مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
بهار ۱۳۹۷، جلد یازدهم، شماره ۱، صفحه ٦٥ تا ۷۹

توسعه طبقه‌بندی آبرفت‌های تهران بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی

اکبر چشمی* [۱]، سید رمضان رمضان‌نژادالیردی [۲]، علی فاخر [۳]

دریافت مقاله: ۹۷/۰۸/۰۲ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۰/۰۳

چکیده

پیشنهاد طبقه‌بندیهای مبتنی بر ترکیب متغیرهای زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی امکان استفاده از دانش زمین‌شناسی در تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح را فراهم می‌کند. شهر تهران یکی از کلان شهرهایی است که بر روی رسوبات آبرفتی کواترنر بنا شده، این رسوبات بر اساس سن و شرایط تشکیل به چهار گروه C, B, A و D تقسیم شده است. برخی محققین طبقه‌بندی جدیدی با تلفیق متغیرهای زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی، برای آبرفت‌های A و C تهران ارائه داده‌اند. هدف تحقیق حاضر که در ادامه تحقیقات قبلی است، پیشنهاد طبقه‌بندی مبتنی بر ترکیب این دو سری اطلاعات برای آبرفت‌های B تهران است. در این تحقیق براساس برداشتهای زمین‌شناسی صورت گرفته در بیش از ٦٦ نقطه از رخنمونهای آبرفت‌های تهران، متغیرهای زمین‌شناسی موثر بر پارامترهای ژئوتکنیکی بخش درشت دانه آبرفت B شامل اندازه دانه، شکل دانه، نحوه اتصال دانه‌ها، سیمان بین دانه‌ها، همگنی و لایه‌بندی شناسایی گردید و بر اساس این متغیرهای این آبرفت به چهار واحد Bn_1 ، Bn_2 ، Bn_3 و Bn_4 تقسیم شد. با انجام ۲۷ آزمایش برش مستقیم برجا و ۷۰ آزمایش بارگذاری صفحه در واحدهای مشخص شده پارامترهای ژئوتکنیکی این ٤ واحد شامل زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و مدول تغییر شکل‌پذیری تعیین شد. با تلفیق متغیرهای زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی جدولی پیشنهاد گردید که امکان تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی بر اساس متغیرهای زمین‌شناسی برای این آبرفت را فراهم میاورد.

کلید واژه‌ها: *آبرفت های تهران، آزمایش برش مستقیم برجا، آزمایش بارگذاری صفحه ای، طبقه‌بندی زمین‌شناسی مهندسی.*

۱. بخش تکتونیک و زمین شناسی مهندسی، دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران
۲. کارشناس ارشد زمین‌شناسی‌مهندسی، مهندسین مشاور هندسه پارس کاوش Ramezan40@yahoo.com
۳. دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران a.fakher@ut.ac.ir
* مسئول مکاتبات a.cheshomi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

با توجه به ویژگی تحقیق حاضر، به منظور دسته‌بندی مناسب تحقیقات قبلی مرتبط با موضوع مقاله، مقدمه در سه بخش به شرح زیر ارائه شده است.

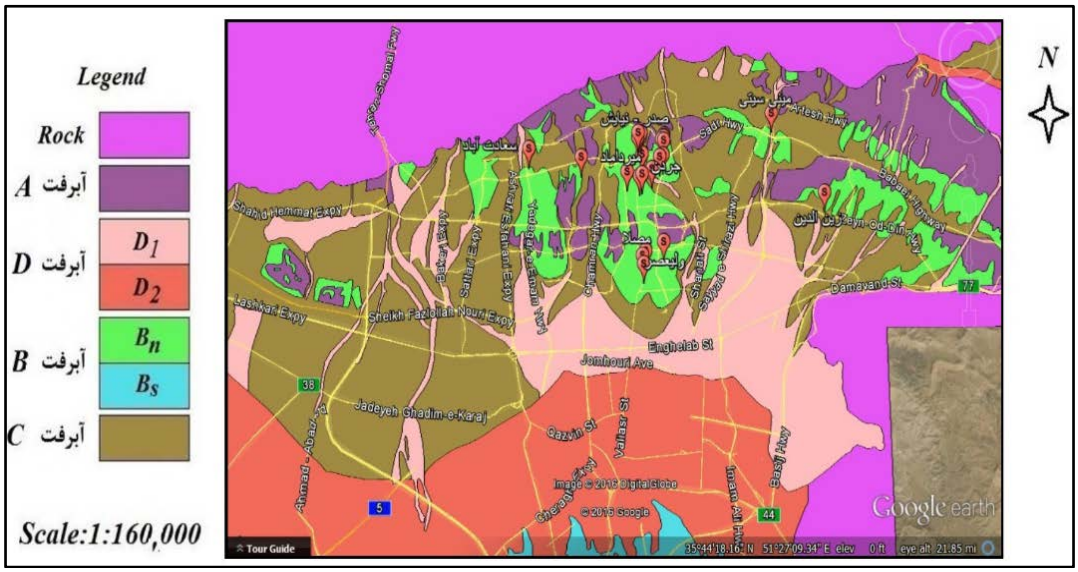
۱-۱. ترکیب اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی توسط محققان پیشین

