایش می‌یابد. در مناطق شمالی (ردیف‌های ۳ و ۴) مقادیر چسبندگی کم است. تنها اطلاعات دو گمانه‌ی ۷۰ و ۳۶ در این محدوده نسبتاً بالاست. می‌توان در همسایگی یا نزدیکی این مناطق اقدام به حفر مجدد گمانه و نمونه‌برداری کرد و نتایج را با داده‌های موجود مقایسه نمود.

برای مقدار چسبندگی مصالح در عمق ۲ تا ۴ متر، اطلاعات ۸۲ گمانه موجود می‌باشد. بیشترین مقدار چسبندگی در این بازه برابر ۶۰ kPa و مربوط به گمانه

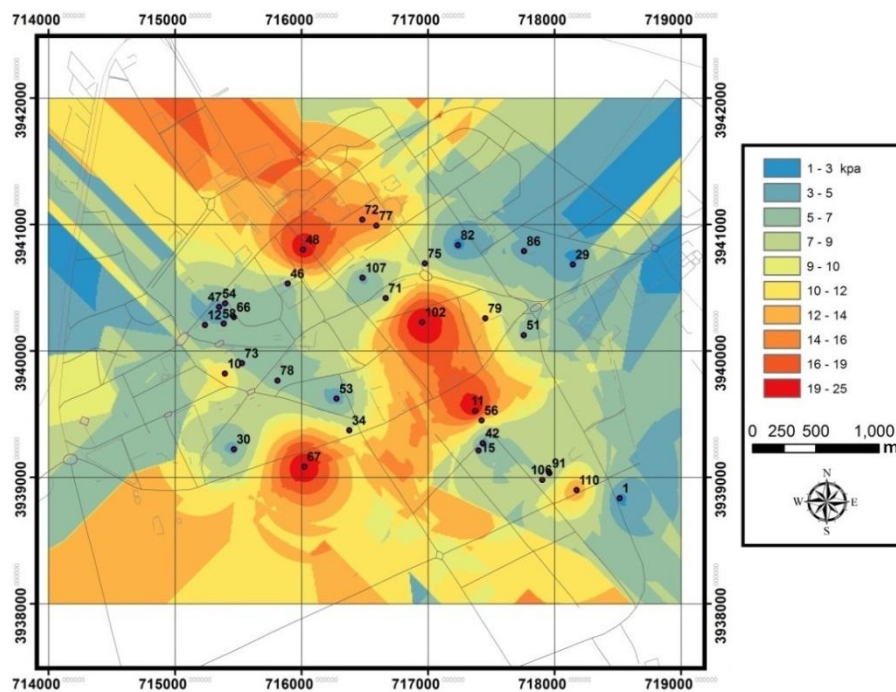


شکل ۷. تغییرات چسبندگی خاک از سطح زمین تا ژرفای ۲ متر

ارزیابی خصوصیات بسترهای خاکی برای زیرساخت‌های حمل و نقل بر اساس نتایج گمانه‌های ژئوتکنیک
(مطالعه موردی: شهر سمنان)



شکل ۸. تغییرات چسبندگی خاک در ژرفای ۲ تا ۴ متر



شکل ۹. تغییرات چسبندگی خاک در ژرفای ۴ تا ۶ متر

شده است. بیشترین مقدار دانسیته برابر $2/19 \text{ t/m}^3$ و کمترین مقدار برابر $1/56 \text{ t/m}^3$ می‌باشد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، نواحی شمال و شمال غرب از دانسیته‌ی بیشتری نسبت به نواحی جنوبی و جنوب شرقی برخوردار می‌باشند. همچنین، مقدار دانسیته از سمت شمال به سمت جنوب و جنوب شرق کاهش می‌یابد.

نتایج بررسی تغییرات دانسیته‌ی خاک در گستره‌ی شهر سمنان برای ژرفای ۲ تا ۴ متر در شکل ۱۱ ارائه شده است. داده‌های حاصل از ۷۱ گمانه برای این تحلیل استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از روش کریجینگ، میانگین مقادیر پیش‌بینی شده برابر 2 t/m^3 و انحراف معیار برابر $0/11 \text{ t/m}^3$ می‌باشد. در این بررسی، بیشترین مقدار دانسیته برابر $2/37 \text{ t/m}^3$ و کمترین مقدار برابر $1/4 \text{ t/m}^3$ به‌دست آمده است. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، نواحی شمالی از دانسیته بیشتری نسبت به نواحی مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی برخوردارند.

