

## طبقه بندی زمین با روش $V_{s30}$ و با استفاده از عدد نفوذ استاندارد ( $N-SPT$ ) در آبرفت شهر کابل - افغانستان

ضامن جعفری<sup>۱\*</sup>، عبدالله سهرابی بیدار<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی - دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده زمین شناسی - پردیس علوم دانشگاه تهران

\*Mzamen2010@yahoo.com

### چکیده

طبقه بندی زمین ساختگاه، یک روش ساده، کم هزینه و سریع می باشد، که می توان یک برآورد ساده از بزرگنمایی ساختگاه و شکل پاسخ طیفی مورد انتظار را بدست دهد. شهر کابل با توجه به شرایط بعد از جنگ، بازسازی و توسعه شهرها و بازگشت مهاجرین شتاب بخشیدن به تحقیق و مطالعه در جنبه های مختلف زمین لرزه، جهت شناخت هرچه بیشتر ماهیت آن و راه های کاهش آسیب پذیری کشور در برابر حوادث آینده ضرورت دارد. داده های ژئوتکنیکی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، شامل گزارشات ژئوتکنیکی پروژه های عمرانی و ساختمان سازی که از اوایل سال ۲۰۰۷ تا اواخر ۲۰۱۱ میلادی در شهر کابل تهیه شده اند. در گمانه های جمع آوری شده شهر کابل مقادیر اندازه گیری شده سرعت موج برشی وجود نداشته ولی در اکثر گمانه های گرد آوری شده  $N-SPT$  در دسترس بوده و روابط تجربی موجود بین  $SPT$  و سرعت موج برشی امکان برآورد سرعت موج برشی را فراهم نموده است. سپس  $V_{s30}$  با استفاده از رابطه موجود در آیین نامه بین المللی ساختمانی ( $ICC, 2006$ )، محاسبه گردیده، و طبقه بندی خاک بر اساس همین آیین نامه صورت گرفته است. بر اساس نتایج، اکثر آبرفت در کلاس  $C$  قرار می گیرند مگر قسمتی از جنوب شرق محدوده مورد مطالعه که در کلاس  $D$  قرار گرفته اند.

**کلمات کلیدی:** طبقه بندی زمین ساختگاه، ژئوتکنیک آبرفت شهر کابل، حوضه کابل،  $V_{s30}$ .

### ۱- مقدمه

زلزله یکی از مهمترین بلاای طبیعی است که هر از چندگاهی باعث ایجاد خسارات جبران ناپذیری می شود. نوع خاک محل از جمله عواملی است که تاثیر بسزایی بر بزرگنمایی ساختگاه و مقادیر پاسخ طیفی دارد. در زمینه طبقه بندی خاک روشهای مختلفی وجود دارد که از جمله آنها می توان روش زمین شناسی منطقه، روش سرعت امواج برشی، روش عدد  $SPT$ ، و روش میکروترموور ( $Microtremore$ )، را بر شمرد.

طبقه بندی زمین ساختگاه، یک روش ساده، کم هزینه و سریع می باشد، که می توان یک برآورد ساده از بزرگنمایی ساختگاه و شکل پاسخ طیفی مورد انتظار را بدست دهد. طبقه بندی زمین ساختگاه، در آیین نامه های کشور های مختلف گنجانده شده است، همانند آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران، آیین نامه بین المللی ساختمانی ( $ICC, 2006$ )، راهنمای پهنه بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه ای توسط کمیته فنی در مهندسی ژئوتکنیکی زلزله ( $TC4, 1999$ )، و ... می توان اشاره نمود. طبقه بندی زمین ساختگاه در آیین نامه های مختلف اغلب بر اساس توصیف زمین شناسی، داده های ژئوتکنیکی (همانند  $SPT$ ) و سرعت موج برشی می باشد.