یکی از روشهای کمی سازی برداشتهای زمین‌شناسی تلفیق متغیرهای زمین‌شناسی با پارامترهای ژئوتکنیکی است. این امر منجر به روشی می‌شود که با توصیف کیفی و مشاهدات زمین‌شناسی امکان تخمین برخی پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح زمین فراهم گردد. بر این اساس محققین مختلف طبقه‌بندی‌های زمین‌شناسی- ژئوتکنیکی برای مناطق شهری با اهداف مختلف ارائه داده‌اند. این طبقه‌بندیها نه تنها برای برنامه‌ریزی‌های شهری و توسعه‌های ناحیه‌ای استفاده می‌شود، امکان تعیین سریع برخی متغیرهای ژئوتکنیکی در مراحل اولیه مطالعات پروژه‌های مختلف را فراهم می‌آورد. خروجی طبقه‌بندیهای مذکور می‌تواند نقشه‌های با کاربری مختلف یا جداول مشتمل بر متغیرهای زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی باشد. بطور مثال مهاراج (Maharaj, 1995) با هدف کاربری زمین و مقاصد ژئوتکنیکی برای خاکهای تروپیکال نقشه‌های زمین‌شناسی تولید کرد. اسکیپر و همکاران (Skipper et al., 2005) به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی رسوبات رسی کواترنر شهر دوبلین (Dublin) پرداخته و ضمن بیان ویژگیهای این رسوبات مشکلات ناشی از آنها را مشخص نمودند. راسپا و همکاران (Raspa et al., 2008) با استفاده از روشهای زمین آماری چند متغیره رسوبات بسیار حساس و دارای پتانسیل خطر هلوسن و پلئیستوسن (Pleistocene & Holocene) بالایی شهر رم (Roma) را مطالعه کردند. المعی و همکاران (El May et al., 2010) مهمترین عوامل موثر در توسعه شهری را مشخص کرده و بر اساس آن به تولید نقشه‌های زمین‌شناسی تونس (Tunes) پرداختند. آرنوس (Arnous, 2011) به ارائه یک مدل ژئوتکنیکی با بهره‌گیری از روشGIS به منظور توسعه شهر سوئیز (Suez) پرداخت. چشمی و همکاران (Cheshomi et al., 2011) با مطالعه متغیرهای شکل دانه ارتباطی تجربی بین پارامترهای مقاومت برشی و متغیرهای شکل دانه برای آبرفتهای شهر تهران پیشنهاد دادند. توچ و همکاران (Touch, 2014) به ارائه یک مدل زمین‌شناسی سه بعدی که قادر به تعیین ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاکهای زیرسطحی شهر فنوم پنه (Phnom Penh) باشد پرداختند. صمدیان و فاخر(Samadian and Fakher, 2016) به مطالعه ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی شهر سنندج پرداختند و چارچوبی برای تعیین ویژگی‌های ژئوتکنیکی مصالح در گستره این شهر ارائه دادند. علاوه بر آن تحقیقات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی دیگری با هدف توسعه شهرها با تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی و بکارگیری از تکنیکهای زمین آماری و GIS انجام شده است (Fuchu et al., 1994; Jannuzzi et al., 2015).

۱-۲. زمین‌شناسی شهر تهران

شهر تهران در ناحیه کوهپایه‌ای قرار گرفته و بر روی رسوبات آبرفتی که از فرسایش سنگهای ارتفاعات حاصل شده‌اند بنا شده است. رشته کوه البرز با سنگهای توفی، آهکی و دولومیتی در شمال تهران قرار گرفته و در اثر فرسایش سنگهای این رشته کوه رسوبات آبرفتی در گستره شهر رسوب کرده است. در بخشهای شمالی که نزدیک به ارتفاعات است رسوبات درشت‌دانه و با حرکت به سمت جنوب رسوبات ریزدانه نهشته شده است. ریبن (Rieben, 1966) رسوبات آبرفتی گستره تهران به ٤ گروه A، B، C و D تقسیم کرده است. رسوبات A قدیمی‌ترین و رسوبات D جوانترین آنها هستند. چشمی و همکاران (۱۳۸۷) طبقه بندی زمین‌شناسی ارائه شده توسط ریبن (Rieben, 1966) را برای کاربرد در مقاصد زمین‌شناسی مهندسی مورد ارزیابی قرار دادند. در شکل ۱ توزیع رسوبات در گستره شهر تهران و در جدول ۱ برخی ویژگیهای آنها ارائه شده است. در شکل ۲ نحوه

تشکیل این رسوبات با ارائه پروفیلهای ساده نشان داده شده است (Fakher et al., 2007).



شکل ۱. پراکندگی آبرفت‌های مختلف بر اساس طبقه‌بندی ریبن (Rieben, 1966) در شهر تهران.

جدول ۱. مقایسه آبرفت‌های گستره تهران بر اساس طبقه بندی ریبن (Rieben 1966).

Factor	Alluvium				
	A	B		C	D
		Bn	Bs		
Age	5 Ma	700 ka	700 ka	50 ka	10 ka
Lithology	Homogeneous conglomerate	Heterogeneous conglomerate	Clay and silt sediment	Alluvial fan	Recent alluvial
Cementation	Cemented and hard	Variable but usually week cement	Non cemented	Cementation less than A	Non cemented
Grain size	Clay to 100-250 mm	Very variable up to several meters	Fine graine soil	Clay to 100-250 mm	Clay to several meters
Dip of layer (deg)	0-90	0-15	0	0	0
Thickness (m)	Max. 1200	Max. 60	Max. 60	Max. 60	<10
Sedimentary environment	Fluvial	Fluvioglacial and periglacial	Fluvial	Fluvial	Fluvial
Other name	Hezardareh alluvial formation	North Tehran heterogeneous alluvial formation	Kahrizak formation	Tehran alluvial formation	Recent alluvial
Location of observation in Tehran	North area	North area	South area	North and central area	Recent and old river bed

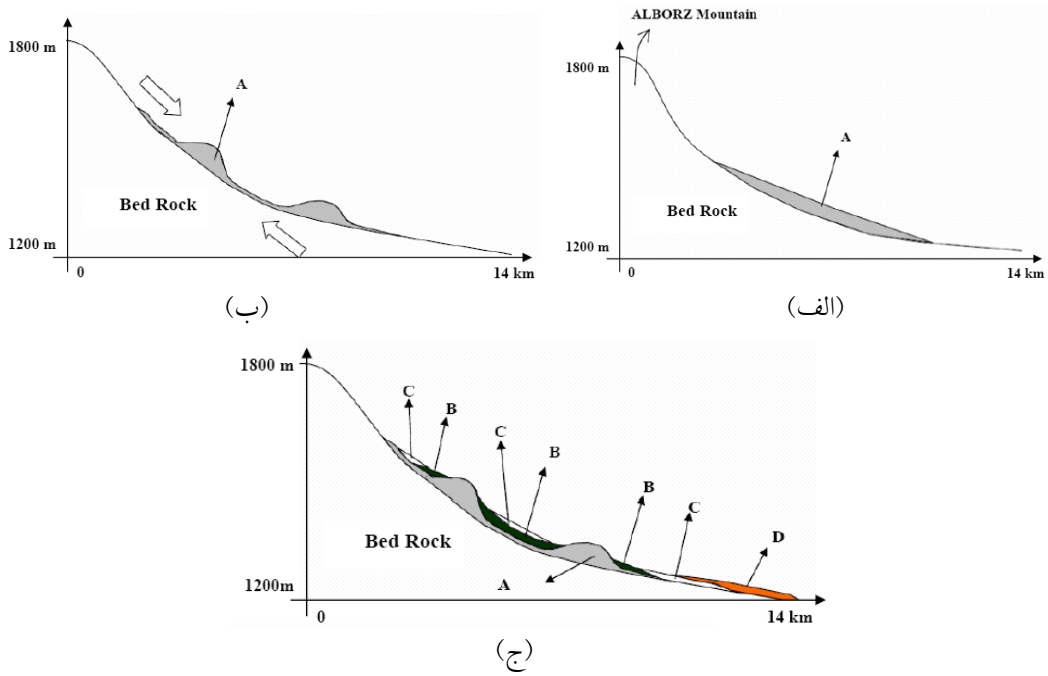
گسترش ساخت و سازها و احداث ساختمانهای مرتفع بهمراه توسعه خطوط مترو و شبکه های فاضلاب لزوم بررسی بهتر و دقیقتر ویژگیهای زمین‌شناسی این رسوبات را به گونه‌ای که قابلیت استفاده برای کاربردهای مهندسی داشته باشد ایجاد می‌کند.