شکل ۱۲ چگونگی تغییرات دانسیته در ژرفای ۴ تا ۶ متر را نشان می‌دهد. جهت پهنه‌بندی از داده‌های ۴۴ گمانه حفاری شده در گستره‌ی شهر سمنان استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از روش کریجینگ (شکل ۱۲)، میانگین مقادیر پیش‌بینی شده برابر 2 t/m^3 و انحراف معیار برابر $0/05 \text{ t/m}^3$ می‌باشد. بیشترین مقدار دانسیته برابر $2/32 \text{ t/m}^3$ و کمترین مقدار برابر $1/83 \text{ t/m}^3$ می‌باشد. با توجه به شکل ۱۲، زون شمالی شهر سمنان از دانسیته بیشتری نسبت به نواحی مرکزی و جنوبی برخوردار است.

به‌طورکلی، نتایج پهنه‌بندی دانسیته‌ی خاک در گستره‌ی شهر سمنان حاکی از آن است که مقدار دانسیته با افزایش عمق برای کل گستره‌ی مورد مطالعه افزایش می‌یابد. پهنه‌های شمال شرقی و جنوب غربی از دانسیته بالاتری نسبت به نواحی دیگر برخوردارند. زون

برای مقدار چسبندگی مصالح در عمق ۴ تا ۶ متر، اطلاعات ۳۳ گمانه موجود می‌باشد. بیشترین مقدار چسبندگی در این بازه برابر 30 kPa و کمترین مقدار برابر صفر می‌باشد. برخی گمانه‌ها در مجاورت یکدیگر قرار دارند که مقادیر چسبندگی بسیار متفاوتی نسبت به هم دارند، مانند گمانه‌های ۱ و ۱۰۱ (شکل ۹)، یا گمانه‌های ۱۱، ۵۶ و ۴۲ (شکل ۹)، که بایستی در مجاورت آنها تحقیقات تکمیلی صورت پذیرد و ناپوستگی‌ها تفسیر گردد. شکل ۹ نتایج ارزیابی چسبندگی به روش درون‌یابی آماری برای عمق ۴ تا ۶ متر را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار فراوانی و نتایج حاصل از روش کریجینگ، بیشترین فراوانی متعلق به بازه‌ی 7 kPa تا 9 kPa می‌باشد. مقدار میانگین چسبندگی برای کل پهنه‌ی سمنان در عمق ۴ تا ۶ متر برابر $9/6 \text{ kPa}$ و انحراف معیار برابر ۴ به‌دست آمده است. حداکثر میزان چسبندگی برابر 25 kPa و کمترین میزان برابر $1/6 \text{ kPa}$ به‌دست آمده است.

نتایج برآورد چسبندگی نشانگر آن است که روند تغییرات چسبندگی در گستره شهر سمنان با افزایش عمق تقریباً ثابت می‌باشد. نواحی شرقی و غربی از چسبندگی کمتری نسبت به نواحی شمالی و جنوبی برخوردارند. در نواحی مرکزی هر دو طیف مقادیر زیاد و مقادیر کم برای چسبندگی در مجاورت یکدیگر مشاهده می‌شود که نتیجه‌گیری برای این منطقه را مشکل می‌سازد. توصیه می‌شود برای برآورد میزان چسبندگی در نواحی مرکزی شهر از آزمایش‌های مربوطه استفاده گردد.

