

توسعه طبقه‌بندی آبرفت‌های تهران بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی و پارامترهای ژئوتکنیکی

اکبر چشمی*^۱، سید رمضان نژادالیردی^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 کلان‌شهرهایی است که بر روی رسوبات آبرفتی کواترنر بنا شده، این رسوبات بر اساس سن و شرایط تشکیل به چهار گروه A, B, C 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 ۶۶ 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_3 ، Bn_2 ، Bn_1 و Bn_4 تقسیم شد. با انجام ۲۷ آزمایش برش مستقیم برجا و ۷۰ آزمایش بارگذاری صفحه در واحدهای مشخص شده پارامترهای ژئوتکنیکی این ۴ 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 می‌آورد.

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

۱. بخش تکنیک و زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران
۲. کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، مهندسین مشاور هندسه پارس کاوش Ramezan40@yahoo.com
۳. دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های 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

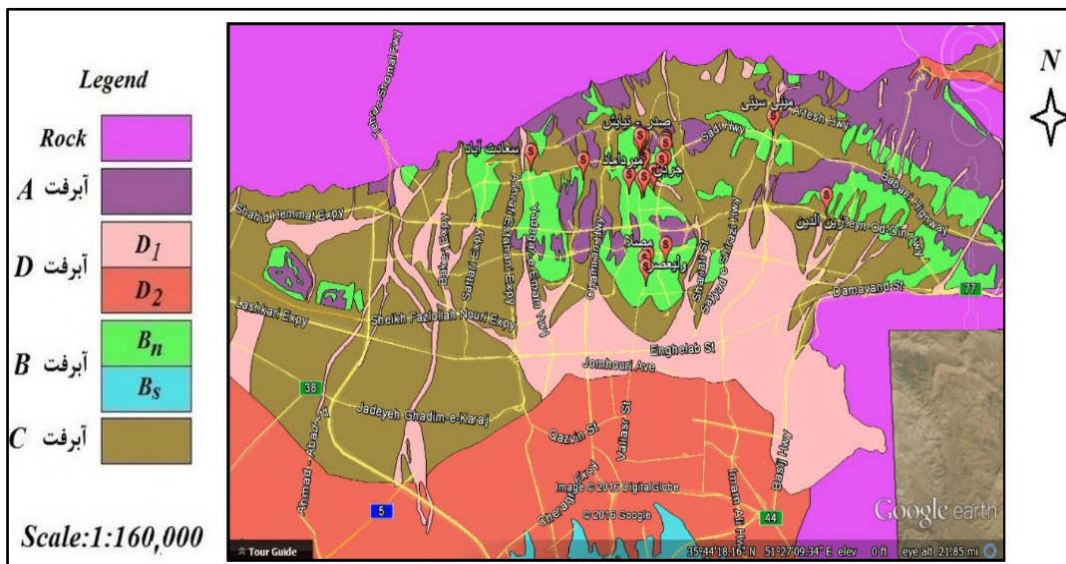
یکی از روشهای کمی سازی برداشتهای زمین‌شناسی تلفیق متغیرهای زمین‌شناسی با پارامترهای ژئوتکنیکی است. این امر منجر به روشی می‌شود که با توصیف کیفی و مشاهدات زمین‌شناسی امکان تخمین برخی پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح زمین فراهم گردد. بر این اساس محققین مختلف طبقه‌بندی‌های زمین‌شناسی - ژئوتکنیکی برای مناطق شهری 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. اسکیر 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 پلیستوسن (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 روش GIS 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 سندنجد 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).

۲-۱. 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. ریین (Rieben, 1966) رسوبات آبرفتی گستره تهران به ۴ 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 ریین (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 پروفیل های ساده نشان داده شده است (Fakher et al., 2007).



شکل ۱. پراکندگی آبرفت های مختلف بر اساس طبقه بندی ریبن (Rieben, 1966) در شهر تهران.