۱-۳. ترکیب اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی برای شهر تهران

اساس تقسیم‌بندی ارائه شده توسط ریبن (Rieben, 1966) سن و شرایط تشکیل رسوبات بوده لذا ارزیابی کیفی از رسوبات در اختیار قرار می‌دهد که امکان استفاده مستقیم آن برای مهندسان در پروژه‌ها و برنامه ریزیهای توسعه‌ای شهر وجود ندارد. بر این اساس فاخر و همکاران Fakher et al., (2007) با اضافه کردن داده‌های ژئوتکنیکی به طبقه‌بندی زمین‌شناسی ارائه شده توسط ریبن (Rieben, 1966) تلاش کردند روش جدیدی برای تخمین ویژگی‌های مهندسی

آبرفتهای گستره تهران بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی آنها ارائه دهند. آنها برخی متغیرهای زمین‌شناسی نظیر شکل و اندازه دانه، سن رسوبات، سیمان بین دانه‌ها و نحوه تماس بین دانه‌ها را برای آبرفت‌های گستره تهران تعیین نموده و با انجام تعدادی آزمایش‌های برجا در نواحی با متغیرهای زمین‌شناسی مختلف نسبت به ارائه یک چارچوب برای تعیین ویژگی‌های ژئوتکنیکی آبرفت‌های گستره تهران اقدام نمودند. در جدول ۲ طبقه‌بندی پیشنهاد شده توسط فاخر و همکاران Fakher et al., 2007) برای آبرفت‌های گستره تهران ارائه شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود مطالعات انجام شده قبلی بر روی آبرفت‌های A و C تهران بوده و پارامترهای مهندسی برای آبرفت‌های B پیشنهاد نشده است. در تحقیق حاضر به توسعه طبقه‌بندی مذکور پرداخته به گونه‌ای که با انجام برداشتهای زمین‌شناسی و آزمایش‌های برجای بیشتر ضمن تدقیق مقادیر ارائه شده در جدول ۲ برای آبرفت‌های A و C، متغیرهای زمین‌شناسی آبرفت‌های B تعیین و با انجام آزمایش‌های برجا برخی پارامترهای ژئوتکنیکی این آبرفت تعیین و به جدول ۲ اضافه شده است. بدین منظور برداشتهای سطحی در٦٦ نقطه که آبرفت‌های مذکور بیرون‌زدگی داشته‌اند انجام شده است علاوه بر آن از نتایج ۲۷ آزمایش برش مستقیم برجا و ۷۰ آزمایش بارگذاری صفحه استفاده شده است.

.



شکل ۲. توالی شکل گیری آبرفت‌های تهران الف) رسوبگذاری آبرفت‌های A حدود ۵ میلیون سال قبل، ب) فعالیتهای تکتونیکی و چین خوردگی رسوبات، ج) رسوبگذاری آبرفت‌های B, C و D بعد از چین خوردگی آبرفت‌های A بدلیل فرسایش و رسوبگذاری (Fakher et al., 2007).

۲- روش مطالعه

در طبقه‌بندی ارائه شده قبلی پارامترهای ژئوتکنیکی آبرفتها B تهران ارائه نشده است. این آبرفتها همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده در بخشهای شمالی شهر درشت‌دانه بوده و بعنوان سازند آبرفتی ناهمگن شمال تهران شناخته شده و با Bn نشان داده می‌شوند و در بخشهای جنوبی شهر ریزدانه بوده و بعنوان سازند کهریزک شناخته شده و با Bs نشان داده

می‌شوند. پارامترهای ژئوتکنیکی بخش ریزدانه آبرفت‌های B همانطور که در جدول ۲ مشخص شده قبلا ارائه شده و هدف اصلی این تحقیق ارائه یک روش برای تعیین پارامتر ژئوتکنیکی بخش درشت‌دانه این آبرفت است. تحقیق حاضر در ٤ مرحله به شرح زیر انجام شده است.

مرحله اول، برداشتهای زمین‌شناسی از برونزدهای سطحی آبرفت‌های Bn. مرحله دوم، جمع آوری نتایج و انجام برخی آزمایش‌های برجا به منظور تعیین ویژگی‌های ژئوتکنیکی این مصالح. مرحله سوم، تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی با داده‌های ژئوتکنیکی و تولید جدولی برای تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی آبرفتهای Bn بر اساس متغیرهای زمین‌شناسی و مرحله چهارم، اضافه کردن جدول تولید شده در مرحله سوم به جدول ارائه شده توسط فاخر و همکاران (Fakher et al., 2007) (جدول۲).

