

# روشی جدید جهت تعیین نیمرخ لایه ها با استفاده از زمین آمار

مهدی خداپرست\*، فارغ التحصیل دوره دکتری مکانیک خاک و پی دانشگاه تهران

Mahdikhodaparast@yahoo.com

علی فاخر، دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

چکیده- شناسایی لایه های زیر سطحی و تعیین نیمرخ لایه ها در روشهای معمول مطالعات ژئوتکنیک بر اساس مقطع حاصل از گمانه های حفر شده با درونبایی و قضاوت فردی انجام می شود. در بعضی موارد چنانچه فاصله بین گمانه ها زیاد باشد با استفاده از انجام آزمایشهای محلی در بین گمانه ها سعی می شود تعیین لایه بندی با دقت بیشتری انجام پذیرد. در این مقاله با فرض در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به حفر چند گمانه و انجام آزمایشهای محلی در بین گمانه ها، روش جدیدی مبتنی بر استفاده از تکنیک زمین آمار ارائه می گردد. در روش مذکور با ارائه تعریفی جدید برای برخی از مفاهیم زمین آمار، سطحی نسبت به یک نقطه مبنا تعیین می گردد که در آن سطح، وضعیت لایه ها و تغییر مقاومت ثابت است. در این مقاله به عنوان نمونه کاربرد روش پیشنهادی برای ترکیب اطلاعات مربوط به حفر چند گمانه و انجام آزمایشهای نفوذسنجی دینامیکی در بین گمانه ها آورده می شود.

کلید واژگان: زمین آمار، واریوگرام، لایه بندی، شناسایی محلی، نفوذسنجی دینامیکی

## ۱- مقدمه

در مطالعات ژئوتکنیک پس از انجام بررسیها و آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی می بایست وضعیت لایه های زیرسطحی و مشخصات آنها ارائه گردد. تعیین عمق و جنس لایه های زیرسطحی عموماً با توجه به نتایج عملیات گمانه زنی در نقاط مختلف زمین و سپس درون یابی در مابقی نقاط و استفاده از قضاوت فردی و گاهی اوقات با استفاده از نتایج آزمایشهای برجنا نظیر نفوذسنجی در بین گمانه ها صورت می گیرد. در این حالت عمدتاً بررسیها بر اساس مشاهده بصری و مقایسه نیمرخهای مربوط به نتایج این آزمایشات صورت می پذیرد که البته کار پیچیده ای بوده و به مهارت و تجربه فراوانی نیاز دارد [۲،۱].

در این مقاله با استفاده از زمین آمار<sup>۱</sup> یک شیوه محاسباتی جهت تعیین نیمرخ لایه های زیرسطحی بر اساس ترکیب نتایج عملیات گمانه زنی و آزمایشهای محلی ارائه می گردد. اگر اطلاعات حاصل از گمانه ها و آزمایشهای محلی زیاد باشد، تعیین نیمرخ زمین با قضاوت مهندسی مشکل است و بکارگیری یک روش محاسباتی ضروری می گردد. لذا این تحقیق انجام شد. روش ارائه شده در این مقاله می تواند با هر آزمون برجنا بکار رود.

## ۲- سابقه موضوع

در این قسمت سابقه موضوع برای هر یک از ارکان تحقیق ارائه شده در این مقاله تشریح می شود.

### ۲-۱- زمین آمار

در بسیاری از شاخه های علوم زمین از جمله مکانیک خاک به علت وسعت و عمق زیاد میدان مورد مطالعه و همچنین طبیعت تصادفی خاک، از روشهای مدل سازی های آماری و احتمالاتی استفاده می شود [۳].

در آمار کلاسیک هر نمونه یک رخداد تصادفی و مستقل از سایر نمونه ها است و هیچ رابطه ای بین موقعیت مکانی آنها در نظر گرفته نمی شود. فرض مذکور در مورد داده های مربوط به زمین صحیح نیست زیرا این داده ها تا فواصل معینی به دلیل شرایط زمین شناسی مشترک با یکدیگر همبستگی دارند. زمین آمار شاخه ای از آمار کاربردی است که با در نظر گرفتن همبستگی بین داده های زمین شناسی و در نظر گرفتن موقعیت نمونه ها به تشریح ریاضی و تحلیل آماری آنها می پردازد. به عبارت دیگر داده ها در زمین آمار کاملاً مستقل نیستند و به دلیل شرایط زمین شناسی مقید می باشند.

این شاخه از آمار از چند دهه قبل بطور گسترده در سطح جهان بویژه کشورهای صاحب تکنولوژی معدن مطرح شده و کارایی خود را در بسیاری از موارد به اثبات رسانده است [۴]. اگر چه قسمت عمده زمینه های رشد زمین آمار مسئله تخمین ذخایر معدنی بوده است لیکن در بخشهای مختلف علوم زمین شناسی، ژئو فیزیک و اخیراً ژئو تکنیک تحقیقات کاربردی انجام شده است [۶،۵].

1. Geostatistic

در اینجا لازم است به توضیح پاره ای از مفاهیم مهم زمین آمار پرداخته شود. در زمین آمار چنانچه اختلاف بین مقادیر مختلف یک نمونه بنحوی با موقعیت مکانی آنها ارتباط داشته باشد به آن "متغیر ناحیه ای"<sup>۳</sup> گفته می شود که با  $Z(x)$  نشان داده می شود.

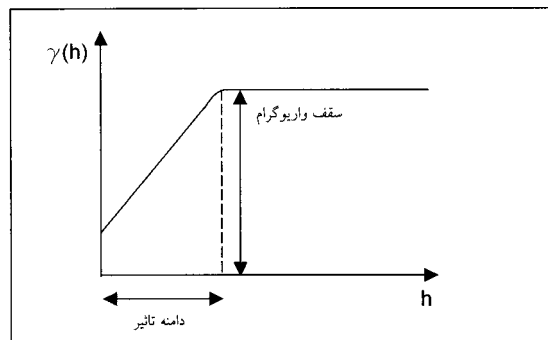
یکی از فرضیات مهم در زمین آمار، فرضیه ذاتی<sup>۴</sup> است [۷]. بر اساس این فرضیه در یک جهت مشخص برای هر فاصله ( $h$ ) واریانس اختلاف بین دو متغیر ناحیه ای ثابت بوده و بستگی به مختصات آنها ندارد. برای مثال فرض کنید دو متغیر  $Z_1$  و  $Z_2$  مربوط به دو نقطه با فاصله  $h$  در یک امتداد مشخص (مثلاً شمال- جنوب) زمین باشند و اختلاف آنها  $\Delta Z$  باشد. اگر برای هر دو نقطه دیگر به فاصله  $h$  در این امتداد مقادیر  $Z(x)$  را تعیین کنیم، واریانس اختلاف بین این دو متغیر  $\Delta Z$  ثابت خواهد بود و به موقعیت آن دو نقطه بستگی ندارد به گونه ای که:

$$Var[z(x+h) - z(x)] = 2\gamma(h) \quad (1)$$

$\gamma(h)$  که اصطلاحاً پراشما یا واریوگرام<sup>۵</sup> نامیده می شود یکی از مهمترین مفاهیم زمین آمار است و اغلب تعاریف و مفاهیم زمین آماری بر اساس آن تعیین می گردند. چنانچه تعداد  $n(h)$  زوج نمونه که به فاصله  $h$  از یکدیگر واقعدند در دست باشد تابع واریوگرام آن بصورت زیر خواهد بود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

