



# سجش از دور & GIS ایران



سجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲  
Vol.15, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

۳۱-۴۰

مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی پارامترهای مقاومت برشی خاک (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)

حسن شرفی<sup>۱\*</sup> و رضا فرجی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

۲. دانشجوی دکتری مهندسی ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

### چکیده

به منظور شناخت ساختگاه، به دست آوردن پارامترهای مقاومتی خاک کاری ضروری و درعین حال هزینه‌بر و زمان‌گیر است. در این پژوهش، با استفاده از ۱۳۵ گمانه ژئوتکنیکی حفر شده در شهر کرمانشاه، پهنه‌بندی پارامترهای مقاومت برشی خاک (زاویه اصطکاک و چسبندگی) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و روش درون‌یابی کریجینگ معمولی (با شبه‌واریوگرام‌های کروی، نمایی و گوسی)، تا عمق ۰ تا ۱ متر در بازه‌های سه‌متری انجام شده و با استفاده از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، بهترین مدل برای پیش‌بینی مشخصه‌ها انتخاب شده است. براساس شاخص‌های ارزیابی خطا، بهترین واریوگرام‌ها برای پهنه‌بندی زاویه اصطکاک و چسبندگی در عمق ۰ تا ۳ متر گوسی، ۳ تا ۶ متر نمایی و ۶ تا ۹ متر به ترتیب گوسی و کروی است. مطابق نتایج به دست آمده، اغلب با افزایش عمق، زاویه اصطکاک و چسبندگی افزایش یافته است و بخش‌های شمالی و جنوب‌غرب کرمانشاه، در قیاس با دیگر مناطق، دارای خاکی با زاویه اصطکاک بیشتر و چسبندگی کمتر (درشت‌دانه) هستند و بخش‌های شمال‌غرب این شهر خاک‌های رسی و آبرفتی دارند؛ با توجه به گذر رودخانه قره‌سو از این ناحیه و قرارگیری مناطق شمالی و جنوبی کرمانشاه در کوهپایه، نتایج تصدیق می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** کریجینگ، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، زاویه اصطکاک، چسبندگی، شهر کرمانشاه.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: کرمانشاه، تاق‌بستان، خیابان دانشگاه، دانشگاه رازی، دانشکده فنی و مهندسی، کدپستی: ۶۷۱۴۴۱۴۹۷۱

Email: h\_sharafi@razi.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0002-0304-5365>

<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2022.102887>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

۱- مقدمه

نسبی نقاط در چهار گروه با شدت‌های نسبی متفاوت، در مورد حرکات افقی و قائم، پهنه‌بندی شده‌اند.

حافظی مقدس و قزی<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) نقشه پهنه‌بندی ژئوتکنیکی شهر مشهد را با تأکید بر ظرفیت باربری مجاز پی، براساس اطلاعات ۲۰۰ گمانه، تهیه کردند. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی ظرفیت باربری پی در شهر مشهد، به‌استثنای بخش مرکزی شهر، بالاست. کرباسی راوری (۱۳۸۹)، با توجه به نتایج آزمایش عدد نفوذ استاندارد، طرح پایه پهنه‌بندی ژئوتکنیکی برای شهر اراک را تا عمق هشت‌متری تهیه کرده است. در این تحقیق، اطلاعات در مورد طبقه‌بندی خاک و عدد نفوذ استاندارد از ۳۱ گمانه حفر شده استخراج شده است.

کلات<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، به‌منظور ارزیابی بستر منطقه مسکونی در حال رشد در ترکیه، یک مدل ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیکی ایجاد کردند. طبقه‌بندی خاک، بزرگ‌نمایی خاک، پرپود غالب طبیعی خاک و پدیده‌های تشدید و پتانسیل روان‌گرایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از گمانه‌ها و اندازه‌گیری میکروترمور ارزیابی شده است. فراشی و اجل‌لوئیان<sup>۵</sup> (۲۰۱۲)، برای شناخت منطقه شرق اصفهان، پارامترهای ژئوتکنیکی را پهنه‌بندی کردند. نقشه‌های زاویه اصطکاک، چسبندگی، درصد رطوبت و طبقه‌بندی خاک در این پژوهش ارائه شده و نتایج نشان می‌دهند، با افزایش عمق، رسوبات درشت‌دانه می‌شوند. احمد<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، منطقه پیشاور (پاکستان) را ارزیابی و پهنه‌بندی ژئوتکنیکی کردند. هدف از این پژوهش دسترسی به اطلاعات طبقه‌بندی خاک، مقاومت برشی و ظرفیت باربری در مورد این منطقه بوده است.

خاک ماده‌ای حیاتی در مهندسی عمران است زیرا اغلب سازه‌ها روی زمین ساخته می‌شوند (Das & Sobhan, 2013). برای بررسی پایداری شیب‌ها و خاک‌ریزها، ظرفیت باربری پی و فشار وارد به سازه‌های حائل، مقدار مقاومت برشی خاک مورد نیاز است (Vanapalli et al., 1996). معمولاً مقاومت برشی خاک با تعیین تنش مؤثر و پارامترهای خاک، مانند زاویه اصطکاک ( $\phi$ ) و چسبندگی (c) محاسبه می‌شود (Das & Sobhan, 2013; Kaya, 2009). این پارامترهای خاک را می‌توان در آزمایشگاه با آزمایش برش مستقیم و آزمایش سه‌محوری تعیین کرد (Hettiarachchi & Brown, 2009; Motaghedi & Eslami, 2014). این آزمایش‌ها زمان‌برند و انجام‌دادن آنها روی نمونه‌ها هزینه‌های زیادی دربردارد (Pham et al., 2020).

