

محاسبه مقیاس نوسان متغیرهای ژئوتکنیکی در نهشته‌های طبیعی با کمک تئوری فضای تصادفی

رضا جمشیدی چناری^{۱*}، رامین علومی دودران^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه گیلان

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشکده مهندسی، دانشگاه گیلان

Jamshidi_reza@guilan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۸/۱۶

چکیده - یکی از تفاوت‌های مهم مصالح ژئومکانیکی با سایر مصالح مهندسی، تغییرات پارامترهای مرتبط با این مصالح در نقاط مختلف داخل مصالح است. این ویژگی که ناهمگونی نامیده می‌شود در این مطالعه بررسی شده است. برای بیان تغییرات پارامترهای مرتبط با مصالح ژئومکانیکی، توزیع‌های تصادفی مختلفی ارائه شده که در این بین توزیع قدر مطلق نرمال به عنوان توزیع مناسب در راستای افقی برای این پارامترها در نظر گرفته شده است. روند تغییرات میانگین این پارامترها در راستای قائم به صورت روندی مشخص معرفی و با کمک گرفتن از تئوری فضای تصادفی و تئوری حوزه‌های میانگین محلی و استفاده از نرم‌افزار MATLAB به تولید داده‌هایی با همبستگی متفاوت پرداخته شده است؛ و سپس با ترسیم تابع خودهمبستگی، رفتار این تابع به ازای مقادیر مقیاس نوسان مشخص ارزیابی و مشخص شده است که تابع خودهمبستگی تا رسیدن به فاصله مقیاس نوسان روند مشخصی را از خود نشان می‌دهد و نقطه انتهایی این روند، بیانگر مقادیر مقیاس نوسان داده‌ها است.

کلیدواژه‌گان: ناهمگونی، حوزه‌های میانگین محلی، فضای تصادفی، مقیاس نوسان، روند مشخص

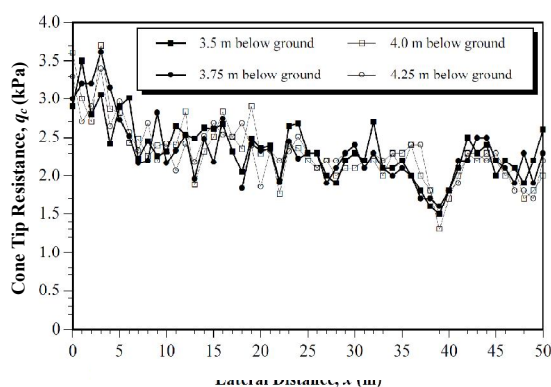
۱- مقدمه

و همکاران [۳] و وی و همکاران [۴] انجام شد نشان داد که تأثیر قطعیت نداشتن ناشی از تغییرات ذاتی خواص خاک در دو راستای افقی و قائم بر عوامل دیگر ایجادکننده قطعیت نداشتن غالب است.

امروزه روابط متعددی برای تخمین پارامترهای رفتاری این مصالح ارائه شده است. متغیرهایی که به عنوان پارامتر ورودی در بیشتر این روابط استفاده می‌شود با فرض همگن بودن توده خاک ارائه شده و تغییرات این متغیرها در نقاط مختلف، که ناهمگونی نامیده می‌شود، به دلیل پیچیدگی

مهندسی ژئوتکنیک همواره به دنبال ارزیابی رفتار واقعی مصالح ژئومکانیکی بوده‌اند. قطعیت نداشتن که در رفتار این مصالح مشاهده می‌شود ناشی از عوامل مختلفی است که از آن‌ها می‌توان خطاهای اندازه‌گیری، قطعیت نداشتن در مدل‌سازی رفتار واقعی خاک، نبود اطلاعات لازم در مورد آن پارامتر و تغییرات ذاتی خواص خاک در دو راستای افقی و قائم را نام برد [۱]. مطالعاتی که به وسیله‌ی دانشمندان مختلف مانند بابو و موکش [۲]، اوزلی

کار، کمتر توجه می‌شود. ناهمگونی به ویژگی از خاک گفته می‌شود که از نقطه‌ای به نقطه دیگر خاک متفاوت باشد. تقریباً همه نهشته‌های طبیعی پارامترهای رفتاری متغیر و ناهمگون دارند. ناهمگونی در نهشته‌های طبیعی را می‌توان به طور کلی در دو قالب ناهمگونی لایه‌بندی^۱ و ذاتی^۲ بررسی کرد. ناهمگونی لایه‌بندی به صورت ایجاد یک لایه یا لوز خاک نرم یا سخت در بین لایه‌های سخت و یا نرم بروز می‌کند. نوع دوم ناهمگونی به صورت تغییرات ذاتی در خواص خاک ظاهر می‌شود. این نوع ناهمگونی می‌تواند به دو صورت اتفاق بیفتد: (۱) تفاوت در خواص خاک در نتیجه شرایط رسوب‌گذاری مختلف و تاریخچه تنش. (۲) وجود روندی معین^۳ در خواص خاک [۵].



شکل (۱) تغییرات q_c در راستای افقی برای پنج عمق مختلف [۶]

برخلاف آنچه که در ارتباط با ناهمگونی ذاتی نوع اول بیان شد، مطالعات انجام شده به وسیله جمشیدی و علومی [۷] در سال ۲۰۱۰، گویای آن است که در بررسی تغییرات رفتار خاک با عمق که در آن تنش مؤثر افزایش می‌یابد معمولاً می‌توان روند مشخصی را جست و جو کرد. مطابق شکل ۲، منحنی تغییرات مدول تغییر شکل از دو بخش کاملاً جدا تشکیل شده است. در ناحیه یک که در قسمت بالایی نمودار قرار دارد، تغییرات مدول تغییر شکل به صورت سهموی است و با عمق کاهش می‌یابد و در ناحیه دوم مدول تغییر شکل افزایش خطی با عمق دارد.

ناهمگونی ذاتی نوع اول بیشتر مربوط به تغییرات پارامترهای رفتاری در راستای افقی است در حالی که ناهمگونی ذاتی نوع دوم که مربوط به روند مشخص در رفتار خاک است؛ به تغییرات پارامترها در راستای قائم و یا عمق خاک می‌پردازد. البته توجه به این نکته ضروری است که تغییرات پارامترهای رفتاری در راستای قائم، تنها از نوع دوم نیست؛ بلکه هر دو مؤلفه تصادفی (نوع اول) و مشخص (نوع دوم) معمولاً در آن مشاهده می‌شود. با این حال در این مطالعه از آنجا که عموماً پارامترهای رفتاری خاک تابع مستقیم سطح تنش مؤثر است، در راستای قائم، تغییرات پارامترهای رفتاری خاک به صورت ذاتی نوع دوم در نظر گرفته شده است.