البته باید توجه داشت که تابع فوق یک تابع برداری است لذا مقدار آن در امتدادهای مختلف قابل محاسبه می باشد. یک محدودیت مهم برای محاسبه  $\gamma(h)$  آنست که باید از زوج نمونه هایی استفاده گردد که با یکدیگر دارای فاصله مشخص ( $h$ ) باشند. لذا ضرورت دارد که تا حد امکان نمونه گیری در هر امتداد بصورت منظم و در فواصل تقریباً مساوی صورت پذیرد. در منحنی واریوگرام با افزایش فاصله ( $h$ ) مقدار  $\gamma(h)$  افزایش می یابد و این وضعیت تا فاصله معینی ادامه دارد که از آن پس مقدار آن ثابت می شود، (شکل ۱). این امر نشانگر آن است که نمونه ها فقط تا فاصله معینی به هم وابستگی دارند.



شکل (۱) نمونه ای از یک واریوگرام

فاصله ای که پس از آن دیگر نمونه ها به یکدیگر وابسته نمی باشند، دامنه تاثیر نامیده می شود. همچنین مقدار حداکثر  $\gamma(h)$  در دامنه تاثیر را سقف واریوگرام می گویند.

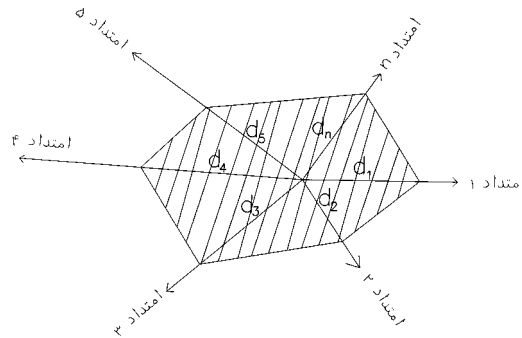
در علم زمین آمار در محدوده دامنه تاثیر از تخمینگرهای آماری برای تعیین متغیر مورد مطالعه استفاده می شود بگونه ای که تخمین دارای کمترین خطا باشد. کریجینگ<sup>۵</sup> یکی از مهمترین تخمینگرهای زمین آماری می باشد که اساس آن تخمین با کمترین واریانس است.

### ۳- روش پیشنهادی در تحقیق حاضر

در روش پیشنهادی در این تحقیق هدف اصلی عبارت است از آنکه اولاً معین گردد در اطراف یک گمانه مشخص به عنوان نقطه مبنا، برای هر امتداد تا چه فاصله ای از گمانه تغییر قابل توجهی در لایه بندی رخ نمی دهد (شعاع همسایگی در امتداد مورد نظر) و سطح در برگزیده آنها یعنی سطحی که دارای لایه بندی همانند نقطه مبنا می باشد مشخص گردد. ثانیاً از مجموع نتایج آزمایشها و گمانه شاهد یک لایه بندی برای کل سطح مذکور ارائه گردد.

2. Regionalized Variable
3. Intrinsic Hypothesis
4. Variogram
5. Kriging

لازم به ذکر است که در این مقاله در هر امتداد، فاصله ای نسبت به نقطه مبنا که در آن تغییر قابل توجهی در لایه بندی رخ نمی دهد فاصله موثر و سطحی که دارای لایه بندی همانند نقطه مبنا می باشد سطح موثر نامیده می شود. برای مثال با توجه به شکل ۲ اگر فاصله موثر در امتدادهای ۱، ۲ الی  $n$  برابر با  $d_1$ ،  $d_2$  تا  $d_n$  باشد آنگاه محدوده هاشور خورده نشان دهنده سطح موثر است.



شکل (۲) پلان محل قرارگیری نقطه مبنا ( $x_0$ ) و فاصله موثر در راستاهای مختلف که منجر به تعیین سطح موثر (منطقه هاشور خورده) می شود.

### ۳-۱- کلیات روش و لزوم اصلاح واریوگرام

واریوگرام یکی از مهمترین مفاهیم زمین آمار است که اغلب تعاریف و مفاهیم دیگر زمین آماری بر اساس آن تبیین می گردند. به زبان ساده تابع واریوگرام دو متغیر که دارای یک فاصله معین در یک امتداد مشخص می باشند اختلاف واریانس بین آن دو است. در بخش ۲-۲ نحوه محاسبه و ویژگیهای واریوگرام بطور مفصل تشریح شد.

در زمین آمار از منحنی واریوگرام برای دو هدف مهم و عمده استفاده می شود [۷]. هدف اول تعیین همسانی و شعاع همسایگی در امتدادهای مختلف (که در این تحقیق فاصله موثر نامیده می شود) است. هدف دوم استفاده از آن جهت تخمین عیار مواد معدنی کانسارها در روشهایی نظیر کریجینگ می باشد. جهت ترسیم و استفاده از منحنی واریوگرام دو نکته وجود دارد:

الف- فرضیه ذاتی تاکید دارد که در یک امتداد مشخص برای هر دو زوج نمونه ای که دارای یک فاصله معین از یکدیگر باشند، اختلاف واریانس در آنها تابع فاصله مذکور بوده و به مختصات آنها بستگی ندارد.

این فرضیه در بررسی مشخصات لایه های زیر سطحی با توجه به طبیعت تصادفی بودن زمین و پیچیدگیهای زمین شناسی همواره قابل قبول نمی باشد و شاید تنها در مواردی اعتبار داشته باشد که در صورت عدم ساختارهای زمین شناسی پیچیده فاصله ( $h$ ) مقدار بسیار کوچکی باشد و یا آنکه در محدوده مورد نظر و در عمق مورد بررسی مصالح نسبتاً همگن و یکنواخت باشند [۶]. لذا فرضیه ذاتی که در قسمت ۲-۲ تشریح شد بطور عمومی برای کاربردهای ژئوتکنیکی قابل استفاده نیست.