بسیاری از محققان برآنند در زمینه‌های متعدد مهندسی، به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه، راهکارهای جایگزین پیشنهاد کنند؛ مانند نقشه‌های پهنه‌بندی (Mathew et al., 2009; Deligiannakis et al., 2018; Giardini et al., 2018; Drouet et al., 2020; Gaytan et al., 2020; Kajihara et al., 2020; Jalil et al., 2020) و روابط همبستگی (Ly et al., 2020; Abedini et al., 2019; Pham et al., 2020; Moayedi et al., 2020). جعفری<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳) نقشه‌های هم‌سرعت و هم‌عمق امواج برشی را به‌منزله یکی از عوامل تأثیرگذار در مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، تهیه کردند. همچنین نظر به اهمیت شناسایی و تعیین عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای در تحلیل دینامیکی آبرفت، نقشه توزیع عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای برای آبرفت‌های گسترده تهران ارائه شده است. شرفی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، با توجه به اهمیت نقش ساختگاه در زمین‌لرزه‌ها، با استفاده از اندازه‌گیری مایکروترمورها اقدام به ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر کرمانشاه کرده‌اند. محققان با تحلیل داده‌ها، پرپود غالب و همچنین ضرایب تشدید نسبی را در مورد حرکات افقی و قائم به‌دست آورده‌اند. ضرایب تشدید

1. Jafari
2. Sharafi
3. Hafezi Moghadas & Ghezi
4. Kolat
5. Farashi & Ajalloeian
6. Ahmad

سطحی و HVSR انجام شده با ارتعاش‌های محیط) و داده‌های گردآمده از گزارش‌های ژئوفیزیکی مستقل نیز، برای بررسی و صحت‌سنجی طبقه‌بندی براساس عدد نفوذ، به کار رفته است. مطالعات مشابهی در سراسر دنیا و ایران انجام شده است که از این میان می‌توان به تبریز (Ghalandarzadeh, Haeri & Bonab, 2000)، شیراز (Kamalian et al., 2008)، مشهد (Hashemi Tabatabaei et al., 2008)، قم (Akbari et al., 2011)، بم (al., 2013) و کنگاور (Ashayeri et al., 2018) اشاره کرد. در این پژوهش، به منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه برای شناخت خاک شهر کرمانشاه، پارامترهای مقاومتی خاک (زاویه اصطکاک و چسبندگی) در بازه‌های سه‌متری تا عمق نه‌متری پهنه‌بندی شده است. این کار با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی شده و اطلاعات درباره عدد نفوذ استاندارد ارائه شده است.

## ۲- روش تحقیق

اطلاعات ژئوتکنیکی گمانه‌های حفاری شده از سازمان نظام مهندسی ساختمان استان کرمانشاه، شرکت‌های مهندسان مشاور و آزمایشگاه‌های مکانیک خاک جمع‌آوری شده است. در مجموع، گزارش ۱۳۵ گمانه مورد استفاده قرار گرفته که در شکل ۱، جانمایی گمانه‌ها نشان داده شده و اعداد نمایش داده شده براساس سامانه مختصات جهانی مرکاتور معکوس (UTM) هستند. به منظور همسان‌سازی نتایج، اطلاعات پارامترهای مقاومت برشی شرایط تحکیم‌یافته - زهکشی شده حاصل از آزمایش برش مستقیم (ASTM D3080, 1998)، در بازه‌های سه‌متری، مرتب شده و برای اعماق در بازه‌های گوناگون، در ۲۱۹ دسته‌داده، بررسی شده‌اند.

1. Mirnezhad
2. Asakere & Mosafa
3. Aslani
4. Kaur
5. Gangtok
6. Oliveira

علاءالدین و همکاران (۱۳۹۴) آبرفت‌های باختر تهران را بررسی ژئوتکنیکی و پهنه‌بندی لرزه‌ای کردند. منطقه مورد مطالعه، از نظر تشدید دامنه امواج زمین‌لرزه، به سه زون بدون تشدید، با شدت کم و با شدت بیشتر تقسیم شده است.

میرنژاد<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۶) پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، وزن مخصوص و درصد رطوبت را پهنه‌بندی کردند. براساس نتایج این پژوهش، نواحی شمالی و شمال شرق در قیاس با دیگر مناطق، از شرایط بهتری برای توسعه شهری برخوردارند. عساکره و مصفا<sup>۲</sup> (۲۰۲۰)، با جمع‌آوری اطلاعات ژئوتکنیکی حاصل از ۲۴۱ گمانه حفاری شده تا عمق پانزده‌متری، پارامترهای ژئوتکنیکی (عدد نفوذ استاندارد، زاویه اصطکاک داخلی، درصد رطوبت و دیگر موارد) را در شهر بندرعباس پهنه‌بندی کردند.

اصلانی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) نقشه حساسیت رانش زمین را برای بخشی از استان مازندران تهیه کردند. در این تحقیق برای پهنه‌بندی، به منظور کاهش خطا، از تلفیق سیستم اطلاعات مکانی و سیستم استنتاج قاعده مبنای فازی استفاده شده است. کاتور<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۸) نقشه حساسیت رانش زمین شهر گنگتاک<sup>۵</sup> هند را با در نظر گرفتن دوازده فاکتور فعال کننده، تهیه کرده‌اند. پژوهشگران چندی مطالعات مشابهی را با نام‌های گوناگون، مانند پهنه‌بندی حساسیت رانش زمین، نقشه حساسیت رانش زمین، پهنه‌بندی خطر رانش زمین، برای پیش‌بینی رانش زمین انجام داده‌اند (Guzzetti et al., 2005; Kanungo et al., 2006; Lee & Pradhan, 2007; Dahal et al., 2008; Gupta et al. 2008).