جدول ۱. مقایسه آبرفت های 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 weak cement	Non cemented	Cementation less than A	Non cemented
Grain size	Clay to 100-250 mm	Very variable up to several meters	Fine grain 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

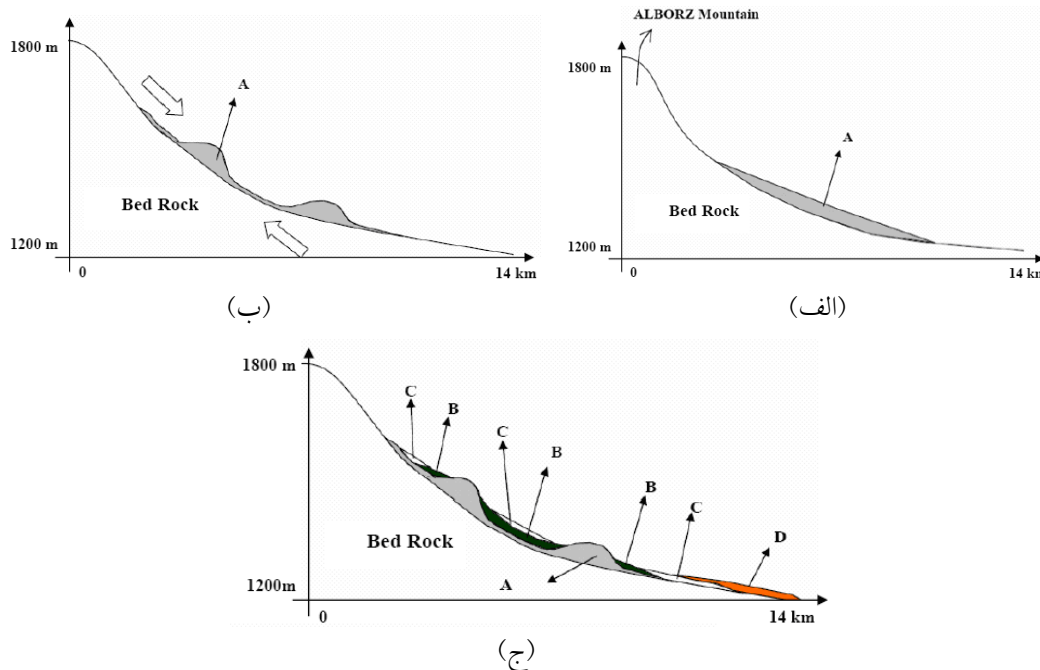
اساس تقسیم بندی ارائه شده توسط ریبن (Rieben, 1966) سن و شرایط تشکیل رسوبات بوده لذا ارزیابی کیفی از رسوبات در اختیار قرار می دهد که امکان استفاده مستقیم آن برای مهندسان در پروژه ها و برنامه ریزی های توسعه ای شهر وجود ندارد. بر این اساس فاخر و همکاران (Fakher et al., 2007) با اضافه کردن داده های ژئوتکنیکی به طبقه بندی زمین شناسی ارائه شده توسط ریبن (Rieben, 1966) تلاش کردند روش جدیدی برای تخمین ویژگی های مهندسی

گسترش ساخت و سازها و احداث ساختمان های مرتفع به همراه توسعه خطوط مترو و شبکه های فاضلاب لزوم بررسی بهتر و دقیقتر ویژگی های زمین شناسی این رسوبات را به گونه ای که قابلیت استفاده برای کاربردهای مهندسی داشته باشد ایجاد می کند.

۳-۱. ترکیب اطلاعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی برای شهر تهران

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 برجای برخی پارامترهای ژئوتکنیکی این آبرفت تعیین و به جدول ۲ اضافه شده است. بدین منظور برداشتهای سطحی در ۶۶ 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.

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 برجای 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



شکل ۲. توالی شکل گیری آبرفت‌های تهران (الف) رسوبگذاری آبرفت‌های A حدود ۵ میلیون سال قبل، (ب) فعالیتهای تکتونیک 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)

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

۲- روش مطالعه

در طبقه‌بندی ارائه شده قبلی پارامترهای ژئوتکنیکی آبرفتها B تهران ارائه نشده است. این آبرفتها همانطور که در جدول ۱

مصالح. مرحله سوم، تلفیق اطلاعات زمین شناسی با داده های ژئوتکنیکی و تولید جدولی برای تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی آبرفت های Bn بر اساس متغیرهای زمین شناسی و مرحله چهارم، اضافه کردن جدول تولید شده در مرحله سوم به جدول ارائه شده توسط فاخر و همکاران (Fakher et al., 2007) (جدول ۲).