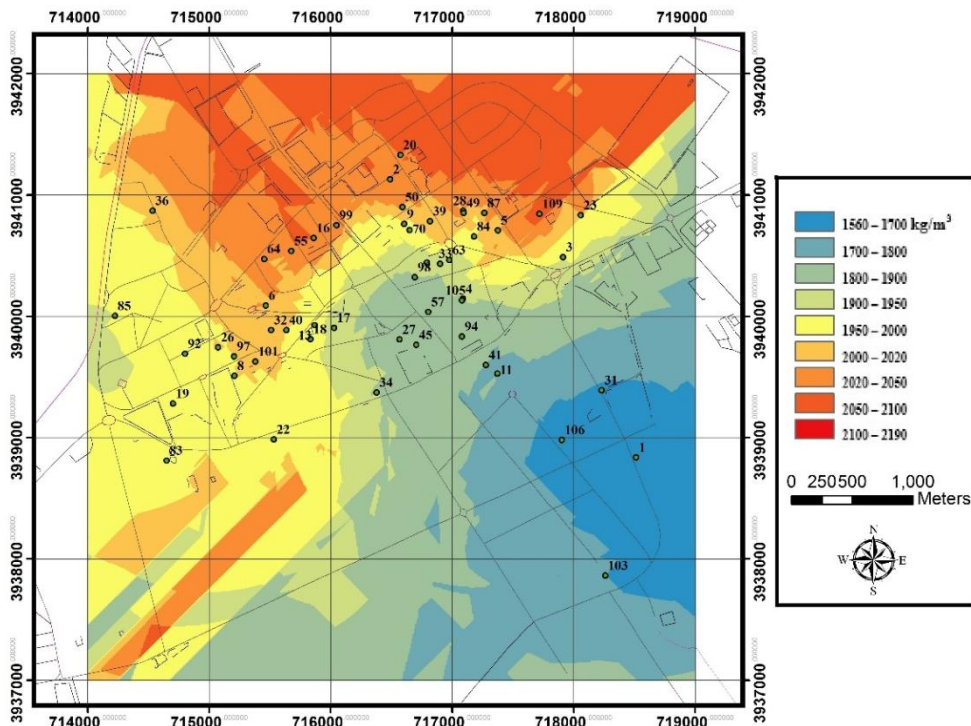
۵-۴. ارزیابی دانسیته خاک

شکل ۱۰ نقشه تغییرات دانسیته در عمق از سطح زمین تا ۲ متر را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از روش کریجینگ، میانگین مقادیر پیش‌بینی شده برابر $1/91 \text{ t/m}^3$ و انحراف معیار برابر $0/12 \text{ t/m}^3$ حاصل

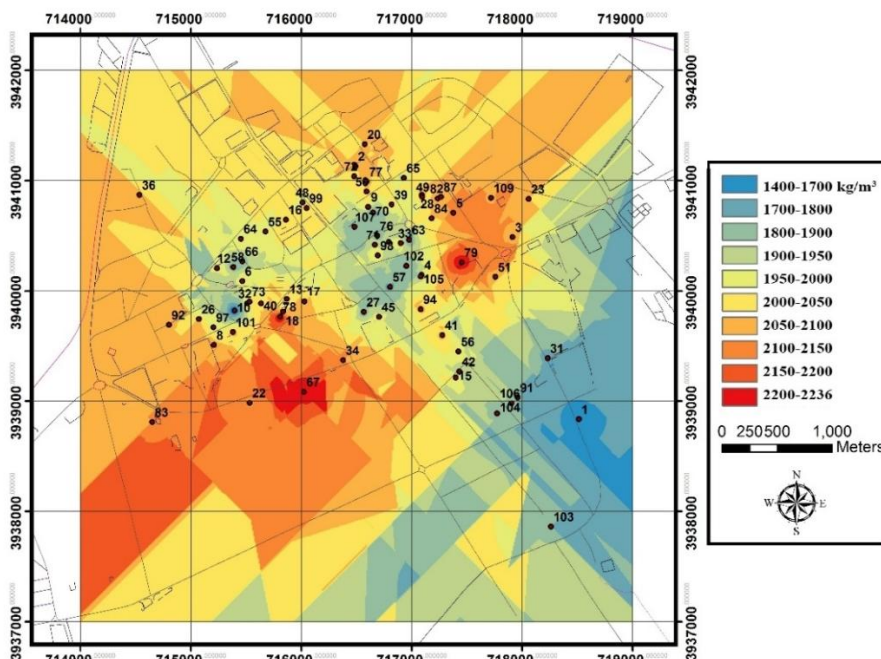
ارزیابی خصوصیات بسترهای خاکی برای زیرساخت‌های حمل و نقل بر اساس نتایج گمانه‌های ژئوتکنیک
(مطالعه موردی: شهر سمنان)

دانشیه بیشتر پهنا شمال شرقی سمنان، به نظر می‌رسد که گسترش شهر به سمت نواحی شمال شرقی مناسب‌تر باشد.

