

به نام خدا
بررسی نقطه شروع طیف پاسخ شتاب استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم

علیرضا فاروقی
کارشناس ارشد مهندسی زلزله

چکیده

آنچه که می دانیم نمودار طیف عبارت است از نمودار بیشترین پاسخ ها و طیف شتاب برابر است با نمودار بیشترین شتابهای سیستم یک درجه آزادی. در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم این نمودارها برای مناطق مختلف خطر زلزله و انواع خاکها ارائه شده است، هدف این تحقیق بررسی این نمودارها و بصورت موردی بررسی نقطه شروع این نمودارها می باشد که همگی از ۱ شروع می گردد.

کلمات کلیدی

طیف، طیف پاسخ شتاب، سیستم یک درجه آزادی، ضریب بازتاب

مقدمه

همانطور که در چکیده آمده است طیف شتاب برابر است با نمودار بیشترین شتابهای سیستم یک درجه آزادی. نیروی زلزله در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم از رابطه زیر بدست می آید (۱):

$$V=C.W$$
$$C=ABI/R$$

I: ضریب اهمیت

R: ضریب رفتار

A: شتاب مبنای طرح

B: ضریب بازتاب ساختمان

در این تحقیق بررسی ضرایب I, R به بعد موکول شده است و هدف مشخص کردن A, B است. همانطور که مشخص است AB شتاب طیفی یا همان بیشترین پاسخ شتاب سیستم یک درجه آزادی با زمان تناوب T به طیف پاسخ شتاب استاندارد ۲۸۰۰ است به بیان دیگر در استاندارد ۲۸۰۰ ساختمان همانند یک سیستم یک درجه آزادی یا همان یک میله با جرم متمرکز در بالای آن که تنها یک زمان تناوب دارد فرض شده است و ضریب بازتاب برای این زمان تناوب از روی نمودار B استخراج شده و با ضرب آن در شتاب مبنای طرح (A) شتاب طیفی بدست می آید:

$$S_a=AB$$

حال سوال اینجاست که شتاب مبنای طرح در چه ترازوی به سازه اعمال می شود و ضریب **B** بیانگر چه بزرگنمایی است؟

در اینجا دو فرض را بررسی می کنیم :

اول اینکه **A** شتاب مبنای طرح روی سطح زمین باشد و ضریب **B** تنها اثر حرکت سازه به ارتعاش سطح زمین باشد. دوم اینکه **A** شتاب مبنای طرح روی سنگ بستر باشد و ضریب **B** اثر حرکت سازه به ارتعاش خاک باشد.

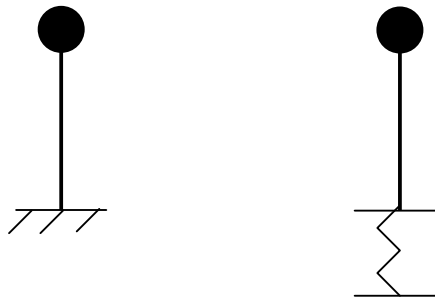
در اینجا دو بحث مطرح می شود :

اول اینکه شتاب مبنای طراحی ابتدا باید برای سنگ بستر مهندسی با استفاده از روشهای تحلیل خطر و روابط کاهندگی و احتمالاتی بدست آمده و سپس با استفاده از روابط مهندسی خاک و با در نظر گرفتن اثرات بزرگنمایی خاکهای مختلف و لایه بندی های آن به سطح زمین برسد پس فرض اینکه این کار برای تمامی خاکهای کشور انجام شده باشد باتوجه به اینکه عملا و منطقا چنین کاری غیر ممکن است و همچنین در صورت چنین کاری شتاب مبنای طراحی قطعاً می بایست برای نقاط مختلف شهرها (مثلا تهران) متفاوت باشد پس چنین فرضی برای **A** اشتباه بوده و **A** نمی تواند برای سطح زمین باشد.

