



## پهنه‌بندی ژئوتکنیکی و ارزیابی ظرفیت باربری مجاز شهر مشهد

ناصر حافظی مقدس<sup>۱\*</sup>، اعظم قزی<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی

Email: nhafezi@shahroodut.ac.ir

### چکیده

در مقاله حاضر نقشه پهنه‌بندی ژئوتکنیکی شهر مشهد با تأکید بر توان ظرفیت باربری مجاز پی براساس اطلاعات ۲۰۰ گمانه تهیه شده است. برای این منظور خصوصیات مکانیکی با توجه به نتایج آزمایشات برش مستقیم، سه محوری و همچنین عدد *SPT* تعیین شده و سپس ظرفیت باربری برای شالوده نواری با پهنای ۲ و ۱ متر و عمق ۱/۵ و ۱ متر محاسبه و نقشه ظرفیت باربری مجاز تهیه گردیده است. نقشه مذکور نشان می‌دهد که بطور کلی ظرفیت باربری پی در شهر مشهد به استثنای قسمت مرکزی شهر بالا می‌باشد. از غرب به شرق با کاهش اندازه ذرات و افزایش درصد رطوبت طبیعی خاک ظرفیت باربری کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی ژئوتکنیکی، ظرفیت باربری مجاز، شهر مشهد