الیویرا<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۰) لیسبون را از لحاظ لرزه‌ای، پهنه‌بندی کرده‌اند. در این مطالعه، طبقه‌بندی خاک‌ها براساس Eurocode 8 (A, B, C, D, E) و با استفاده از پارامتر  $V_{S30}$  انجام شده است. با توجه به تعداد بسیار اندک رکوردهای ژئوفیزیکی در پایگاه داده ژئوتکنیک، اغلب از تعداد ضربات SPT استفاده شده است. آزمایشات میدانی (پروفیل‌های لرزه‌ای امواج

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i)^2}$$

رابطه (۱)

▪ میانگین قدرمطلق خطا (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|$$

رابطه (۲)

در معادلات بالا،  $e_i = y_i - \hat{y}_i$  مقدار اندازه‌گیری شده (آزمایشگاهی) پارامتر مورد نظر،  $\hat{y}_i$  مقدار پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد داده‌هاست. کم‌بودن مقدار این پارامترها بیانگر دقت مورد قبول روش و برتری آن بر روش دیگر است.

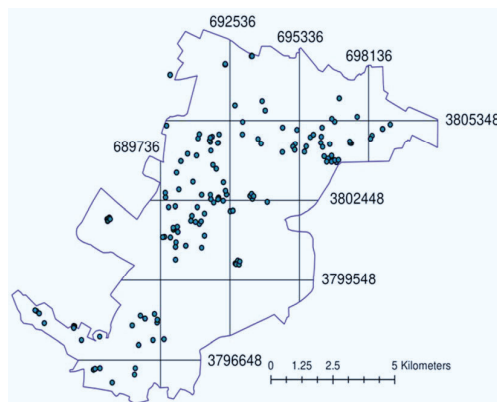
### ۳- تحلیل داده‌ها و تفسیر نتایج

نتایج حاصل از آزمایش‌ها روی گمانه‌های حفر شده در پهنه شهر کرمانشاه، به‌منظور برآورد پارامتر زاویه اصطکاک و چسبندگی در مورد اعماق ۰ تا ۳ متر، ۳ تا ۶ متر و ۶ تا ۹ متر، بررسی و تحلیل شدند. داده‌های متعلق به هر عمق از اطلاعات لوگ گمانه‌ها استخراج شد و نتایج هر عمق جداگانه، در نرم‌افزار ArcGIS بارگذاری شد. در نهایت، با استفاده از روش کریجینگ با شبه‌واریوگرام‌های متفاوت، پارامترهای مقاومتی درون‌یابی شد و پس از مقایسه، بهترین نتیجه به‌صورت نقشه در دسترس قرار گرفت.

#### ۳-۱- زاویه اصطکاک

با بررسی زاویه اصطکاک میان مقدارهای پیش‌بینی شده و واقعی در نقاط آزمون، مقدار خطا برای هر شبه‌واریوگرام در جدول‌های ۱ تا ۳ آورده شده است. نقشه‌های پهنه‌بندی برای اعماق ۰ تا ۹ متر نیز، در بازه‌های سه‌متری، به‌ترتیب در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج مدل‌ها (زاویه اصطکاک عمق ۰ تا ۳ متر)



شکل ۱. جانمایی گمانه‌های موجود در شهر کرمانشاه

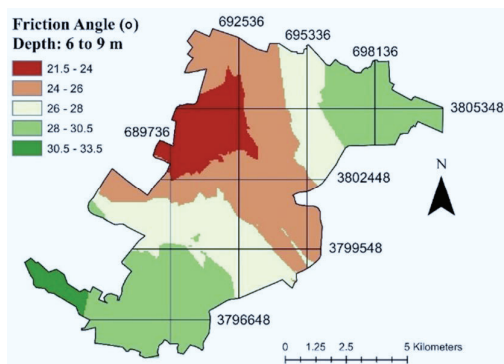
از روش‌های معروف مورد استفاده محققان به‌منظور ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی، سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS است (Ashournejad et al., 2019; Saroglou, 2019; Baharvand et al., 2020; Chen et al., 2021). که می‌توان از آن در دسته‌بندی داده‌ها، تجزیه و تحلیل آنها و تهیه نقشه‌ها بهره برد. نرم‌افزارهای گوناگونی، بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی، ساخته شده‌اند که برنامه ArcGIS از موارد مشهور در این زمینه شمرده می‌شود. در تحقیق حاضر، از آخرین نسخه این نرم‌افزار، یعنی ArcGIS 10.5 استفاده شده است.

در این پژوهش، روش درون‌یابی کریجینگ معمولی (با شبه‌واریوگرام‌های کروی، نمایی و گوسی) انتخاب شد. با بهره‌گیری از این روش، داده‌های موجود در شهر کرمانشاه با نسبت ۷ به ۳، به‌ترتیب برای ایجاد ارزیابی خطا مدل، درون‌یابی شد؛ این نقاط در ایجاد مدل به کار نرفته‌اند و صرفاً برای ارزیابی خطای مدل‌ها استفاده شده‌اند (داده‌های آزمون). مطابق نتایج، بهترین مدل برای پیش‌بینی مشخصه‌ها انتخاب شد.

