

نقشه های پهنه بندی بیشینه شتاب سطح زمین (PGA) در آبرفت شهر کابل - افغانستان

ضامن جعفری^{۱*}، عبدالله سهرابی بیدار^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی - دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده زمین شناسی - پردیس علوم دانشگاه تهران

*Mzamen2010@yahoo.com

چکیده

افغانستان یکی از کشورهای لرزه خیز جهان به شمار می آید بطوریکه سالانه زمین لرزه های کوچک تا متوسط زیادی و هر چند سال یک زمین لرزه بزرگ را تجربه می کند. بنابراین مطالعات لرزه خیزی و پهنه بندی لرزه ای مناطق لازم و ضروری می باشد. در این مقاله تاثیر شرایط ساختگاه بر روی بیشینه شتاب زمین در آبرفت شهر کابل مورد بررسی قرار می گیرد. تحلیل خطر لرزه ای به روش آنالیز معادل خطی یک بعدی توسط نرم افزار *Deepsoil* صورت گرفته است. گستره شهر کابل به سلولهای ۲×۲ کیلومتر شبکه بندی شده و هر سلول شبکه بصورت یک ستون خاک مجزا آنالیز شده است. در نهایت نتایج بصورت نقشه های ریز پهنه بیشینه شتاب سطح زمین در دو حالت سنگ بستر الاستیک و سنگ بستر صلب و با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال (معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال) ارائه گردیده است. نتایج نشان می دهد که بیشینه شتاب از غرب به سمت شرق روند کاهشی را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: شرایط ساختگاه، ریز پهنه بندی لرزه ای، بیشینه شتاب سطح زمین، PGA

۱- مقدمه

بررسی زمین لرزه های گذشته نشان می دهد که شرایط زمین شناسی محلی نظیر تاریخچه رسوبگذاری، بافت و تراکم خاک، شکل حوضه و غیره تاثیر زیادی در تشدید حرکات زمین داشته و عموماً خسارات لرزه ای بر روی رسوبات آبرفتی نرم بزرگتر از رخنمونهای سنگی گزارش شده است (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸۸). امروزه با گسترش شهرها و افزایش ابنیه های زیربنایی، احداث مجتمع های بلند مسکونی، توسعه تأسیسات شهری و صنعتی، مخاطرات زلزله به مراتب افزایش یافته است. شهر کابل بر روی نهشته های نرم و در نزدیکی سیستم گسلی چمن - مقر (*Chaman-Moqur Fault system*) با نرخ لغزش ۱۰ میلی متر در سال واقع شده است (Boyd, 2007). رشد و توسعه سریع شهر، ضرورت مطالعه و بکارگیری راه های پیشگیری یا کاهش خسارات زمین لرزه را بیش از پیش نشان می دهد.

۲- 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 - مقر و گسل آلتیمور (سرویی) (*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 همرا 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 تپیک دامنه کوه ها 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.

	Name	Marginal deposits	Central deposits
Holocene	Wurm سری لس	لس، واریزه، گراول	لس، تلوپ رس با گراول، کنگلومرا
Pleistocene	Cromer سری لانابند	گراول لاتابند کنگلومرا	کنگلومرا گراول (محلی)
		لس، خاک	
Neogene	سری کابل	ماسه سنگ، کنگلومرا، مارن، رس	مارن، رس، سبیلستون، ماسه سنگ
	سری بت خاک	سبیلت و ماسه سنگ فرمز، رس کنگلومرا	?
Basement complex (bordering mountains)			

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

۳- روش انتخابی تحلیل

مدل سازی اثر مصالح، روی لرزش زمین ناشی از زلزله سنگ بستر، تحلیل پاسخ زمین نامیده می شود (کشاورز، ا.، تبرکی، م.، ۱۳۸۸). بنابراین مسئله پاسخ زمین در حقیقت به تعیین پاسخ توده خاک در برابر حرکت بستر سنگی زیر آن تبدیل خواهد شد. امواج با عبور از لایه های خاک بسته به میرایی، مشخصات هندسی و ویژگیهای ژئوتکنیکی، تشدید یا تضعیف می گردد. پاسخ دینامیکی مصالح زمین شناسی یا تحلیل پاسخ زمین می تواند با مدلسازی یک، دو و سه بعدی انجام شود. این روشها از نظر توانایی مدل کردن هندسه مسئله و موج یا فرضیات آنها برای مدل کردن پاسخ زمین و همچنین بر اساس روش تحلیلی که برای حل معادلات حرکت استفاده می کنند، متفاوت هستند.