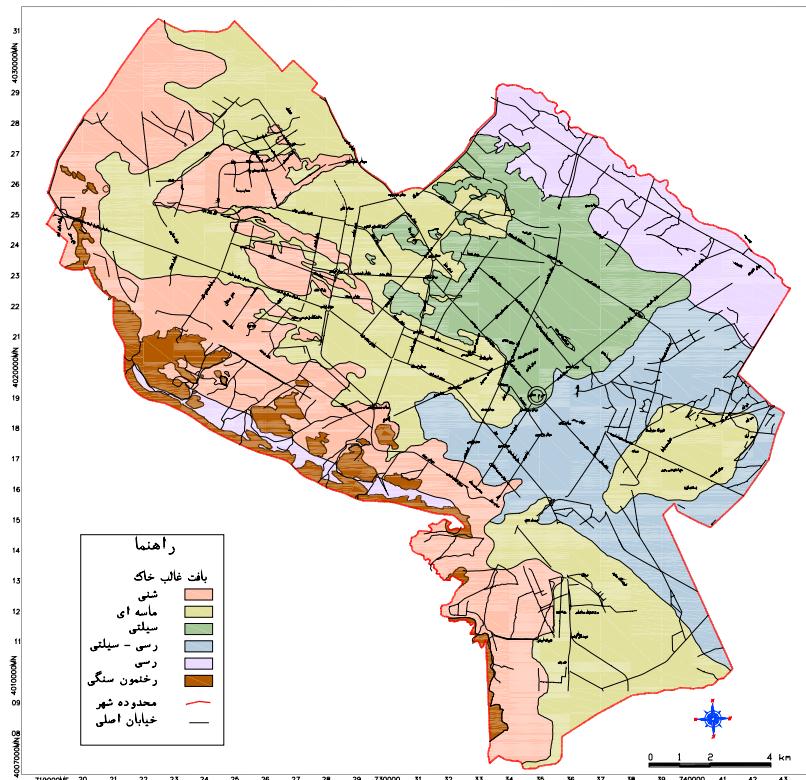
### مقدمه

نقشه‌های پهنه‌بندی ژئوتکنیکی نوع نقشه‌های زمین شناسی مهندسی می‌باشد که با اهداف خاصی نظری ارزیابی ظرفیت باربری، نشت پذیری، خطر روانگرایی و غیره تهیه می‌شوند. در این نقشه‌ها مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک در عمق مورد نظر بر روی نقشه نشان داده می‌شود. مهمترین کاربرد نقشه‌های ژئوتکنیکی برآورد ظرفیت باربری مجاز خاک، برآورد حجم و نوع عملیات ژئوتکنیکی مورد نیاز جهت مطالعات دقیق تر ساختگاه می‌باشد. ظرفیت باربری میزان تحمل خاک در برابر گسیختگی و نشت می‌باشد و طراحی پی سازه‌ها بر مبنای آن انجام می‌گیرد. ظرفیت باربری یک شالوده را می‌توان با توجه به پارامترهای خاک بخصوص چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلى تعیین نمود. پارامترهای فوق با استفاده از آزمونهای صحرایی و آزمایشگاهی نظری بارگذاری صفحه‌ای، نفوذ استاندارد، نفوذ مخروط، ون، برش مستقیم و سه محوری تعیین نمود. نقشه‌های پهنه‌بندی ظرفیت باربری خاک در گستره وسیع معمولاً با فرض شرایط یکسان برای پی تهیه می‌شوند (Dearman, 1991; Larderia & Gomes, 1994). در مطالعه حاضر نقشه پهنه‌بندی ژئوتکنیکی شهر مشهد با تأکید بر ارزیابی ظرفیت باربری ملکی و همکاران (۱۳۸۴). در مطالعه حاضر نقشه پهنه‌بندی ژئوتکنیکی شهر مشهد با تأکید بر ارزیابی ظرفیت باربری مجاز براساس اطلاعات ژئوتکنیکی حدود ۲۰۰ گمانه موجود از سطح شهر تهیه شده است.

### ویژگیهای زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی

بخش عمده‌ای از شهر مشهد بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان بنا شده است. نهشته‌های آبرفتی این دشت حاصل فعالیت سرشاره‌های رودخانه کشف رود که از دامنه‌های شمالی کوههای بینالود و دامنه‌های جنوبی رشته کوه هزار مسجد سرچشمeh می‌گیرند می‌باشد. رسوبات بستر شهر مشهد شامل نهشته‌های دامنه‌ای، دشت سیلانی و مخروط افکنه‌ای می‌باشد. حداقل ضخامت رسوبات در مرکز دشت به بیش از ۲۵۰ متر می‌رسد. بطرف دامنه‌های جنوبی و

شمالی از ضخامت رسوبات کاسته می شود. در شکل (۱) نقشه بافت خاک سطحی نشان داده شده است.



شکل (۱) نقشه بافت خاک سطحی در پهنه شهر مشهد

در غرب شهر مشهد و نیز حاشیه ارتفاعات جنوبی بافت خاک شنی در محدوده مرکزی شهر خاک غالب سیلت رس و ماسه دار می باشد. محدوده شرقی و شمال شرقی شهر مشهد پوشیده از خاک ریزدانه است که با افزایش عمق درصد سیلت آن بیشتر می شود. نقطه نهایی حرکت زهکشی شهر مشهد رودخانه کشف رود می باشد و لذا خاکهای رسی در این بخش گسترده‌گی بیشتری دارند. بطور کلی با افزایش عمق، بافت خاک درشت دانه تر می شود. بررسی نتایج آزمون نفوذ استاندارد در گستره شهر نشان می دهد که خاک سطحی از لحاظ مقاومتی در گروه متراکم و تراکم متوسط قرار دارند و با افزایش عمق، مقاومت خاک بیشتر شده است.

### محاسبه ظرفیت باربری شالوده های سطحی

ظرفیت باربری خاک در شالوده سطحی ابتدا توسط پراندل (Prandtl, 1921) و ریسنر (Reissner, 1924) مورد بررسی قرار گرفت. روابط بدست آمده سپس توسط Terzaghi (1925), Meyerhof (1956), Hansen (1968), De Beer (1970), and Sieffert et al. (2000) تصحیح گردید. پارامترهای اصلی جهت تعیین ظرفیت باربری خاک چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) خاک است که توسط آزمایشات آزمایشگاهی بر روی نمونه های دست نخورده صورت می گیرد.

ترزاوی (1967) ظرفیت باربری نهایی  $q_f$  شالوده های سطحی با عمق  $D$ , و عرض  $B$  و طول  $L$  را بصورت زیر پیشنهاد



نمود:

$$q_f = cN_c s_c + \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma \quad (1)$$