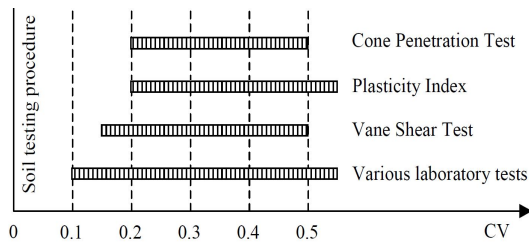
در بررسی ناهمگونی ذاتی نوع اول که مربوط به شرایط رسوب‌گذاری است برای نمونه می‌توان به کار انجام شده به وسیله جکسا و همکاران [۶] در سال ۱۹۹۹ اشاره کرد که به ارزیابی نوسان مقاومت اندازه‌گیری شده (q_c) در

در بررسی ناهمگونی ذاتی نوع اول که مربوط به شرایط رسوب‌گذاری است برای نمونه می‌توان به کار انجام شده به وسیله جکسا و همکاران [۶] در سال ۱۹۹۹ اشاره کرد که به ارزیابی نوسان مقاومت اندازه‌گیری شده (q_c) در

1- Lithological Heterogeneity
2- Inherent Heterogeneity
3- Deterministic Trend

4- Keswick clay

جای بیان انحراف معیار از پارامتر ضریب تغییرات^۱ (CV) که نسبت انحراف معیار به میانگین است استفاده می‌شود. فون و کولهاوی [۱۰] در سال ۱۹۹۹ مطالعات جامعی روی ضریب تغییرات پارامترهای مختلف ژئوتکنیکی انجام داده‌اند که بخشی از نتایج آن در شکل ۳ آمده است.



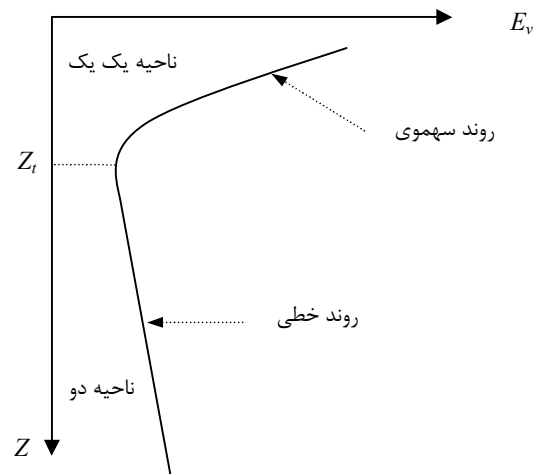
شکل (۳) بازه تغییرات ضریب تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی [۱۰].

مقیاس نوسان، شاخصی برای اندازه‌گیری میزان همبستگی پارامتر مورد بررسی است و فاصله‌ای است که در آن، پارامترهای مربوط به خاک، همبستگی زیادی از خود نشان می‌دهند و خارج از این بازه، این پارامترها رفتاری کاملاً تصادفی از خود نشان می‌دهند [۱۱].

هدف از این مطالعه بررسی تغییرات و نوسان متغیرهای ژئوتکنیکی در راستای افقی می‌باشد که در ادامه و با معرفی پارامتر مقیاس نوسان به آن پرداخته می‌شود.

۲- توزیع داده‌ها

پیش‌تر ملاحظه شد که میانگین پارامترهای ژئومکانیکی در راستای قائم (عمق)، توزیع مشخص و در راستای افقی توزیع تصادفی دارند. نکته دیگری که در رابطه با پارامترهای ژئومکانیکی مطرح می‌شود این است که این پارامترها کمیت‌هایی غیرمنفی است؛ بنابراین با اتخاذ توزیع نرمال برای این پارامترها به عنوان توزیع قابل قبول برای یک پدیده طبیعی، احتمال ظهور مقادیر منفی برای این پارامترها وجود خواهد داشت که برای بیشتر پارامترهای



شکل (۲) نمایش شماتیک الگوی تغییرات مدول تغییر شکل خاک با عمق [۷]

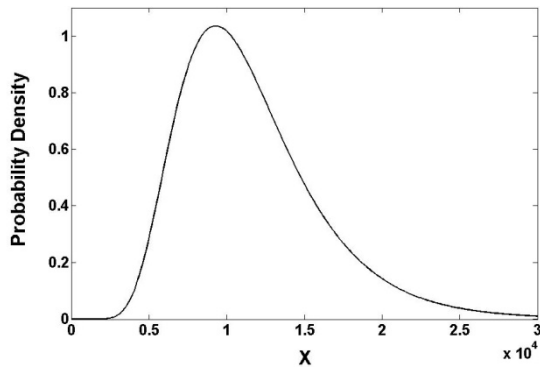
در توجیه روند مشخص برای تغییرات پارامتر مدول سختی خاک در راستای قائم می‌توان گفت که تغییرات مدول سختی، تابع نسبت بیش‌تحکیمی و سطح تنش در هر عمق است که به ترتیب با عمق، کاهش و افزایش می‌یابند؛ بنابراین مدول سختی در واقع برآیند اثر این دو پارامتر است و در اعماق کمتر از عمق، تبدیل اثر نسبت بیش‌تحکیمی (OCR) و در اعماق بیشتر از آن، اثر تنش مؤثر، غالب است [۷].

علمی [۸] مطالعات جامعی روی اثر ناهمگونی مدول تغییر شکل خاک روی نشست شالوده‌های سطحی انجام داده است. در این مطالعات، تغییرات مدول تغییر شکل خاک در راستای قائم به صورت ناهمگونی ذاتی نوع دوم (روند مشخص) و در راستای افقی به صورت یک توزیع تصادفی همبسته در نظر گرفته شد. مطالعات وی روی پنج نوع خاک رس مختلف، نشان می‌دهد که در نظر گرفتن ناهمگونی بر راستای افقی می‌تواند به طور متوسط حدود ۴۰ درصد در میزان نشست محاسبه‌شده مؤثر باشد.