می شوند. پارامترهای ژئوتکنیکی بخش ریزدانه آبرفت های B همانطور که در جدول ۲ مشخص شده قبلا ارائه شده و هدف اصلی این تحقیق ارائه یک روش برای تعیین پارامتر ژئوتکنیکی بخش درشت دانه این آبرفت است. تحقیق حاضر در ۴ مرحله به شرح زیر انجام شده است.

مرحله اول، برداشتهای زمین شناسی از برونزدهای سطحی آبرفت های Bn. مرحله دوم، جمع آوری نتایج و انجام برخی آزمایش های برجا به منظور تعیین ویژگی های ژئوتکنیکی این

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)	1500 m			200-250	600-900
		Floating						100-150	
	Interlocking	150-200							
	Floating	40-50							
B	Angular	Floating	Un cemented	0-1.5 m	1500		No data	No data	
				Intermediate					1300-1500
				Clay & Silt					1000-1100
C	Angular	Interlocking	Weakly to moderately cemented	A mixture of grain size (≤ 200 mm)	1100-1500			50-60	
		Floating						30-40	
	Interlocking	40-50							
	Floating	20-30							
D	Round	Floating	Un cemented	0-1.5	1500		No data	No data	
				Intermediate					1100-1500
				Clay & Silt					1000-1100

متغیرهای زمین شناسی این آبرفت که بر پارامترهای ژئوتکنیکی آن تاثیر گذار است، اندازه دانه، شکل دانه (کروی و گردشده)، نحوه اتصال دانه ها به یکدیگر، عامل اتصال دانه ها به یکدیگر، همگنی بافت رسوبات ولایه بندی دانه ها می باشد، در ادامه به تشریح هر کدام پرداخته می شود.

۳. برداشتهای زمین شناسی تحقیق حاضر

جهت تعیین متغیرهای زمین شناسی به بازدید میدانی و مشاهده ۶۶ برونزد آبرفت های Bn در گستره شهر تهران پرداخته شد. نتیجه این بررسی ها نشان داد که مهمترین

۳-۱. اندازه دانه

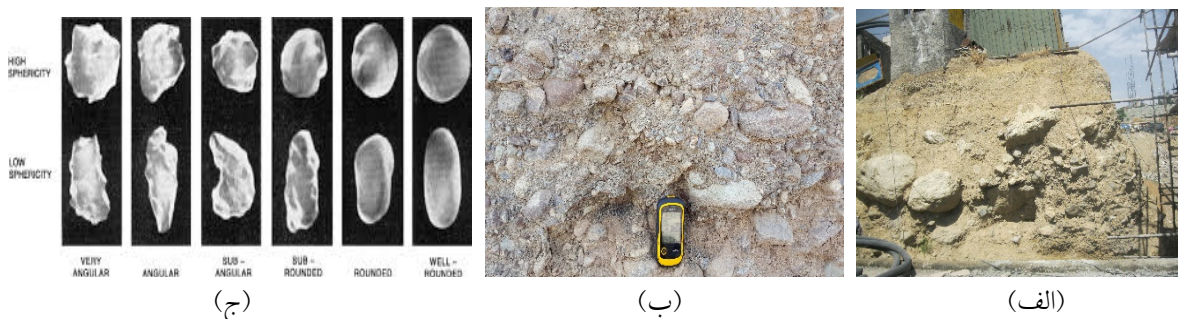
اندازه دانه‌ها متأثر از ویژگی‌های سنگ منشا، مسافت حمل شده و عامل انتقال است. برای آبرفت‌های B_n برخی رودخانه و سیلاب و برخی حمل توسط یخچال را معرفی کرده‌اند (Berberian et al., 1981). با توجه به یکسان بودن سنگ منشا و عامل انتقال دلیل اصلی تفاوت اندازه دانه‌ها مسافت حمل شده است. بطوریکه با دور شدن از منشا 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.