كه  $N_\gamma$ ,  $N_c$ ,  $Nq$  ضرایب ثابت بوده و مقادیر آنها بصورت زیر تعیین می شود :

$$N_q = \exp(\pi \tan \varphi) \tan^2(45^\circ + \varphi / 2) \quad (2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (3)$$

$$N_\gamma = 1.8(N_q - 1) \tan \varphi \quad (4)$$

و  $s_\gamma$  و  $s_c$  ضرایب شکل پی هستند که بصورت زیر تعریف می شوند:

$$s_c = 1 + 0.20B/L \quad (\varphi \neq 0) \quad (5)$$

$$s_c = [1 + 0.20B/L][1 + 0.3(D/B)0.25] \quad (\varphi = 0) \quad (6)$$

$$s_\gamma = 1 - 0.2(B/L) \quad (B/L = \text{طول شالوده}) \quad (7)$$

برای خاکهای غیر چسبنده و اشیاع، ظرفیت باربری با عرض  $B$  در عمق  $D$  بصورت زیر خواهد بود:

$$q_f = \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma \quad (8)$$

با توجه به مشکلات اندازه گیری زاویه اصطکاک داخلی نمونه ماسه‌ای در آزمایشگاه غالباً جهت تخمین زاویه اصطکاک داخلی از آزمایشات بر جا بخصوص آزمون نفوذ استاندارد استفاده می‌گردد (Naval Facilities Engineering Meyerhof, 1986). روابط بسیاری بین زاویه اصطکاک داخلی و عدد SPT همچون ارائه شده است (Command, 1986). ظرفیت باربری برای خاکهای چسبنده با  $\varphi = 0$  بصورت زیر می‌باشد:

$$q_f = cN_c + \gamma D = 5.7c + \gamma D \quad (9)$$

ظرفیت باربری مجاز با تقسیم ظرفیت باربری نهایی خاک به ضریب اطمینان بدست می‌آید. برای این منظور معمولاً ضریب اطمینان برابر ۳ در نظر گرفته می‌شود.

### داده های مورد استفاده و روش کار

جهت تهیه نقشه پهنه بندی ظرفیت باربری شهر مشهد اطلاعات بیش از ۷۰۰ گمانه اکتشافی حفر شده در سطح شهر بررسی قرار گرفت و از بین آنها ۲۰۰ گمانه که دارای اطلاعات دقیق تر بودند انتخاب گردید. مقادیر چسبنده‌گی و زاویه اصطکاک داخلی خاک در عمق ۲ متری زمین از نتایج آزمایشات برش مستقیم و سه محوری استخراج گردید. در مواردی که آزمون های فوق صورت نگرفته بود از نتایج نفوذ استاندارد جهت برآورده پارامتر های فوق استفاده گردید. برای این منظور از رابطه Zekkos و همکاران (۲۰۰۴) استفاده شده است.