جدول ۲. تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی بر اساس متغیرهای زمین شناسی (Fakher et al., 2007)

Alluvium		Geological feature						Approximate values engineering properties			
		Grain shape	Contact shape	Cement	Grain size		Elevation (m)	C (kPa)	φ (deg)	E (MPa)	Vs (m/sec)
A		Angular	Interlocking	Strongly cemented	A mixture of grain size (≤500 mm)	Low to moderately heterogeneity	1500 m	140-150	45-50	200-250	600-900
			Floating					60-70	35-40	100-150	
		Semi round	Interlocking					70-80	40-45	150-200	
			Floating					30-40	30-35	40-50	
B		Angular	Floating	Un cemented	0-1.5 m	Moderately to high heterogeneity	1500	No data			No data
					Intermediate		1300-1500	No data			
					Clay & Silt		1000-1100	No data			
C		Angular	Interlocking	Weakly to moderately cemented	A mixture of grain size (≤200 mm)	Low heterogeneity	1100-1500	100-150	35-40	50-60	450-650
			Floating					20-30	30-35	30-40	
		Round	Interlocking					40-50	30-35	40-50	
			Floating					10-20	20-25	20-30	
D		Round	Floating	Un cemented	0-1.5	high heterogeneity	1500	No data			No data
					Intermediate		1100-1500	No data			
					Clay & Silt		1000-1100	10-40	≥10	10-25	

۳. برداشتهای زمین‌شناسی تحقیق حاضر

جهت تعیین متغیرهای زمین‌شناسی به بازدید میدانی و مشاهده ٦٦ برونزد آبرفت‌های B_n در گستره شهر تهران پرداخته شد. نتیجه این بررسی‌ها نشان داد که مهمترین متغیرهای زمین‌شناسی این آبرفت که بر پارامترهای ژئوتکنیکی آن تاثیر گذار است، اندازه دانه، شکل دانه (کرویت و گردشدگی)، نحوه اتصال دانه‌ها به یکدیگر، عامل اتصال دانه‌ها به یکدیگر، همگنی بافت رسوبات ولایه‌بندی دانه‌ها می‌باشد، در ادامه به تشریح هر کدام پرداخته می‌شود.

۱-۳. اندازه دانه

اندازه دانه‌ها متاثر از ویژگی‌های سنگ منشا، مسافت حمل شده و عامل انتقال است. برای آبرفت‌های B_n برخی رودخانه و سیلاب و برخی حمل توسط یخچال را معرفی کرده‌اند (Berberian et al., 1981). با توجه به یکسان بودن سنگ منشا و عامل انتقال دلیل اصلی تفاوت اندازه دانه‌ها مسافت حمل شده است. بطوریکه با دور شدن از منشا و افزایش مسافت حمل، اندازه ذرات کاهش می‌یابد. در شکل ۳ تصاویری از تفاوت در اندازه ذرات آبرفت‌های B_n تهران نشان داده شده است. با توجه به برداشتهای صورت گرفته محدوده تغییرات اندازه ذرات در این آبرفت در حد رس تا قطعات سنگی با قطر بیش از ۲ متر می‌باشد.

۲-۳. گردشدگی دانه‌ها

گردشدگی دانه‌ها معرف تیزی گوشه‌ها و لبه‌های دانه است که طبق نظر ودل (Wadel, 1932) از نسبت شعاع متوسط دوایری که در گوشه‌های دانه قرار می‌گیرند به بزرگترین دایره محاط شده داخل دانه بدست می‌آید. دابکینز و فولک (Dabkins and Folk, 1970) معتقدند که گردشدگی را می توان از نسبت تیزترین گوشه دانه به شعاع دایره محاط دانه بدست آورد. مسافت حمل شده، اندازه دانه‌ها و میزان تصادم دانه‌ها با همدیگر از مهمترین موارد ایجاد گردشدگی در دانه هایی که دارای منشاء یکسان هستند، می‌باشد. در شکل ٤ تصاویری از گردشدگی دانه‌ها تشکیل دهنده آبرفت‌های B_n تهران نشان داده شده است برای تشخیص گردشدگی و دسته بندی دانه‌ها از مقایسه شکل دانه‌ها در ذرات ماسه‌ای استفاده شده است.

(الف) (ب) (ج)

شکل ۳. اندازه مختلف دانه‌های تشکیل دهنده آبرفت B_n : الف) قطعات سنگی بزرگ با قطر بیش از ۲ متر، ب و ج) قطعات سنگی با اندازه‌های مختلف بهمراه مصالح ریزدانه سیلتی و رسی

(الف) (ب) (ج)

شکل ٤. شکل دانه‌ها در آبرفت B_n : الف و ب) دانه‌های نیمه‌گرد و زاویه‌دار ج) تصاویری از گردشدگی دانه‌های ماسه با کرویت کم و زیاد (Tucker, 1981).

۳-۳. نحوه اتصال دانه‌ها

تماس دانه‌های یک خاک درشت‌دانه با همدیگر همانطور که در شکل ۵ الف نشان داده شده بصورت نقطه‌ای، طولی، قفل و بست و شناور، می‌باشد (Sitar, 1983). در خاکهای با دانه-های گردشده و دارای دانه‌بندی یکنواخت تماس دانه‌ها عموما بصورت نقطه‌ای و طولی است. زمانیکه تماس دانه‌های بصورت نقطه‌ای است دانسیته خاک کاهش یافته و زمانیکه تماس دانه‌ها بصورت طولی می‌شود افزایش در دانسیته خاک بوجود میآید. تماس قفل و بست بین دانه‌ها بیشتر در دانه‌های زاویه‌دار مشاهده می‌شود. بارتون (Barton, 1993) قفل و بست بین دانه‌ها را بعنوان عاملی که باعث بروز چسبندگی در خاک می‌شود عنوان نمود. در آبرفت‌های B_n همانطور که در شکل ۵ ب وج نشان داده شده است اتصال بین دانه‌ها معمولا بصورت قفل و بست یا شناور است.

۴-۳. عامل اتصال دانه‌ها

مهمترین عامل اتصال دانه‌ها در خاکهای درشت‌دانه سیمان بین دانه‌ها است. قفل و بست دانه‌ها، رشد دانه‌ها و جوش-خوردگی دانه‌ها نیز از سایر عوامل متصل کردن دانه‌ها می-باشد (Barton, 1993). در شکل ٦ عامل اتصال بین دانه‌ها در آبرفت‌های B_n تهران مشاهده می‌شود. در این آبرفت فرایند سیمانی شدن مشاهده نشده و دانه‌هایی که حالت شناور دارند توسط یک پرکننده سیلتی و رسی بهم متصل شده‌اند.

۵-۳. همگنی بافت رسوب

همگنی بافت رسوب تا حدودی مشخص کردن یکنواختی دانه‌ها از نظر اندازه ذرات است. در شکل ۷ تصاویر از حالتهای مختلف از نظر همگن بودن یا غیر همگن بودن آبرفت‌های B_n تهران مشاهده می‌شود.