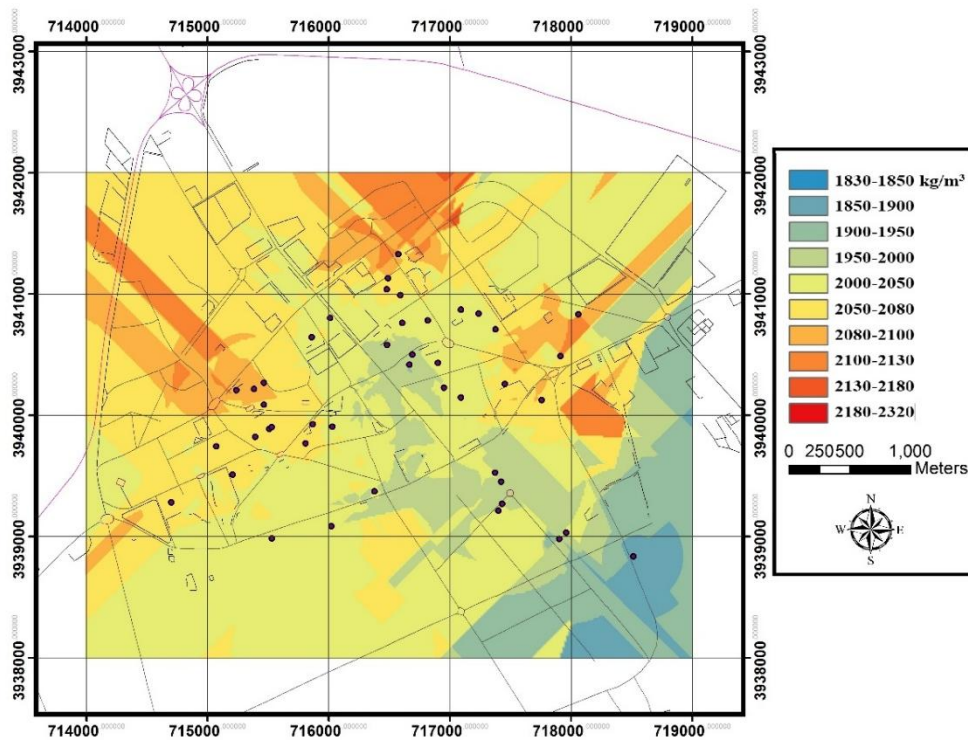
شمال غربی - مرکز - جنوب شرقی به علت واقع شدن در مسیر رودخانه فصلی و رسوب‌گذاری، نسبت به دیگر نواحی از دانشیه کمتری برخوردار است. به دلیل



شکل ۱۰. تغییرات دانشیه خاک در ژرفای ۰ تا ۲ متر



شکل ۱۱. تغییرات دانشیه خاک در ژرفای ۲ تا ۴ متر



شکل ۱۲. تغییرات دانسیته خاک در ژرفای ۴ تا ۶ متر

۵-۵. ارزیابی درصد رطوبت خاک

اطلاعات ۶۰ گمانه ژئوتکنیک برای پیش‌بینی درصد رطوبت مصالح از سطح تا عمق ۲ متری موجود می‌باشد. بیشترین مقدار رطوبت مربوط به گمانه‌ی ۱۰۳ و برابر ۱۷٪ می‌باشد. این گمانه جنوبی‌ترین گمانه‌ای است که اطلاعات آن در اختیار است (شکل ۱۳). کمترین درصد رطوبت نیز مربوط به گمانه‌ی شماره ۱۸ با رطوبت ۱/۵ درصد می‌باشد. نتایج عملیات آماری روی داده‌های گمانه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی داده‌ها به مقدار ۲/۸ درصد تعلق دارد.

برای عمق صفر تا ۲ متر، ضریب تغییرات پارامتر درصد رطوبت برابر ۷۱٪ به دست آمده است که مقدار بالایی است و نشانگر پراکندگی داده‌ها می‌باشد. بر اساس نمودار هیستوگرام مقادیر پیش‌بینی شده بر اساس روش درون‌یابی کریجینگ، بیشترین فراوانی متعلق به پهنه‌ی ۲/۵ الی ۳/۵ درصد می‌باشد. روند تغییرات