$$\varphi = 3.5\sqrt{N_{60}} + 22.3 \pm \varepsilon \quad (10)$$



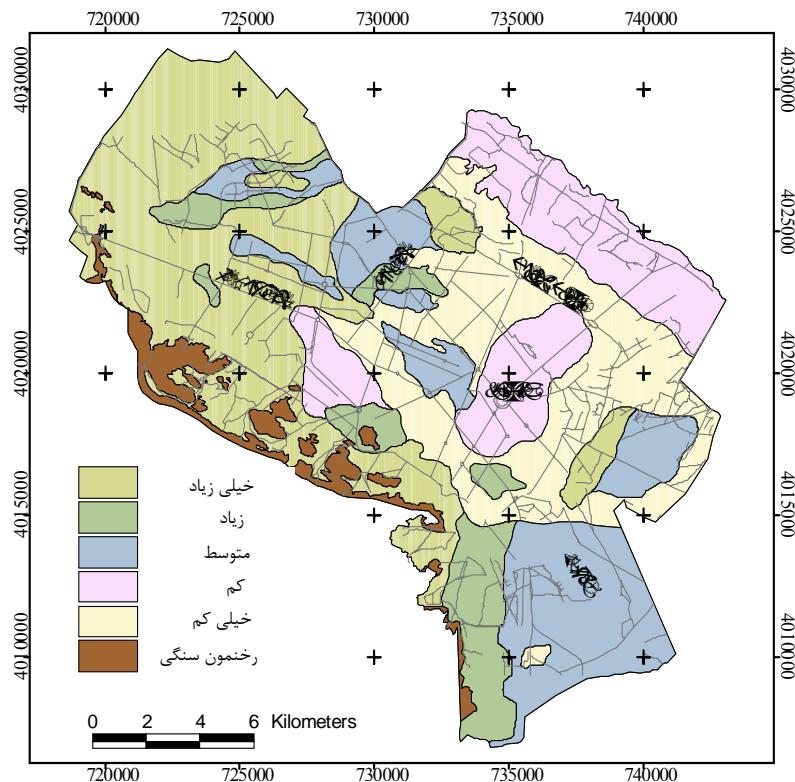
سپس ظرفیت باربری در  $200\text{ m}$  نقطه مورد بررسی با فرض شالوده های نواری به پهنای  $2\text{ m}$  و عمق  $1/5\text{ m}$ تر و پهنای  $1\text{ m}$  عمق  $1\text{ m}$ تر تعیین شده است. در جدول (۱) مشخصات مکانیکی برای خاکهای مختلف در عمق مورد نظر نشان داده شده است. با بدست آوردن ظرفیت باربری در  $200\text{ m}$  نقطه شهر و با کمک نقشه بافت خاک سطحی و طبقه بندی لادیرا (جدول ۲) ظرفیت باربری در گستره شهر مشهد بدست آمده است. در شکل (۲) و (۳) نقشه های ظرفیت باربری مجاز خاک در سطح شهر مشهد با اعمال ضریب اطمینان  $3$  نشان داده شده است. مناطق غرب مشهد که دارای بافت خاک شنی می باشد از نظر ظرفیت باربری برای پی کم عمق (شکل ۲) در گروه خیلی زیاد و زیاد و برای پی های عمیق و عریض تر (شکل ۳) در گروه بینهایت زیاد قرار گرفته است. بطرف شرق همراه با ریزدانه شدن خاک از توان باربری کاسته شده بطوریکه برای پی سطحی با عرض و عمق  $1\text{ m}$ تر بخش مرکزی شهر در گروه خاکهای با ظرفیت باربری کم و خیلی کم قرار دارد و در شکل (۳) در گروه خاکهای با ظرفیت باربری زیاد قرار گرفته است. در شکل (۳) ملاحظه می گردد که بخشهای محدودی در اطراف حرم مطهر در رده با ظرفیت باربری کم قرار گرفته است و نیاز به پی های عمیق و عریض تر دارند.

#### جدول (۱) خصوصیات فیزیکی و مکانیکی انواع خاک در شهر مشهد

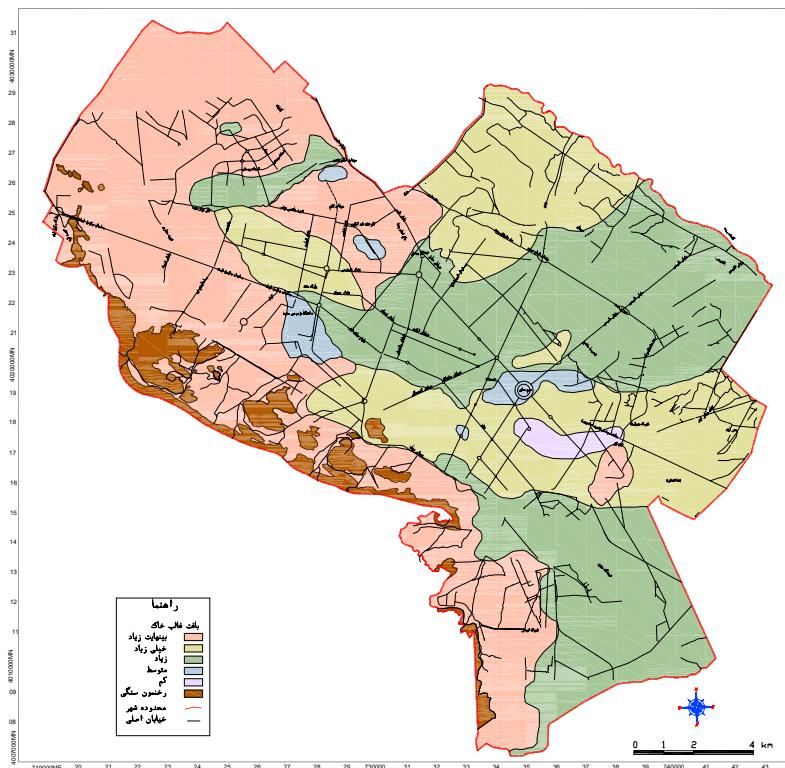
بافت خاک	چسبندگی (Kg/cm <sup>2</sup> )	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	دانسیته (gr/cm <sup>3</sup> )	SPT	ظرفیت باربری مجاز (Kpa)
رسی	1-4	-	1.7-1.9	15-35	200-600
سیلتی-رسی	0.5-2	20-30	1.6-1.9	20-28	300-800
سیلت	0.1-0.2	25-35	1.6-1.8	10-20	300-800
شنی	0-0.2	33-45	1.9-2.2	20-50	1000-2000
ماسه ای	0-0.2	25-40	1.8-2	20-40	400-1500