وانمارک [۹] در سال ۱۹۷۷ در بررسی رفتار تصادفی خاک‌ها در مسائل ژئوتکنیکی، به سه پارامتر میانگین، انحراف معیار و مقیاس نوسان (θ) توجه کرد. معمولاً به

1- Coefficient of Variation

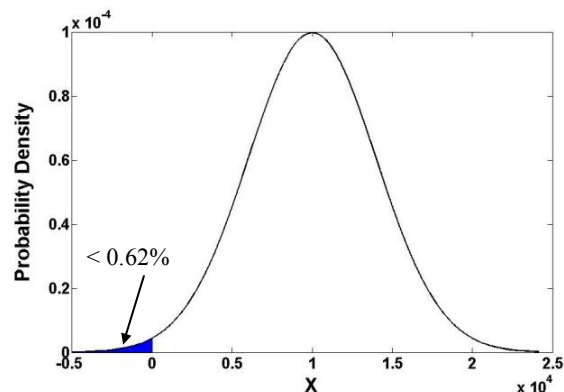
شکل ۵، توزیع لگاریتم نرمال پارامتر X را نمایش می‌دهد. همان‌طور که پیداست، توزیع مدول الاستیسته در این شرایط نامتقارن بوده به طوری که سهم مقادیر بزرگ‌تر از میانگین، برابر $۵۷/۶۲$ درصد است.



شکل (۵) توزیع لگاریتم نرمال برای پارامتر X با میانگین $\mu=10^4$ kPa و ضریب تغییرات $CV=40\%$

در این پژوهش به کمک تئوری حوزه‌های میانگین محلی^۱ (LAS)، پارامتر X که به صورت یک‌بعدی همبسته است مدل‌سازی شده و با کمک گرفتن از تئوری فضای تصادفی^۲ به ارزیابی رفتار تابع خودهمبستگی^۳ (ACF) و ترسیم نمودار این تابع در مقابل فاصله تأخیر پرداخته شده است. از آن‌جا که داده‌های استفاده شده در این پژوهش به کمک تئوری حوزه‌های میانگین محلی و با فرض مقیاس نوسان مشخص ایجاد شده است؛ می‌توان به ارزیابی رفتاری تابع خودهمبستگی به ازای مقیاس نوسان‌های مختلف پرداخت. قبل از معرفی داده‌های استفاده شده و ارائه نمودارهای مرتبط با آن‌ها لازم است تئوری فضای تصادفی و پارامتر مهم استفاده شده در آن یعنی تابع خودهمبستگی به عنوان شالوده و اساس محاسبات انجام شده، معرفی شود.

ژئوتکنیکی قابل قبول نیست؛ از این رو بعضی محققین برای بیان رفتار تصادفی خاک‌ها از توزیع لگاریتم نرمال استفاده می‌کنند که در آن لگاریتم متغیر تصادفی و نه خود متغیر دارای توزیع نرمال است. نگاهی دقیق به توزیع لگاریتم نرمال نشان می‌دهد که این توزیع، یک توزیع نامتقارن است و احتمال این‌که عدد تولیدشده بیشتر از مقدار میانگین باشد، بیشتر از احتمال تولید مقادیر کوچک‌تر از میانگین است. اشکال دیگر توزیع لگاریتم نرمال آن است که در توزیع لگاریتم نرمال، همبستگی بین داده‌های لگاریتمی، تضمین‌کننده همبستگی در مقیاس واقعی نیست. یعنی در صورتی که در دو نقطه مجاور، مقادیر لگاریتم پارامتر ژئوتکنیکی، اختلاف اندکی داشته باشد، اختلاف بین آن دو پارامتر در مقیاس واقعی می‌تواند غیر قابل قبول باشد. در صورتی که از توزیع نرمال برای یک پارامتر مانند مدول الاستیسته استفاده شود، با فرض این‌که میانگین این پارامتر برابر با $۱۰^۴$ kPa و ضریب تغییرات برابر ۴۰ درصد باشد، مطابق شکل ۴ احتمال این‌که عدد تولید شده برای این پارامتر منفی شود $۰/۶۲$ درصد است که احتمال بسیار کوچکی است؛ و بنابراین می‌توان با استفاده از قدر مطلق توزیع نرمال از تولید مقادیر منفی برای کمیت‌های ژئوتکنیکی جلوگیری کرد بدون اینکه تغییر زیادی در شکل توزیع ایجاد شود.



شکل (۴) توزیع نرمال برای پارامتر X با میانگین $\mu=10^4$ kPa و ضریب تغییرات $CV=40\%$

1- Local Average Subdivisions
2- Random Field Theory
3- Autocorrelation Function

۳- تابع خودهمبستگی

نوسان پیشنهاد داد که یکی از مدل‌های ارائه شده در جدول ۱ روی تابع خودهمبستگی ACF برازش شود.

جدول (۱) توابع خودهمبستگی استفاده شده در مصالح ژئومکانیکی [۱۵، ۱۲]

Model No.	Autocorrelation Function
1	$\rho_\tau = \begin{cases} 1 - \frac{ \tau }{\theta} & \text{for } \tau < \theta \\ 0 & \text{for } \tau > \theta \end{cases}$
2	$\rho_\tau = e^{-2 \tau /\theta}$
3	$\rho_\tau = e^{-\pi(\tau /\theta)^2}$
4	$\rho_\tau = e^{-4 \tau /\theta} \left(1 + \frac{4 \tau }{\theta} \right)$

در این پژوهش از تابع کواریانس گوس-مارکو^۱ (ردیف دوم جدول ۱) استفاده شده است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho(\tau) = \exp\left(\frac{-2|\tau|}{\theta}\right) \quad (۳)$$

τ فاصله تأخیر است.

جکسا و همکاران [۶] در سال ۱۹۹۹ نشان دادند که مقیاس نوسان بعضی پارامترها را می‌توان با محاسبه محل تقاطع منحنی تابع خودهمبستگی با خطوط بارتلت^۲ به دست آورد. ضابطه این خطوط به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r_\tau = \pm \frac{1.96}{|N|} \quad (۴)$$

N ، تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری شده است.

در این حالت، مقیاس نوسان، فاصله‌ای است که در آن منحنی تابع خود، همبستگی اولین بار با یکی از خطوط بارتلت برخورد می‌کند.