دوم چنانچه این شتاب برای سطح زمین باشد دو حالت برای ضریب **B** اتفاق می افتد :

اول اینکه این ضریب بدون در نظر گرفتن اثر خاک بدست آمده باشد که در این صورت تمامی نمودارها می بایست تنها به زمان تناوب سازه وابسته باشد و در نتیجه همگی یکسان خواهند بود. دوم اینکه این ضریب بحث اندرکنشی خاک و سازه راه به صورت تکیه گاه بودن خاک برای سازه بصورت تکیه گاه انعطاف پذیر(فنر) مطرح می سازد.(شکل ۱)

شکل ۱ - نمایش حالات مختلف تکیه گاه سازه



ب - تکیه گاه صلب

الف - تکیه گاه انعطاف پذیر

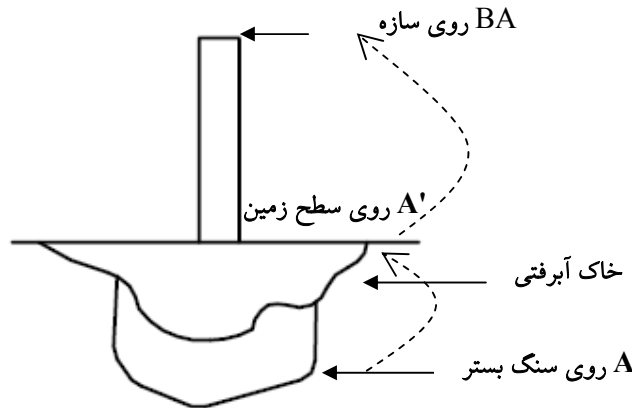
در این حالت نیز بحث اندرکنشی خاک و سازه به علت چگالی پایین سازه های ساختمانی نسبت به خاک اساسا مطرح نمی شود و تنها در مواقعی که وزن و چگالی سازه قابل توجه باشد (مانند سدهای خاکی) خاک با سازه اندرکنش داده و در تحلیلها مطرح می شود ، همچنین چنانچه سازه بلند مرتبه با پریرود بالا برروی خاک نرم قرار گیرد جدا از بحث تشدید، می بایست نمودار شتاب در محدوده پریرودهای بلند برای خاکهای نرم به علت کاهش سختی مجموعه پایتتر بیاید در حالی که می بینیم چنین نیست .بجتهایی از قبیل اینکه **A** در روی تراز پایه یا دیگر نقاط باشد پایه علمی نداشته و مطرح نمی شود.

پس نتیجه گرفته می شود که A شتاب مبنای طراحی روی سنگ بستر است.

حال بحث B پیش می آید که عملکرد این ضریب چیست؟

با توجه به اینکه این ضریب باید هر دو اثر تشدیدی خاک و سازه را نمایان کند می باست ابتدا با یک بزرگنمایی برای خاکی که در استاندارد ۲۸۰۰ آن هم به صورت یک سیستم ۱ درجه آزادی فرض شده است شتاب را از روی سنگ بستر به سطح زمین و سپس آن را به روی سازه (یا همان سیستم یک درجه آزادی) برساند. در حقیقت همانطور که در ابتدای این تحقیق گفته شد ضریب B وظیفه بزرگنمایی A از روی سنگ بستر به روی سطح زمین و از آنجا به روی سیستم یک درجه آزادی را دارد (شکل ۲):

شکل ۲- نمایش شماتیک بزرگنمایی شتاب

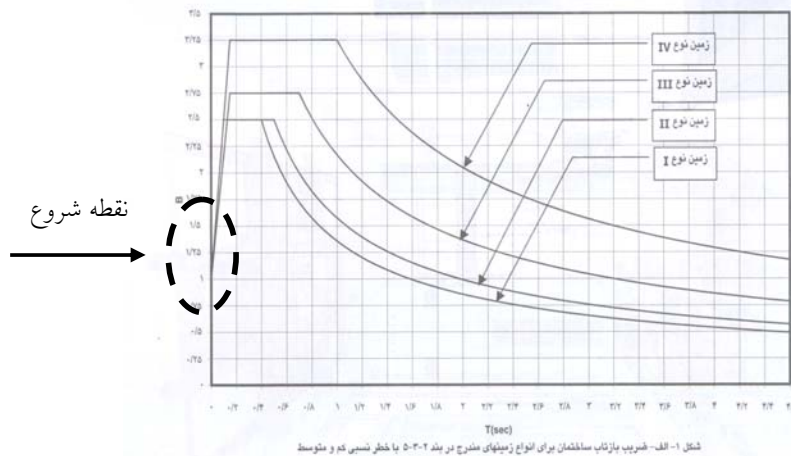


سوال این تحقیق این است : حال که مشخص شد ضریب B ضریب بزرگنمایی اثر خاک و سازه را (نه به صورت اندرکنشی کامل) نمایان می سازد از چه عددی باید شروع شود؟