#### جدول (۲) طبقه بندی پیشنهادی لادیرا (۱۹۹۴) برای ظرفیت باربری مجاز و توصیف آنها

طبقه بندی زمین	طبقه بندی	توصیف	Qa(Kpa)
خاکهای آلی نرم رسی-سیلتی با سیلتی-رسی	خاکهای رسی	بینهایت کم	۰-۵۰
خاکهای نرم رسی-سیلتی یا سیلتی-رسی یا خاکهای سست ماسه‌ای	خاکهای رسی	خیلی کم	۵۰-۱۰۰
خاکهای رسی-سیلتی یا سیلتی-رسی با مقاومت متوسط یا خاکهای ماسه‌ای با تراکم متوسط	خاکهای رسی	کم	۱۰۰-۲۰۰
خاکهای سخت و خاکهای ماسه‌ای با تراکم خوب، ماسه‌ها و گراولهای خوب تراکم یافته	خاکهای سخت	متوسط	۲۰۰-۳۰۰
خاکهای خیلی سخت و خاکهای ماسه‌ای با تراکم خوب، ماسه‌ها و گراولهای خیلی خوب تراکم	خاکهای خیلی سخت	زیاد	۳۰۰-۵۰۰
خاکهای بشدت سخت شده و خاکهای ماسه‌ای و گراولهای بشدت تراکم	خاکهای بشدت سخت شده	خیلی زیاد	۵۰۰-۸۰۰
سنگهای نرم و خاکهای غیرچسبنده بشدت تراکم	سنگهای نرم	بینهایت زیاد	>۸۰۰



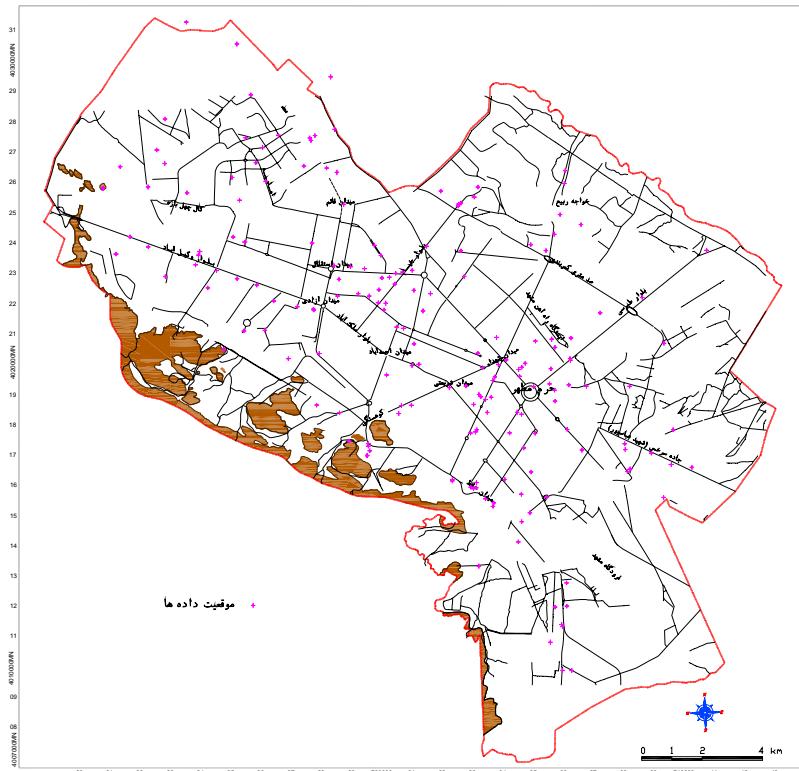
شکل ۲) نقشه باربری مجاز با ابعاد پی ۱ متر در عمق ۱ متری