تئوری فضای تصادفی گسترش یافته n بعدی از تحلیل سری‌های زمانی است که به وسیله‌ی وانمارک [۱۲] در سال ۱۹۸۴ معرفی شد که در هر دو آن‌ها از تابع مهم آماری خودهمبستگی استفاده می‌شود [۱۳]. تابع خودهمبستگی بیانگر تغییرات ضریب همبستگی، ρ_τ ، برحسب فاصله تأخیر (τ) است که به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\rho_\tau = \frac{c_\tau}{c_0} \quad (۱)$$

c_τ ، خودهمبستگی در فاصله τ است و به صورت $\text{Cov}(X_i, X_{i+\tau}) = E[(X_i - \bar{X})(X_{i+\tau} - \bar{X})]$ تعریف می‌شود که در آن X_i و $X_{i+\tau}$ به ترتیب مقدار پارامتر X در مکان‌های i و $i+\tau$ است. \bar{X} ، مقدار میانگین متغیر X در فضای مسئله، E ، تابع احتمال و c_0 ، مقدار کواریانس در فاصله صفر و یا به عبارت دیگر واریانس متغیر X است

نمی‌توان با اطمینان در مورد c_τ و ρ_τ اظهار نظر کرد ولی می‌توان به کمک نمونه‌های آماری موجود به تخمین آن دو پرداخت که در این صورت به ترتیب با c_τ^* و r_τ نمایش داده می‌شود. تابع خودهمبستگی آماری به صورت نموداری از تغییرات r_τ بر حسب فاصله تأخیر، $[T=0,1,2,\dots,T]$ است که T مقدار بیشینه‌ی فاصله تأخیر است و عموماً برابر $T=N/4$ در نظر گرفته می‌شود که N تعداد کل نقاطی است که مقادیر این پارامتر در آن نقاط محاسبه شده است [۱۴]. در این صورت مقدار تابع خودهمبستگی نمونه‌ها در فاصله تأخیر τ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$r_\tau = \frac{\sum_{i=1}^{N-\tau} (X_i - \bar{X})(X_{i+\tau} - \bar{X})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (۲)$$

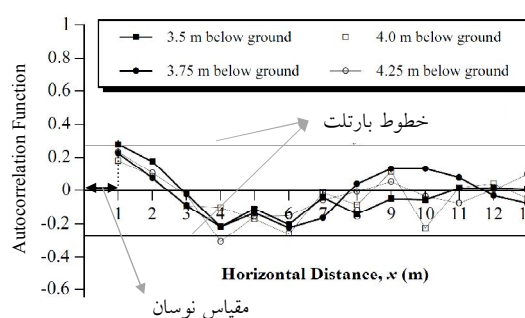
وانمارک [۱۲] در سال ۱۹۸۴ برای محاسبه مقیاس

1- Gauss-Markov
2- Bartlett's Limits

سرانجام در 10^4 ضرب کرد که حاصل این عملیات، داده‌هایی با میانگین 10^4 و انحراف معیار 4×10^3 خواهد بود. باید توجه داشت که اعمال جمع و ضرب روی داده‌ها، تغییری در همبستگی آن‌ها ایجاد نمی‌کند. در این مطالعه برای پارامتر مقیاس نوسان، مقادیر ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۶ و ۲۰ متر انتخاب شده است. برای تولید اعداد تصادفی با میانگین و انحراف معیار مشخص در توزیع قدر مطلق نرمال و همچنین حفظ همبستگی بین داده‌ها با مقیاس نوسان مشخص از تئوری حوزه‌های میانگین محلی استفاده شده است. این تئوری از یک روش چرخه‌ای استفاده می‌کند به گونه‌ای که در مرحله صفر، یک میانگین ثابت برای کل لایه تعیین می‌شود؛ در مرحله یک این لایه به دو قسمت، طوری تقسیم می‌شود که میانگین آن‌ها برابر میانگین لایه مادر باشد. در مرحله دوم، هر کدام از این زیر لایه‌ها به دو قسمت، طوری تقسیم می‌شوند که میانگین آن‌ها برابر میانگین لایه پیشین بوده و به طور کامل با هم همبسته باشند و واریانس بین آن‌ها از تئوری میانگین محلی تبعیت کند و این چرخه تکرار می‌شود تا تعداد مشخصی عدد تصادفی با ساختار همبسته از پیش تعیین شده، تولید شود.

نکته دیگری که باید به آن توجه داشت این است که مقیاس نوسان، پارامتری است که به فواصل اندازه‌گیری پارامتر بستگی دارد و مقادیر آن باید با توجه به ابعاد مسئله اختیار شود. برای نمونه در صورتی که در اندازه‌گیری پارامترها در فواصل ۱۰ متری، مقیاس نوسان برابر ۲ متر محاسبه شود، اگر فاصله اندازه‌گیری‌ها به ۱ کیلومتر افزایش یابد، باید مقیاس نوسان ۲۰۰ متر را انتظار داشت [۱۶]. در این پژوهش تولید داده‌ها برای هر کدام از مقادیر مقیاس نوسان، ۱۰۰ بار تکرار و از مقادیر خودهمبستگی مربوط به این حالات، میانگین‌گیری شده است. شکل‌های ۷، ۸ و ۹ تغییرات تابع خودهمبستگی میانگین در مقابل فاصله تأخیر

برای مثال در صورتی که نمودار خودهمبستگی بر حسب فاصله افقی برای داده‌های ارائه شده در شکل ۱ مربوط به q_c ترسیم شود (شکل ۶) مشاهده می‌شود که این نمودارها خط بارتلت بالایی را در فاصله تقریبی ۱ متر در ابتدای منحنی قطع می‌کنند که معادل مقیاس نوسان نمونه‌ها است. در صورتی که تعداد داده‌هایی که مقیاس نوسان آن‌ها محاسبه می‌شود، زیاد باشد ضابطه خط بارتلت به صفر میل می‌کند و این معیار اهمیت خود را از دست می‌دهد.