همانطور که گفته شد B ابتدا شتاب را از سنگ بستر به روی سطح خاک می آورد ، حال چنانچه از لحاظ تئوری سازه پرودی نداشته باشد یعنی پرودش برابر صفر باشد (نقطه شروع نمودار) هیچ گونه بزرگنمایی توسط سازه در شتاب روی سطح زمین آورده شده ، صورت نمی پذیرد و نقطه شروع نمودار می باست معرف ضریب بزرگنمایی خاک آبرفتی بر روی شتاب سنگ بستر (به تنهایی و نه همراه با اثر سازه) باشد (بزرگنمایی A به A'). همانطور که ابتدای نمودار طیف شتاب یک زلزله همان PGA یا بیشینه شتاب زمین بدون بزرگنمایی است.

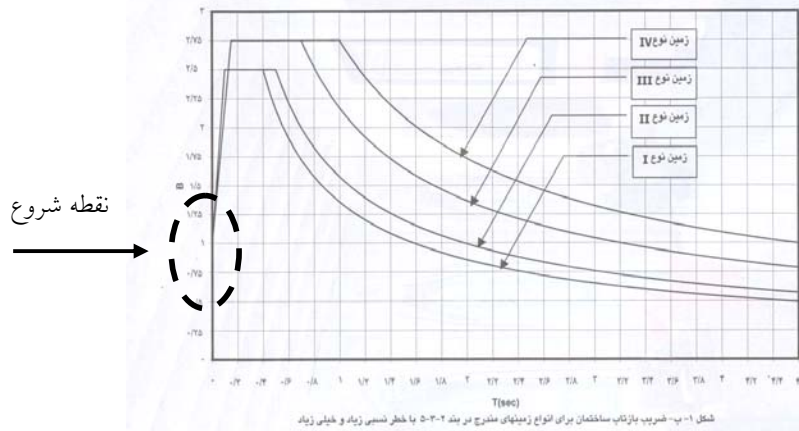
بنابراین ابتدای نمودارهای ضریب بازتاب ساختمان که باید تنها اثر خاک را بر بزرگنمایی شتاب سنگ بستر بیان کند نباید دقیقاً همسان باشد. (شکل ۳-۱ و ۳-۲)

شکل ۳-۱ نمودار ضریب بازتاب (۱)



شکل ۳-۱- ضریب بازتاب ساختمان برای انواع زمینهای مندرج در بند ۲-۴-۵ با خطر نسبی کم و متوسط

شکل ۳-۲ نمودار ضریب بازتاب (۱)



حال برای پیدا کردن اینکه این ضریب باید از چه عددی شروع شود به بررسی چند مرجع می پردازیم :

میزان بزرگنمایی خاک بر روی شتاب را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد (۴):