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 می‌توان 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 دانه‌هایی که دارای منشاء یکسان هستند، می‌باشد. در شکل ۴ 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.

۳-۲. گردش‌دگی دانه‌ها



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



شکل ۴. 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 دانه ها

تماس دانه های یک خاک درشت دانه با همدیگر همانطور که در شکل ۵ الف نشان داده شده بصورت نقطه ای، طولی، قفل و بست و شناور، می باشد (Sitar, 1983). در خاکهای با دانه های گرد شده و دارای دانه بندی یکنواخت تماس دانه ها عموماً بصورت نقطه ای و طولی است. زمانی که تماس دانه های بصورت نقطه ای است دانسیته خاک کاهش یافته و زمانی که تماس دانه ها بصورت طولی می شود افزایش در دانسیته خاک بوجود می آید. تماس قفل و بست بین دانه ها بیشتر در دانه های زاویه دار مشاهده می شود. بارتون (Barton, 1993) قفل و بست بین دانه ها را بعنوان عاملی که باعث بروز چسبندگی در خاک می شود عنوان نمود. در آبرفت های B_n همانطور که در شکل ۵ ب و ج نشان داده شده است اتصال بین دانه ها معمولاً بصورت قفل و بست یا شناور است.

۳-۴. عامل اتصال دانه ها

مهمترین عامل اتصال دانه ها در خاکهای درشت دانه سیمان بین دانه ها است. قفل و بست دانه ها، رشد دانه ها و جوش خوردگی دانه ها نیز از سایر عوامل متصل کردن دانه ها می باشد (Barton, 1993). در شکل ۶ عامل اتصال بین دانه ها در آبرفت های B_n تهران مشاهده می شود. در این آبرفت فرایند سیمانی شدن مشاهده نشده و دانه هایی که حالت شناور دارند توسط یک پرکننده سیلتی و رسی بهم متصل شده اند.

۳-۵. همگنی بافت رسوب

همگنی بافت رسوب تا حدودی مشخص کردن یکنواختی دانه ها از نظر اندازه ذرات است. در شکل ۷ تصاویر از حالت های مختلف از نظر همگن بودن یا غیر همگن بودن آبرفت های B_n تهران مشاهده می شود.



(ج)

(ب)

(الف)

شکل ۵. نحوه تماس دانه ها در آبرفت B_n : الف) چهار نوع اتصال دانه ها به یکدیگر (Sitar, 1983)، ب) اتصال دانه ها بصورت قفل و

بست ج) اتصال دانه ها بصورت شناور



(ب)

(الف)

شکل ۶. 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.

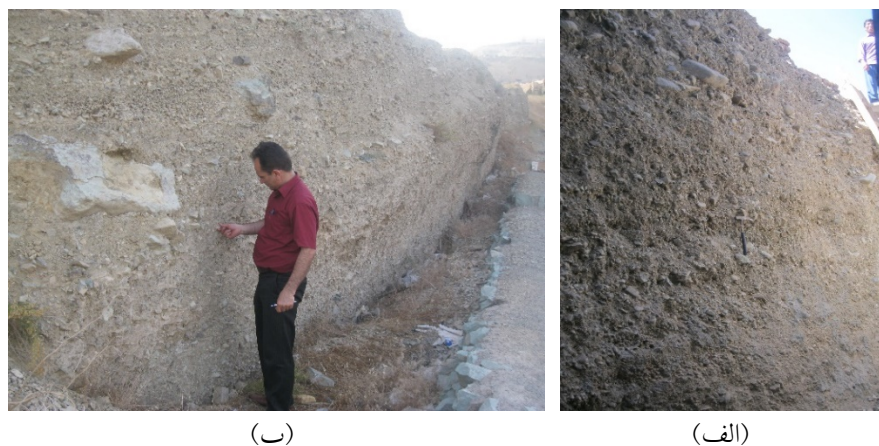
در شکل ۸ نشان داده شده است. این لایه بندیها بدلیل تغییر در انرژی عامل حمل کننده رسوبات است. متناسب با تغییر انرژی رسوبات با اندازه های مختلف برجا گذاشته شده و باعث ایجاد لایه بندی شده است. لایه بندی میتواند یک عامل تاثیر گذار در ویژگی‌های ژئوتکنیکی مصالح این آبرفت باشد.