(الف) (ب) (ج)

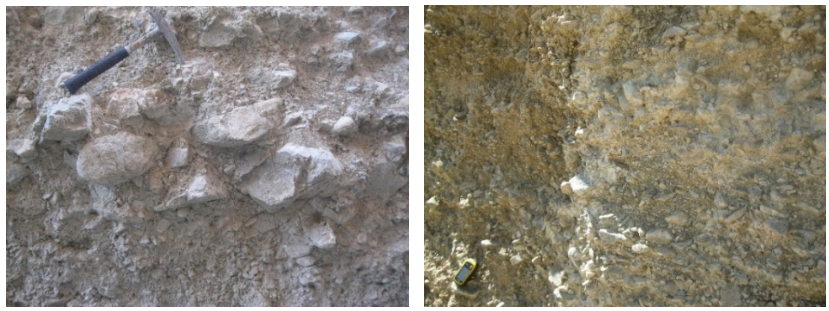
شکل ۵. نحوه تماس دانه‌ها درآبرفت B_n: الف) چهار نوع اتصال دانه‌ها به یکدیگر (Sitar, 1983)، ب) اتصال دانه‌ها بصورت قفل و بست ج) اتصال دانه‌ها بصورت شناور

(الف) (ب)

شکل ٦ . اتصال دانه‌ها در آبرفت B_n: شکل‌های الف و ب، اتصال بین دانه‌ها را که در خمیره‌ای از مصالح ریزدانه انجام گرفته است، نشان می‌دهد.

٦-٣. لایه‌بندی رسوبات

هر گونه تغییر در وضعیت رسوبگذاری می‌تواند باعث بروز لایه‌های مختلف شود. بطور مثال تغییر رنگ یا تغییر اندازه دانه‌ها می‌تواند ایجاد کننده لایه‌های مختلف باشد. در بخشهای مختلف آبرفت‌های B_n لایه بندیهای مشاهده شده که در شکل ۸ نشان داده شده است. این لایه بندیها بدلیل تغییر در انرژی عامل حمل کننده رسوبات است. متناسب با تغییر انرژی رسوبات با اندازه های مختلف برجا گذاشته شده و باعث ایجاد لایه بندی شده است. لایه بندی میتواند یک عامل تاثیر گذار در ویژگی‌های ژئوتکنیکی مصالح این آبرفت باشد.



(الف) (ب)

شکل ۷. همگنی و ناهمگنی بافت در آبرفت B_n: شکل الف) همگنی بافت و شکل ب) ناهمگنی بافت رسوبات B_n را نشان می‌دهد.

(الف) (ب)

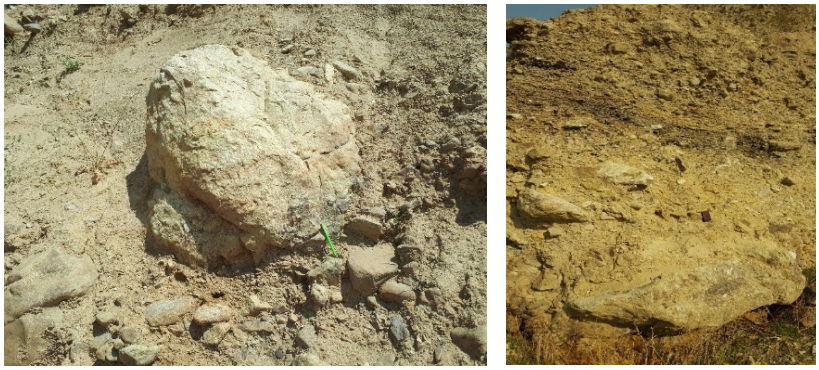
شکل ۸. وجود لایه‌بندی‌های متفاوت در آبرفت‌های B_n، الف) لایه‌بندی یکنواخت بدلیل نزدیکی اندازه ذرات بهم و ب) لایه‌بندی متفاوت بدلیل ناهمگن بودن اندازه ذرات

٤. طبقه‌بندی آبرفت‌های Bn بر اساس متغیرهای زمین-شناسی

با توجه به عوامل ششگانه زمین‌شناسی ذکر شده در گام اول که بر اساس برداشتهای زمین‌شناسی نتیجه‌گیری شد، آبرفت-های B_n تهران به چهارگروه Bn_1 ، Bn_2 ، Bn_3 و Bn_4 به شرح جدول ۳ تقسیم‌بندی گردید.

۱-٤. واحد B_{n1}

این واحد ناهمگن بوده، شامل قطعات زاویه‌دار و نیمه زاویه-دار با قطر دانه‌های بیش از ۲۰۰ سانتیمتر می‌باشد که در بافتی شناور با سیمان رسی و سیلتی ضعیف بهم متصل شده‌اند. در این واحد لایه‌بندی مشاهده نشده و معمولا در مناطق مرتفع شهر مشاهده می‌شود. در شکل ۹ برخی از ویژگی‌های این واحد نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل ۹. واحد B_{n1}: الف و ب) وجود قطعات سنگی بزرگتر از ۲۰۰ سانتیمتر در زمینه‌ای از خاکهای سیلتی و رس

جدول ۳. تقسیم‌بندی آبرفت‌های B_n تهران بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی

آبرفت		فاکتورهای زمین شناسی موثر بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی					
		گردشدگی	اندازه دانه ها (سانتیمتر)	تماس دانه ها	سیمانتاسیون	همگنی	لایه بندی
B_{n1}		زوایه دار تا نیمه زاویه دار	۲۰۰<	شناور	ضعیف	ناهمگنی بالا	معمولا مشاهده نمیشود
B_{n2}		زاویه دار و نیمه زاویه دار	۱۰۰<	شناور – قفل شده	ضعیف تا متوسط	ناهمگنی متوسط تا بالا	معمولا مشاهده نمیشود
B_{n3}		نیمه زاویه دار و نیمه گرد	۵۰ >	شناور	متوسط	ناهمگنی متوسط تا کم	ممکن است دیده شود
B_{n4}		نیمه زاویه دار و نیمه گرد	۱۰>	شناور	ضعیف تا متوسط	ناهمگنی کم	معمولا مشاهده نمیشود

۲-٤. واحد B_{n2}

این واحد ناهمگن بوده و شامل دانه‌های زاویه‌دار و نیمه زاویه‌دار با اندازه حداکثر ۱۰۰ سانتیمتر است. دانه‌های تشکیل دهند این واحد در بعضی نواحی دارای بافتی شناور بوده که توسط پر کننده ضعیف تا متوسط رسی و سیلتی به هم متصل شده‌اند و در بعضی نواحی در کنار هم بصورت قفل و بست

قرار گرفته‌اند. در این واحد لایه بندی مشخص مشاهده نشده است. تصاویری از این واحد در شکل ۱۰نشان داده شده است.