ب- جهت ترسیم منحنی واریوگرام باید نمونه گیری در یک شبکه نسبتاً منظم در امتدادهای مختلف و در فواصل ثابت صورت گرفته باشد. از سوی دیگر با توجه به بند الف در مطالعات ژئوتکنیک باید فاصله نمونه گیری نیز تا حد امکان کاهش یابد که چنین امری بسیار پر هزینه و غیر اقتصادی خواهد بود. لازم به توضیح است که منظور از نمونه گیری در اینجا می تواند ثبت نتیجه یک آزمایش خاص محلی در یک عمق معین باشد.

با توجه به معایب ذکر شده در بالا پیشنهاد می گردد با عدم پذیرش فرضیه ذاتی صرفاً از آن در امتدادهای مختلف جهت بررسی میزان یکنواختی لایه ها و تعیین فاصله موثر و سپس مشخص نمودن سطح موثر استفاده گردد. بنابراین فرمول واریوگرام اصلاح می شود که عبارت از تعیین یک محل به عنوان مبنا و محاسبه واریانس نمونه هر محل دیگر نسبت به نقطه مبنا است. لذا خواهیم داشت:

$$Var[z(x_h) - z(x_0)] = 2\gamma^*(h) \quad (4)$$

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{n} [z(x_h) - z(x_0)]^2 \quad (5)$$

در روابط فوق  $z(x_0)$  مقدار نمونه مبنا،  $z(x_h)$  در روابط فوق  $z(x_0)$  مقدار نمونه مبنا،  $z(x_h)$  مقدار نمونه در فاصله  $h$  نسبت به نقطه مبنا و  $\gamma^*(h)$  واریوگرام اصلاح شده می باشد. رابطه (۵) در واقع همان رابطه (۲) با  $n = 1$  است.

شایان ذکر است که در فرمول پیشنهادی فوق دیگر وجود یک شبکه منظم و برنامه ریزی شده با فواصل بسیار نزدیک برای نمونه گیری لازم نیست. همچنین با محاسبه واریوگرام اصلاح شده می توان در هر امتداد فاصله موثر را محاسبه کرد و سطح در برگیرنده آنها را در پلان به عنوان سطحی که دارای لایه بندی همانند نقطه مبنا می باشد (سطح موثر)، مشخص نمود.

### ۳-۲- ارزیابی تئوریک روش جدید پیشنهادی

از آنجایی که فرضیه ذاتی جهت امکان استفاده از روشهای تخمین عیار کانسارهای معدنی پیشنهاد شده [۷،۵،۴] لذا عدم استفاده از این فرضیه خللی در بهره برداری از فرمول واریوگرام و سایر مفاهیم زمین آماری مورد استفاده در این تحقیق وارد نمی کند. از سوی دیگر فرضیه ذاتی یک فرضیه ساده کننده است که حتی در مسائل معدنی معمولاً این شرط برای کل محدوده یک کانسار قابل استفاده نبوده و فرضیه ذاتی فقط در مناطق محدودی از کانسار صادق می باشد [۷]. البته با وجود این نکته، فرضیه مذکور یکی از فرضیات مهم و پایه در روشهای تخمین عیار مواد معدنی کانسارها نظیر کریجینگ است [۷،۵،۴]. به این ترتیب این فرضیه بطور عمومی برای کاربردهای ژئوتکنیکی قابل استفاده نیست و عدم پذیرش فرضیه ذاتی در روش پیشنهادی در این تحقیق عاملی برای افزایش اطمینان و دقت آن می باشد.

### ۳-۳- فاصله موثر برای اعماق مختلف در واریوگرام اصلاح شده

با توجه به واریوگرام اصلاح شده، برای مشخص کردن فاصله موثر می بایست طولی نسبت به نقطه مبنا تعیین گردد که در آن طول تغییر قابل توجهی در جنس و مقاومت لایه ها و بطور کلی در وضعیت لایه بندی ایجاد نگردد. همانطور که در شکل (۵) ملاحظه گردید، تعیین سطح موثر نیازمند تعیین  $(d_i)$  در امتدادهای مختلف است. در تحقیق حاضر برای تعیین فاصله موثر  $(d_i)$  در یک امتداد مشخص، ابتدا برای نتایج آزمایشی که در فاصله  $h$  از نقطه مبنا قرار دارد مقدار  $k$  در هر عمق از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$k = \frac{\gamma^*(h)}{\gamma_{\max}^*(h)} \quad (6)$$

در رابطه فوق  $\gamma^*(h)$  واریوگرام اصلاح شده و  $\gamma_{\max}^*(h)$  مقدار حداکثر واریوگرام اصلاح شده در فاصله موثر می باشد که با توجه به جنس و مقاومت لایه در نقطه مبنا تعیین می گردد. بدیهی است حداکثر مقدار  $k$  در محدوده فاصله موثر برابر با یک است. به عنوان نمونه اگر بخواهیم فاصله موثر را با توجه به نتایج آزمایش نفوذ استاندارد<sup>۱</sup> در یک عمق معین تعیین نماییم و نقطه مبنا مربوط به یک لایه ماسه نسبتاً متراکم با عدد نفوذ استاندارد ۲۰ باشد، در هر امتداد فاصله موثر تا طولی ادامه دارد که نتایج آزمایش مذکور بین ۱۰ تا ۳۰ باشد [۸]. لذا مقدار  $\gamma_{\max}^*(h)$  در فاصله موثر ۵۰ خواهد بود.

لازم به ذکر است که در این تحقیق به منظور ترسیم منحنی های  $k$ ، و در نهایت ارائه نیمرخ لایه ها در عمق یک نرم افزار صفحه گسترده در فضای Excel با نام  $\gamma^*$  تهیه شده است تا محاسبات را به سرعت انجام دهد. در این برنامه ابتدا با توجه به اطلاعات مربوط به نقطه مبنا و نتایج آزمایشهای محلی در امتدادهای مختلف، منحنی های تغییرات  $k$  در عمق ترسیم می گردد. سپس با تعیین فاصله موثر در امتدادهای مختلف آزمایشهایی که در داخل سطح موثر قرار دارند مشخص می شوند. در نهایت با استفاده از نتایج گمانه ها و آزمایشهای محلی داخل سطح موثر نیمرخ لایه ها در عمق تعیین می گردد.

### ۴- مطالعه موردی

در این بخش به استفاده از روش پیشنهادی تحقیق حاضر در ساختمان بزرگ پروژه توسعه بندر شهید رجایی پرداخته می شود. این بندر در ۶۰ کیلومتری شرق بندرعباس واقع شده است. منطقه مورد نظر جهت توسعه آن دارای سطحی بیش از یکصد هکتار بوده که با توجه به وسعت زمین آن علاوه بر این که تعدادی گمانه حفر شد، در فاصله بین آنها آزمایش محلی نفوذسنجی دینامیکی انجام شده است. تعداد زیاد آزمایشها و همچنین پیچیدگی نسبی لایه ها موجب گردید که لایه بندی با قضاوتهای فردی مشکل باشد. لذا روش پیشنهادی در تحقیق حاضر برای لایه بندی مورد استفاده قرار گرفت. در این پروژه علاوه بر انجام آزمایشهای نفوذسنجی دینامیکی، عملیات گمانه زنی و سایر آزمایشهای متداول ژئوتکنیکی در سالهای ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۴ انجام شده است (شکل ۳).