۶-۳. 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



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.



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

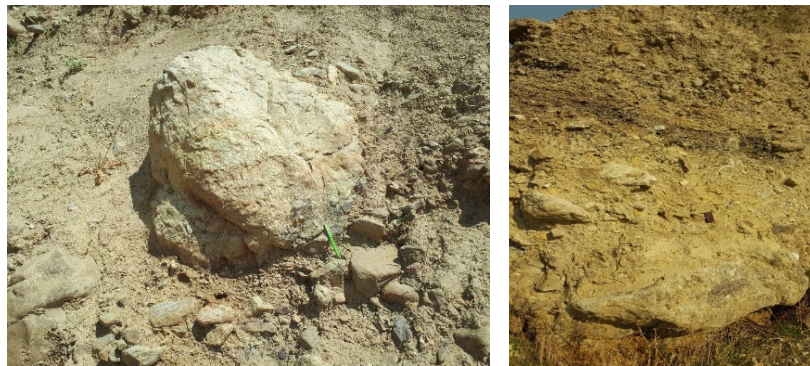
با توجه به عوامل ششگانه زمین‌شناسی ذکر شده در گام اول که بر اساس برداشتهای زمین‌شناسی نتیجه‌گیری شد، آبرفت-های B_n تهران به چهارگروه B_{n1} ، B_{n2} ، B_{n3} و B_{n4} به شرح جدول ۳ تقسیم‌بندی گردید.

۴. طبقه‌بندی آبرفت‌های B_n بر اساس متغیرهای زمین-شناسی

این واحد لایه بندی مشاهده نشده و معمولاً در مناطق مرتفع شهر مشاهده می شود. در شکل ۹ برخی از ویژگی های این واحد نشان داده شده است.

۱-۴. واحد B_{n1}

این واحد ناهمگن بوده، شامل قطعات زاویه دار و نیمه زاویه دار با قطر دانه های بیش از ۲۰۰ سانتیمتر می باشد که در بافتی شناور با سیمان رسی و سیلتی ضعیف بهم متصل شده اند. در



(ب)

(الف)

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

جدول ۳. تقسیم بندی آبرفت های B_n تهران بر اساس ویژگی های زمین شناسی

فاکتورهای زمین شناسی موثر بر ویژگی های ژئوتکنیکی						آبرفت
لایه بندی	همگنی	سیماناسیون	تماس دانه ها	اندازه دانه ها (سانتیمتر)	گردش دگی	
معمولاً مشاهده نمیشود	ناهمگنی بالا	ضعیف	شناور	$200 <$	زاویه دار تا نیمه زاویه دار	B_{n1}
معمولاً مشاهده نمیشود	ناهمگنی متوسط تا بالا	ضعیف تا متوسط	شناور - قفل شده	$100 <$	زاویه دار و نیمه زاویه دار	B_{n2}
ممکن است دیده شود	ناهمگنی متوسط تا کم	متوسط	شناور	$50 <$	نیمه زاویه دار و نیمه گرد	B_{n3}
معمولاً مشاهده نمیشود	ناهمگنی کم	ضعیف تا متوسط	شناور	$10 >$	نیمه زاویه دار و نیمه گرد	B_{n4}

دهند این واحد در بعضی نواحی دارای بافتی شناور بوده که توسط پر کننده ضعیف تا متوسط رسی و سیلتی به هم متصل شده اند و در بعضی نواحی در کنار هم بصورت قفل و بست

۲-۴. واحد B_{n2}

این واحد ناهمگن بوده و شامل دانه های زاویه دار و نیمه زاویه دار با اندازه حداکثر ۱۰۰ سانتیمتر است. دانه های تشکیل

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، مصلاهی امام خمینی و پارک چیتگر مشاهده شده است.

۴-۴. 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 زمینه‌ای از رس و سیلت قرار دارند. این واحد نسبت به واحدهای قبلی همگن بوده و لایه‌بندی مشخص در آن مشاهده نشده است. در شکل ۱۲ این واحد نشان داده شده است.

