طبقه بندی نوع زمین ایستگاه های ثبت زلزله بر اساس شکل طیف

غلامرضا قدرتی امیری، استادیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران*

مرتضی زاهدی، استادیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

علیرضا تقدیر، کارشناس ارشد زلزله، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

*تلفن: ۷۳۹۱۳۱۲٤-۰۲۱، نمابر: ۷٤٥٤۰٥۳-۰۲۱، پست الکترونیکی: ghodrati@iust.ac.ir

چکیده

در این مقاله با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از مشخصات زمین در محل ایستگاه های شتابنگاری کشور مجموعه ای از شتابگاشت های ثبت شده در نقاط مختلف ایران برای نوع زمین این ایستگاه ها براساس طبقه بندی عنوان شده در آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ایران، استاندارد ۲۸۰۰، دسته بندی گردیده و با انجام مطالعات آماری بر روی آنها، طیف های پاسخ برای سطوح طراحی میانگین و فوق میانگین آنها تهیه شده است. این طیف ها با طیف های استاندارد عنوان شده در آئین نامه مقایسه گردیده است. این مقایسه نشان می دهد بر خلاف طیف های بازتاب آئین نامه، مقادیر بازتاب طیف زمین نوع ۲ کمتر از زمین نوع ۱ می باشد. بعلاوه در صورت استفاده از طیف های بازتاب آئین نامه، نیروهای زلزله محاسبه شده برای ساختمان های با زمان تناوب بیشتر از ۰/٤ ثانیه دست بالا خواهد بود. همچنین بر اساس این اشکال طیف تا حد زیادی می توان با داشتن طیف حاصل از شتابنگاشت یک ایستگاه نسبت به تعیین نوع زمین آن اقدام نمود.

کلید واژه ها : ***طیف پاسخ، نوع زمین، ایستگاه ثبت زلزله***

۱- مقدمه

زلزله یکی از مهمترین بلایای طبیعی است که در کشور ما نیز هر از چندگاهی باعث ایجاد خسارات جبران ناپذیری می شود. یکی از راهکارهای مقابله با این پدیده مقاوم سازی ساختمان ها در برابر زلزله می باشد. در بحث مقاوم سازی ساختمان ها، نخستین گام تعیین نیروهای زلزله و بعد از آن تحلیل و طراحی صحیح ساختمان ها می باشد. جهت محاسبه نیروهای زلزله روشهای مختلفی موجود است، که یکی از این روشها استفاده از طیف بازتاب زلزله ساختمان می باشد.

نوع خاک محل از جمله عواملی است که تاثیر بسزایی بر مقادیر 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، روش میکروترمور(Microtremore) و روش شکل طیف پاسخ را بر شمرد.

کاربرد هر یک از این روشها بر اساس امکانات و اطلاعات موجود در منطقه می باشد. در کشور ما تا بحال در این زمینه تلاشهای محدودی صورت گرفته و در آئین نامه زلزله۲۸۰۰ ایران [۱] بر اساس سرعت موج برشی و زمین شناسی منطقه این تقسیم بندی شکل گرفته است و مهندسین اکثراً بر اساس مشخصات زمین شناسی محل نوع خاک را بطور تقریبی تعیین می کنند.در جدول (۱) طبقه بندی زمین براساس آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران نشان داده شده است.

جدول۱- *طبقه بندی نوع زمین (آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران)*

نوع زمین	توصیف مواد متشکله	حدودتقریبی Vs (متر بر ثانیه)
۱	الف ـ سنگهای آذرین(دارای بافت درشت دانه و ریزدانه) ، سنگهای رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگهای دگرگونی توده‌ای (گنایسها – سنگهای متبلور سیلیکاته) طبقات کنگلومرایی ب- خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم ، رس بسیار سخت) با ضخامت کمتر از ۳۰ متر	بیشتر از ۷۵۰ بیشتر از ۷۵۰
۲	الف ـ سنگهای آذرین سست (مانند توف) ، سنگهای سست رسوبی ، سنگهای دگرگونی متورق و بطور کلی سنگهایی که در اثر هوازدگی(تجزیه و تخریب) سست شده اند. ب ـ خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم ، بسیار سخت) با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	۳۷۵≤Vs≤۷۵۰ ۳۷۵≤Vs≤۷۵۰
۳	الف ـ سنگهای متلاشی شده در اثر هوازدگی ب ـ خاکهای با تراکم متوسط، ظبقات شن وماسه با پیوند متوسط بین دانه‌ای و رس با سختی متوسط	۱۷۵≤Vs≤۳۷۵ ۱۷۵≤Vs≤۳۷۵
٤	الف ـ نهشته های نرم با رطوبت زیاد در اثر بالا بودن سطح آب زیر زمینی ب ـ هرگونه پروفیل خاک که شامل حداقل ٦ متر خاک رس با اندیس خمیری بیش از ۲۰ و درصد رطوبت بیش از ٤۰ باشد.	کمتر از ۱۷۵