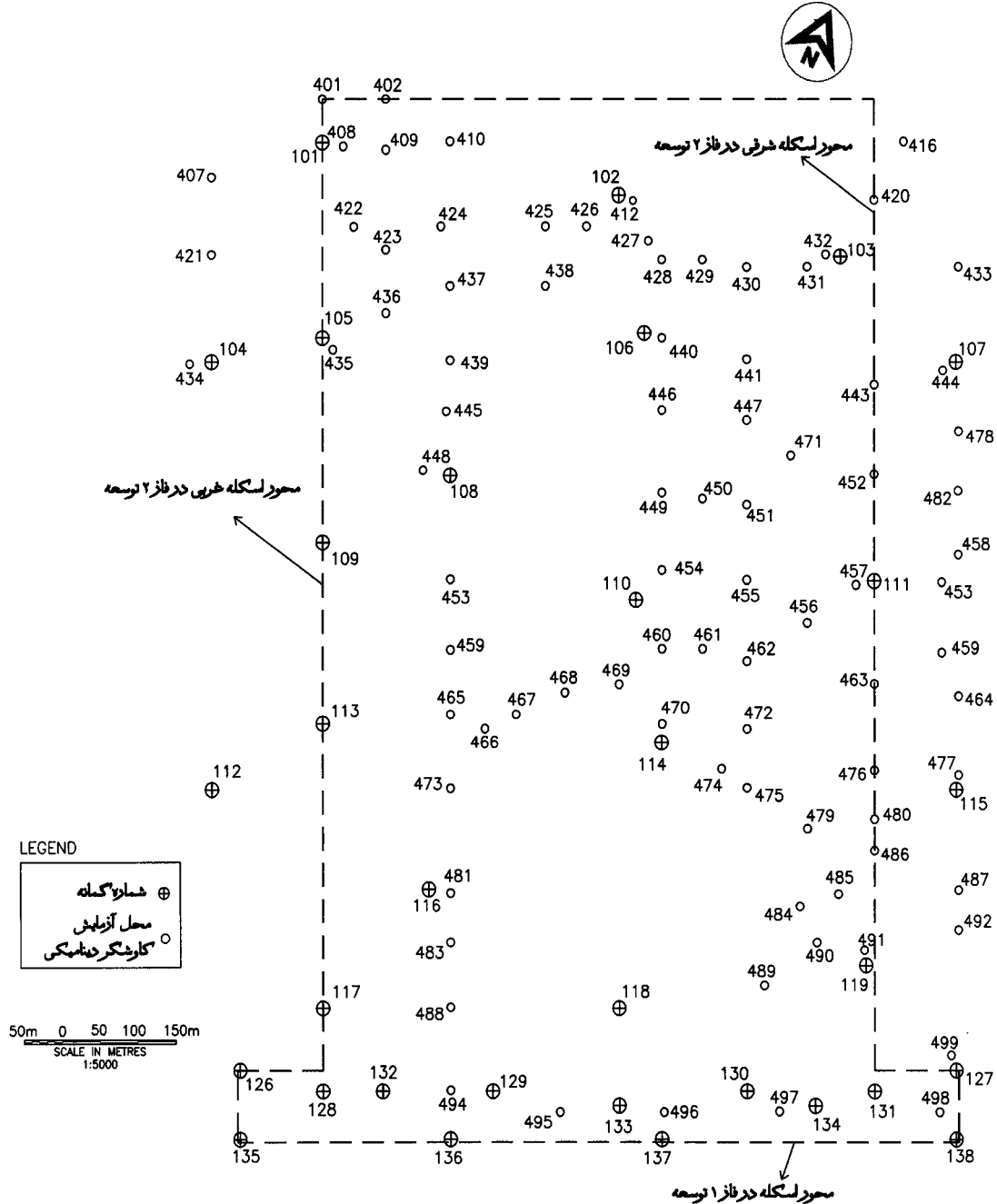
در آزمایش نفوذسنجی دینامیکی جسمی در اثر ضربه، در داخل خاک نفوذ می کند و مقاومت آن در مقابل نفوذ به مشخصات خاک ارتباط داده می شود. ابزار این آزمایش را کوشگرهای دینامیکی می نامیم که از سه بخش اصلی به نام چکش، مخروط نفوذ و میله های رابط تشکیل شده اند. انرژی لازم برای نفوذ در زمین در اثر ضربه تأمین می گردد. این ضربه از سقوط وزنه ای معین و از ارتفاعی مشخص ناشی می شود. تعداد ضرباتی که باعث نفوذ به مقدار معین (بسته به وزن چکش بین ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر) می گردد ثبت و با حرف M نشان داده می شود. در نهایت نموداری پیوسته از تغییرات M در عمق قابل حصول خواهد بود. تعدادی از انواع این ابزار در پروژه های تحقیقاتی دامنه دار توسط مولفین ساخته شده و مزایا و امتیازهای ویژه استفاده از آنها تشریح شده است [۱۱،۱۰،۹].

6. SPT

7. Stratigraphic Profiling by Geostatistic

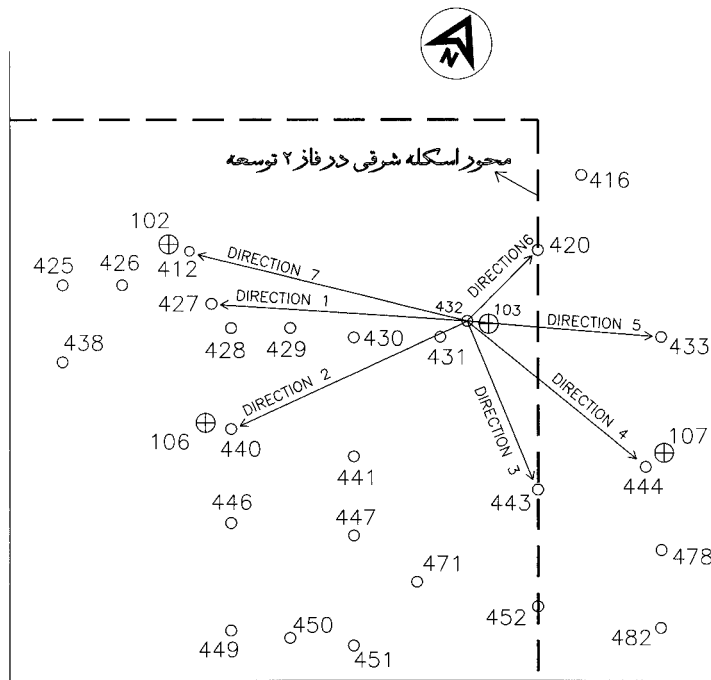
#### ۴-۱- بکارگیری روش پیشنهادی این تحقیق

به منظور اعمال روش پیشنهادی در تحقیق حاضر محل گمانه BH103 به عنوان نقطه مبنا انتخاب گردیده است. زیرا در مجاورت آن آزمایش نفوذسنجی دینامیکی ۴۳۲ انجام شده بود. در این محل بر اساس پروفیل گمانه BH103 لایه های زیر سطحی شامل یک لایه یک متری از خاک دستی، یک لایه ۱/۵ متری از شن ماسه دار و پس از آن تا عمق ۱۰ متر شامل لایه ای از ماسه سیلت دار با اندکی رس می باشد.