٤-۳. واحد B_{n3}

در این واحد دانه‌هایی با اندازه قطر تا ۵۰ سانتیمتر مشاهده شده است، لذا اندازه دانه‌ها در این واحد از دو واحد B_{n1} و B_{n2} کوچکتر است. همگنی این واحد از رسوبات B_n از دو واحد قبل بیشتر می‌باشد. گسترش جغرافیایی این واحد نسبت به سایر واحدهای این آبرفت بیشتر است. دانه‌ها در این واحد نیمه زاویه‌دار تا نیمه گرد بوده و سیمان رس و سیلتی متوسط دارند. در بعضی مناطق لایه‌بندی مشخص در این واحد مشاهده شده است. تصاویر از این واحد در شکل ۱۱ نشان داده شده است. گسترش جغرافیایی این واحد در مناطقی از یوسف آباد، سعادت آباد، باغ فیض، مصلای امام خمینی و پارک چیتگر مشاهده شده است.

٤-٤. واحد B_{n4}

این واحد شامل دانه‌های نیمه گرد و تا حدی زاویه‌دار است. بزرگترین دانه‌ها در این واحد حدود ۱۰ سانتیمتر بوده که بصورت شناور در زمینه ای از رس و سیلت قرار دارند. این واحد نسبت به واحدهای قبلی همگن بوده و لایه‌بندی مشخص در آن مشاهده نشده است. در شکل۱۲ این واحد نشان داده شده است.

(الف) (ب)

شکل ۱۰ . واحد B_{n2}: الف) تخته سنگ بهمراه قلوه سنگ و شن در سیمانی از ماسه و سیلت، ب) تخته سنگ نیمه‌گرد شده در سیمانی از ماسه و سیلت با قطر حدود ۱۰۰سانتیمتر.

(الف) (ب)

شکل ۱۱. واحد B_{n3}، الف) دانه‌های زاویه‌دار تا نیمه گرد شن در سیمان سیلت و رسی ، ب) لایه‌بندی افقی در بافتی نسبتا یکنواخت با اندازه دانه‌های کوچکتر از ۵۰ سانتیمتر

(الف) (ب)

شکل۱۲. واحد B_{n4}: الف و ب) بافت نسبتا ریزدانه با دانه های کوچکتر از ۱۰ سانتیمتر در بافتی شناور با سیمان رسی، لایه ریزدانه و نسبتا همگن نسبت به واحدهای قبلی

۵-آزمایش‌های برجای انجام شده در آبرفت B_n

در گام دوم مطالعات اقدام به تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی واحدهای مختلف آبرفتها B_n معرفی شده در جدول ۳ گردید. با توجه به مشکلات مربوط به اخذ نمونه دستنخورده از مصالح آبرفتی درشت‌دانه جهت تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی از آزمایش‌های برجا استفاده شد. اگر چه آزمایش نفوذ استاندارد در گستره شهر تهران به تعداد بسیار زیاد انجام شده است لیکن بدلیل بافت غیر همگن و درشت بودن اندازه دانه ها امکان استفاده از نتایج این آزمایش برای تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی این آبرفت وجود نداشت. با توجه به دقت نسبتا خوب نتایج آزمایش برش مستقیم درجا در تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک و آزمایش بارگذاری صفحه در تعیین مدول تغییرشکل پذیری از این دو آزمایش استفاده شد.

۵-۱. آزمایش برش مستقیم برجا

آزمایش برش مستقیم برجا یکی از بهترین روشها برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاکهای درشت دانه می‌باشد. این آزمایش مشابه روش پیشنهاد شده در استاندارد ASTM D4554 انجام شد. در مجموع از نتایج ۲۶ آزمایش برش مستقیم برجا در بخشهایی از آبرفت‌های واحدهای B_{n1}, B_{n2}, B_{n3} استفاده شد. در محلهای مذکور با حفر چاهک دستی ضمن شناسایی دقیق واحدهای مذکور و برداشتهای زمین شناسی اقدام به حفر گالریهای اکتشافی نموده و آزمایش برش مستقیم در گالریهای افقی همانطور که در شکل ۱۳نشان داده شده انجام گردید. نتایج آزمایش برش مستقیم نشان می‌دهد که دامنه تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی این آبرفت به ترتیب بین ۱۰ تا ۶۰ کیلوپاسکال و ۳۳ تا ۴۲ درجه است. دامنه تغییرات این دو پارامتر برای واحدهای مختلف آبرفت B_n در جدول ٤ ارائه شده است.

۵-۲. آزمایش بارگذاری صفحه

این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D1194-94 انجام شد. در این آزمایش از صفحه بارگذاری به قطر ۳۰ و ۵۰ سانتیمتر صلب استفاده گردید. آزمایش در گالریهای اکتشافی حفر شده در واحدهای مختلف آبرفتی B_n انجام شد. در شکل ۱٤ تصاویری از انجام این آزمایش نشان داده شده است. در تحقیق حاضر از داده‌های بیش از ۷۰ آزمایش بارگذاری صفحه‌ای استفاده شد. بر این اساس دامنه تغییرات مدول تغییرشکل‌پذیری در آبرفت‌های B_n بین ۵۰ تا ۲۰۰ مگاپاسکال تعیین گردید. مقادیر مدول تغییرشکل برای واحدهای مختلف این آبرفت در جدول ۵، ارائه شده است.

.

جدول ٤. دامنه تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی برای واحدهای مختلف آبرفت B_n

آبرفت	مقادیر تقریبی برخی پارامترهای ژئوتکنیکی بر اساس نتایج آزمایش‌های برجا		
	E (Mpa)	φ (degree)	C (kPa)
B_{n1}	۱۲۰-۲۰۰	۳٦-٤۲	۱۰-۲۰
B_{n2}	٦۰-۱۵۰	۳٤-٤۱	۲۰-٤۰
B_{n3}	۵۰-۱۲۰	۳۳-٤۰	۲۰-٦۰
B_{n4}	داده ای وجود ندارد		

(ب) (الف)

شکل ۱۳. آزمایش برش مستقیم در آبرفت B_n: الف) آماده سازی جهت انجام آزمایش و ب) انجام آزمایش.