در این مطالعه از روش یک بعدی خطی معادل برای تحلیل پاسخ زمین استفاده شده است. در روش یک بعدی فرض می شود که سطح زمین و مرز لایه ها افقی است و بزرگنمایی آبرفت، در اثر امواج SH که از بستر سنگی به صورت عمودی منتشر می شوند صورت می گیرد. در این روش که بر اساس رفتار ویسکوالاستیک خاک بنا شده است همراه با تغییرات خواص خاک، آنالیز خطی گام به گام آنقدر تکرار می شود تا حل مسئله در حالت سازگاری کرنش ها بدست آید. نرم افزار مورد استفاده (DeepSoil) بر مبنای حل مستقیم و پیوسته معادله انتشار امواج می باشد که پاسخهای یک سیستم متشکل از لایه های همگن و ویسکوالاستیک را در برابر امواج برشی محاسبه می نماید. مدل خطی معادل که تنها یک تقریبی از رفتار واقعی غیر خطی خاک می باشد در حوزه فرکانس کار می کند. برای توصیف رفتار خاک در آنالیز خطی معادل از مدول برشی و ضریب میرایی که به عنوان پارامترهای خطی معادل مصالح نامیده می شوند

استفاده می گردد. پارامترهای مدول برشی و ضریب میرایی برای هر لایه خاک در طول مدت لرزش زمین ثابت بوده و با توجه به کرنش تولید شده در هر لایه تعیین می شوند. در این مقاله از پارامترهای زیر برای آنالیز خطی معادل توسط این نرم افزار استفاده شده است: حداکثر شتاب بستر سنگ، عمق سنگ بستر، ۱۲ شتابنگاشت از ۶ زلزله ایران، سرعت موج برشی، ضخامت و وزن مخصوص پروفیل خاک، نحوه تغییرات نسبت مدول برشی و میرایی با کرنش برشی بر اساس روابط پیشنهادی سید و ادریس (*seed and Idriss, 1991*)، و وستیک و دبری (*Vucetic and Dobry, 1991*)، به ترتیب برای مصالح درشت دانه و ریز دانه.

۴- داده های مورد استفاده در تحقیق

داده های ژئوتکنیکی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، شامل ۴۴ گزارش ژئوتکنیکی پروژه های عمرانی و ساختمان سازی (بین سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱) در شهر کابل می باشند در مجموع حاوی اطلاعات ۲۳۷ گمانه با حداقل عمق ۳ و حداکثر عمق ۳۲ متر با میانگین عمق ۱۰ متر می باشند. کل طول حفاری های انجام شده به ۲۳۶۷ متر می رسد. همچنین ۱۸ گمانه با عمق بیشتر و با هدف شناسایی منابع آب زیرزمینی که توسط باخ (*Bockh, 1971*) انجام رسیده بود. 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.

در هر پروژه، از میان گمانه های حفر شده، گمانه ای که دارای عمق بیشتر و حاوی حداکثر اطلاعات می باشد، انتخاب شده است. در شکل (۲) محدوده مورد مطالعه و موقعیت پروژه های انجام شده، نمایش داده شده است. بطوریکه ملاحظه می گردد، گمانه های حفاری شده در محدوده مورد نظر به خوبی توزیع نشده اند و در ناحیه مرکزی و شمال تمرکز بیشتری را دارا هستند. در گمانه های جمع آوری شده شهر کابل مقادیر اندازه گیری شده سرعت موج برشی وجود نداشته و این پارامتر بوسیله روابط تجربی حافظی و قزی (۱۳۸۵)، بین $N-SPT$ و سرعت موج برشی بدست آمده است:

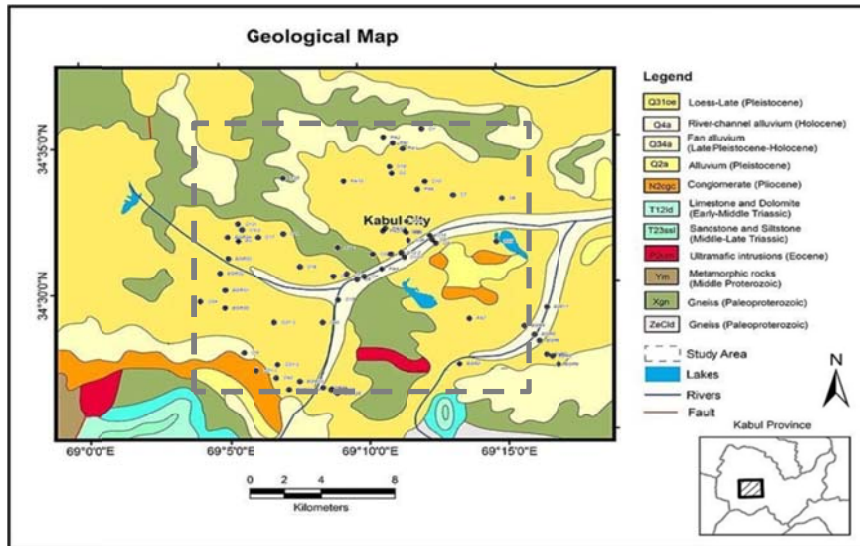
$$V_s = 10.5.01N^{0.4485} \quad (۱) \text{ خاکهای ریزدانه}$$

$$V_s = 83.62N^{0.4964} \quad (۲) \text{ خاکهای درشت دانه}$$

۴-۱- شتاب نگاشت های ورودی

از سال ۱۹۳۳ به بعد دستگاه شتابنگار برای ثبت جنبش نیرومند زمین در کشور امریکا استقرار یافت و تا سال ۱۹۸۶ بیش از ۴۰۰۰ رکورد از زمین لرزه های مختلف گردآوری شد. در حال حاضر در بیشتر کشورهای لرزه خیز شبکه های شتابنگاری استقرار یافته است، ولی به دلیل عدم توجه و بی ثباتی سیاسی دهه های اخیر در افغانستان هنوز دستگاه شتاب نگاشتی نصب نگردیده است. در این پژوهش از شتاب نگاشت های زمین لرزه های داخل ایران بهره گرفته شده است. زیرا هم از نظر جغرافیایی نزدیک بوده و هم هر دو منطقه در کمربند زلزله خیز آلپ- هیمالیا قرار دارند. همچنین از نظر مکانیسم زلزله نیز در هر دو منطقه ساز و کار مشابه حاکم بوده و اکثر گسل های لرزه خیز ایران و افغانستان از نوع معکوس، امتداد لغز یا معکوس با مولفه امتداد لغز می باشند.

در این پژوهش از شتاب نگاشت ۶ زمین لرزه ایران شامل زمین لرزه های بم (۲۰۰۳)، بلده (۲۰۰۴)، چنگوره (۲۰۰۲)، ناغان (۱۹۷۷)، طیس (۱۹۷۸) و وانددیک (۱۹۷۶)، و هر زمین لرزه با دو مولفه شتاب نگاشت افقی استفاده شد. که به این ترتیب در مجموع از ۱۲ شتاب نگاشت استفاده گردید. جدول (۱) مشخصات زمین لرزه های مورد استفاده را نشان داده است.