## ۲- اهمیت بررسی شهر کابل از دید گاه ژئوتکنیک لرزه ای

کشور افغانستان به دلیل قرار داشتن در کمربند فعال و لرزه خیز آلپ- هیمالیا دارای شرایط تکتونیکی خاصی است و از جمله نواحی با پتانسیل بالای لرزه خیزی جهان می باشد. زلزله در ۱۰ سال گذشته بیش از ۷۰۰۰ افغان را کشته است، از جمله زلزله نهرین در ماه مه سال ۱۹۹۸ که منجر به کشته شدن حدود ۴۰۰۰ نفر شد (James and Dewey, 2006). انتظار داریم که در آینده زلزله های بزرگی، توسط فرآیندهای فعال زمین شناسی در منطقه، رخ دهد.

شهر کابل پایتخت کشور افغانستان می باشد که حدود ۳/۵ میلیون نفر جمعیت و تقریباً ۴۷۵ کیلومتر مربع مساحت دارد. با توجه به شرایط بعد از جنگ، بازسازی و توسعه شهرها و بازگشت مهاجرین شتاب بخشیدن به تحقیق و مطالعه در جنبه های مختلف زمین لرزه، جهت شناخت هرچه بیشتر ماهیت آن و راه های کاهش آسیب پذیری کشور در برابر حوادث آینده ضرورت دارد. با این حال متأسفانه کمیت و کیفیت مطالعات انجام پذیرفته در مورد جنبه های مختلف زمین لرزه در افغانستان به دلیل چند دهه نابسامانی سیاسی، به هیچ وجه متناسب با ابعاد خطر این پدیده های طبیعی در کشور افغانستان نیست.

## ۳- جایگاه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

حوضه رسوبی کابل در بخش مرکزی- شمالی بلوک کابل (Kabul Massif) قرار گرفته است، بلوک کابل توسط سیستم گسلی چمن- مفر (Chaman-Moqur Fault system)، و گسل آلتیمور (سروبی) (Altimur Flaut, Sarobi Flaut) از ارتفاعات کوه های پغمان (Paghman Mountains) در غرب و کوه های صافی (Safi Mountains) در شرق جدا شده است. حوضه کابل بوسیله گسلش سنگ های کریستالی و سپس فرسایش آنها، شکل گرفته است. فرآیندهای گسلش، کوه های اطراف و تپه های مربوط به حوضه های فرعی را مرتفع نموده است و توالی های فرسایش این ارتفاعات و رسوبگذاری در گرابنها، منجر به ایجاد نمای کنونی این منطقه شده است. تشکیل ساختارهای گرابنی در اواخر میوسن همزمان با شکل گیری دره روخانه کابل آغاز گردید. بنابراین حوضه رسوبی کابل را می توان به عنوان دره پر شده همراه با کوهها در نظر گرفت، که دره ها با رسوبات ترشیاری و کواترنری و واریزه ها پر شده و رشته کوه ها از سنگهای رسوبی و کریستالی تشکیل یافته اند. در یک نگاه کلی، این ناحیه به شکل منطقه تپه ای یا کوهپایه ای نمایان گردیده و سلسله کوه ها با جهات مختلف آن را به فرو افتادگی های نیمه بسته تبدیل کرده اند. نمای ریخت شناسی و زمین شناسی این منطقه، به حوضه ها و محیط های زمین شناسی ایالت های آریزونا و نوادا در آمریکا شبیه می باشد (Broshears et al., 2005). رسوبات ترشیاری و کواترنری حوضه کابل به دو دسته نهشته های قدیمی تر و جوان تر تقسیم بندی شده است. نهشته های جوان تر سری لسی، گراولی، ماسه ای و سنگریزه عهد حاضر هستند و رسوبات قدیمی تر از جدید به شامل سری های لاتابند، سری کابل، و سری بت خاک می باشند (Mack et al., 2010). شکل (۱) توالی رسوبات مذکور را نشان می دهد.