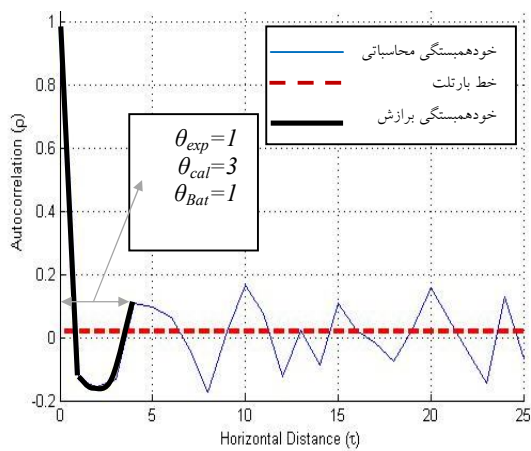


شکل (۶) نمودار تغییرات خودهمبستگی q_c بر حسب فاصله افقی [۶]

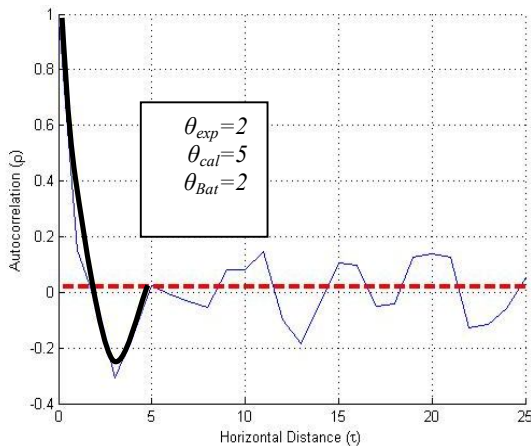
۴- مقیاس نوسان

در این پژوهش با توجه به آنچه در مورد اتخاذ توزیع مناسب برای پارامترهای تصادفی ارائه شد، با انتخاب توزیع قدرمطلق نرمال برای متغیر تصادفی 10^4 داده با میانگین صفر و انحراف معیار واحد تولید شده است. دلیل انتخاب مقادیر بالا برای میانگین و انحراف معیار این است که داده‌هایی با مقادیر میانگین و انحراف معیار دلخواه را می‌توان از روی این داده‌ها به راحتی ایجاد کرد بدون این که تغییری در همبستگی داده‌ها ایجاد شود. برای نمونه فرض شود که قرار است داده‌هایی با میانگین 10^4 و انحراف معیار 4×10^3 ایجاد شود؛ در این صورت می‌توان ابتدا داده‌هایی با میانگین و انحراف معیار به ترتیب برابر صفر و یک، تولید و سپس داده‌های حاصل را در $1/4$ ضرب، با ۱ جمع و

خود نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۷) تغییرات تابع خودهمبستگی بر حسب فاصله تأخیر

(الف) $\theta=1$ (ب) $\theta=2$

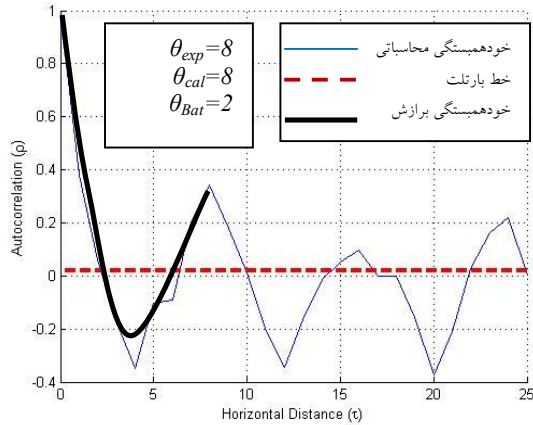
شکل‌های ۷-الف و ۷-ب، روند مشخص میزان مقیاس نوسان را بیشتر از مقدار واقعی آن پیش‌بینی می‌کند. این در حالی است که در شکل‌های ۸-الف و ۸-ب، مقیاس نوسان محاسبه‌شده به کمک روند مشخص به مقدار مورد انتظار نزدیک‌تر می‌شود. با افزایش مقیاس نوسان در شکل‌های ۹-الف تا ج مقدار محاسبه‌شده به کمک فاصله بارتلت از مقدار واقعی، فاصله گرفته و در مقابل، مقدار محاسبه‌شده به کمک روند مشخص برابر مقدار واقعی آن می‌شود.

را برای هر کدام از مقادیر مقیاس نوسان نشان می‌دهند. بررسی این شکل‌ها بیانگر آن است که تابع خودهمبستگی تا رسیدن به فاصله مشخصی، از روند سهموی معینی تبعیت می‌کند و پس از آن، تغییرات تابع خودهمبستگی به صورت تصادفی ادامه می‌یابد.

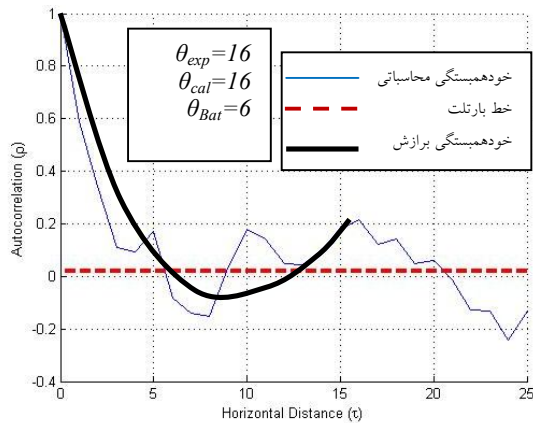
در این پژوهش، محل تلاقی دو روند سهموی (مشخص) و تصادفی به عنوان مقیاس نوسان و یا فاصله همبستگی داده‌ها تعریف شده و درستی این فرضیه به کمک تولید اعداد با فاصله همبستگی از پیش تعیین‌شده، بررسی شده است؛ بنابراین پس از تولید اعداد تصادفی با فاصله همبستگی مشخص، تابع خودهمبستگی داده‌ها به ازای فواصل تأخیر مختلف ترسیم شده و سپس روند کلی تغییرات بخش ابتدایی که به فرم سهموی است به صورت خط توپیر برازش شد که انتهای این بخش سهموی، فاصله همبستگی یا مقیاس نوسان متغیر مطالعه شده تلقی می‌شود. علاوه بر این، برای مقایسه، خط بارتلت متناظر با داده‌ها نیز ترسیم شده که محل تلاقی آن با منحنی تابع خودهمبستگی به عنوان مقیاس نوسان مربوط به خطوط بارتلت (θ_{Bat}) در نظر گرفته می‌شود. به ازای هر یک از مقادیر فاصله همبستگی فرض‌شده، θ_{exp} ، فاصله همبستگی استخراج‌شده از طریق برازش بخش سهموی، θ_{cal} و فاصله همبستگی مربوط به خط بارتلت، θ_{Bat} روی نمودارهای مربوط مشخص شده و با یک‌دیگر مقایسه می‌شود.