(ب) (الف)

شکل ١٤. انجام آزمایش بارگذاری صفحه در داخل گالری در آبرفت‌های B_n

٦- ترکیب برداشتهای زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی

در سومین گام تحقیق به ترکیب پارامترهای ژئوتکنیکی بدست آمده از آزمایش‌های برجا و برداشتهای زمین‌شناسی پرداخته شد. در جدول ۳ عوامل زمین‌شناسی موثر در ویژگی-های ژئوتکنیکی آبرفت‌های B_n ارائه و بر اساس آن این آبرفت به ٤ واحد تقسیم شد. در جدول ٤ با انجام تعدادی آزمایش برجا پارامترهای ژئوتکنیکی این واحدها مشخص شد. با ترکیب دو جدول مذکور، جدول ۵ پیشنهاد گردید.

در آخرین مرحله بمنظور تکمیل مطالعات قبلی و ارائه یک الگو برای تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی آبرفت‌های شهر تهران نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر که در قالب جدول ۵ خلاصه شده است در جدول ۲ که توسط فاخر و همکاران (Fakher et al., 2007) برای تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی

آبرفت‌های A و C تهران پیشنهاد شده اضافه گردید و جدول ٦ تولید شد. بر اساس جدول ٦ با توجه به مشاهدات زمین-شناسی و تعیین متغیرهای زمین‌شناسی می‌توان جایگاه آبرفت مورد مطالعه را مشخص و سپس پارامترهای ژئوتکنیکی برای آن آبرفت را تخمین زد.

جدول ۵. دامنه تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی واحدهای مختلف آبرفت‌های B_n

طبقه‌بندی زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی آبرفت‌های شهر تهران																
طبقه‌بندی		شکل	ارتفاع (متر)	ویژگی‌های زمین‌شناسی									تخمین خصوصیات مهندسی			
				شیب لایه	اندازه ذرات	سیمان	سن	ضخامت	لایه‌بندی	شکل دانه‌ها	نوع تماس دانه‌ها	چسبندگی (kPa)	زاویه اصطکاک ϕ	مدول الاستیسیته (Mpa)
B	B_{n1}		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی تا ۱۵ درجه	رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر	خیلی کم سیمانی شده	۷۰۰ هزار سال	تا ۶۰ متر	ناهمگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	شناور	۱۰-۲۰	۳۶-۴۳	۱۲۰-۲۰۰
	B_n B_{n2}				رس تا ۱۰۰ سانتیمتر				ناهمگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	شناور و قفل وبست	۲۰-۴۰	۳۴-۴۱	۶۰-۱۵۰
	B_{n3}				رس تا ۵۰ سانتیمتر				همگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	شناور و قفل و بست	۲۰-۶۰	۳۳-۴۰	۵۰-۱۲۰
	B_{n4}				رس تا کمتر از ۱۰ سانتیمتر				همگن	نیمه گرد و گرد گوشه	شناور	از B_n چسبندگی بیشتری دارد ولی زاویه اصطکاک و مدول الاستیسیته آن کمتر است		
	B_s		حدود ۱۰۰۰		سیلت و رس	کمی سیمانی شده		حدود ۱۰ متر	همگن	گرد گوشه	نقطه ای و طولی	معمولا دارای چسبندگی بیشتری از B_n میباشد		

۷- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر درادامه تحقیقات قبلی بر روی آبرفت‌های شهر تهران انجام گردید. بر این اساس آبرفت‌های درشت‌دانه و ناهمگن شمال تهران (B_n) که در تحقیات قبلی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند انتخاب و بعد از برداشتهای زمین‌شناسی و انجام آزمایش‌های برجا نتایج زیر بدست آمد:

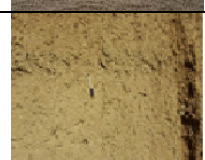
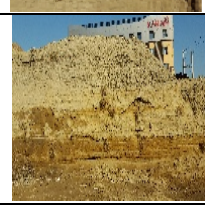
الف- تفکیک آبرفت B_n بر اساس اندازه دانه ،گردشدگی، بافت، سیمان بین دانه‌ها ، همگنی و لایه‌بندی به چند واحد وجود دارد. لذا بر اساس شش عامل مذکور این آبرفت به ٤ واحد B_{n1}, B_{n2}, B_{n3}وB_{n4} دسته‌بندی شد.

ب- بر اساس آزمایش‌های برجای انجام شده در این تحقیق بر روی هر یک از ٤ واحد مذکور، متغییرهای ژئوتکنیکی بشرح جدول(۵) پیشنهاد گردید.

ج- طبقه‌بندی مذکور این امکان را فراهم می‌آورد که با مشاهدات زمین‌شناسی و مشخص نمودن اینکه آبرفت مورد مطالعه در کدام گروه قرار می‌گیرد تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی آن فراهم می‌شود. مهمترین ویژگی طبقه‌بندی مذکور کمی کردن متغیرهای کیفی زمین‌شناسی و تبدیل آنها به ورودیهای مهندسان ژئوتکنیک است

جدول ٦. پارامترهای ژئوتکنیکی تعیین شده در آبرفت‌های تهران بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و آزمایش‌های برجا

طبقه‌بندی زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی آبرفت‌های شهر تهران