## ۴- داده های مورد استفاده در تحقیق

داده های ژئوتکنیکی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، شامل گزارشات ژئوتکنیکی پروژه های عمرانی و ساختمان سازی در شهر کابل می باشند. این گزارشات شامل لاگ گمانه های مطالعاتی، نتایج آزمایشات آزمایشگاهی و صحرایی می باشند که توسط شرکتهای خدمات ژئوتکنیکی از اوایل سال ۲۰۰۷ تا اواخر ۲۰۱۱ میلادی تهیه شده اند. گردآوری این گزارشات از طریق

مراجعه حضوری به شرکت‌های مذکور انجام پذیرفت. طی این مرحله تعداد ۴۴ گزارش ژئوتکنیکی جمع آوری شده، که در مجموع حاوی اطلاعات ۲۳۷ گمانه با عمقهای مختلف، حداقل ۳ و حداکثر ۳۲ متر با میانگین عمق ۱۰ متر می باشد. کل طول حفاری های انجام شده در این پروژه ها به ۲۳۶۷ متر می رسد. همچنین ۱۸ گمانه با عمق بیشتر و با هدف شناسایی منابع آب زیرزمینی که توسط باخ (Bockh, 1971) در کابل انجام رسیده بود، مورد بررسی قرار گرفت. از این گمانه ها ۱۱ گمانه در محدوده مورد مطالعه قرار داشته و از داده های آنها در تعیین ساختار زمین شناسی منطقه استفاده شده است.

Name	Marginal deposits	Central deposits
Holocene Würm سری لس	لس، واریزه، گراول	لس، تالاب رس با گراول، کنگلومرا
Pleistocene Cromer سری لانزند	گراول لانزند کنگلومرا	کنگلومرا، گراول (محلی)
	لس، خاک	
	ماسه سنگ، کنگلومرا، مارن، رس	مارن، رس، سیلستون، ماسه سنگ
	سری کابل	?
Neogene	سیلت و ماسه سنگ قرمز، رس کنگلومرا	?
	سری بوت خاک	
Basement complex (bordering mountains)		

شکل ۱- چینه بندی شماتیک حوضه کابل (HOMILIUS, 1966).

حفاری گمانه های مورد مطالعه عموماً با روش دورانی و مغزه گیری پیوسته انجام شده اند. از مغزه های به دست آمده نمونه های دست خورده و دست نخورده جهت انجام آزمایشات آزمایشگاهی برداشت شده اند. نمونه برداری برای اکثر گمانه ها با فواصل ۰/۷۵ متر انجام گرفته اما در برخی از گمانه ها فواصل ۱/۰ و ۱/۵ متر نیز مشاهده می شود.

در هر پروژه ژئوتکنیکی برخی از آزمونها آزمایشگاهی و صحرایی مورد نیاز انجام پذیرفته اند. البته قابل ذکر است که آزمونهای SPT، دانه بندی و حدود اتربرگ در تمام اعماق انجام پذیرفته است و سایر آزمونها فقط برای اعماق خاصی انجام شده است.

آزمایش نفوذ استاندارد یک آزمایش متداول برای تعیین ویژگیهای مقاومتی خاک است. در طی این آزمایش پارامتری به نام عدد نفوذ استاندارد (N) اندازه گیری می شود که شاخصی از میزان مقاومت خاک است. امروزه به دلایل ویژگی هایی که آزمایش SPT نسبت به سایر آزمایش های صحرایی دارد، متداولاً در پروژه های عمرانی مورد استفاده قرار می گیرد. نکته مهم در مورد این آزمایش آن است که در مقابل سایر آزمایش های خاک، آسان تر و کم هزینه تر می باشد. همچنین روابط تجربی زیادی بین N-SPT و پارامترهای مهندسی خاک ارائه شده است که به وسیله این روابط تجربی دیگر پارامترهای خاک را برآورد کرد.