هر دو روش مشخص شده در آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران در هر حال نیاز به انجام آزمایش در محل دارد تا نوع خاک تعیین گردد.با توجه به اطلاعات موجود در زمینه شتابنگاشت ها و روش تعیین نوع خاک بر اساس شکل طیف حاصل از منطقه می توان نسبت به تعیین نوع خاک بدون انجام آزمایش در محل مبادرت ورزید که مطمئناً این روش کم هزینه تر و سریعتر خواهد بود. اما نخستین گام در تهیه طیف های طراحی براساس نوع زمین تعیین دقیق شرایط خاک محل ایستگاه هایی است که از رکورد آنها جهت تهیه طیف استفاده می گردد، لذا در قسمت بعد به این موضوع پرداخته می شود.

۲- شرایط زمین در ایستگاه های شبکه شتابنگاری ایران

جهت تعیین مشخصات زمین محل ایستگاه های ثبت زلزله تحقیقات چندی صورت پذیرفته که در ادامه به آنها اشاره می شود.

۲-۱- تحقیقات مهدویان

این محقق در تحقیقی که از خود ارائه داده است بر اساس تجربیات خود در تصحیح رکوردها، نتایج آزمایشات ژئوسایزمیک (Geoseismic) و نیز با توجه به فرکانسهای تشدید در طیف های پاسخ، ایستگاههای ثبت زلزله را به دو گروه کلی خاک و سنگ تقسیم می نماید. علی رغم اینکه این تحقیق از نظر دقت نسبتاً مناسب می باشد ولی با توجه به اینکه در این تحقیق قصد داشتیم که شرایط زمین را به چهارگروه آئین نامه زلزله۲۸۰۰ ایران تقسیم کنیم، استفاده از نتایج این محقق با مشکلاتی روبرو بود. [۲و۳]

۲-۲- تحقیقات زارع

در این تحقیق زارع با بررسی شتابنگاشت های ثبت شده در ایستگاهها، سرعت موج برشی را برای ۳۰ متر بالایی خاک بدست آورده است. وی بر اساس سرعت امواج برشی و فرکانس تشدید نسبتهای طیف پاسخ افقی و قائم، زمین ایستگاهها را در چهار گروه طبقه بندی نموده است.

لازم به ذکر است که در طبقه بندی انجام شده در این تحقیق ، معیار دسته بندی خاک ها بر اساس سرعت موج برشی نسبت به آئین نامه ۲۸۰۰ متفاوت بوده و بصورت زیر می باشد:

خاک نوع یک $V_s > 700$

خاک نوع دو $500 < V_S \leq 700$

خاک نوع سه $300 < V_S \leq 500$

خاک نوع چهار $V_S \leq 300$

که V_s سرعت موج برشی بر حسب m/s است [٤].

۲-۳- تحقیقات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

در این تحقیق در محل ۲۲ ایستگاه که دارای شتابنگاشت های مهم و زیادی بوده اند، بر اساس برداشتهای ژئوفیزیکی [ژئوسایزمیک(Geoseismic) و ژئوالکتریک(Geoelecteric)] نسبت به تعیین نوع زمین اقدام شده است و با توجه به سرعت امواج برشی و طبقه بندی خاکها در آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ایران، نوع زمینی که ایستگاه در آن قرار دارد مشخص و ارائه گردیده است [٥].

۳-انتخاب ایستگاه های ثبت زلزله با توجه به نوع زمین آنها جهت تهیه طیف های پاسخ

جهت تهیه طیف های پاسخ برای هر یک از انواع زمین (مطابق آئین نامه ۲۸۰۰) نیاز به داشتن شتابنگاشت هایی است که خاک محل ایستگاه های آنها دقیقاً مشخص شده است.به همین منظور پس از جمع آوری تحقیقات انجام گرفته در ایران، ایستگاه هایی مد نظر قرار گرفت که تعیین خاک محل آنها

بر اساس روشهای ژئوفیزیکی نیز صورت گرفته است. سپس با مقایسه نتایج این تحقیقات تصمیم گیری نهایی در تعیین نوع زمین آنها انجام گرفته که در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲ : *نوع خاک ایستگاه های شتابنگاری ایران*