#### ۲-۱- ارزیابی خطا

به‌منظور ارزیابی دقت روش‌ها در تخمین پارامترهای هدف براساس ورودی‌ها، به این شاخص‌ها برای بررسی نیاز داریم:

▪ جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)



شکل ۴. پهنه‌بندی زاویه اصطکاک (عمق ۶ تا ۹ متر)

شبه‌واریوگرام	RMSE	MAE
کروی	۲/۲۴	۱/۳۰
نمایی	۲/۲۷	۱/۳۴
گوسی	۲/۱۴	۱/۰۹

جدول ۲. نتایج مدل‌ها (زاویه اصطکاک عمق ۳ تا ۶ متر)

شبه‌واریوگرام	RMSE	MAE
کروی	۲/۵۷	۱/۶۱
نمایی	۲/۵۵	۱/۵۹
گوسی	۲/۸۳	۱/۸۵

جدول ۳. نتایج مدل‌ها (زاویه اصطکاک عمق ۶ تا ۹ متر)

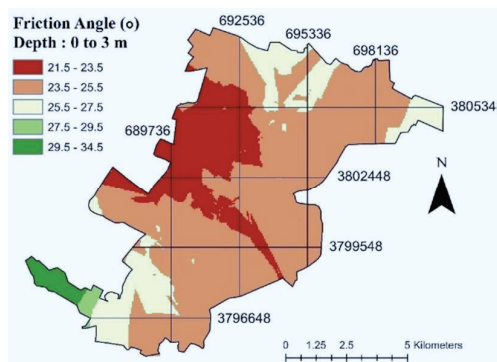
شبه‌واریوگرام	RMSE	MAE
کروی	۳/۶۸	۳/۰۸
نمایی	۳/۶۸	۳/۰۷
گوسی	۲/۸۵	۲/۵۱

### ۳-۲- چسبندگی

همانند بخش قبلی، پس از بررسی مقدار چسبندگی پیش‌بینی شده و واقعی در نقاط آزمون، نتایج درمورد هر شبه‌واریوگرام در جدول‌های ۴ تا ۶ آورده شده است. نقشه‌های پهنه‌بندی درمورد اعماق ۰ تا ۹ متر، در بازه‌های سهمتری، به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج مدل‌ها (چسبندگی عمق ۰ تا ۳ متر)

شبه‌واریوگرام	RMSE	MAE
کروی	۳/۹۸	۳/۱۰
نمایی	۴/۵۶	۳/۳۰
گوسی	۳/۹۲	۳/۰۹



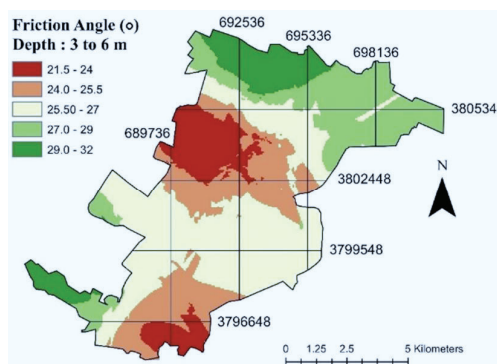
شکل ۵. پهنه‌بندی زاویه اصطکاک (عمق ۰ تا ۳ متر)

جدول ۵. نتایج مدل‌ها (چسبندگی عمق ۳ تا ۶ متر)

شبه‌واریوگرام	RMSE	MAE
کروی	۴/۲۴	۳/۶۲
نمایی	۴/۱۸	۳/۵۵
گوسی	۴/۵۰	۳/۸۹

جدول ۶. نتایج مدل‌ها (چسبندگی عمق ۶ تا ۹ متر)

شبه‌واریوگرام	RMSE	MAE
کروی	۵/۰۹	۴/۲۸
نمایی	۵/۱۱	۴/۲۸
گوسی	۵/۰۹	۴/۲۹

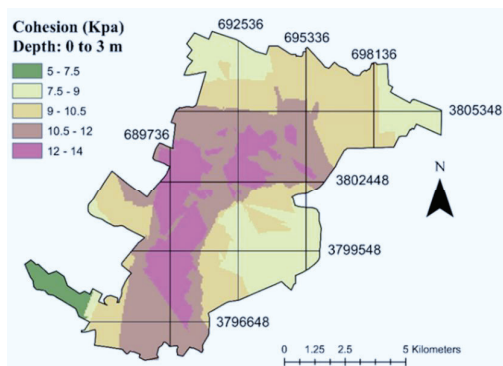


شکل ۶. پهنه‌بندی زاویه اصطکاک (عمق ۳ تا ۶ متر)

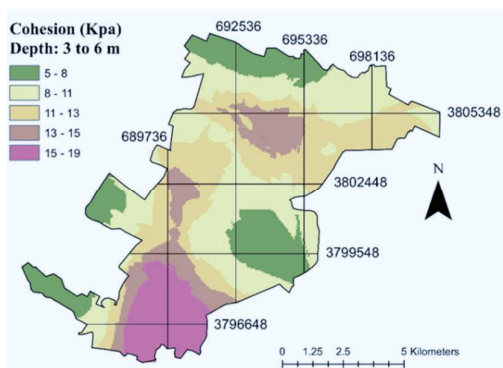
و گوسی (MAE=2.51 و RMSE=2.85) است. در مورد پهنبندی چسبندگی در اعماق ۰ تا ۳، ۳ تا ۶ و ۶ تا ۹ متر نیز، به ترتیب، گوسی (MAE=3.09 و RMSE=3.92)، نمایی (MAE=3.55 و RMSE=4.18) و کروی (MAE=4.28 و RMSE=5.09) است. خطای به دست آمده برای پیش بینی چسبندگی، در تمامی اعماق، بیشتر از زاویه اصطکاک است که دلیل آن تفاوت این پارامتر در گمانه های نزدیک به یکدیگر است. براساس اطلاعات گمانه های ژئوتکنیکی، در ۰/۵ تا ۱/۰ متر اولیه، خاک دستی است و همچنین با توجه به نقشه های پهنبندی، بیشتر خاک های تا عمق ۳ متر به ترتیب زاویه اصطکاک و چسبندگی کمتر از ۲۶ درجه و ۱۰ کیلوپاسکال دارند. با افزایش عمق، اغلب زاویه اصطکاک و چسبندگی و نیز عدد نفوذ استاندارد (شکل ۸) بیشتر شده است که می توان این نکته را در مطالعات ژئوتکنیکی در نظر گرفت.