شکل ۳) نقشه باربی مجاز با ابعاد پی ۲ متر در عمق ۱/۵ متری

#### ارزیابی دقت اطلاعات

دقت مطالعه حاضر تابع دو پارامتر درجه همگنی خاک و پراکندگی گمانه های مورد استفاده می باشد. تغییرات بافت و مقاومت خاک در مرکز شهر نسبتاً زیاد است، در حالی که بخش های غربی و شرقی و شمالی شهریت همگن تری را دارا می باشد. در شکل (۴) موقعیت مکانی داده های مورد استفاده در سطح شهر نشان داده شده است. ملاحظه می شود که تمرکز داده ها در اطراف حرم مطهر زیاد و در قسمتهای شمال شرق، جنوب شرق و شمال غرب شهر کمتر است. با توجه به درجه همگنی خاک نتایج مطالعه برای شرق-مرکز شهر، شمال-مرکز و غرب- مرکز شهر در محدوده راه آهن، بلوار طبرسی، مطهری، راهنمایی، شهید بهشتی و... کمتر است.



شکل ۴) موقعیت داده های مورد استفاده در سطح شهر

### بحث و نتیجه گیری

ارزیابی و طبقه بندی ظرفیت باربری خاک برای دو حالت پی با عرض و عمق ۱ متر و عرض ۲ و عمق  $1/5$  متر در سطح شهر مشهد نشان میدهد که مناطق غرب و حاشیه ارتفاعات جنوبی که دارای بافت سنی است در گروه ظرفیت باربری خیلی زیاد و بینهایت زیاد قرار دارند. به طرف شرق ظرفیت باربری پی در گروه زیاد و کم قرار می‌گیرند. در حالت پی با عرض ۲ متر و عمق  $1/5$  متر محدوده کوچکی در اطراف حرم ظرفیت باربری پی کم و خیلی کم می‌باشد. با توجه به تغییرات بیشتر بافت خاک در بخش‌های مرکزی شهر و ضعیف تر بودن خاک در این مناطق در پروژه های مهم نیاز به عملیات ژئوتکنیکی عمیق تر و گسترده می‌باشد.

### مراجع

- ملکی، مهدی، غیومیان، جعفر، فاطمی عقدا، سید محمود، ۱۳۸۴، پنهانی استعداد توان باربری نهشته‌های کواترنری شهر تهران با استفاده از SPT، بیست و یکمین گرددۀ‌مانی علوم زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور
- DeBeer, E.E. (1970). "Experimental determination of the shape factors and the bearing capacity factors of sand", Geotechnique, Vol. 20, pp. 387-411.
- Hansen, J.B. (1968). "A revised extended formula for bearing capacity", Danish Geotechnical Institute Bulletin, No. 28.
- Meyerhof, G.G. (1956). "Penetration tests and bearing capacity of cohesion less soils", Proceedings ASCE, Vol. 82, No. SM1, Paper 866, pp. 1-19.



- Prandtl, L. (1921). "Über die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneider" (On the penetrating strengths (hardness) of plastic construction materials and the strength of cutting edges), Zeit. Angew. Math. Mech., 1, No.1, pp.15-20.
- Reissner, H. (1924). "Zum Erddruckproblem" (Concerning the earth-pressure problem), Proc. 1st Int. Congress of Applied Mechanics, Delft, pp. 295-311.
- Sieffert, J.G., and Ch. Bay-Gress (2000). "Comparison of the European bearing capacity calculation methods for shallow foundations", Geotechnical Engineering, Institution of Civil Engineers, Vol. 143, pp. 65-74.
- Terzaghi, K. (1925). "Structure and volume of voids of soils", Pages 10, 11, 12, and part of 13 of Erdbaumechanik auf Bodenphysikalisher Grundlage, translated by A. Casagrande in From theory to practice in soil mechanics, New York, John Wiley and Sons, 1960, pp. 146-148.
- Terzaghi, K., and Peck, R. B. (1967). "Soil Mechanics in Engineering Practice", 2nd edn, John Wiley and Sons, New York.
- Dearman, W. R. (1991) "Engineering Geological Mapping", First published, Butterworth-Heinemann Ltd., 387p.
- Ladeira, F.L., & Gomes, L.M. (1994) "Bearing Capacity in Engineering Geological Mapping", Pro. of 7th IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, pp. 1245-1250.