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

جدول ۱- مشخصات شتاب نگاشتهای مورد استفاده در این پژوهش

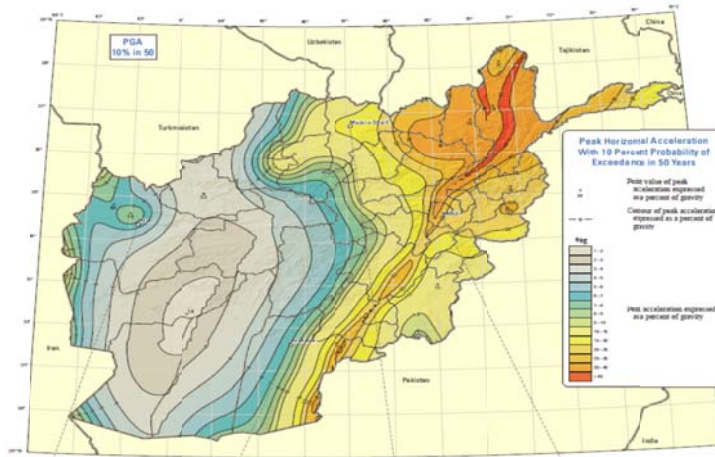
EQ-CODE	Earthquake Name	Mechanism	Magnitude	Distance	PGA (g)
3	Vendic, Iran 1976/11/07	SS	6.4	10	0.17
4	Vendic, Iran 1976/11/07	SS	6.4	10	0.18
5	Naghan, Iran 1977/04/06	R	6.1	7	0.87
6	Naghan, Iran 1977/04/06	R	6.1	7	0.57
7	Tabas, Iran 1978/09/16	R	7.4	45	0.11
8	Tabas, Iran 1978/09/16	R	7.4	45	0.09
29	Changureh, Iran 2002/02/26	R	6.0	28	0.43
30	Changureh, Iran 2002/02/26	R	6.0	28	0.44
31	Bam, Iran 2003/12/26	SS	6.5	56	0.16
32	Bam, Iran 2003/12/26	SS	6.5	56	0.1
33	Baladeh, Iran 2004/05/28	R	6.3	20	0.29
34	Baladeh, Iran 2004/05/28	R	6.3	20	0.16

۴-۲- بیشینه شتاب سنگ بستر

سنگ بستر لرزه ای با استفاده از مقدار سرعت موج برشی تعیین گردید یعنی جایکه سرعت موج برشی به ۷۰۰ متر بر ثانیه برای

خاک های درشت دانه و ۶۰۰ متر بر ثانیه برای خاکهای ریزدانه رسیده، سنگ بستر لرزه ای در نظر گرفته شده است.

بیشینه شتاب سنگ بستر برای منطقه مورد مطالعه از نقشه های پهنه بندی افغانستان که توسط سازمان زمین شناسی ایالت متحده (USGS) در سال ۲۰۰۷ تهیه شده بود، استخراج گردید. شکل (۳) نقشه توزیع بیشینه شتاب زمین برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال)، را نشان می دهد. چنان که دیده می شود، در شرق افغانستان و به ویژه در شمال شرق، تعدد گسل ها و پتانسیل لرزه خیزی بالاتری نسبت به مناطق دیگر افغانستان وجود دارد. از بین شهرهای مهم در افغانستان، کابل بزرگترین خطر زمین لرزه را دارد (جدول ۲)، دلیل اصلی آن نزدیکی به گسل چمن و پتانسیل بالای حرکت گسل می باشد (Boyd et al., 2007).



شکل ۳- نقشه تخمین شتاب اوج زمین (PGA)، با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)، (Boyd et al., 2007).

جدول ۲- حرکت زمین احتمالی برای شهرهای انتخاب شده (Boyd et al., 2007)

City	Lat.	Long.	2%			10%		
			Probability of exceedance in 50 years					
			PGA (%g)	0.2 sec	1.0 sec	PGA	0.2 sec	1.0 sec
Kabul	34.53	69.17	48	113	53	25	57	22
Mazar-e Sharif	36.70	67.10	33	78	22	16	37	11
Herat	34.35	62.18	28	62	24	7	15	4
Kandahar	31.61	65.69	13	30	16	7	16	8