نام ایستگاه	V_S (مرجع [٤]) (m/s)	V_S (مرجع [٥]) (m/s)	نوع خاک (مرجع [٣])	نوع خاک (مرجع [٤])	نوع خاک (مرجع [٥])	نوع خاک بر اساس Vs (ستون ۲)	نوع خاک بر اساس Vs (ستون ۳)	نوع خاک در نظر گرفته شده
آب بر	٦٢١	٦٣٦	١	١	١ یا ٢	٢	٢	II
ابهر	٢٦٣	٢٧٠	٤	٤	٣	٣	٣	III
تنکابن	٢٠٩	٢٣٨	٤	٤	٣ یا ٤	٣	٣	IV
دیهوک	٨٢٦	٧٩٩	١	١	١	١	١	I
رودبار	٣٩	٥٩٥	٣	٣	١	٣	٢	II
رودسر	٢١٥	٢١٣	٤	٤	٤	٣	٣	IV
زنجیران	٧٢	٨٨٤	٢	٢	٢	٢	١	II
طبس	٧١٥	٧٣١	١	١	٢	٢	٢	II
فیروزآباد	٤٧٨	٨٥٣	٣	٣	١	٢	١	I
قائن	٨٦٧	٨٧	١	١	١ یا ٢	١	١	I
کوار	٩٤٦	----	١	٢	١	١	----	I
گلبافت	٤٣٩	٣٥٢	٣	٣	٣	٢	٣	III
لاهیجان	٢٦٤	٢٢٠	٤	٤	٣	٣	٣	III
منجیل	٥٨٩	٥٥٧	٢	٢	٢	٢	٢	II
ناغان	٧٦٨	٦٤٦	١	١	٢	١	٢	II
وندیک	٥٩٧	٤٩٧	٢	٢	٢	٢	٢	II

در جدول(۳) اسامی ایستگاه هایی که در تهیه طیف های پاسخ مورد استفاده قرار گرفته اند مطابق با نوع زمین آنها آورده شده است.

جدول ۳ : *طبقه بندی ایستگاه ها جهت تهیه طیف های پاسخ*

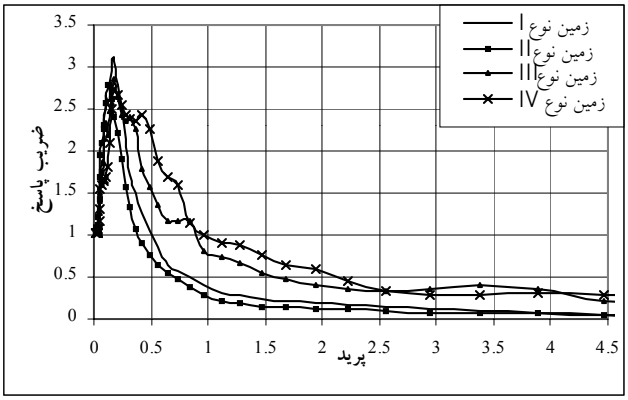
زمین	ایستگاه
نوع I	دیهوک- فیروزآباد- قائن- کوار
نوع II	آب بر- رودبار- زنجیران- طبس- منجیل- ناغان- وندیک
نوع III	ابهر- گلبافت- لاهیجان
نوع IV	تنکابن- رودسر

٤- تهیه طیف های پاسخ برای انواع زمین مطابق آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران

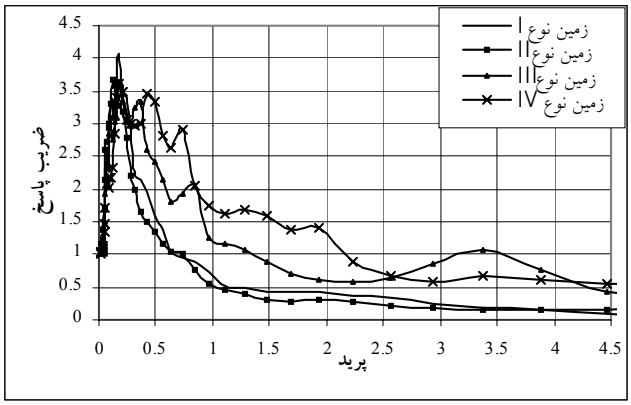
جهت تهیه طیف های پاسخ برای هر نوع خاک، زیر مجموعه ای شامل حدود٤٥ رکورد انتخاب گردید که تصحیح این رکوردها توسط مهدویان صورت گرفته است. این رکوردها مربوط به ایستگاه هایی است که در جدول (۳) آمده اند.