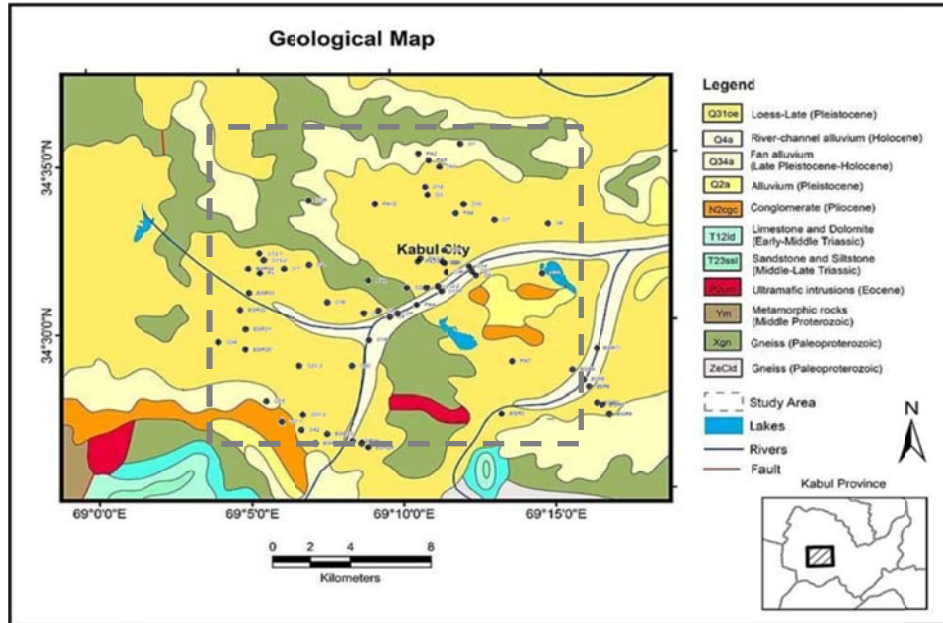
آزمایش نفوذ استاندارد در منطقه مورد مطالعه به روش ASTM D-1586 انجام شده است. عوامل مختلفی در عدد نفوذ استاندارد اندازه گیری شده مؤثر واقع می شوند. لذا عدد نفوذ استاندارد مورد استفاده در محاسبات و تفسیرها بایستی اصلاح گردد تا بتوان به طور دقیق تر راجع به مشخصات طبیعی زمین مورد مطالعه قضاوت نمود. روش های متعددی برای اصلاح عدد نفوذ استاندارد پیشنهاد شده است.

## ۵- پراکندگی و موقعیت گمانه های ژئوتکنیکی در منطقه

پروژه های ژئوتکنیکی انجام شده در سطح شهر کابل حاوی گمانه های متعددی می باشند. به علت فاصله بسیار نزدیک گمانه ها، تغییرات بسیار ناچیزی در خصوصیت مهندسی خاک در محل هر پروژه وجود دارد. بنابراین از میان گمانه های حفر شده برای یک پروژه، گمانه ای که دارای عمق بیشتر و حاوی حداکثر اطلاعات می باشد، انتخاب شده است و کمبود اطلاعات در این گمانه، از میانگین داده های گمانه های دیگر به دست آمده است. بدین ترتیب برای هر پروژه ژئوتکنیکی یک گمانه معادل در نظر گرفته می شود که نمایانگر خصوصیات ژئوتکنیکی و زمین شناسی مهندسی محدوده آن پروژه می باشد. در شکل (۲) محدوده مورد مطالعه و موقعیت گمانه های معادل، نمایش داده شده است. بطوریکه ملاحظه می گردد، گمانه های حفاری شده در محدوده مورد نظر به خوبی توزیع نشده اند و در برخی نقاط مانند ناحیه مرکزی و شمال تمرکز بیشتری را دارا هستند.

## ۶- پروفیل های ژئوتکنیک لرزه ای نماینده

اگرچه با کاربرد روز افزون سرعت موج برشی در بسیاری از تحلیلهای ژئوتکنیکی امروزه در کنار داده های گمانه های ژئوتکنیکی مقادیر سرعت موج برشی نیز مورد اندازه گیری قرار می گیرد اما در برخی موارد نیز داده های گمانه ها فاقد سرعت موج برشی هستند. در گمانه های جمع آوری شده شهر کابل مقادیر اندازه گیری شده سرعت موج برشی وجود نداشته و این پارامتر بر اساس روابط تجربی بین آزمایشهای درجای دیگر سرعت موج برشی بدست آمده است. خوشبختانه در اکثر گمانه های گرد آوری شده  $N-SPT$  در دسترس بوده و روابط تجربی موجود بین  $SPT$  و سرعت موج برشی امکان برآورد سرعت موج برشی را فراهم نموده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت گمانه ها