بخش های شمالی و جنوب غرب کرمانشاه، در مقایسه با سایر مناطق، خاکی با زاویه اصطکاک نسبتاً بیشتر و چسبندگی کمتر دارند و بخش های شمال غرب به سمت شرق دارای خاک های رسی و آبرفتی اند. با توجه به گذر رودخانه قره سو از این ناحیه و قراردادن مناطق شمالی و جنوبی کرمانشاه در کوهپایه، نتایج تصدیق می شوند و باید توجه بیشتری به مناطق دارای نهشته های آبرفتی داشت.

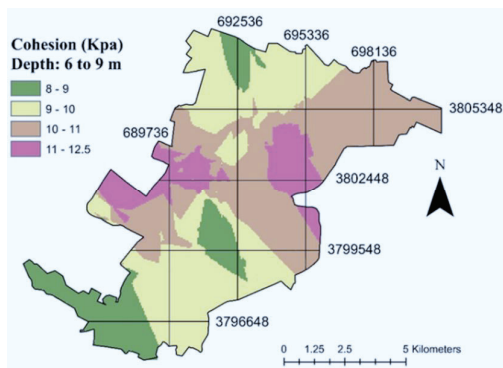
با توجه به دامنه میانگین قدرمطلق خطاها در مورد هر دو پارامتر پهنبندی شده، می توان نتیجه گرفت مدل سازی پاسخ مطلوبی در برداشته است و امکان استناد به آن وجود دارد اما باید توجه داشت در برخی مناطق، به دلیل تراکم کم جمعیت و یا مسائل اقتصادی، ساختمان های با تعداد طبقات اندک ساخته شده و گمانه ژئوتکنیکی حفر نشده است؛ از این رو در مورد چنین مناطقی در صورت نیاز باید مطالعات ژئوتکنیکی انجام شود و به منظور کاستن خطاهای احتمالی نیز، از روابط همبستگی بهره برد. همچنین عدد نفوذ استاندارد برای شهر کرمانشاه دامنه وسیعی داشته است و



شکل ۵. پهنبندی چسبندگی (عمق ۰ تا ۳ متر)



شکل ۶. پهنبندی چسبندگی (عمق ۳ تا ۶ متر)



شکل ۷. پهنبندی چسبندگی (عمق ۶ تا ۹ متر)

### ۳-۳- تفسیر نتایج

طبق شاخص های ارزیابی خطا، بهترین واریوگرام ها برای پهنبندی زاویه اصطکاک در اعماق ۰ تا ۳، ۳ تا ۶ و ۶ تا ۹ متر، به ترتیب، گوسی (MAE=1.09 و RMSE=2.14)، نمایی (MAE=1.59 و RMSE=2.55)



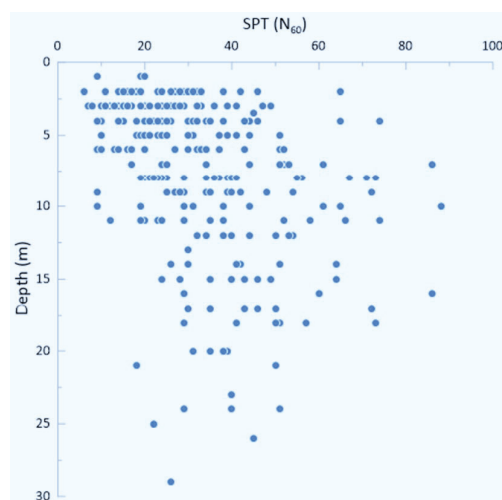
اصطکاک و چسبندگی (مقاومت برشی) افزایش یافته است؛  
 (۲) بخش‌های شمالی و جنوب‌غرب، در مقایسه با سایر مناطق، دارای خاکی با زاویه اصطکاک بیشتر و چسبندگی کم‌ترند؛  
 (۳) خاک، در بخش‌های شمال‌غرب شهر، رسی و آبرفتی است.

با توجه به قرارگرفتن مناطق شمالی و جنوبی کرمانشاه در کوهپایه و همچنین گذر رودخانه قره‌سو از شمال‌غرب این منطقه، دو نتیجه آخر تصدیق می‌شود. با توجه به توزیع ناپیکنواخت گمانه‌ها و وجودنداشتن گمانه حفاری شده در برخی نقاط، به‌دلایلی همچون تراکم کمتر جمعیت در قیاس با سایر نقاط و مسائل اقتصادی، در این مناطق پیش‌بینی‌ها براساس برون‌یابی بوده است و باید از آنها استفاده شود.