شکل ۷، روند شماتیک تغییرات مشخص تابع خودهمبستگی تا رسیدن به فاصله مقیاس نوسان و پس از آن را برای داده‌های بالا نشان می‌دهد. روند مشخص تغییرات تابع خودهمبستگی، حالت سهموی ناقص دارد که با افزایش مقیاس نوسان، این سهمی بازتر می‌شود. برای فواصل بزرگ‌تر از مقیاس نوسان، این تابع رفتار تصادفی از

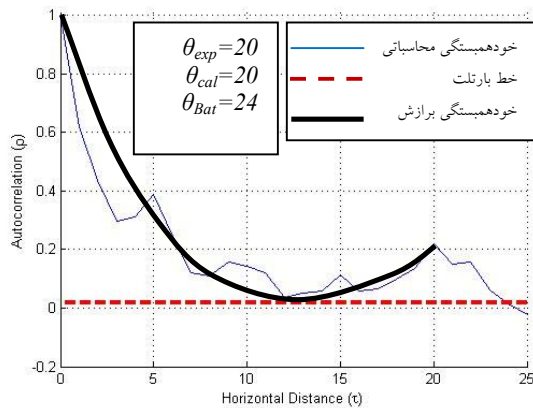
ارائه‌شده در این پژوهش روشی کیفی است که می‌تواند حدود قابل اطمینانی از پارامتر مقیاس نوسان ارائه دهد.



(الف)



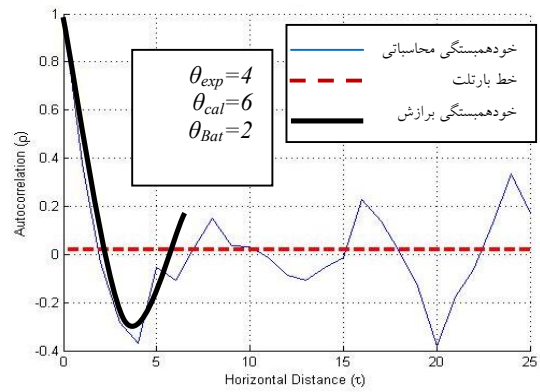
(ب)



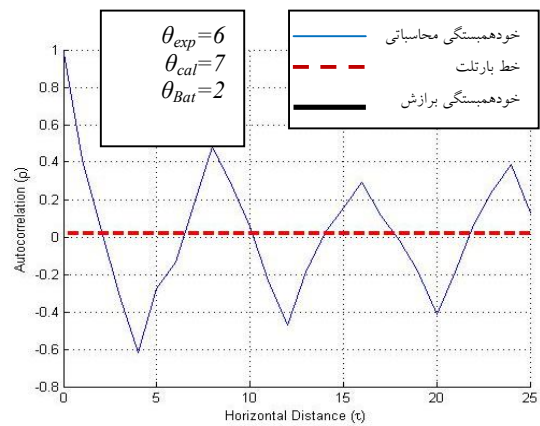
(ج)

شکل (۹) تغییرات تابع خودهمبستگی بر حسب فاصله تأخیر

(الف $\theta=8$ ب $\theta=16$ ج $\theta=20$)



(الف)

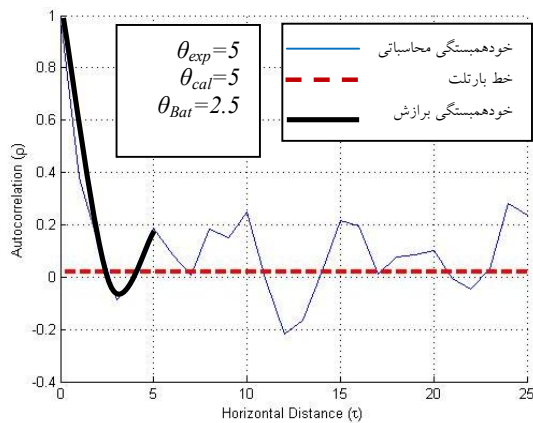


شکل (۸) تغییرات تابع خودهمبستگی بر حسب فاصله تأخیر

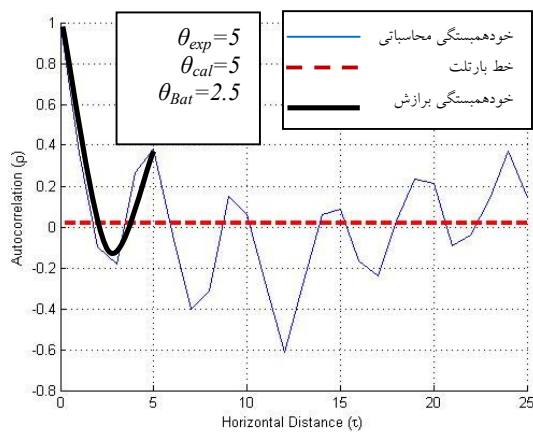
(الف $\theta=4$ ب $\theta=6$)

از بررسی شکل‌های ارائه‌شده و مقادیر مقیاس نوسان مختلف می‌توان نتیجه گرفت که برای مقادیر مقیاس نوسان کوچک مقدار محاسبه شده به کمک فاصله بارتلت، مقادیر دقیق‌تری ارائه می‌دهد. با افزایش فاصله همبستگی داده‌ها، مقادیر حاصل از فاصله بارتلت تغییر ناچیزی از خود نشان می‌دهد و روند مشخص که در شکل ۱۰ به صورت شماتیک نشان داده شده است مقادیر نزدیک‌تری ارائه می‌کند.