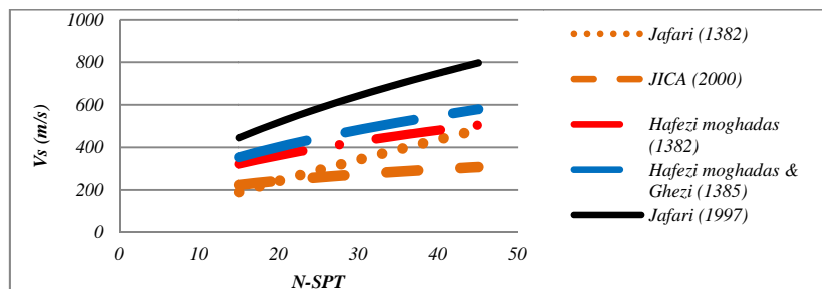
روابط متعددی بین  $N-SPT$  و سرعت موج برشی برای خاکهای مختلف پیشنهاد شده و وجود دارد (Hasancebi and Ulusay, 2007). ولی بهتر است تا حد امکان از روابط محلی و مخصوص برای آن منطقه استفاده کرد، تا نتایج

بدست آمده از خطای کمتری برخوردار باشد. اگر چنین روابطی در دسترس نباشد باید از روابطی که توسط محققین مختلف ارائه شده استفاده و رابطه مناسب را انتخاب نمود. در منطقه مورد مطالعه رابطه ای برای  $N-SPT$  و سرعت موج برشی برای خاکهای آن بدست نیامده است. بنابراین از روابط موجود که توسط محققین مختلف در سراسر جهان ارائه شده استفاده شده است. ابتدا مقدار سرعت موج برشی برای هر گمانه معادل با روابط گوناگون محاسبه شده و نمودار آن رسم گردید. بررسی نشان داد که نتایج بین روابط مختلف تا دو برابر هم می رسد. شکل (۳) سرعت موج برشی حاصل از روابط تجربی مختلف (جدول ۱) در خاک های ریز دانه محاسبه شده به ازاء مقادیر مختلف  $SPT$  را نشان می دهد.

چنین اختلافی در برآورد مقادیر سرعت موج برشی با استفاده از  $N-SPT$  توسط محقیق دیگر همانند گرگین پور (۱۳۹۰)، جعفری و همکاران (Jafari et al 2002)، لی (Lee, 1990)، یوما ماهیسواری (Uma Mahesvari et al, 2009) و Hasancebi and Ulusay, (2007) نیز ارائه شده است. تفاوت قابل ملاحظه ای بین مقادیر پیش بینی شده سرعت موج برشی، توسط محققین مختلف در نقاط مختلف جهان در آبرفتهای ریز دانه وجود دارد. دلیل اصلی این تفاوت شرایط زمین شناسی منطقه، نحوه انجام آزمایش نفوذ استاندارد و تصحیحات اعمالی به آن، جنس و نوع دانه بندی و میزان سفتی رسوبات موجود در هر منطقه می باشد. علاوه بر موارد ذکر شده یکی دیگر از عوامل موثر بر اختلاف روابط ارائه شده در آبرفتهای ریزدانه شرایط آب و هوایی منطقه می باشد. بنابراین با توجه مطالب و دلایل فوق برای آبرفت شهر کابل از رابطه حافظی و قزی (۱۳۸۵)، که برای منطقه مشهد توسعه داده شده است، استفاده شد. به عبارت دیگر به دلایل پراکندگی نتایج حاصل شده با روابط دیگر، نزدیکی جغرافیایی، شرایط تقریباً مشابه آب و هوایی و شرایط زمین شناسی و تکنیکی از رابطه فوق استفاده می شود.