شکل (۳) پلان محل گمانه ها و انجام آزمایش کاوشگر دینامیکی در مطالعات ژئوتکنیک در پروژه فاز ۱ و ۲ توسعه بندر شهید رجایی

با توجه به محل آزمایشهای انجام شده در اطراف نقطه مبنا در شکل ۷، جهت تعیین فاصله موثر ۷ امتداد در نظر گرفته شده است (شکل ۴).



شکل (۴) انتخاب نقطه مبنا و امتدادهای مختلف

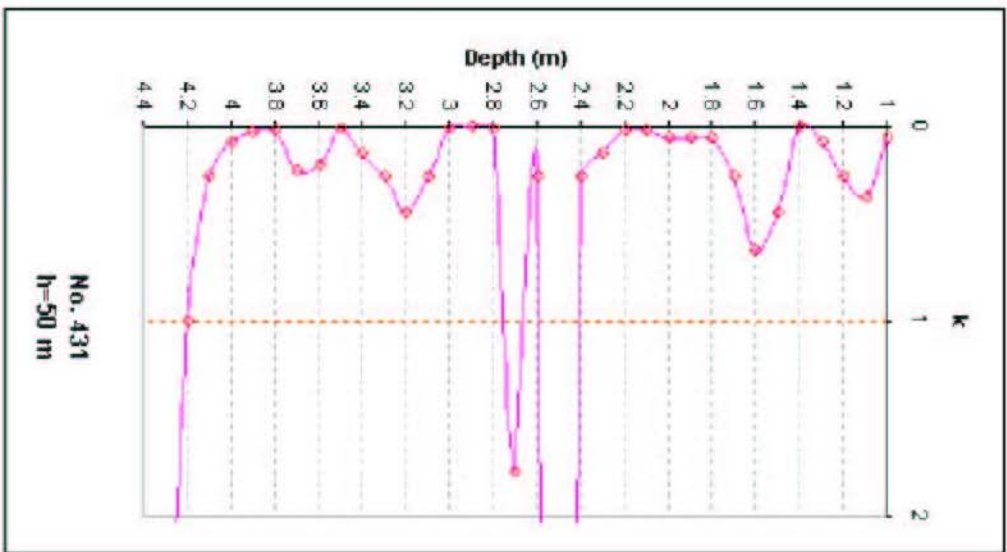
سپس در هر امتداد و برای محل هر آزمایش منحنی تغییرات  $k$  با نرم افزار SPS در عمق ترسیم گردیده است. در منحنی تغییرات  $k$  بر حسب عمق چنانچه مقدار  $k$  بطور پیوسته در ضخامتی بیش از ۳۰ سانتیمتر از یک بزرگتر نباشد آن آزمایش در محدوده فاصله موثر خواهد بود. این شرط با در نظر گرفتن حداکثر ضخامت ۳۰ سانتیمتر برای یک لایه نازک تعریف شده است. به عبارت دیگر اگر مقدار  $k$  بطور پیوسته در ضخامتی بیش از ۳۰ سانتیمتر باشد، این مقدار به عنوان تغییر در لایه بندی قلمداد می گردد.

لازم به ذکر است که آزمایشهای نفوذسنجی دینامیکی در اطراف نقطه مبنا با استفاده از نفوذسنج نوع متوسط (DPM) انجام شده که عمدتاً عمق این آزمایشها بین ۴/۵ تا ۱۰ متر است. لذا به منظور آنکه بتوان از نتیجه همه این آزمایشها استفاده نمود در این مقاله صرفاً بررسی تا عمق ۴/۵ ارائه می گردد تا مثال کاملی از کاربرد روش پیشنهادی این مقاله ارائه شود.

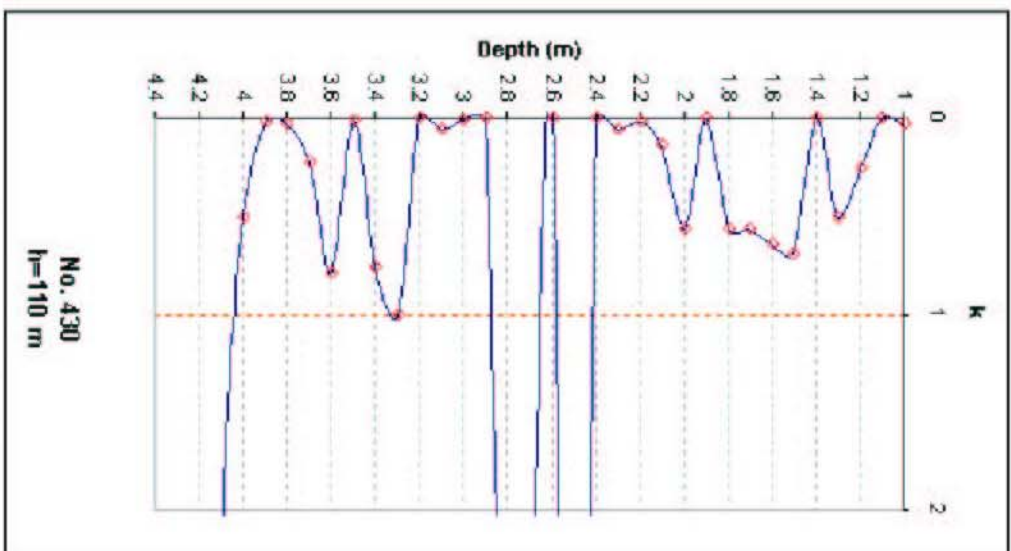
منحنی های تغییرات  $k$  در عمق برای هر ۲ امتداد در شکلهای (۵-۱) تا (۵-۶) آورده شده است. همانطور که مشاهده می گردد در امتداد ۱ فاصله موثر تا محل آزمایش شماره ۴۲۸ (در فاصله ۲۱۰ متری از نقطه مبنا) ادامه دارد. به گونه ای که در این فاصله مقدار  $k$  بطور پیوسته در ضخامتی بیش از ۳۰ سانتیمتر از یک بزرگتر نشده است. لیکن شرط مذکور در محل آزمایش ۴۲۷ در این امتداد نقض شده است (در اعماق ۳/۱ تا ۳/۵ متر). در امتداد ۲ محل آزمایش ۴۴۰ داخل محدوده فاصله موثر نمی باشد.