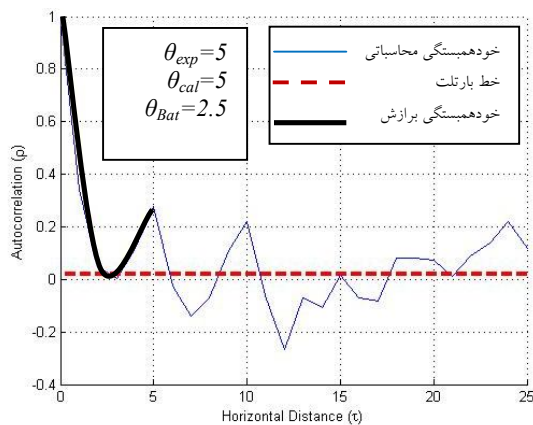
باید توجه داشت که متمایز کردن روند مشخص از روند تصادفی در نمودار خودهمبستگی چندان دشوار نیست و معمولاً بخش ابتدایی نمودار خودهمبستگی که روند سهموی دارد به طور چشمی قابل تشخیص است. با این حال روش



(الف)



(ب)

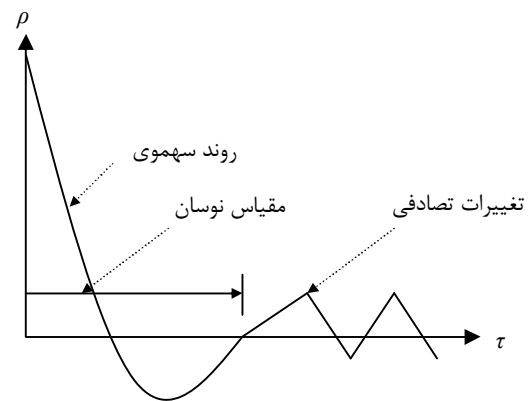


(ج)

شکل (۱۱) تغییرات تابع خودهمبستگی برای مقیاس نوسان $\theta=5$

فواصل نمونه گیری برابر $\tau=1$ (ب) $\tau=2$ (ج) $\tau=3$

نکته مهمی که توجه به آن ضروری است آن است که گرچه اختیار مقادیر مقیاس نوسان به فواصل اندازه گیری داده‌ها وابسته است ولی پس از انتخاب مقیاس نوسان در پروسه محاسبات مربوط به حوزه‌های میانگین محلی (LAS)، تغییر در فواصل بین داده‌ها تأثیری در مقدار مقیاس نوسان محاسبه شده که به وسیله ترسیم تغییرات تابع خودهمبستگی حاصل می‌شود، ندارد و تغییر در فواصل نمونه گیری تنها باعث تغییر در تعداد داده‌هایی می‌شود که همبستگی دارند. برای نمونه در شکل ۱۱، تغییرات تابع خودهمبستگی به ازای فواصل نمونه گیری برابر ۱، ۲ و ۳ ترسیم شده است.



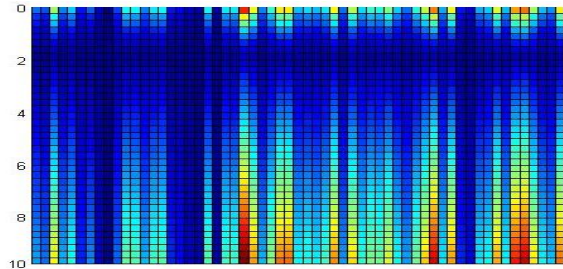
شکل (۱۰) تغییرات شماتیک تابع خودهمبستگی در مقابل فاصله تأخیر

همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است تغییر در فواصل نمونه گیری، تأثیری در مقدار مقیاس نوسان محاسبه شده ندارد. نکته دیگری که توجه به آن اهمیت دارد آن است که خط مربوط به فاصله بارتلت، هر سه منحنی را در موقعیت مشابهی قطع می‌کند.

برای نشان دادن اثر میزان همبستگی داده‌های تصادفی تولید شده در راستای افقی، دو حالت محتمل برای پارامتر مدول الاستیسیته که در راستای قائم، روند مشخص و در راستای افقی توزیع تصادفی همبسته با ضریب تغییرات ثابت دارد، در دو مقیاس نوسان مختلف ترسیم شده است.

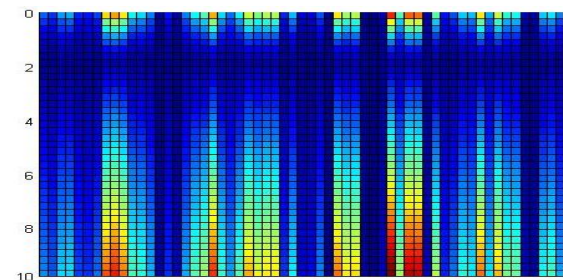
به وسیله‌ی محققین قبلی استفاده شده است، یک توزیع قدر مطلق نرمال برای داده‌های تولیدشده در نظر گرفته شد. به کمک تئوری حوزه‌های میانگین محلی، داده‌هایی با مقیاس‌های نوسان مشخص تولید شد؛ این کار برای هر کدام از مقادیر مقیاس نوسان، ۱۰۰ بار تکرار و از مقادیر خودهمبستگی مربوط به این تکرارها میانگین‌گیری شد. مشخص شد که تابع خودهمبستگی در بخش ابتدایی، روند مشخصی از خود نشان می‌دهد و نقطه انتهایی این روند بیانگر مقدار مقیاس نوسان داده‌ها است. همچنین روند مشخص تغییرات تابع خودهمبستگی، حالت سهموی ناقص داشته که با افزایش مقیاس نوسان، این سهمی بازتر می‌شود. برای فواصل بزرگ‌تر از مقیاس نوسان، این تابع رفتار تصادفی از خود نشان می‌دهد. مقادیر مقیاس نوسان که به کمک برازش روند مشخص روی نمودار خودهمبستگی محاسبه شد، برای مقادیر مقیاس نوسان بزرگ بر مقادیر واقعی انطباق داشته و مشخص شد که مقادیر مقیاس نوسانی که به کمک فاصله بار تلت محاسبه می‌شود کمتر از مقدار واقعی آن است و این معیار، همبستگی داده‌ها را کمتر از مقدار واقعی آن نشان می‌دهد.

به صورت کیفی از توزیع رنگ‌ها در راستای افقی پیداست که در شکل ۱۲ مربوط به مقیاس نوسان بیشتر، همبستگی بیشتر و تغییرات رنگ‌ها ملایم‌تر است و تغییرات ناگهانی در رنگ‌ها در مقایسه با شکل ۱۳ کمتر اتفاق افتاده است.