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

۴-۳. 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



(ب)



(الف)

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 ۱۰۰ سانتیمتر.



(ب)



(الف)

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



(ب)

(الف)

شکل ۱۲. واحد B_{n4}: الف و ب) بافت نسبتاً ریزدانه با دانه های کوچکتر از ۱۰ سانتیمتر در بافتی شناور با سیمان رسی، لایه ریزدانه و نسبتاً همگن نسبت به واحدهای قبلی

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 ۱۳ نشان داده شده انجام گردید. نتایج آزمایش برش مستقیم نشان می دهد 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 ۴ ارائه شده است.

۲-۵. 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 ۱۴ تصاویری از انجام این آزمایش نشان داده شده است. در تحقیق حاضر از داده های بیش از ۷۰ آزمایش بارگذاری صفحه ای استفاده شد. بر این اساس دامنه تغییرات مدول تغییرشکل پذیری در آبرفت های B_n بین ۵۰ تا ۲۰۰ مگاپاسکال تعیین گردید. مقادیر مدول تغییرشکل برای واحدهای مختلف این آبرفت در جدول ۵، ارائه شده است.

۵-آزمایش های 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 درشت دانه جهت تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی از آزمایش های برجای 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 نسبتاً 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.

۱-۵. آزمایش برش مستقیم برجای

آزمایش برش مستقیم برجای یکی از بهترین روشها برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاکهای درشت دانه می باشد. این آزمایش مشابه روش پیشنهاد شده در استاندارد ASTM D4554 انجام شد. در مجموع از نتایج ۲۶ آزمایش برش مستقیم برجای در بخشهایی از آبرفت های واحدهای B_{n1}, B_{n2}, B_{n3} استفاده شد. در محلهای مذکور با حفر چاهک دستی

جدول ۴. دامته تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی برای واحدهای مختلف آبرفت B_n

مقادیر تقریبی برخی پارامترهای ژئوتکنیکی بر اساس نتایج آزمایش‌های برجا			
C (kPa)	ϕ (degree)	E (Mpa)	آبرفت
۲۰-۱۰	۴۲-۳۶	۲۰۰-۱۲۰	B_{n1}
۴۰-۲۰	۴۱-۳۴	۱۵۰-۶۰	B_{n2}
۶۰-۲۰	۴۰-۳۳	۱۲۰-۵۰	B_{n3}
داده ای وجود ندارد			B_{n4}



(ب)



(الف)

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



(ب)



(الف)

شکل ۱۴. انجام آزمایش بارگذاری صفحه در داخل گالری در آبرفت‌های B_n

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






۶- ترکیب برداشتهای زمین شناسی و پارامترهای

ژئوتکنیکی

در سومین گام تحقیق به ترکیب پارامترهای ژئوتکنیکی بدست آمده از آزمایش‌های برجا و برداشتهای زمین شناسی پرداخته شد. در جدول ۳ عوامل زمین شناسی موثر در ویژگی‌های ژئوتکنیکی آبرفت‌های B_n ارائه و بر اساس آن این آبرفت به ۴ واحد تقسیم شد. در جدول ۴ با انجام تعدادی

آبرفت های A و C تهران پیشنهاد شده اضافه گردید و جدول ۶ تولید شد. بر اساس جدول ۶ با توجه به مشاهدات زمین شناسی و تعیین متغیرهای زمین شناسی می توان جایگاه آبرفت مورد مطالعه را مشخص و سپس پارامترهای ژئوتکنیکی برای آن آبرفت را تخمین زد.