بطور مشابه این بررسی برای سایر امتدادها نیز انجام شده است که بر اساس آن محل آزمایشهای ۴۴۴ در امتداد ۴، ۴۳۳ در امتداد ۵ و ۴۲۰ در امتداد ۶ داخل محدوده فاصله موثر می باشد لیکن محل آزمایشهای ۴۴۳ در امتداد ۳ و ۴۱۲ در امتداد ۷ داخل محدوده فاصله موثر نیست. به این ترتیب با تعیین فاصله موثر در امتدادهای مختلف سطح موثر یعنی سطحی که در آن وضعیت لایه ها و تغییر مقاومت در آنها ثابت می باشد مشخص می گردد. این سطح در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۷ مقطع دو گمانه که داخل محدوده سطح موثر در شکل ۶ قرار دارند، ترسیم شده است.

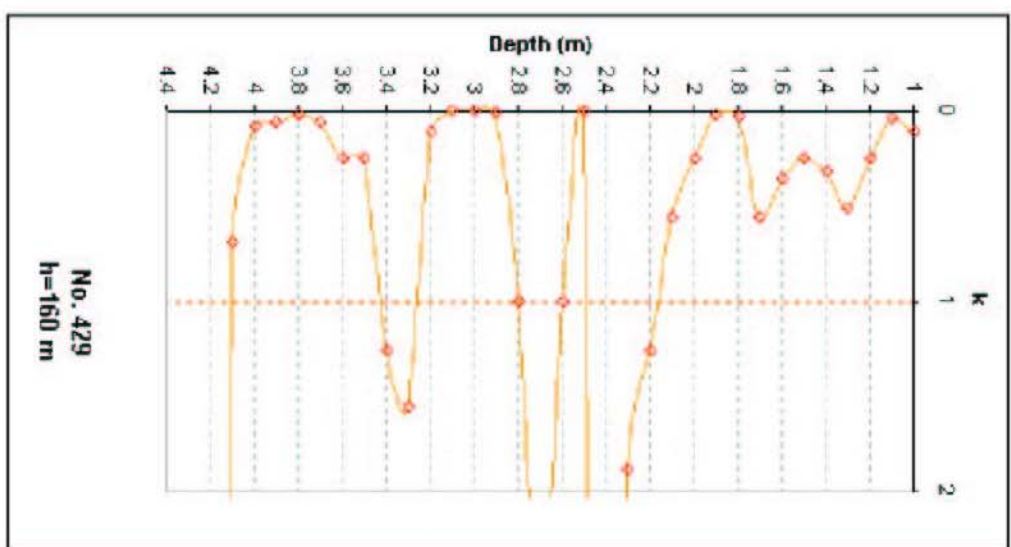
به این ترتیب روش ارائه شده در این تحقیق این امکان را فراهم نمود که بتوان نسبت به محل گمانه BH103 به عنوان نقطه مبنا سطحی را تعیین کرد که وضعیت لایه بندی در آن سطح همسانگرد (دارای وضعیت یکسان در جهات گوناگون) باشد (شکل ۶). همچنین با مقایسه پروفیل گمانه BH103 به عنوان نقطه مبنا و گمانه BH107 که در داخل محدوده سطح موثر قرار دارد می توان از دقت سطح موثر تعیین شده اطمینان حاصل نمود و در نهایت پروفیل لایه بندی سطح موثر را پیشنهاد داد.



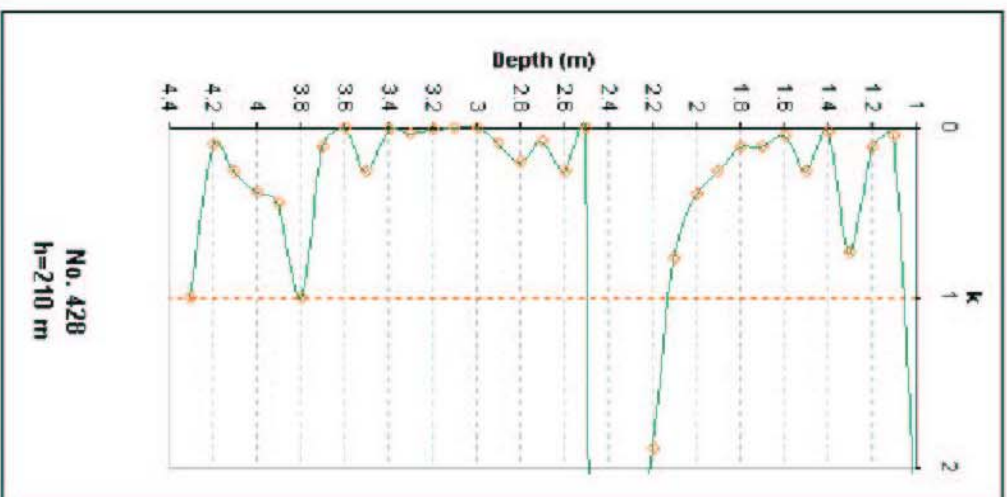
شکل (۱-۶) منحنی تغییرات  $K$  در عمق  
مربوط به آزمایش شماره ۴۳۱ در امتداد ۱  
نتیجه: این محل داخل محدوده فاصله موثر می باشد



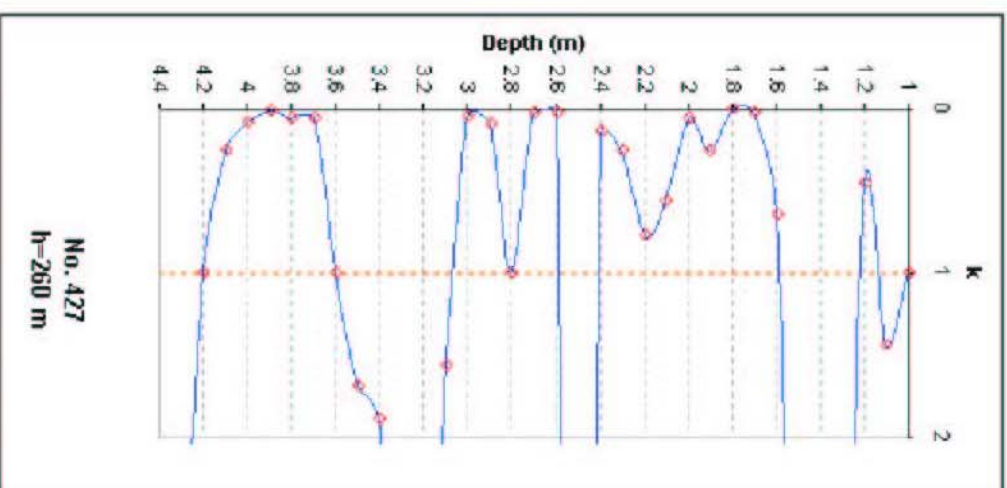
شکل (۲-۶) منحنی تغییرات  $K$  در عمق  
مربوط به آزمایش شماره ۴۳۰ در امتداد ۱  
نتیجه: این محل داخل محدوده فاصله موثر می باشد