$$[\alpha A / \alpha B] = 1 / [(1/I) + (\pi/2) \beta s]$$

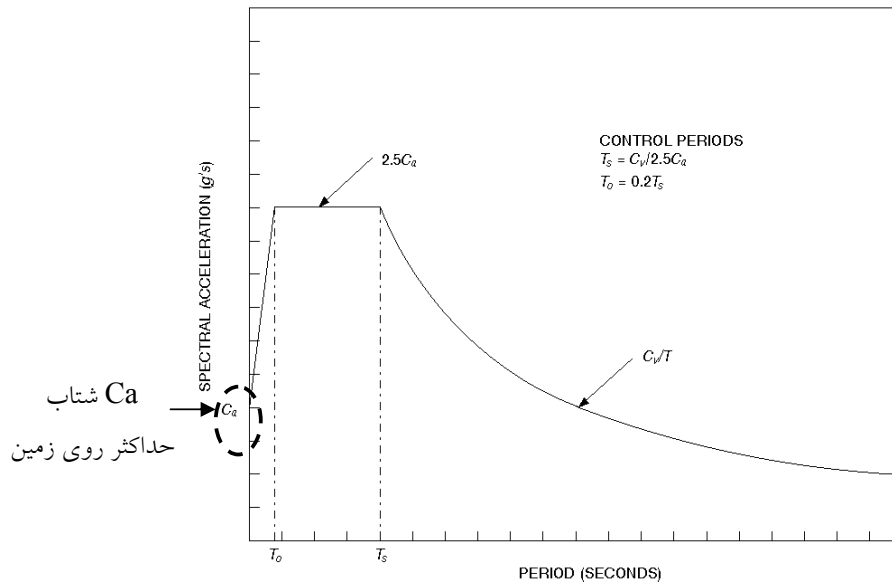
$$I = \gamma_r V_r / \gamma_s V_s$$

αA و αB شتاب روی سطح خاک و سنگ بستر است، I نسبت امپدانس سنگ به خاک می باشد و γ_r , γ_s , V_r , V_s هم به ترتیب وزن مخصوص سنگ و خاک و سرعت موج برشی سنگ و خاک است. βs نیز میرایی خاک است که به شدت زمین لرزه و میزان اندیس پلاستیسیته رس و خاصیت غیرخطی خاک بستگی دارد (۴).

آنچه از این رابطه پیدا است این است که میزان بزرگنمایی اثر خاک به شدت زلزله نیز بستگی دارد و تنها با دانستن مشخصات خاک بدست نمی آید. همچنین هرچه شدت زلزله بیشتر باشد به علت گسیختگی بیشتر خاک میرایی بیشتر شده و ضریب بزرگنمایی کوچکتر می شود.

حال نگاهی به آیین نامه UBC97 و آیین نامه بارگذاری آمریکا در سال ۲۰۰۵ (ASCE7-05) که معیار محاسبه نیروی زلزله در IBC2006 است می اندازیم. در استاندارد UBC97 شکل طیف شتاب به قرار زیر است (۵):

شکل ۴- طیف پاسخ شتاب (۵)



همانطور که از شکل پیدا است مقدار A' در شکل ۲ (شتاب روی سطح زمین) در این نمودار با Ca نمایش داده شده است . این مقدار با استفاده از جدول ۱ و برای شتابهای سنگ بستر بین $0.075g$ تا $0.4g$ ارائه شده است.

جدول ۱- شتاب بزرگنمایی شده برای سطح خاک (۵)

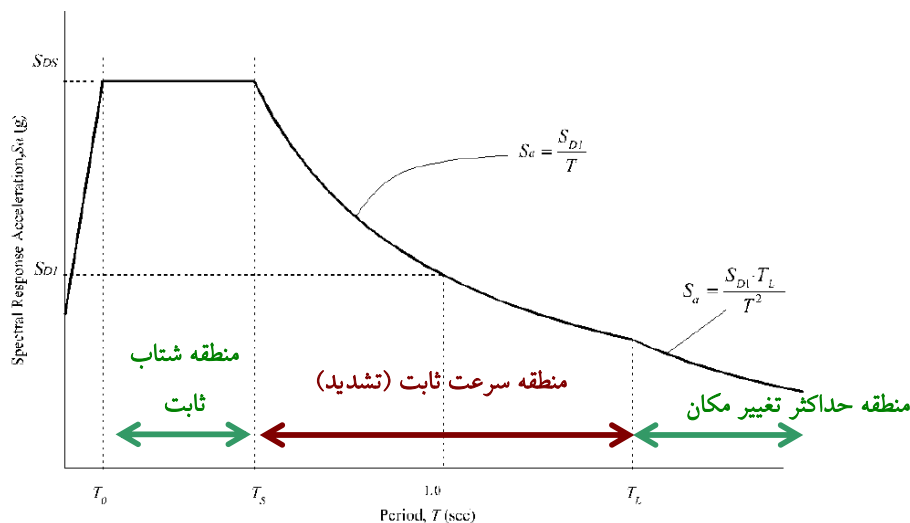
TABLE 16-Q—SEISMIC COEFFICIENT C_a

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
S_F	See Footnote 1				

¹Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for Soil Profile Type S_F .