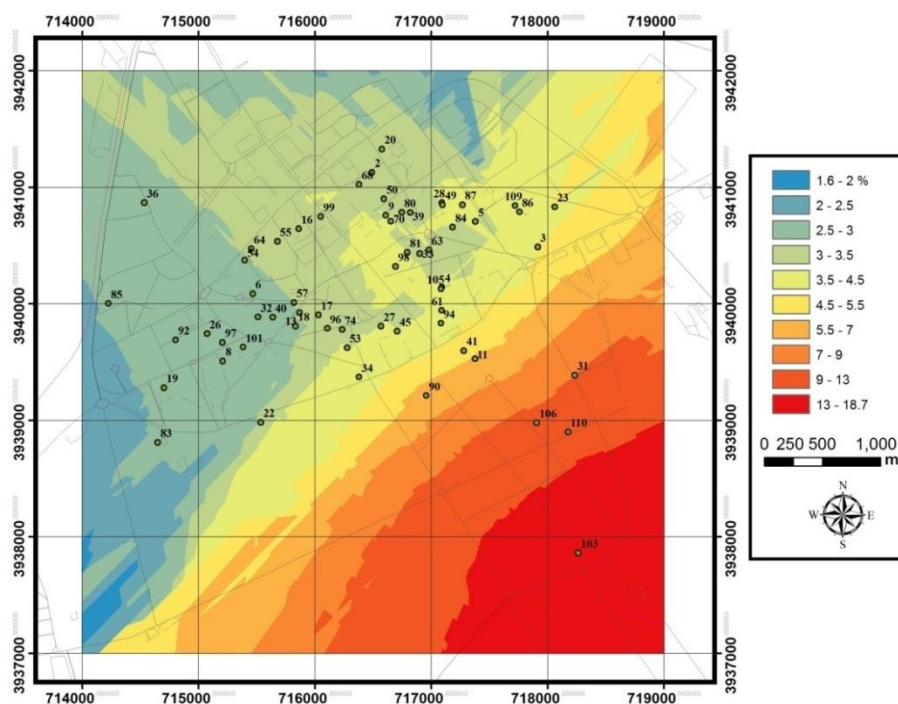
درصد رطوبت، شمال غربی-جنوب شرقی است. نواحی غربی و شمال غربی دارای کمترین میزان رطوبت و نواحی جنوب شرقی دارای بیشترین میزان رطوبت می‌باشند (شکل ۱۳).

اطلاعات ۸۲ گمانه ژئوتکنیک برای پیش‌بینی درصد رطوبت مصالح از عمق ۲ تا ۴ متری، موجود می‌باشد. بیشترین مقدار رطوبت مربوط به گمانه‌ی ۹۱ برابر ۱۷/۱ درصد و کمترین درصد رطوبت نیز مربوط به گمانه‌ی شماره ۷۶ با رطوبت ۱/۴ درصد می‌باشد. میانگین مقادیر سلول‌های پیش‌بینی شده برابر ۵٪ و انحراف معیار حاصل از مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده برابر ۲/۸ درصد به دست آمده است. با توجه به نقشه درون‌یابی به روش کریجینگ، درصد رطوبت از غرب شهر به سمت جنوب شرقی افزایش می‌یابد (شکل ۱۴). نواحی غربی و شمال غربی دارای کمترین میزان رطوبت و نواحی جنوب شرقی دارای بیشترین میزان

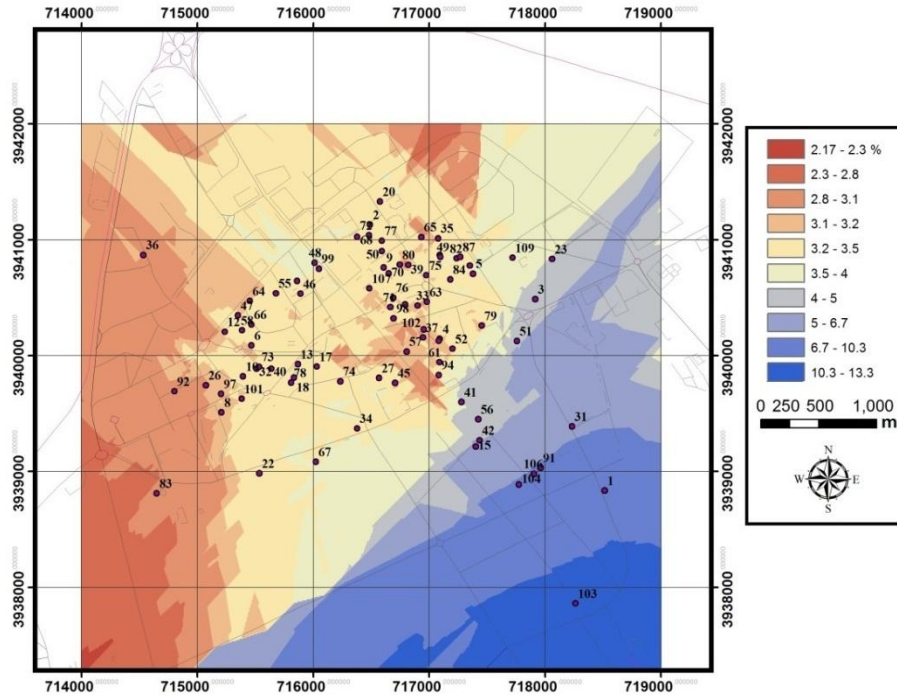
ارزیابی خصوصیات بسترهای خاکی برای زیرساخت‌های حمل و نقل بر اساس نتایج گمانه‌های ژئوتکنیک
(مطالعه موردی: شهر سمنان)