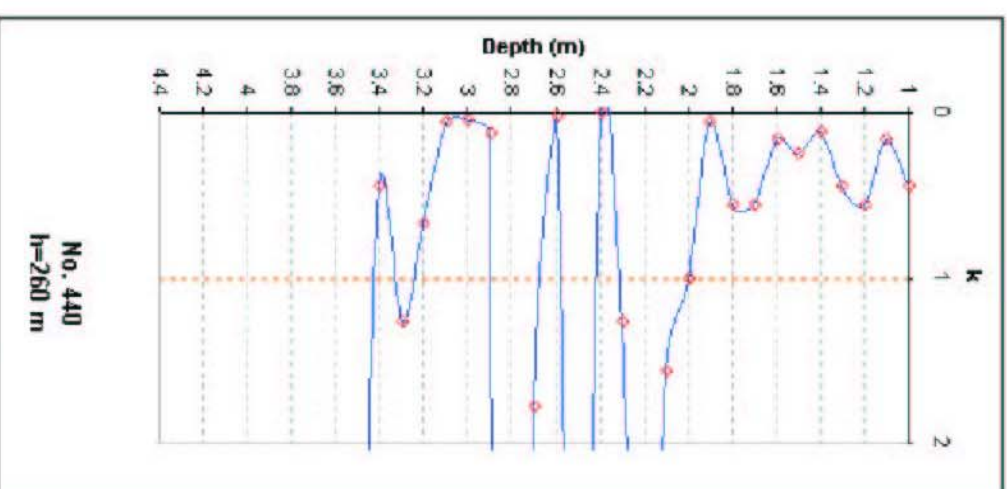
شکل (۳-۶) منحنی تغییرات  $K$  در عمق  
مربوط به آزمایش شماره ۴۲۹ در امتداد ۱  
نتیجه: این محل داخل محدوده فاصله موثر می باشد



شکل (۹-۴) منحنی تغییرات  $K$  در عمق مربوط به آزمایش شماره ۴۲۸ در امتداد ۱ نتیجه: این منحنی داخل محدوده فاصله موثر نمی باشد

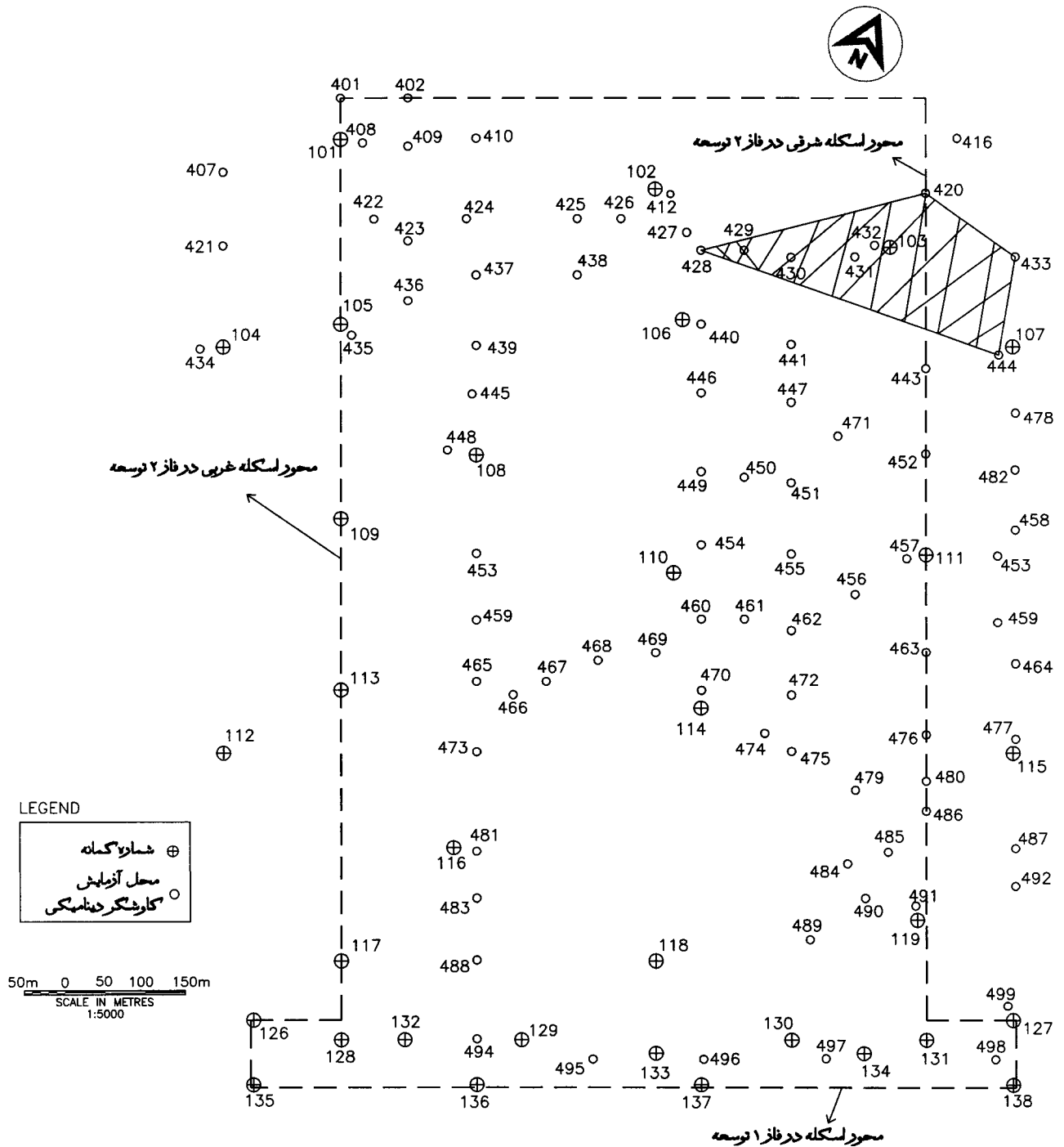


شکل (۹-۵) منحنی تغییرات  $K$  در عمق مربوط به آزمایش شماره ۴۲۷ در امتداد ۱ نتیجه: این منحنی داخل محدوده فاصله موثر نمی باشد