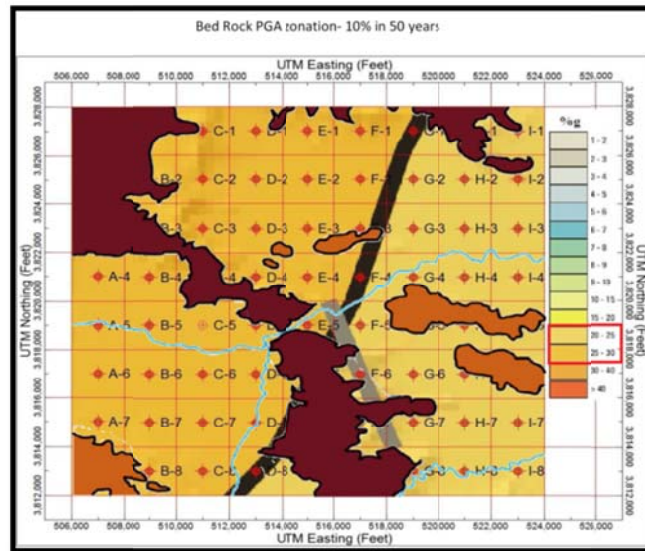
شکل (۴) نقشه بیشینه شتاب اوج سنگ بستر را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد چنان که دیده می شود مناطق غربی به دلیل نزدیکی به گسل چمن، از بیشینه شتاب بالاتری نسبت به مناطق شرقی برخوردار هستند. بنابراین طبق نقشه ارائه شده، برای نقشه های پهنه بندی با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال از غرب به شرق به ترتیب بیشینه شتاب ورودی سنگ بستر لرزه ای ۳۰ و ۲۵ درصد g در نظر گرفته شده است. در این مطالعه ابتدا شتاب نگاشتهای ورودی، توسط نرم افزار Deepsoil، مطابق با بیشینه شتابهای سنگ بستر مقیاس شده و سپس آنالیزها بوسیله شتاب نگاشتهای مقیاس شده، برای هر سلول به انجام رسیده است.

۵- نتایج تحلیل های یک بعدی آبرفت

همانطور که قبلاً ذکر شد آنالیز لرزه ای یک بعدی غیر خطی توسط نرم افزار Deepsoil انجام شده است. گستره شهر کابل به سلولهای ۲×۲ کیلومتر شبکه بندی شده و آنالیز برای هر سلول (تعداد ۵۱ سلول) در دو حالت بستر الاستیک (Elastic Half-space) و

بستر صلب (*Rigid Half-space*)، و همچنین برای احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)، با استفاده از ۱۲ شتاب نگاشت ورودی انجام شد که در مجموع ۱۲۲۴ آنالیز صورت گرفته است.

مقادیر بیشینه شتاب به ازاء هر ۱۲ شتاب نگاشت اعمال شده، محاسبه و میانگین آنها به عنوان بیشینه شتاب افقی زمین در سلول در نظر گرفته شد. در نهایت، نتایج بصورت ۲ نقشه پهنه بندی بیشینه شتاب سطح زمین (*PGA*)، ارائه شده است. این نتایج درک اولیه ای از میزان خطر را نشان می دهد که می توان در برنامه ریزی شهری شهر کابل و طیف طراحی مورد استفاده قرار گیرد.