مرکزی شهر بیشتر مناطق در پهنه‌ی ۳/۳ تا ۴ درصد قرار دارند. از مرکز به سمت غرب و شمال غرب میزان درصد رطوبت کاهش می‌یابد. قابل ذکر است که در منطقه‌ای واقع در مرکز شهر که داده‌های سه گمانه‌ی ۷۱، ۷۶ و ۱۰۷ قرار دارند، پهنه‌ای قرار دارد که نسبت به نواحی اطراف خود از درصد رطوبت بالاتری برخوردار است که این خود نیازمند بررسی‌های میدانی بیشتر می‌باشد.

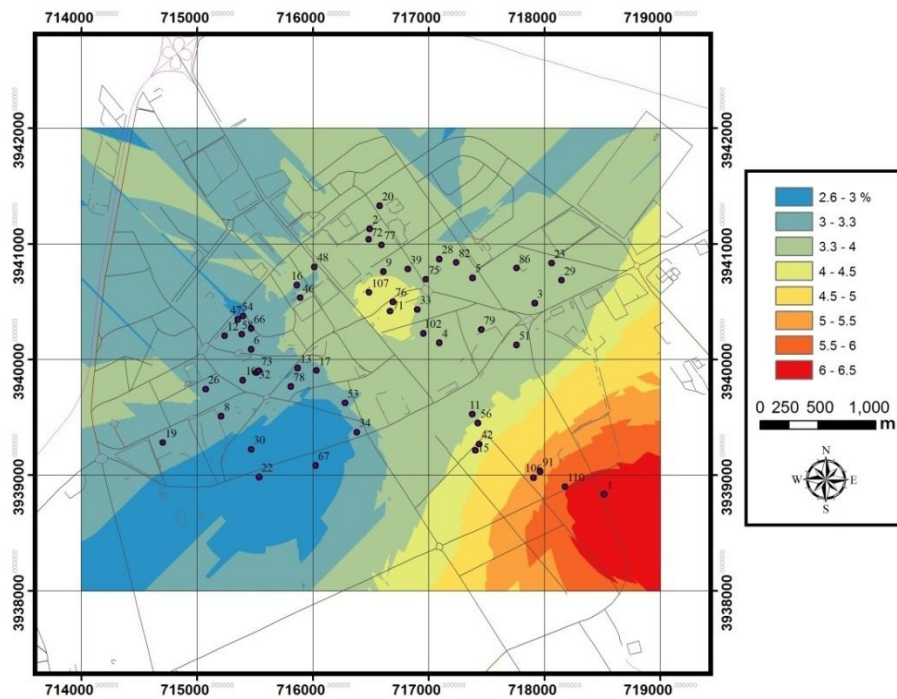
رطوبت می‌باشند. اطلاعات ۵۳ گمانه ژئوتکنیک برای پیش‌بینی درصد رطوبت مصالح از عمق ۴ تا ۶ متری، موجود می‌باشد. بر اساس روند تغییرات درصد رطوبت در ژرفای ۴ تا ۶ متر، نواحی جنوب غربی گستره‌ی مورد مطالعه کمترین مقدار درصد رطوبت را دارا می‌باشند (شکل ۱۵). بیشترین درصد رطوبت نیز مربوط به نواحی جنوب شرقی و حداکثر برابر ۶/۵ درصد می‌باشد. در نواحی



شکل ۱۳. تغییرات درصد رطوبت خاک از سطح تا ژرفای ۲ متر



شکل ۱۴. تغییرات درصد رطوبت خاک در ژرفای ۲ تا ۴ متر



شکل ۱۵. تغییرات درصد رطوبت خاک در ژرفای ۴ تا ۶ متر

مصالح ریزدانه می‌باشد تعلق دارد. با افزایش اندازه‌ی دانه‌های خاک در نواحی مرکزی و شمالی میزان درصد رطوبت کاهش می‌یابد.