هر رکورد دارای سه مؤلفه شتاب شامل دو مؤلفه شتاب افقی[(Longitudinal)L و(Transverse)T]و یک مؤلفه شتاب قائم [(Vertical)V] می باشد. در این تحقیق، هر مؤلفه شتاب افقی یک رکورد، یک شتابنگاشت مجزا در نظر گرفته شده و سپس بوسیله نرم افزار SWS [٦] طیف پاسخ نظیر هر یک از مؤلفه های L و T این رکوردها تهیه گردیده است. جهت همپایه کردن این طیف ها، از مقدار حداکثر شتاب زمین در هر یک از جهاتL و T استفاده شده است. یعنی مقادیر طیف های پاسخ هر یک از مؤلفه های شتابنگاشت ها بر حداکثر شتاب زمین مؤلفه شتابنگاشت نظیر این طیف پاسخ تقسیم شده اند و بدین ترتیب طیف های پاسخ همپایه بدست آمده اند.این طیف های پاسخ همپایه مطابق نوع زمین ایستگاه آنها که در جدول (۲) آمده است دسته بندی گردیده اند. سپس برای هر نوع خاک و بر اساس طیف های پاسخ همپایه مربوط به آن، طیفهای پاسخ میانگین و میانگین به علاوه یک انحراف معیار (فوق میانگین) برای میرایی ٥٪ تهیه گردیده است. زیرا برای سازه های عادی معمولاً پذیرفتن پارامترهای حرکت زمین و طیف های بازتابی که نزدیک به مقادیر متوسط حاصل از اطلاعات آماری موجود در منطقه (میانگین با اطمینان ٥٠ درصد) باشند، تا حد مناسبی محافظه کاری لازم را ارضا می کند، در حالیکه برای سازه های مهم و بحرانی نظیر سدها، نیروگاه های هسته ای، زلزله های طراحی باید بصورت میانگین بعلاوه یک انحراف معیار (فوق میانگین) از مجموعه اطلاعات موجود در منطقه مورد مطالعه انتخاب می شوند تا اطمینان کافی حاصل شود[۷ و ۸].

در شکل (۱) طیف های پاسخ میانگین برای هر چهار نوع زمین با هم مقایسه شده اند.در شکل (۲) نیز طیف پاسخ میانگین بعلاوه یک انحراف معیار (فوق میانگین) برای این چهار نوع زمین آورده شده اند.



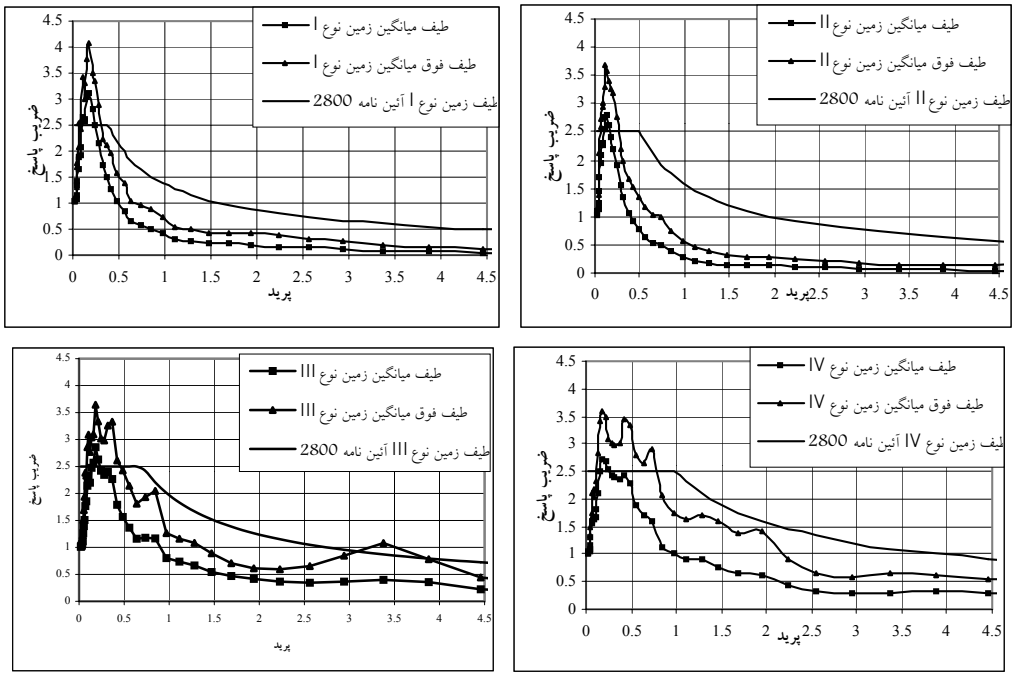
شکل ۱ : *طیف های پاسخ میانگین (٥٠٪) برای انواع زمین*



شکل ۲ : *طیف های پاسخ فوق میانگین (۸٤/۱٪) برای انواع زمین*

همانطور که در این اشکال دیده می شود طیف پاسخ میانگین و فوق میانگین خاک نوع ۲ قبل از خاک نوع ۱ قرار می گیرد.