همانطور که از جدول بالا پیداست شتابهای روی سنگ بستر (Z) با یک ضریب بزرگنمایی که در جدول ۲ و ۳ اشاره خواهد شد به سطح زمین آورده شده است. به طور مثال Ca یا A' برای شتاب $0.3g$ سنگ بستر روی خاک E (مشابه نوع IV استاندارد ۲۸۰۰) به $0.36g$ افزایش داده شده است یعنی ضریب بزرگنمایی ۱.۲ پس شروع نمودار طیف شتاب بجای $0.3g$ از $0.36g$ بوده و یا نمودار طیف بازتاب شتاب بجای ۱ از ۱.۲ شروع می شود. در آیین نامه ASCE7-05 طیف شتاب برای زلزله MCE با دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله محاسبه و خطوط هم شتاب برای زمانهای ۰.۲ و ۱ ثانیه از نمودار طیف یاد شده یعنی حداکثر نقاط پاسخ شتاب ثابت و سرعت ثابت (و نه برای PGA) به ترتیب با نامهای SS و S1 ارائه شده است. سپس شتاب طیفی برای زلزله ۴۷۵ ساله برابر ۰.۶۷ (یا ۲/۳) زلزله ۲۴۷۵ انتخاب می گردد(۲). حال نمودار طیف بدست آمده را بررسی می کنیم (شکل ۵):

شکل ۵- طیف پاسخ شتاب (۲)



در این نمودار S_{DS} برابر ۰.۶۷ (یا ۲/۳) شتاب طیفی سطح زمین MCE است (S_{MS}) که شتاب طیفی روی سنگ بستر در زمان ۰.۲ ثانیه (SS) را با ضریب بزرگنمایی به سطح زمین آورده است:

$$S_{DS} = (2/3) S_{MS}$$

$$S_{MS} = Fa.Ss$$

Ss که همان شتاب طیفی MCE برای ۰.۲ ثانیه روی سنگ بستر و Fa نیز ضریب بزرگنمایی حداکثر پاسخ قسمت شتاب ثابت خاک است (همان B=1+S در استاندارد ۲۸۰۰) حال به جدول Fa توجه می کنیم (جدول ۲):

جدول ۲- ضرایب بزرگنمایی طیف پاسخ شتاب (۲)

TABLE 11.4-1 SITE COEFFICIENT, F_a

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

NOTE: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_S .

همانطور که در رابطه بزرگنمایی شتاب گفته شد ضریب بزرگنمایی شتاب علاوه بر نوع خاک به شدت زلزله نیز بستگی دارد و هرچه قدر این شدت کمتر می شود بزرگنمایی نیز بیشتر می گردد. این قانون در استاندارد ۲۸۰۰ نیز رعایت شده است و همانطور که می دانیم برای شتابهای 0.2g تا 0.25g ضریب حداکثر B که برابر 1+S می باشد تا ۳.۲۵ نیز افزایش یافته ولی در شتابهای 0.35g تا 0.3g بیشترین مقدار B حداکثر برابر ۲.۷۵ خواهد بود. حال به تفسیر ابتدای نمودار طیف در ASCE7-05 توجه می کنیم ($T < T_0$):

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

می بینیم که این مقدار وابسته به حداکثر شتاب در منطقه شتاب ثابت (S_{DS}) است و چنانچه $T=0$ باشد شروع نمودار، ثابت و یکسان برای همه حالات نبوده و $0.4 S_{DS}$ (یا همان $0.4(1+S)$ در استاندارد ۲۸۰۰) خواهد بود! شبیه همین قانون در آیین نامه طراحی لرزه ای ونزولا در سال ۲۰۰۱ (۳) نیز به چشم می خورد (شکل ۶):

شکل ۶- طیف پاسخ شتاب (۳)