شکل (۱۲) یک حالت محتمل از توزیع مدول الاستیسیته با میانگین

$$\theta=10, CV=40\%, \mu=10^4 \text{ kPa}$$



شکل (۱۳) یک حالت محتمل از توزیع مدول الاستیسیته با میانگین

$$\theta=3, CV=40\%, \mu=10^4 \text{ kPa}$$

۵- نتیجه‌گیری

ناهمگونی به عنوان پدیده‌ای که مختص مصالح ژئومکانیکی است در این پژوهش بررسی قرار شد. تغییرات پارامترهای رفتاری مصالح ژئومکانیکی در راستای قائم مانند سطح تنش قائم و نسبت بیش‌تحکیمی، روند تغییرات مشخصی دارد در حالی که در راستای افقی چنین روند مشخصی مشاهده نمی‌شود و برای پارامترهای مختلف رفتاری این نوع مصالح باید دنبال توزیع تصادفی بود. در این مطالعه ضمن معرفی تئوری فضای تصادفی و تابع خودهمبستگی، با معرفی اشکالات مربوط به توزیع لگاریتم نرمال که

۶- مراجع

- [1] Nadim F.; Tools and Strategies for Dealing with Uncertainty in Geotechnics, courses and lectures- international centre for mechanical sciences; No. 491, 2007, pp 71-96.
- [2] Babu G. L. S., Mukesh M. D.; Effect of soil variability on reliability of soil slopes, Geotechnique; 54(5), 2004, pp 335-337.
- [3] Uzielli, M., Vannucchi, G. & Phoon, K.K.; Normal field characterization of stress-normalised cone penetration testing parameters. Geotechnique, vol. 55, No. 1, 2005, pp 3-20.
- [4] Wei L., Tumay M. T., Abu-Farsakh M. Y.; Field testing of inclined cone penetration, Geotech. Test. J. ASTM; Vol. 28, No. 1, 2005,

- [11] Jaksa M. B., Brooker P. I., Kaggwa W. S.; "Inaccuracies Associated with Estimating Random Measurement Errors", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE; New York, Vol. 123, No. 5, 1997, pp 393-401.
- [12] VanMarcke, E. H.; "Random Fields: Analysis and Synthesis", M.I.T. Press, Cambridge, 1984.
- [13] Brockwell P. J., Davis R. A.; "Time Series: Theory and Methods", Springer-Verlag, New York, 1987.
- [14] Box G. E. P., Jenkins G. M.; "Time Series Analysis: Forecasting and Control", Holden-Day, San Fransisco, 1970.
- [15] Li K. S., White W.; "Probabilistic characterization of soil profiles", Res. Report 19, Canberra: UNSW, ADFA, 1987.
- [16] Fenton G. A., Griffiths D. V.; "Probabilistic Foundation Settlement on a Spatially Random Soil", *Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, ASCE; No. 128, Vol. 5, 2002, pp 381-390.
- pp 31-41.
- [5] Elkateb T., Chalaturnyk R., Robertson P. K.; "An overview of soil heterogeneity: quantification and implications on geotechnical field problems", *Can. Geotech. J.*; No. 40, 2003, pp 1-15.
- [6] Jaksa M. B., Kaggwa W. S. Brooker P. I.; "Experimental evaluation of the scale of fluctuation of a stiff clay", *Proc. 8th Int. Conf. on the Application of Statistics and Probability*; Ed: Melchers R. E., Stewart M. G., Sydney A. A., Balkema, Rotterdam, (Publ. 2000), Vol. 1, 1999, pp 415-422.
- [۷] جمشیدی چناری، رضا، علومی دودران، رامین؛ «مدل‌سازی ناهمگونی در نهشته‌های طبیعی به کمک اجزای محدود تصادفی»؛ پذیرفته‌شده برای چاپ در فصل‌نامه شریف؛ ۲۰۱۰.
- [۸] علومی دودران، رامین؛ «بررسی نشست زیر پی‌های سطحی و مقایسه نتایج محاسبات حاصل از روش المان محدود با محاسبات کلاسیک»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان؛ ۲۰۱۰.
- [9] VanMarcke E. H.; "Probabilistic modeling of soil profiles", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE; New York, Vol. 103, No. 11, 1977, pp 1227-1246.
- [10] Phoon K. K., Kulhawy F. H.; "Evaluation of geotechnical property variability", *Can. Geotech. J.*; No. 36, 1999, pp 625-39.

Estimation of the Scale of Fluctuation of Geotechnical Properties in Natural Deposits Using Random Field Theory

R. Jamshidi Chenari^{1*}, R. Oloomi Dodaran²

1- Assistant Professor, Faculty of Eng, University Of Guilan, Rasht, Iran

2- M.Sc Graduate, Faculty of Eng, University Of Guilan, Rasht, Iran

Jamshidi_reza@guilan.ac.ir

Abstract:

One of the main distinctions between geomaterials and other engineering materials is the spatial variation of their properties in different directions inside them. This characteristic of geomaterials (so-called as heterogeneity) is studied herewith. Almost all natural soils are highly variable in their properties and rarely homogeneous. Soil heterogeneity can be classified into two main categories. The first is lithological heterogeneity, which can be manifested in the form of thin soft/stiff layers embedded in a stiffer/softer media or the inclusion of pockets of different lithology within a more uniform soil mass. The second source of heterogeneity can be attributed to inherent spatial soil variability, which is the variation of soil properties from one point to another in space due to different deposition conditions and different loading histories. Inherent spatial variability of geomaterials is itself divided into the random component, which is attributed to different depositional conditions, and the deterministic trends, which are attributed to the variation in soil properties, such as increase in soil strength with depth due to increase in confining pressure.

Different elements of soil inherent spatial variability such as mean, variance, and spatial correlation characteristics were introduced with the main focus on the importance of spatial correlation distance and the way to handle it. Several spatial distributions introduced to describe the probabilistic variation of geotechnical properties of soils. Among all, absolute normal distribution was adopted as appropriate distribution, which best presents these properties in horizontal direction.

Variation of geotechnical parameters in vertical direction is, however, conceived to follow a deterministic trend. Using random field theory, local average subdivisions (LAS) formulation and MATLAB Mathworks, virtual data with different correlations was produced, and by employing autocorrelation function, a trend for this function was invoked for different predetermined values of the scale of fluctuations. It was found that autocorrelation function has a deterministic trend as far as the scale of fluctuation has not been exceeded. It is clearly concluded that, for distances farther than the specific scale of fluctuation, the behavior is chaotic and this can be an index to calculate the scale of fluctuation of the experimental data.

Keywords: Heterogeneity, Local average subdivisions, Random field theory, Scale of fluctuation, Spatial variation