#### ۵- منابع

- Abedini, M., Ghasemian, B., Shirzadi, A., Shahabi, H., Chapi, K., Pham, B.T., Bin Ahmad, B. & Tien Bui, D., 2019. **A Novel Hybrid Approach of Bayesian Logistic Regression and Its Ensembles for Landslide Susceptibility Assessment**, Geocarto International, 34(13), PP. 1427-1457.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1499820>
- Ahmad, M., Iqbal, Q. & Khan, F.A., 2013, **Profiling and Zoning of Geotechnical Sub-Soil Data Using Geographic Information System**, Science International, 25(3), PP. 15-20.
- Akbari, M., Ghafoori, M., Moghaddas, N.H. & Lashkaripour, G.R., 2011, **Seismic Microzonation of Mashhad City, Northeast Iran**, Annals of Geophysics, 54(4).  
<https://doi.org/10.4401/ag-4771>
- Alladin, Y., Talebian, M., Arian, M. & Ahmadi, M.M., 2015, **Geotechnical Investigation and Seismic Zonation of Alluvial Deposits in Western Tehran**, Geoscience, 24(95), PP. 333-342.

مهندسان باید توجه ویژه‌ای به مناطق دارای بستر ضعیف و نهشته‌های آبرفتی داشته باشند. طبق گزارش‌های ژئوتکنیکی گردآمده، در شهر کرمانشاه تا کنون خاک مسئله‌دار گزارش نشده است.



شکل ۸. نمودار عمق برحسب عدد نفوذ استاندارد اصلاح‌شده

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌منظور ایجاد بانک اطلاعات ژئوتکنیکی و پهنه‌بندی پارامترهای مقاومت برشی خاک شهر کرمانشاه تا عمق نه متر در بازه‌های سه‌متری، گزارش‌های گمانه‌های ژئوتکنیکی حفر شده گرد آمد و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش درون‌یابی کریجینگ معمولی (با شبه‌واریوگرام‌های کروی، نمایی و گوسی) داده‌های مورد نظر، برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی، تحلیل شد. بهترین مدل برای پیش‌بینی پارامترها انتخاب شد که با توجه به تفاوت چسبندگی در گمانه‌های موجود در یک منطقه، خطای به‌دست‌آمده در مدل‌های پیش‌بینی چسبندگی بیشتر از زاویه اصطکاک است.

براساس نتایج پهنه‌بندی‌ها، درمورد شهر کرمانشاه می‌توان بیان کرد:

- (۱) اغلب خاک‌های تا عمق سه متر، به‌ترتیب، زاویه اصطکاک و چسبندگی کمتر از ۲۶ درجه و ۱۰ کیلوپاسکال دارند و معمولاً، با افزایش عمق، زاویه

- Asakere, A. & Mosafa, M., 2020, **Soil Strength Parameters Zonation Using Geographic Information System (GIS) (Case Study: Bandarabas City)**, Structural and Construction Engineering, 7(33), PP. 22-40.  
<https://doi.org/10.22065/jsce.2018.143094.1620>
- Ashayeri, I., Biglari, M., Shamoradi, S.B. & Rashidi Gouya, H., 2018, **Probabilistic Seismic Hazard Assessment and Geotechnical Seismic Micro-Zonation of Kangavar with Ambient Vibration and Electrical Resistivity Analysis**, AUT Journal of Civil Engineering, 2(1), PP. 29-38.  
<https://doi.org/10.22060/ajce.2018.14494.5479>
- Ashournejad, Q., Hosseini, A., Pradhan, B. & Hosseini, S.J., 2019, **Hazard Zoning for Spatial Planning Using GIS-Based Landslide Susceptibility Assessment: A New Hybrid Integrated Data-Driven and Knowledge-Based Model**, Arabian Journal of Geosciences, 12(4), PP. 1-18.  
<https://doi.org/10.1007/s12517-019-4236-0>
- Aslani, M., Alesheikh A.A. & Shad, R., 2010, **Preparation of landslide Susceptibility Map through Fuzzy Basis Rule Inference System and GIS (Study Area: Part of Mazandaran Province)**, Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 13(2), PP. 35-74.
- ASTM D3080, 1990, **Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions**, West Conshohocken, PA: ASTM.  
<https://doi.org/10.1520/D3080-98>
- Baharvand, S., Rahnamarad, J., Soori, S. & Saadatkhah, N., 2020, **Landslide Susceptibility Zoning in a Catchment of Zagros Mountains Using Fuzzy Logic and GIS**, Environmental Earth Sciences, 79(10), PP. 1-10.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-020-08957-w>
- Chen, Y., Ye, Z., Liu, H., Chen, R., Liu, Z. & Liu, H., 2021, **A GIS-Based Approach for Flood Risk Zoning by Combining Social Vulnerability and Flood Susceptibility: A Case Study of Nanjing, China**, International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(21), P. 11597.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph182111597>
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T. & Nishino, K., 2008, **GIS-based Weights-of-Evidence Modelling of Rainfall-Induced Landslides in Small Catchments for Landslide Susceptibility Mapping**, Environmental Geology, 54(2), PP. 311-324.  
<https://doi.org/10.1007/s00254-007-0818-3>
- Das, B. & Sobhan, K., 2013, **Principles of Geotechnical Engineering**, CENGAGE Learning, Stamford, USA.
- Deligiannakis, G., Papanikolaou, I.D. & Roberts, G., 2018, **Fault Specific GIS Based Seismic Hazard Maps for the Attica Region, Greece**, Geomorphology, 306, PP. 264-282.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.005>
- Drouet, S., Ameri, G., Le Dortz, K., Secanell, R. & Senfaute, G., 2020, **A probabilistic Seismic Hazard Map for the Metropolitan France**, Bulletin of Earthquake Engineering, 18(5), PP. 1865-1898.  
<https://doi.org/10.1007/s10518-020-00790-7>
- Faraji Sabokbar, H. & Azizi, G., 2007, **Evaluating the Accuracy of Spatial Interpolation Methods Case Study: Rainfall Modeling of Kardeh (Mashhad)**, Geographical Research, 38(58), PP. 1-15.
- Farashi, S. & Ajalloeian, R., 2012, **Engineering Geological Mapping at east of Isfahan City Using GIS**, Aust J. Basic Appl. Sci., 6(1), PP. 165-172.
- Gaytan, A.R., Estrella, H.F., Preciado, A., Bandy, W.L., Lazcano, S., Nolasco, L.A., Gonzalez, J.A. & Korn, M., 2020, **Subsoil Classification and Geotechnical Zonation for Guadalajara City, México: Vs30, Soil Fundamental Periods, 3D Structure and Profiles**, Near Surface Geophysics, 18(2), PP. 175-188.  
<https://doi.org/10.1002/nsg.12085>
- Ghahrooditali, M., 2003, **Kriging Interpolation Evaluation**, Geographical Research, 34(43), PP. 95-108.
- Ghahrooditali, M. & Babaeifini, O., 2019, **An Introduction to Geographic Information**