پهنه‌بندی برای درصد رطوبت در اعماق سطح زمین تا ۲، ۲ تا ۴ و ۴ تا ۶ متری بیانگر آن است که روند کلی تغییرات درصد رطوبت به گونه‌ای است که بیشترین درصد رطوبت به نواحی جنوب شرقی که نوع

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور ایجاد بانک اطلاعات ژئوتکنیک، تعیین ویژگی‌های ساختگاه و ارزیابی مهم‌ترین پارامترهای ژئوتکنیک شهر سمنان، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات وسیع ژئوتکنیک از گمانه‌های حفاری شده در سطح شهر گردید. پس از تجزیه و تحلیل نتایج گردآوری شده از مهمترین پارامترهای ژئوتکنیک شامل زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، دانسیته و درصد رطوبت خاک، با استفاده از به‌روزترین سامانه اطلاعات جغرافیایی، به ارزیابی خصوصیات خاک در گستره‌ی شهر سمنان پرداخته شد. ارزیابی پارامترهای خاک در سه عمق صفر تا ۲، ۲ تا ۴، و ۴ تا ۶ متر و به روش کریجینگ انجام گرفت.

نتایج حاصل از ارزیابی زاویه اصطکاک خاک (Φ) نشان می‌دهد که میانگین مقادیر در سه عمق مورد بررسی بین ۳۴ تا ۳۵ درجه می‌باشد. در عمق از سطح زمین تا ۲ متر، زاویه اصطکاک بیشتر از اعماق زیرین می‌باشد. در هر سه عمق مورد بررسی، نواحی جنوب شرقی شهر دارای کمترین مقادیر Φ هستند. در این مناطق، با افزایش عمق مقدار Φ تا ۲۴ درجه افزایش یافته، اما در مقایسه با دیگر مناطق شهر که نوع مصالح درشت‌دانه می‌باشد از مقادیر Φ کمتری برخوردار است. در نواحی شمال غربی، با افزایش عمق، Φ افزایش و در مناطق جنوب غربی با افزایش عمق میزان Φ کاهش می‌یابد. نتایج پهنه‌بندی دانسیته‌ی خاک در گستره‌ی شهر سمنان حاکی از آن است که در کل گستره‌ی مورد مطالعه، مقدار دانسیته با افزایش عمق افزایش می‌یابد. پهنه‌ی شمال شرقی از دانسیته‌ی بالاتری نسبت به نواحی دیگر برخوردار است. از این رو به نظر می‌رسد که گسترش شهر به سمت نواحی شمال شرقی مناسب‌تر باشد. نتایج برآورد چسبندگی نشان می‌دهد که روند تغییرات چسبندگی در گستره شهر سمنان با افزایش عمق تقریباً ثابت می‌باشد. نواحی شرقی و غربی از

چسبندگی کمتری نسبت به نواحی شمالی و جنوبی برخوردارند. در نواحی مرکزی هر دو طیف مقادیر کم و زیاد برای چسبندگی در مجاورت یکدیگر مشاهده می‌شود که نتیجه‌گیری برای این منطقه را مشکل می‌سازد. توصیه می‌شود برای برآورد میزان چسبندگی در نواحی مرکزی شهر از آزمایش‌های مربوطه استفاده گردد.

به دلیل وجود مصالح درشت‌دانه و شرایط آب و هوایی گرم و خشک منطقه سمنان، درصد رطوبت خاک مقادیر کمی دارد. مناطق غربی دارای کمترین درصد رطوبت بوده و در پهنه‌ی ۱/۲ تا ۳/۵ درصد قرار دارند. نواحی مرکزی نیز عموماً از درصد رطوبت کمتر از ۴٪ برخوردارند. بیشترین درصد رطوبت نیز مربوط به گمانه‌ی ۱۰۳ با رطوبت ۱۷/۲ درصد می‌باشد. قابل ذکر است که در محل گمانه‌های شماره‌ی ۷۱، ۷۲، ۷۶ و ۸۶ میزان درصد رطوبت از ۶ تا ۱۰ درصد افزایش یافته که در ناهمخوانی کامل با گمانه‌های اطراف خود می‌باشند. بدین جهت بایستی مطالعات میدانی دقیق‌تری در منطقه مورد نظر انجام گیرد و نتایج مطالعات جهت تکمیل پژوهش کنونی به‌کار گرفته شود. قابل ذکر است که سطح آب زیرزمینی در هیچ‌یک از گمانه‌های ژئوتکنیک گزارش نشده است. این امر حاکی از آن است که سطح آب زیرزمینی در لایه‌های عمیق‌تر زمین قرار دارد.