جدول ۱- روابط تجربی بین  $N-SPT$  و سرعت موج برشی محققین مختلف

محقق	رابطه تجربی	نوع خاک
جعفری، ۱۳۸۲	$V_s = 19N^{0.85}$	تمام خاکها
Jafari, 1997	$V_s = 22N^{0.85}$	تمام خاکها
JICA, 2000	$V_s = 102N^{0.29}$	خاک رسی
	$V_s = 81N^{0.33}$	خاک ماسه ای
حافظی مقدس، ۱۳۸۲	$V_s = 106N^{0.41}$	خاکهای ریزدانه
	$V_s = 75N^{0.5}$	خاکهای درشت دانه
حاطی مقدس و قزی، ۱۳۸۵	$V_s = 10.5.01N^{0.4485}$	خاکهای ریزدانه
	$V_s = 83.62N^{0.4964}$	خاکهای درشت دانه



شکل ۳- مقایسه روابط تجربی همبستگی بین عدد نفوذ استاندارد و سرعت موج برشی توسط محققان مختلف که برای یکی از گمانه های پروژه انجام شده در شهر کابل

## ۷- طبقه بندی زمین با استفاده از $V_{s30}$

امروزه یکی از ساده ترین و پر کاربردترین راه ها برای بدست آوردن نمودار طیف طراحی طبقه بندی زمین می باشد همچنین یکی از روشهای طبقه بندی زمین روش استفاده از  $V_{s30}$  می باشد. در آیین نامه های کشورهای مختلف روشهایی گوناگونی برای طبقه بندی زمین ارائه شده است، در این پژوهش از طبقه بندی زمین ساخته شده که در آیین نامه بین المللی ساختمانی (ICC, 2006)، استفاده گردید. در آیین نامه بین المللی ساختمانی (ICC, 2006)، ساخته شده به ۶ رده از A تا F تقسیم شده است (جدول ۲). عموماً این رده بندی ها بر اساس توصیف زمین شناسی، سرعت موج برشی و داده های ژئوتکنیکی SPT انجام شده است. چنین طبقه بندی هایی می تواند مبنای توصیف شرایط خاک قرار گرفته و به منظور ریزپهنه بندی مورد استفاده قرار گیرد.