- Systems (Geography)**, Payam-e-Noor University Press.
- Ghalandarzadeh, A., Sahraeian, S., Kavand, A. & Kamrani Moghaddam, B., 2008, **Seismic Microzonation of Shiraz City, Southwest of Iran**, In Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, IV (PP. 1-10).  
[https://doi.org/10.1061/40975\(318\)37](https://doi.org/10.1061/40975(318)37)
- Giardini, D., Danciu, L., Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu Tümsa, M.B., Akkar, S., Gülen, L. & Zare, M., 2018, **Seismic Hazard Map of the Middle East**, Bulletin of Earthquake Engineering, 16(8), PP. 3567-3570.  
<https://doi.org/10.1007/s10518-018-0347-3>
- Gupta, R.P., Kanungo, D.P., Arora, M.K. & Sarkar, S., 2008, **Approaches for Comparative Evaluation of Raster GIS-Based Landslide Susceptibility Zonation Maps**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10(3), PP. 330-341.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.01.003>
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M. & Ardizzone, F., 2005, **Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale**, Geomorphology, 72(1-4), PP. 272-299.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002>
- Haeri, S. & Bonab, M.H., 2000, **Seismic Microzonation of the City of Tabriz in Iran**, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 1(3), PP. 63-70.
- Hafezi Moghadas, N. & Ghezi, A., 2008, **Geotechnical Zoning and Assessment of Allowable Bearing Capacity of Mashhad City**, 5th Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment, Tehran.
- Hashemi Tabatabaei, S., Fatemi Oghda, S.M., Beytollahi, A., Saeid, N., Mohamadi, A. & Salamat, A.S., 2013, **Guide to Preparing Engineering Geology Maps for Seismic Geotechnical Microzonation in Urban Areas**, Road, Housing & Urban Development Research Center.
- Hettiarachchi, H. & Brown, T., 2009, **Use of SPT Blow Counts to Estimate Shear Strength Properties of Soils: Energy Balance Approach**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(6), PP. 830-834.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000016](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000016)
- Jafari, M.K., Razmkhah, A. & Keshavarz, M., 2003, **Shear Wave Velocity Zonation of Alluviums in Tehran**, Journal of Faculty of Engineering, 37(2), PP. 213-225.
- Jalil, A., Fathani, T.F., Satyarno, I. & Wilopo, W., 2020, **A Study on the Liquefaction Potential in Banda Aceh City after the 2004 Sumatera Earthquake**, GEOMATE Journal, 18(65), PP. 147-155.  
<http://dx.doi.org/10.21660/2020.65.94557>
- Kajihara, K., Okuda, H., Kiyota, T. & Konagai, K., 2020, **Mapping of Liquefaction Risk on Road Network Based on Relationship between Liquefaction Potential and Liquefaction-Induced Road Subsidence**, Soils and Foundations, 60(5), PP. 1202-1214.  
<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.07.007>
- Kamalian, M., Jafari, M.K., Ghayamghamian, M.R., Shafiee, A., Hamzehloo, H., Haghshenas, E. & Sohrabi-Bidar, A., 2008, **Site Effect Microzonation of Qom, Iran**, Engineering Geology, 97(1-2), PP. 63-79.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.12.006>
- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S. & Gupta, R.P., 2006, **A Comparative Study of Conventional, ANN Black Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Weighting Procedures for Landslide Susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas**, Engineering geology, 85(3-4), PP. 347-366.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.03.004>
- Karbasi ravari, M., 2010, **Geotechnical zoning of Arak city based on SPT results**. 3rd National Congress on Urban Management and Construction Stability, Arak.
- Kaur, H., Gupta, S., Parkash, S. & Thapa, R., 2018, **Knowledge-Driven Method: A Tool for Landslide Susceptibility Zonation (LSZ)**, Geology, Ecology, and Landscapes, PP. 1-15.  
<https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1558024>