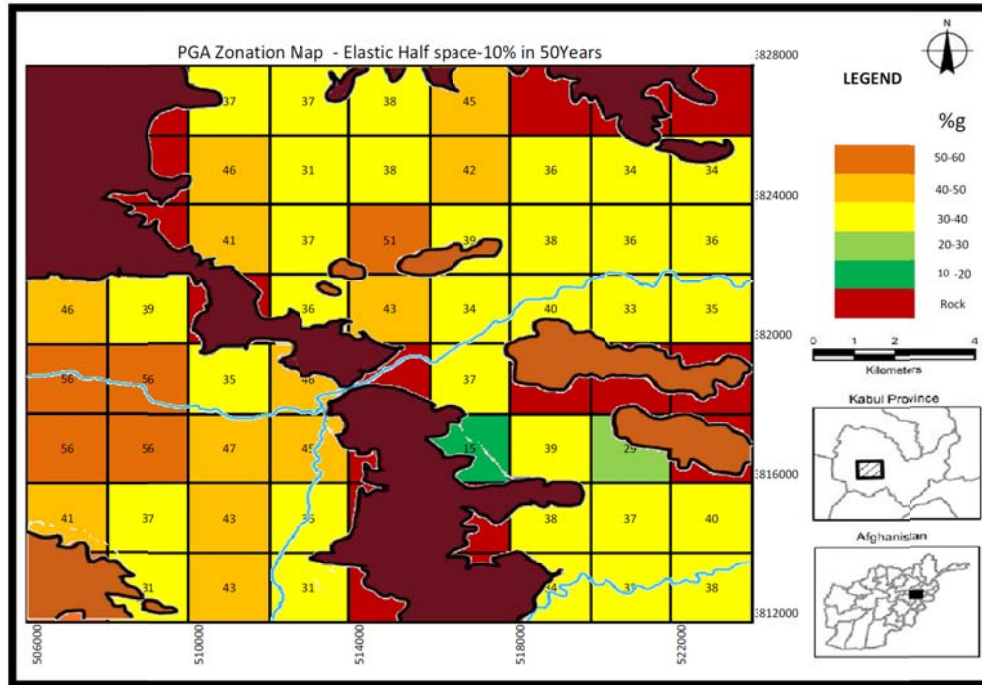


شکل ۴- نقشه بیشینه پیش بینی شده سنگ بستر، با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال.

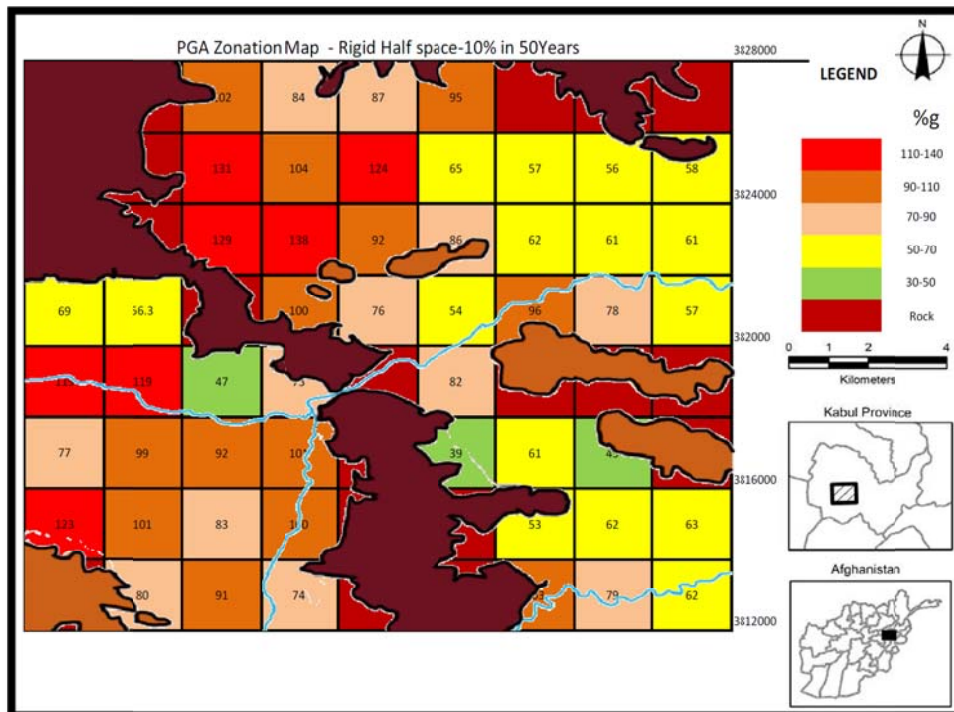
متداولترین پارامتر در جنبش نیرومند زمین اوج دامنه شتاب افقی *PHGA* و اوج دامنه شتاب قائم *PVGA* می باشد. شتابهای افقی معمولاً بعلاوه رابطه طبیعی آنها با نیروهای اینرسی برای تشریح جنبش نیرومند زمین استفاده می شوند و در واقع اثرات دینامیکی حاصل در انواع سازه های اصلی رابطه نزدیکی با بیشینه شتاب زمین (*PGA*) دارند (مالکی، ۱۳۸۳).