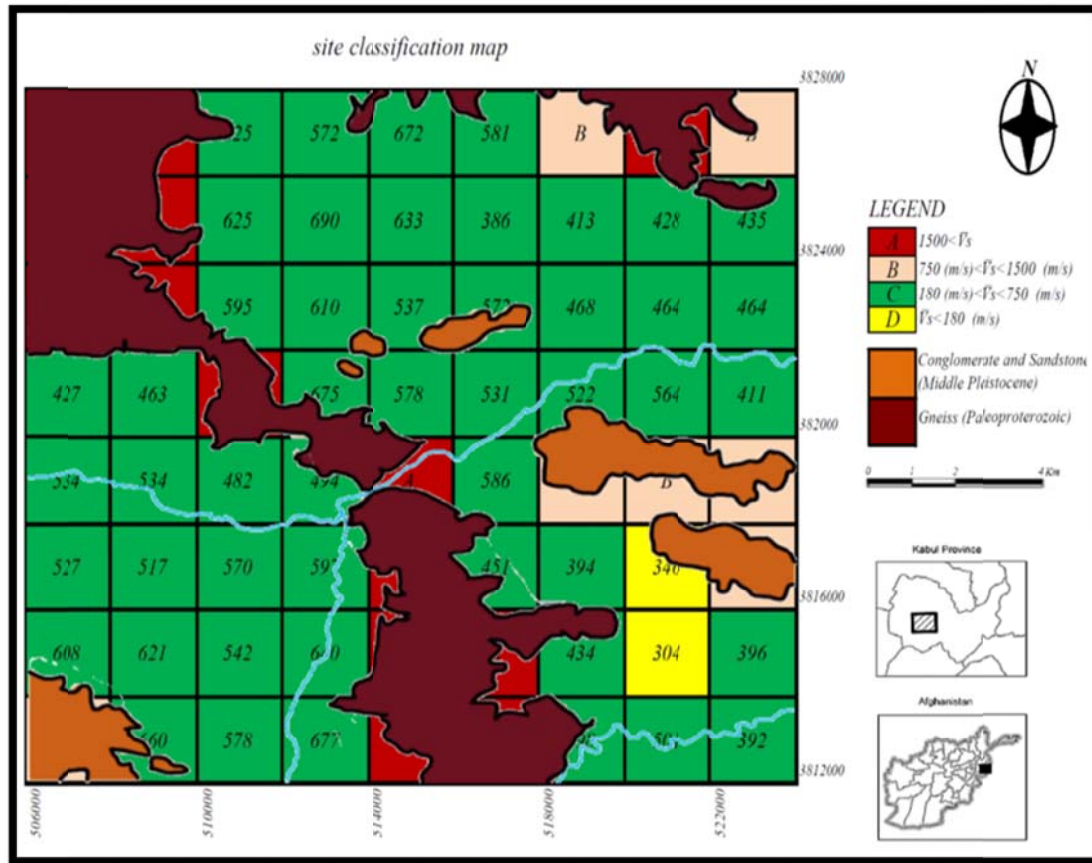
$$V_{s30} = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{V_{s_i}}} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $V_{s30}$ : میانگین سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی سطح زمین، و  $d_i$ : ضخامت لایه و  $V_{s_i}$ : سرعت موج برشی لایه  $i$  ام می باشد. در سلولهایی که برای آن پروفیل معادل سلول در نظر گرفته شده،  $V_{s30}$  بر اساس مشخصات پروفیل بدست آمده است. در مناطقی که بر اساس شرایط زمین شناسی برونزد های سنگی وجود داشته است، با استفاده از داده های زمین شناسی به دو کلاس A و B طبقه بندی شده اند. کلاس A برای سلولهایی که اکثر سطح سلول را سنگهای سخت مانند گنیس و کوارتزیت پوشیده شده بود در نظر گرفته شد و کلاس B برای سلولهایی که اکثر سطح سلول توسط کنگلومرای لاته بند (هولوسن) رخنمون داشته، در نظر گرفته شده است. در شکل (۴) نقشه طبقه بندی زمین ساخته شده و مقدار  $V_{s30}$  را بر اساس آیین نامه بین المللی ساختمان (ICC, 2006) برای هر سلول مشاهده می شود. چنان که دیده می شود اکثر آبرفت در کلاس C قرار می گیرند مگر قسمتی از جنوب شرق نقشه که در کلاس D قرار گرفته اند. این مسئله می تواند ناشی از وجود رسوبات ریزدانه دریاچه ای در این منطقه باشد که نقشه زمین شناسی منطقه نیز این امر را تایید می نماید.

جدول ۲- طبقه بندی خاک که در آیین نامه بین المللی ساختمانی (ICC, 2006).

SITE CLASS	SOIL PROFILE NAME	AVERAGE PROPERTIES IN TOP 100 feet, SEE SECTION 1613.5.5		
		Soil shear wave velocity, $\bar{v}_s$ (ft/s)	Standard penetration resistance, $\bar{N}$	Soil undrained shear strength, $\bar{s}_u$ (psf)
A	Hard rock	$\bar{v}_s > 5,000$	N/A	N/A
B	Rock	$2,500 < \bar{v}_s \leq 5,000$	N/A	N/A
C	Very dense soil and soft rock	$1,200 < \bar{v}_s \leq 2,500$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2,000$
D	Stiff soil profile	$600 \leq \bar{v}_s \leq 1,200$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{s}_u \leq 2,000$
E	Soft soil profile	$\bar{v}_s < 600$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 1,000$
E	—	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristics: 1. Plasticity index $PI > 20$ , 2. Moisture content $w \geq 40\%$ , and 3. Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F	—	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ( $H > 10$ feet of peat and/or highly organic clay where $H$ = thickness of soil) 3. Very high plasticity clays ( $H > 25$ feet with plasticity index $PI > 75$ ) 4. Very thick soft/medium stiff clays ( $H > 120$ feet)		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m<sup>2</sup>, 1 pound per square foot = 0.0479 kPa. N/A = Not applicable