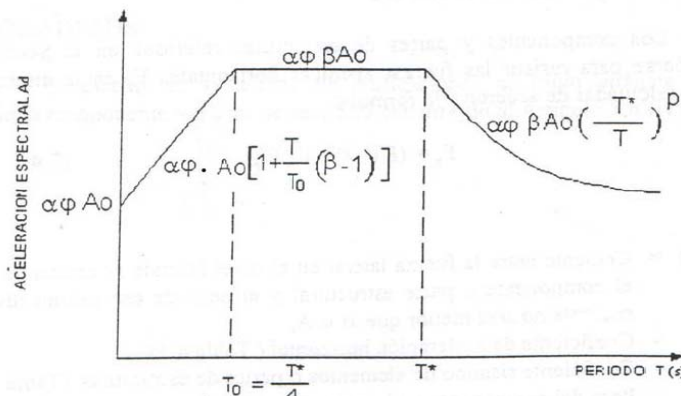


FIGURA 7.1 ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO (R=1)

همانطور که در شکل دیده می شود ابتدای نمودار با ضرب دو پارامتر α و Φ در شتاب مبنا شروع می شود که که α ضریب اهمیت و Φ ضریب اثرات خاک است که با توجه به جدولی که بر اساس نوع خاک آمده تنظیم شده و غیر یکسان است.

با بررسی دقیق جدول ۱ برای Ca و نیز جدول ۲ برای Fa مشخص می شود که چنانچه شتاب طیفی در صفر ثانیه (Z) برابر ۰.۴ مقادیر Ss فرض شود مطابق با UBC97 داریم $Ca=Fa.Z$. حال با توجه به اینکه نوع خاک I تا IV همانند خاکهای B تا E جدول ۱ است ضرایب جدول بزرگنمایی شتاب نیز به قرار زیر خواهد بود (جدول ۳):

جدول ۳- ضرایب بزرگنمایی اثر خاک بر روی شتاب با استفاده از جداول Ca, Fa

	0.2g	0.25g	0.3g	0.35g	0.4g
خاک نوع I	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
خاک نوع II	1.2	1.15	1.1	1.05	1.0
خاک نوع III	1.4	1.3	1.2	1.15	1.1
خاک نوع IV	1.7	1.45	1.2	1.05	0.9

با همین تفسیر می توان جدول زیر را برای ضرایب بزرگنمایی شروع نمودارهای ضریب بازتاب ۲۸۰۰ پیشنهاد کرد: (با استفاده از رابطه $0.4 S_{Ds}$ که برابر خواهد بود با $0.4 \times (1+S)$)

جدول ۴- ضرایب بزرگنمایی اثر خاک بر روی شتاب

	0.2g تا 0.25g (خطر نسبی کم و متوسط)	0.3g تا 0.35g (خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد)
خاک نوع I	1.0	1.0
خاک نوع II	1.0	1.0
خاک نوع III	1.1	1.1
خاک نوع IV	1.3	1.1

با مقایسه دو جدول مشاهده می گردد که مقادیر بسیار نزدیک به هم هستند و اختلاف به علت تفاوت در تقسیم بندی دقیق زمین و همچنین در تفاوت بین ضرایب بازتاب دو آیین نامه است. با توجه به جدول بالا رابطه B برای $T < T_0$ به قرار زیر توصیه می شود:

$$B = (1+S) \times (0.4+0.6(T/T_0))$$

نتیجه گیری

در انتها با پیشنهاد جدول ۴ برای بزرگنمایی اثر نوع خاک استاندارد ۲۸۰۰ بر روی شتاب سنگ بستر و نقطه شروع نمودارها متذکر می گردد که با توجه لزوم تغییر نقطه شروع طیفهای بازتاب از نقطه ۱ برای خاکهای مختلف، نتیجه گیری دقیق در این مورد نیازمند بررسی الگوهای متنوع تر و نیز بررسی طیفهای مختلف زمینهای ایران و خصوصیات دقیق خاکهای این مرزو بوم است.

مراجع :

۱- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش سوم -۸۴

2- American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI7-05

3-“EDIFICACIONES SISMORRESISTENTES” NORMA COVENIN 1756-98
(Review 2001)

۴- بررسی اثر یک نمونه از گروه ۴ استاندارد ۲۸۰۰ بر بزرگنمایی زلزله - گزارش تحقیقاتی، نشریه شماره گ-۳۸۶- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۴

5-Uniform Building Code 1997