- Kaya, A., 2009, **Residual and Fully Softened Strength Evaluation of Soils Using Artificial Neural Networks**, Geotechnical and Geological Engineering, 27(2), PP. 281-288.  
<https://doi.org/10.1007/s10706-008-9228-x>
- Kolat, C., Ulusay, R. & Suzen, M.L., 2012, **Development of Geotechnical Microzonation Model for Yenisehir (Bursa, Turkey) Located at a Seismically Active Region**, Engineering Geology, 127, PP. 36-53.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.12.014>
- Lee, S. & Pradhan, B., 2007, **Landslide Hazard Mapping at Selangor, Malaysia Using Frequency Ratio and Logistic Regression Models**, Landslides, 4(1), PP. 33-41.  
<https://doi.org/10.1007/s10346-006-0047-y>
- Ly, H.B., Le, T.T., Vu, H.L., Tran, V.Q., Le, L.M. & Pham, B.T., 2020, **Computational Hybrid Machine Learning Based Prediction of Shear Capacity for Steel Fiber Reinforced Concrete Beams**, Sustainability, 12(7), P. 2709.  
<https://doi.org/10.3390/su12072709>
- Mathew, J., Jha, V.K. & Rawat, G.S., 2009, **Landslide Susceptibility Zonation Mapping and Its Validation in Part of Garhwal Lesser Himalaya, India, Using Binary Logistic Regression Analysis and Receiver Operating Characteristic Curve Method**, Landslides, 6(1), PP. 17-26.  
<https://doi.org/10.1007/s10346-008-0138-z>
- Mirnezhad, A., Javdanian, H. & Hadad, A., 2016, **Physical and Mechanical Parameters Zonation of Semnan Soil**, International Conference on Civil Engineering, Tehran.
- Moayedi, H., Gör, M., Khari, M., Foong, L.K., Bahiraei, M. & Bui, D.T., 2020, **Hybridizing four Wise neural-Metaheuristic Paradigms in Predicting Soil Shear Strength**, Measurement, 156, P. 107576.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107576>
- Motaghedi, H. & Eslami, A., 2014, **Analytical Approach for Determination of Soil Shear Strength Parameters from CPT and CPTu Data**, Arabian Journal for Science and Engineering, 39(6), PP. 4363-4376.  
<https://doi.org/10.1007/s13369-014-1022-x>
- Oliveira, L., Teves-Costa, P., Pinto, C., Gomes, R.C., Almeida, I.M., Ferreira, C., Pereira, T. & Sotto-Mayor, M., 2020, **Seismic Microzonation Based on Large Geotechnical Database: Application to Lisbon**, Engineering Geology, 265, P. 105417.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105417>
- Pham, B.T., Qi, C., Ho, L.S., Nguyen-Thoi, T., Al-Ansari, N., Nguyen, M.D., Nguyen, H.D., Ly, H.-B., Le, H.V. & Prakash, I., 2020, **A Novel Hybrid Soft Computing Model Using Random Forest and Particle Swarm Optimization for Estimation of Undrained Shear Strength of Soil**, Sustainability, 12(6), P. 2218.  
<https://doi.org/10.3390/su12062218>
- Safari, H., 2007, **Comparison of IDW and KRIGING Interpolation Methods**, Shahrnegar, 7(40).
- Saroglou, C., 2019, **GIS-Based Rockfall Susceptibility Zoning in Greece**, Geosciences, 9(4), P. 163.  
<https://doi.org/10.3390/geosciences9040163>
- Sharafi, H., Haeri, S.M. & Rad Malekshahi, M., 2006, **Seismic Microzonation of Urban Areas Using Microtremor Measurements (Case Study: Kermanshah City)**, 7th International Congress on Civil Engineering, Tehran.
- Vanapalli, S., Fredlund, D., Pufahl, D., & Clifton, A., 1996, **Model for the Prediction of Shear Strength with Respect to Soil Suction**, Canadian Geotechnical Journal, 33(3), PP. 379-392.  
<https://doi.org/10.1139/t96-060>



# سنجش از دور & ایران GIS



سنجش از دور و ایران GIS سال پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲  
Vol.15, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

31-40

## Zoning of Soil Shear Strength Parameters (Case Study: Kermanshah)

Sharafi H.<sup>1\*</sup> and Faraji R.<sup>2</sup>

1. Associate Prof., Civil Engineering Dep. Razi University, Kermanshah
2. Ph.D. Student, Civil Engineering Dep., Razi University, Kermanshah

### Abstract

In order to understand the site, it is necessary to obtain soil strength parameters, which are both costly and time-consuming. In this research, utilizing 135 geotechnical boreholes drilled in Kermanshah, the zonation of soil shear strength parameters (friction angle and cohesion) using ArcGIS software and ordinary kriging interpolation method (employing spherical, exponential, and Gaussian semi-variograms), Up to a depth of 9 meters in three-meter intervals was done. The selection of the best model for predicting these characteristics was determined by assessing the root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE). Based on these error evaluation indicators, the optimal variograms for zoning friction angle and cohesion at depths of 0 to 3 meters are Gaussian, 3 to 6 meters is exponential, and 6 to 9 meters are Gaussian and spherical, respectively. The results indicate that, predominantly with increasing depth, the friction angle and cohesion have increased. The northern and southwestern parts of Kermanshah, in comparison to other regions, exhibit soil with a higher friction angle and lower cohesion (coarse-grained). Furthermore, the northwestern parts of the city have clay and alluvial soils, findings corroborated by the passage of the Qarasu river through this area and the location of the northern and southern regions of Kermanshah at the foot of the mountain.

**Keywords:** Kriging, Geographic Information System (GIS), Friction angle, Cohesion, Kermanshah.

\* Correspondence Address: Dep. of Civil Engineering, Razi University, Daneshgah St., Kermanshah, Postal Code: 6714414971.  
Email: h\_sharafi@razi.ac.ir  
<https://orcid.org/0000-0002-0304-5365>  
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2022.102887>