شکل ۴- نقشه طبقه بندی زمین ساختگاه و مقدار  $V_s 30$  را بر اساس آیین نامه بین المللی ساختمانی (ICC, 2006) برای هر سلول

## ۸- نتیجه گیری

- ۱- در اعماق کم تا حدود ۶ متر، خاکهای ریز دانه خاکهای غالب منطقه را تشکیل داده اند ولی در اعماق بیشتر خاکهای ماسه ای و گراولی از سمت غرب و جنوب ناحیه مورد مطالعه گسترش یافته اند.
- ۲- نتایج حاصل از بررسی عدد نفوذ استاندارد در منطقه نشان می دهد که دامنه عدد  $SPT$  از عدد ۳ تا بیشتر از ۵۰ متغیر است. بر اساس نتایج عدد  $SPT$  می توان بیان کرد که مناطق غربی عدد  $SPT$  بالاتری و به تبع آن سرعت موج برشی بیشتری را نسبت به مناطق شرقی نشان می دهند.
- ۳- بیشتر آبرفت شهر کابل در کلاس (C) طبقه بندی زمین قرار گرفته، و طبق توصیف زمین شناسی در رده خاک سفت و سنگ نرم دسته بندی می شود، چون طبقه بندی زمین بر اساس میانگین سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی ( $V_s 30$ ) محاسبه می شود، عمق کم خاکهای درشت دانه که در برخی از مناطق سیمانی هم شده اند، باعث بالا رفتن میانگین سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی می گردد.

## ۱۰- منابع

حافظی، ن. قزی، ا. (۱۳۸۵). بررسی رابطه بین سرعت موج برشی و عدد نفوذ استاندارد در گستره مشهد، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدن کشور، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.  
گرگین پور، ع. ا. (۱۳۹۰)، مقایسه نتایج آزمایشهای نفوذ استاندارد، پرسیمتری و لرزه ای درون چاهی در آبرفت ریزدانه (مطالعه مورد شهر قم)، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۲-۸.  
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۴)، آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰، ویرایش سوم، وزارت مسکن و شهرسازی.

- Böckh E.G., (1971), "Report on the groundwater resources of the city of Kabul". BGR file number 0021016, BRG, Hannover, Germany, pp. 2-33.
- Broshears, R.E., et al, (2005), "Inventory of ground-water resources in the Kabul Basin, Afghanistan": U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5090, pp. 34.
- Hasancebi N., Ulusay R., (2007), "Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments". Bull Eng Geol Environ 66: pp.203-213.
- ICC, (2006), "International Building Code", PRINTED IN THE U.S.A., pp.303.
- ISSMGE, (1999), "Manual for zonation on seismic geotechnical hazards (Revised Version)", The Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering (TC4) of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Published by The Japanese Geotechnical Society.
- Jafari M. K., Shafiee A., Razmkhah A., (2002). "Dynamic Properties of Fine Grained Soils in South of Tehra, Spring 2002", Vol. 4, No. 1.
- James W. Dewey, (2006), "Seismicity of Afghanistan and Vicinity, Afghanistan", U.S. Geological Survey, USGS Afghanistan Project Product Number 28, pp. 82.
- Lee S.H.H. (1990), "Regression models of shear wave velocities". Chin Inst Eng 13, pp. 519-532.
- Mack, T. J. and et al, (2010), "Conceptual Model of Water Resources in the Kabul Basin, Afghanistan", U.S. Geological Survey, USGS Afghanistan Project Product Number 168, pp. 82.
- Uma Maheswari, R., Boominathan, A., Dodagoudar, G. R, (2009). "Use of Surface Waves in Statistical Correlations of Shear Wave Velocity and Penetration Resistance of Chennai Soils, Springer".