طبقه‌بندی		شکل	ارتفاع (متر)	ویژگی‌های زمین‌شناسی							تخمین خصوصیات مهندسی			
				شیب لایه	اندازه ذرات	سیمان	سن	ضخامت	لایه‌بندی	شکل دانه‌ها	نوع تماس دانه‌ها	چسبندگی (kPa)	زاویه اصطکاک ϕ	مدول الاستیسیته (Mpa)
A			حدود ۱۵۰۰	افقی تا ۹۰ درجه	رس تا ۲۵ سانتیمتر	سیمانی شده	۵ میلیون سال	تا ۱۲۰۰ متر	همگن	زاویه‌دار	قفل و بست	۱۵-۱۴	۵۰-۴۵	۲۵۰-۲۰۰
											شناور	۷-۶	۴۰-۳۵	۱۵۰-۱۰۰
										نیمه گرد گوشه	قفل و بست	۸-۶	۴۵-۴۰	۲۰۰-۱۵۰
											شناور	۴-۳	۳۵-۳۰	۵۰-۴۰
B	B_{n1}		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی تا ۱۵ درجه	رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر	خیلی کم سیمانی شده	۷۰۰ هزار سال	تا ۶۰ متر	ناهمگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	شناور	۲-۱	۴۳-۳۶	۲۰۰-۱۲۰
	B_{n2}				رس تا ۱۰۰ سانتیمتر				ناهمگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	شناور و قفل وبست	۴-۲	۴۱-۳۴	۱۵۰-۶۰
	B_{n3}				رس تا ۵۰ سانتیمتر				همگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	شناور و قفل و بست	۶-۲	۴۰-۳۳	۱۲۰-۵۰
	B_{n4}				رس تا کمتر از ۱۰ سانتیمتر				همگن	نیمه گرد و گرد گوشه	شناور	از B_n چسبندگی بیشتری دارد ولی زاویه اصطکاک و مدول الاستیسیته آن کمتر است		
	B_s		حدود ۱۰۰۰		سیلت و رس	کمی سیمانی		حدود ۱۰ متر	همگن	گرد گوشه	نقطه ای و طولی	معمولا دارای چسبندگی بیشتری از B_n میباشد		
C			معمولا ۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی	رس تا ۲۰ سانتیمتر	کمی سیمانی شده	۵۰ هزار سال	تا ۶۰ متر	همگن	زاویه‌دار	قفل و بست	۱۵-۱۰	۴۰-۳۵	۶۰-۵۰
											شناور	۳-۲	۳۵-۳۰	۴۰-۳۰
										گردگوشه	قفل و بست	۵-۴	۳۵-۳۰	۵۰-۴۰
D	D_1		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰	افقی	از سیلت و رس تا ۲۰۰ سانتیمتر	خیلی کم سیمانی	۱۰ هزار سال	کمتر از ۱۰ متر	ناهمگن	نیمه گرد و گرد گوشه	شناور	دارای چسبندگی و تراکم کمتری نسبت به B_n میباشد		
	D_2		معمولا ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰	افقی	اغلب رس و سیلت(با کمی ماسه و شن)	کمی سیمانی شده			همگن	خیلی گرد گوشه(ذرات ماسه و شن)	نقطه‌ای و طولی	۱-۱۰	۱۵>	۲۵-۱۰

منابع

چشمی،ا.، فاخر، ع.، خامه‌چیان، م.، ا.،۱۳۸۷، زمین‌شناسی آبرفت‌های تهران و ارزیابی طبقه‌بندی ریبن جهت مطالعات زمین‌شناسی مهندسی، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳٤، شماره ۱، صفحات ٤٧-٦١.

Arnous, M.O., 2011. Geotechnical site investigations for possible urban extensions at Suez city, Egypt using GIS. Arab. J. Geosci. 6, 1349–1369.

ASTM D4554-12, 2012. Standard Test Method for In Situ Determination of Direct Shear Strength of Rock Discontinuities.

ASTM D1194-94, 1994. Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings.

Barton, M.E. 1993. Cohesive sands: the natural transition from sand to sandstone. In: Anagnostopoulose, I.G. et al., (ed.) Proceedings of Geotechnical Engineering of Soft Rocks–Hard Soil. Balkema, Rotterdam, 367–374.

Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Can. J. Earth Sci. 18, 210–265.

Cheshomi, A., Fakher, A., Jones, C.J.F.P., 2011. A correlation between friction angle and particle shape metrics in Quaternary coarse alluvia. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 42, 145–155.145–155.

Dobkins, J.E., and Folk, Rl., 1970, Shape development on Tahiti-Nui: jour. Sed. Petrol., V.40, p.1167-1203.

El May, M., Dlala, M., Chenini, I., 2010. Urban geological mapping: geotechnical data analysis for rational development planning. Eng. Geol. 116, 129–138.

Fakher, A., Cheshomi, A., Khamechian,M., 2007. The addition of geotechnical properties to a geological classification of coarse grain alluvium a pediment zone. Q. J. Hydrogeol. 40, 163–174Eng. Geol.

Fuchu, D., Yuhai, L., Sijing, D., 1994. Urban geology: a case study of Tong Chuan city, Shaanxi Province, China. Eng. Geol. 38, 165–175.

Jannuzzi, G.M.F., Danziger, F.A.B., Martins, I.S.M., 2015. Geological–geotechnical characterization of Sarapuí II clay. Eng. Geol. 190, 77–86.

Maharaj, R.J., 1995. Engineering–geological mapping of tropical soils for land-use planning and geotechnical purposes: a case study from Jamaica, West Indies. Eng. Geol. 40, 243–286.

Raspa, G., Moscatelli, M., Stigliano, F., Patera, A., Marconi, F., Folle, D., Vallone, R., Mancini, M., Cavinato, G.P., Milli, S., Costa, J.F.C.L., 2008. Geotechnical characterization of the upper Pleistocene–Holocene alluvial deposits of Roma (Italy) by means of multivariate geostatistics: cross-validation results. Eng. Geol. 101, 251–268.

Rieben, E.H., 1966. Geological observation on alluvial deposits in Northern Iran. Geol. Organ. Iran Rep. 9 (in French).

Samadian, B., Fakher, A.,2016. Proposing a framework to combine geological and geotechnical information for city planning in Sanandaj (Iran). Engineering Geology 209 (2016) 1–11.

Sitar, N. 1983. Slope stability in coarse sediment. In: Yong R.N. (ed.) Proceedings on Geotechnical Environment and Soil Properties, Houston, TX. American Society of Civil Engineers, New York, 82–98.

Skipper, J., Follett, B., Menkiti, C.O., Long, M., Clark-Hughes, J., 2005. The engineering geology and characterization of Dublin Boulder Clay. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 38, 171–187.

Tucker, M. E., 1981. Sedimentary petrology: An introduction: Blackwell Science Pub., London. 252 P.

Touch, S., Likitlersuang, S., Pipatpongsa, T., 2014. 3D geological modelling and geotechnical characteristics of Phnom Penh subsoils in Cambodi. Eng. Geol. 178, 58–69.

Wadel, H., 1932, volum, shape, and roundness of rock particles. Journal of Geology, 40:443-51.