جدول ۵. دامنه تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی واحدهای مختلف آبرفت های B_n

تخمین خصوصیات مهندسی		ویژگی های زمین شناسی						ارتفاع (متر)	شکل	طبقه بندی		
مدول الاستیسیته (Mpa)	زاویه اصطکاک ϕ	چسبندگی (kPa)	نوع تماس دانه ها	شکل دانه ها	لایه بندی	ضخامت	سبب				اندازه ذرات	شیب لایه
۱۲۰-۲۰۰	۳۶-۴۳	۱۰-۲۰	شناور	نیمه گرد گوشه زاویه دار و نیمه گرد گوشه	ناهمگن			رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ افتی تا ۱۵ درجه		B _{n1}
۶۰-۱۵۰	۳۴-۴۱	۲۰-۴۰	شناور و قفل و بست	نیمه گرد گوشه زاویه دار و نیمه گرد گوشه	ناهمگن		خیلی کم سیمانی شده	رس تا ۱۰۰ سانتیمتر				B _{n2}
۵۰-۱۲۰	۳۳-۴۰	۲۰-۶۰	شناور و قفل و بست	نیمه گرد گوشه زاویه دار و نیمه گرد گوشه	همگن	تا ۶۰ متر	۷۰۰ هزار سال	رس تا ۵۰ سانتیمتر				B _{n3}
از B _n چسبندگی بیشتری دارد ولی زاویه اصطکاک و مدول الاستیسیته آن کمتر است			شناور	نیمه گرد گوشه گرد گوشه	همگن			رس تا کمتر از ۱۰ سانتیمتر				B _{n4}
معمولا دارای چسبندگی بیشتری از B _n میباشد			نقطه ای و طولی	گرد گوشه	همگن	حدود ۱۰ متر		کم سیمانی شده	سیلت و رس	حدود ۱۰۰۰		B _s

۷- نتیجه گیری

ب- بر اساس آزمایش های برجای انجام شده در این تحقیق بر روی هر یک از ۴ واحد مذکور، متغیرهای ژئوتکنیکی بشرح جدول (۵) پیشنهاد گردید.

ج- طبقه بندی مذکور این امکان را فراهم می آورد که با مشاهدات زمین شناسی و مشخص نمودن اینکه آبرفت مورد مطالعه در کدام گروه قرار می گیرد تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی آن فراهم می شود. مهمترین ویژگی طبقه بندی مذکور کمی کردن متعیرهای کیفی زمین شناسی و تبدیل آنها به ورودیهای مهندسان ژئوتکنیک است

تحقیق حاضر در ادامه تحقیقات قبلی بر روی آبرفت های شهر تهران انجام گردید. بر این اساس آبرفت های درشت دانه و ناهمگن شمال تهران (B_n) که در تحقیقات قبلی مورد بررسی قرار نگرفته اند انتخاب و بعد از برداشتهای زمین شناسی و انجام آزمایش های برجا نتایج زیر بدست آمد:

الف- تفکیک آبرفت B_n بر اساس اندازه دانه، گردش دانه، بافت، سیمان بین دانه ها، همگنی و لایه بندی به چند واحد وجود دارد. لذا بر اساس شش عامل مذکور این آبرفت به ۴ واحد B_{n1}, B_{n2}, B_{n3} و B_{n4} دسته بندی شد.

جدول ۶. پارامترهای ژئوتکنیکی تعیین شده در آبرفت‌های تهران بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و آزمایش‌های برجا

طبقه‌بندی زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی آبرفت‌های شهر تهران