شهر سمنان به دو بخش قدیمی و جدید تقسیم‌بندی شده است. در قسمت‌های شمالی شهر، به علت ساخت و سازهای فراوان و به دنبال آن مطالعات ژئوتکنیک بسیار، دیدی روشن نسبت به شرایط خاک زیرسطحی به محققین داده است. در نواحی جنوبی که نسبت به نواحی شمالی از لحاظ ژئوتکنیک از شرایط نامناسب‌تری برخوردار است، با توجه به بافت قدیمی، مطالعات بسیار کمتری صورت گرفته که بایستی نسبت به انجام مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک در این نواحی اقدام گردد. نواحی شمالی و شمال شرقی

۷. سیاست گذاری

بدینوسیله از همکاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در گردآوری نتایج مطالعات ژئوتکنیک شهر سمنان تشکر و قدردانی می‌شود.

نسبت به دیگر مناطق از شرایط مناسب‌تری برای توسعه شهری برخوردارند. از این رو لازم است تا در برنامه-ریزی‌های شهری و همچنین توسعه‌ی زیرساخت‌ها، شرایط ژئوتکنیک نواحی مختلف شهر نیز به عنوان یکی از فاکتورهای اساسی لحاظ گردد.

۸. مراجع

- فرجی سبکبار، ح. و عزیز، ق. ۱۳۸۵. "ارزیابی میزان دقت روش‌های درونیابی فضایی، مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه مشهد". پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸: ۱-۱۵.
- محمدی مطلق، ر. ۱۳۹۱. "آموزش کاربردی ArcGIS 10"، انتشارات پرستو.
- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ۱۳۹۲. "مطالعات ژئوتکنیک".
- Al-Ani, H., Oh, E., Chai, G. and Nader, B. 2014. "GIS-interpolated geotechnical zonation maps in Surferr Paradise, Australia". The 6th International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, Barcelona, Spain.
- Anderson, S. 2002. "An evaluation of spatial interpolation methods on air temperature in Phoenix, AZ". Department of Geography, Arizona State University.
- Davis, J. C. and Sampson, R. J. 1986. "Statistics and Data Analysis in Geology". Wiley, New York.
- Elkholy, M. A., El Fakharany, M. A. and Youssef, S. 2005. "The development of a geotechnical zonation map of the Nile Delta". The 5th International Conference on Geotechnical Engineering, Cairo University, Egypt.
- ESRI. "ArcGIS 10.2 Software". 1985-2013.
- Kockar, M. K. and Akgun, H. 2008. "Development of a geotechnical and geophysical database for seismic zonation of the Ankara Basin, Turkey". Environ. Geol., 55(1): 165-176.
- LeBrun, B., Duval, A. M., Bard, P. Y., Monge, O., Bour, M., Vidal, S. and Fabriol, H. 2004. "Seismic microzonation: A comparison between geotechnical and seismological approaches in Pointe-a-Pitre (French West Indies)". Bull. Earthq. Eng., 2(1): 27-50.
- Oliver, M. A. and Webster, R. 1990. "Kriging: A method of interpolation for geographical information system". Int. J. Geog. Inf. Sys., 4(3): 313-332.
- Orhan, A. and Tosun, H. 2010. "Visualization of geotechnical data by means of geographic information system: A case study in Eskisehir city (NW Turkey)". Environ. Earth Sci., 61(3): 455-465.
- Pavlovic, N. 2006. "Geotechnical zonation-principles, criteria and procedure". Tunn. Undergr. Sp. Tech., 21(3): 228.
- Solberg, I. L., Hansen, L., Ronning, J. S., Haugen, E. D., Dalsegg, E. and Tonnesen, J. F. 2012. "Combined geophysical and geotechnical approach to ground investigations and hazard zonation of a quick clay area, mid Norway". Bull. Eng. Geol. Environ., 71(1): 119-133.
- TC4-ISSMGE. 1999. "Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard". The Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering (TC4), International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) 209.