در شکل (۵) مقدار بیشینه شتاب زمین برای سنگ بستر الاستیک با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، بیشترین مقدار بیشینه شتاب، ۵۶٪g و کمترین مقدار ۱۵٪g و اکثر سلولها بیشینه شتاب زمین بین ۴۰٪g - ۳۰٪g را نشان می دهند. در قسمتهای غربی نقشه پهنه بندی بیشینه شتاب زمین اعداد بیشتری را نشان می دهد.

در شکل (۶) مقدار بیشینه شتاب زمین برای سنگ بستر صلب با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال را نشان می دهد. مقدار بیشینه شتاب زمین بین ۳۹ تا ۱۳۱ درصد g متغیر است و به شدت تحت تاثیر عمق سنگ بستر لرزه ای و اندازه رسوبات است و در محلهایی که سنگ بستر لرزه ای عمق کمتری دارد و رسوبات فوقانی درشت دانه می باشند بیشینه شتاب زمین اعداد بزرگتری را نشان می دهد. عمدتاً بیشترین مقدار بیشینه شتاب زمین در نواحی مرکزی و غربی می باشد. در قسمتهای شرقی اعداد بیشینه شتاب زمین بیشتر بین ۵۰ تا ۷۰٪g متغیر است.



شکل ۵- مقدار بیشینه شتاب زمین برای سنگ بستر الاستیک با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال



شکل ۶- مقدار بیشینه شتاب زمین برای سنگ بستر صلب با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال

۶- نتیجه گیری

۱. نقشه های پهنه بندی بیشینه شتاب زمین (PGA) نشان می دهد که مقادیر شتاب در حالت بستر سخت به مراتب بیشتر (تا دو برابر) از حالت الاستیک هست زیرا در حالت سنگ بستر صلب تمام انرژی امواج برگشتی از سطح را دوباره به سطح منعکس می شود.
۲. در مناطق غربی شتاب اوج بیشتری نسبت به مناطق شرقی دیده می شود که می تواند به دلایل نزدیکی به گسل، کاهش عمق سنگ بستر لرزه ای و اندازه رسوبات سطحی باشد.
۳. ضخامت رسوبات ریز دانه از غرب به شرق افزایش نسبی دارد و بیشینه شتاب نیز از غرب به شرق کاهش نشان می دهد. این مسئله حاکی از شکست ساختار خاک ریز دانه در تنشهای بالا و در نتیجه رفتار غیر خطی خاک می باشد.

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.
- کشاورز، ا.، تبرکی، م.، (۱۳۸۸)، "کاربرد محاسبات توزیع شده در تحلیلهای احتمالی پاسخ زمین"، مجموعه مقالات هشتمین کنگره بین المللی مالکی، (۱۳۸۳)، مبانی پهنه بندی لرزه ای و روشهای تحلیل خطر زمین لرزه، ژئوفیزیک شرکت مهتاب قدس، سمینار آموزشی مبانی لرزه زمین ساخت و تحلیل خطر نسبی زمین لرزه. ص ۱۰۳-۱۱۱.
- ناصر حافظی مقدس، محمد رضا قائمیان، اعظم قزی، (۱۳۸۸). "تشدید امواج لرزه ای در آبرفت سطح شهر مشهد"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، ص ۱.

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.

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.

Seed, R. B. and Idriss, (1991). "Principale geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta earthquake, Soils and Foundation", pp. 1-26.

Vucetic, M. and R. Dobry, (1991). "Effect of soil plasticity on cyclic response". J. Geotech. Eng., 117: pp. 89-107.