طبقة بندی	شکل	ارتفاع (متر)	شیب لایه	اندازه ذرات	سیمان	سین	ضخامت	لایه بندی	شکل دانه‌ها	دانه‌ها	تخمین خصوصیات مهندسی		
											مدول الاستیسیته (Mpa)	اصطکاک ϕ زاویه	چسبندگی (kPa)
A		حدود ۱۵۰۰	افقی تا ۹۰ درجه	رس تا ۲۵ سانتیمتر	سیمانی شده	۵ میلیون سال	تا ۱۲۰ متر	همگن	زاویه دار	قفل و بست	۱۴-۱۵	۴۵-۵۰	۲۰۰-۲۵۰
									نیمه گرد	شناور	۶-۷	۳۵-۴۰	۱۰۰-۱۵۰
									گرد گوشه	قفل و بست	۶-۸	۴۰-۴۵	۱۵۰-۲۰۰
									گرد گوشه	شناور	۳-۴	۳۰-۳۵	۴۰-۵۰
B _{n1}		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی تا ۱۵ درجه	رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر	خمی کم سیمانی شده	۷۰۰ هزار سال	تا ۶۰ متر	ناهمگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	شناور	۱-۲	۳۶-۴۳	۱۲۰-۲۰۰
									نیمه گرد گوشه	شناور و قفل و بست	۲-۴	۳۴-۴۱	۶۰-۱۵۰
									نیمه گرد گوشه	شناور و قفل و بست	۲-۶	۳۳-۴۰	۵۰-۱۲۰
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور	از B _n چسبندگی بیشتری دارد ولی زاویه اصطکاک و مدول الاستیسیته آن کمتر است		
B _{n2}		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی تا ۱۵ درجه	رس تا کمتر از ۱۰ سانتیمتر	کم سیمانی	۵۰ هزار سال	تا ۶۰ متر	همگن	زاویه دار و نیمه گرد گوشه	نقطه ای و طولی	۱۰-۱۵	۳۵-۴۰	۵۰-۶۰
									نیمه گرد گوشه	معمولا دارای چسبندگی بیشتری از B _n میباشد			
									گرد گوشه	قفل و بست	۲-۳	۳۰-۳۵	۳۰-۴۰
									گرد گوشه	قفل و بست	۴-۵	۳۰-۳۵	۴۰-۵۰
B _{n3}		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی	رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر	خمی 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		
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
B _{n4}		معمولا ۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی	رس تا کمتر از ۱۰ سانتیمتر	کم سیمانی	۵۰ هزار سال	تا ۶۰ متر	همگن	زاویه دار	قفل و بست	۱۰-۱۵	۳۵-۴۰	۵۰-۶۰
									گرد گوشه	شناور	۲-۳	۳۰-۳۵	۳۰-۴۰
									گرد گوشه	قفل و بست	۴-۵	۳۰-۳۵	۴۰-۵۰
									گرد گوشه	قفل و بست	۴-۵	۳۰-۳۵	۴۰-۵۰
B _s		معمولا ۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی	رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر	خمی کم سیمانی	۱۰ هزار سال	کمتر از ۱۰ متر	همگن	نیمه گرد و گرد گوشه	شناور	دارای چسبندگی و تراکم کمتری نسبت به B _n میباشد		
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
C		معمولا ۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰	افقی	رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر	خمی کم سیمانی	۱۰ هزار سال	کمتر از ۱۰ متر	همگن	زاویه دار	قفل و بست	۱۰-۱۵	۳۵-۴۰	۵۰-۶۰
									گرد گوشه	شناور	۲-۳	۳۰-۳۵	۳۰-۴۰
									گرد گوشه	قفل و بست	۴-۵	۳۰-۳۵	۴۰-۵۰
									گرد گوشه	قفل و بست	۴-۵	۳۰-۳۵	۴۰-۵۰
D ₁		معمولا ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰	افقی	رس تا بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر	خمی کم سیمانی	۱۰ هزار سال	کمتر از ۱۰ متر	همگن	نیمه گرد و گرد گوشه	شناور	دارای چسبندگی و تراکم کمتری نسبت به B _n میباشد		
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
									نیمه گرد و گرد گوشه	شناور			
D ₂		معمولا ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰	افقی	اغلب رس و سیلت (با کمی ماسه و شن)	کم سیمانی شده	۱۰ هزار سال	کمتر از ۱۰ متر	همگن	خیلی گرد گوشه (ذرات ماسه و شن)	نقطه ای و طولی	۱-۱۰	۱۵	۱۰-۲۵
									خیلی گرد گوشه (ذرات ماسه و شن)	نقطه ای و طولی			
									خیلی گرد گوشه (ذرات ماسه و شن)	نقطه ای و طولی			
									خیلی گرد گوشه (ذرات ماسه و شن)	نقطه ای و طولی			

منابع

- چشمی، ا.، فاخر، ع.، خامه چیان، م.، ا.، ۱۳۸۷، زمین شناسی آبرفت های تهران و ارزیابی طبقه بندی ریبین جهت مطالعات زمین شناسی مهندسی، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۴، شماره ۱، صفحات ۴۷-۶۱.
- 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: Anagnostopoulou, 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.
- Dobkins, J.E., and Folk, R.L., 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, 163–174.
- 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.