شکل (۹-۶) منحنی تغییرات  $K$  در عمق مربوط به آزمایش شماره ۴۴۰ در امتداد ۲ نتیجه: این منحنی داخل محدوده فاصله موثر نمی باشد

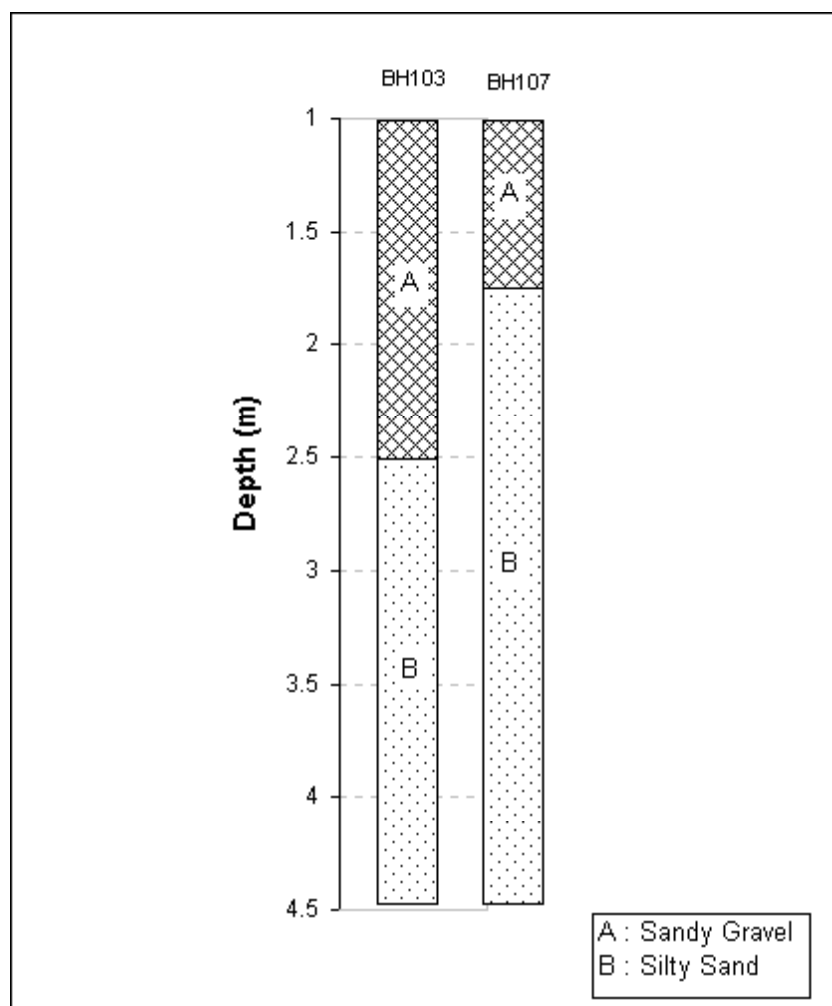




شکل (۶) سطح موثر اطراف گمانه BH103

## ۵- نتیجه گیری

- الف- چنانچه لایه بندی تنها بر اساس مقطع گمانه ها انجام شود اشکال و ایراد مهم، عدم اطلاع از وضعیت لایه ها در بین گمانه ها می باشد.
- ب- با در اختیار داشتن نتایج توام پروفیل گمانه ها و آزمایشهای محلی می توان با اطمینان بیشتری نسبت به تعیین لایه بندی اقدام نمود. لیکن تعیین تاثیر نتایج آزمایشهای محلی در لایه بندی کاری مشکل و پیچیده بوده و تنها یک مهندس ژئوتکنیک با تجربه کافی نسبت به محل می بایست در این خصوص اقدام نماید.
- ج- بر اساس روش پیشنهادی در تحقیق حاضر می توان دو دسته اطلاعات مثل نتایج حاصل از گمانه ها و نتایج آزمایشهای نفوذسنجی را ترکیب کرد. این روش در جایی که از آزمایشهای محلی نظیر نفوذسنجی برای کاهش تعداد گمانه ها استفاده می شود، کاربرد دارد.



شکل (۶) تعیین مقطع دو گمانه که داخل محدوده سطح موثر قرار دارند

## مراجع

- [1] Huntley, S.L.; "Use of dynamic penetrometer as a ground investigation and design tool in Hertfordshire"; *Field Testing in Engineering Geology; Geological Society Engineering Geology Special Publication; No. 6; 1990; pp. 145-159.*
- [2] Low, I.J. and Zaccheo, P.F.; "Subsurface explorations and sampling"; *Foundation Engineering Handbook; Fang, Y.H. (eds), Chapman & Hall Publishers; 1990; pp. 12-14.*
- [۳] تاج الدین، رامتین؛ "مدل سازی آماری توزیع سه بعدی مشخصه های ژئوتکنیکی خاک"؛ پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی؛ فرزانه، اورنگ (راهنما)؛ گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ ۱۳۷۶؛ ۲۰۹ صفحه.
- [۴] رندو، ج. م؛ "اصول زمین آماری"؛ خدایاری، علی اصغر (مترجم)؛ نشر جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران؛ ۱۳۷۱؛ ۲۱۲ صفحه.
- [۵] مدنی، حسن؛ "مبانی زمین آمار"؛ نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ ۱۳۷۳؛ ۶۶۰ صفحه.
- [6] Chiasson, P.; Lafleur, J.; Soulié, M. and Law, K.T.; "Characterizing spatial variability of a clay by geostatistics"; *Canadian Geotechnical Journal; Vol. 32; 1995; pp. 1-10.*
- [۷] حسنی پاک، علی اصغر؛ "زمین آمار"؛ نشر دانشگاه تهران؛ ۱۳۷۷؛ ۳۱۴ صفحه.
- [۸] داس، ب. م؛ "اصول مهندسی ژئوتکنیک، مکانیک خاک"؛ صالح زاده، حسین (مترجم)؛ جلد دوم؛ نشر دانشگاه علم و صنعت؛ ۱۳۷۲؛ ۳۸۰ صفحه.
- [9] Fagher, A. and Khodaparast, M.; "The repeatability in results of Mackintosh Probe test"; *Proc. 2nd Int. Conf. Geotechnical and Geophysical Site Characterization; Porto; 2004; pp 325-330.*
- [۱۰] خدایپرست، مهدی؛ "توسعه تکنیکهای شناسایی خاک با استفاده از کاوشگرهای دینامیکی"؛ پایان نامه دکتری مکانیک خاک گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۴.
- [11] Fagher, A.; Khodaparast, M. and Jones, C.J.F.P.; "The use of Mackintosh Probe for site investigation in soft soils"; *Q.J.E.G. London; No. 39; 2006; pp. 189-196.*