در شکل (۳) طیف های پاسخ میانگین و فوق میانگین هر خاک با طیف بازتاب آئین نامه ۲۸۰۰ ایران نظیر همان نوع خاک مقایسه شده است. همانطور که دیده می شود اختلاف طیف های پاسخ میانگین و فوق میانگین بعد از زمان تناوب حدود ۰/٤ ثانیه (ساختمانهای با بیش از ۳ طبقه) با طیف نظیر آئین نامه زلزله۲۸۰۰ ایران زیاد است، این نشان دهنده این است که طیف آئین نامه برای هر چهار نوع زمین باعث نتایج دست بالایی در ساختمانهای متوسط و بلند (بیش از ۳ طبقه) می گردد.



شکل ۳ : *طیف های پاسخ غیر هموار برای سطوح مختلف طراحی در انواع زمین*

با استفاده از این طیف های پاسخ میانگین و مقایسه آنها با طیف پاسخ همپایه حاصل از یک ایستگاه که نوع زمین آن نامشخص است می توان نسبت به تعیین خاک محل این ایستگاه مطابق یکی از چهار نوع زمین ارائه شده در آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران اقدام نمود.

۵- نتیجه گیری

برخی نتایجی راکه از مقایسه طیف های پاسخ میانگین و فوق میانگین بدست آمده در این تحقیق با طیف های بازتاب آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران حاصل می شود می توان بصورت زیر برشمرد:

۱) بر خلاف طیف های بازتاب آئین نامه، طیف پاسخ میانگین و فوق میانگین مربوط به زمین نوع ۲ قبل از زمین نوع ۱ قرار می گیرد.

۲) در محدوده زمانهای تناوب حدوداً ۰/۱ ثانیه تا ۰/٤ ثانیه در مورد طیف‌های میانگین و زمانهای تناوب حدود ۰/۰۸ ثانیه تا ۰/٦ ثانیه برای طیف‌های فوق میانگین، مقادیر این طیف‌ها بیشتر از مقادیر طیفی نظیر آئین‌نامه ۲۸۰۰ برای زمین مورد نظر می‌باشد. ، لذا توصیه می شود طیف‌های بازتاب آئین‌نامه در این محدوده زمانی (که در قسمت تخت طیف بازتاب آئین‌نامه قرار می‌گیرد) مورد بررسی‌های بیشتری قرار گیرند.

۳) از طرفی همانطور که ملاحظه شد بعد از زمان تناوب حدود ۰/٤ ثانیه در مورد طیف‌های میانگین و ۰/٦ ثانیه برای طیف‌های فوق میانگین، مقادیر طیفی آئین‌نامه ۲۸۰۰ در هر چهار نوع زمین به صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مقادیر طیفی میانگین و فوق میانگین نظیر همان نوع زمین می‌باشد. لذا توصیه می شود مقادیر آئین نامه تا حدی کاهش پیدا کند.یکی از این راهکارهای مناسب استفاده از T^{-1} بجای $T^{-2/3}$ در رابطه مربوط به ضریب بازتاب (B) می باشند. در این صورت در قسمت منحنی طیف بازتاب آئین نامه، تطابق بیشتری با طیف های میانگین بدست آمده حاصل می شود.

٤) در صورت استفاده از طیف های بازتاب آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران، نیروهای زلزله محاسبه شده برای ساختمان های متوسط و بلند (تقریباً بالای ۳ طبقه) بسیار دست بالا خواهد بود.

٦- مراجع

[۱] *''آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله''*، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۲، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره نشریه ض-۲۵۳، آذر ۱۳۷۸.

[2] Mahdavian, A., (2001), " Design Response Spectra for Large Dam in Iran", International Comission of Large Dams (ICOLD) China-2000.

[۳] منوچهری دانا، فرزاد، *''تعیین و انتخاب پارامترهای طراحی لرزه ای بر اساس بررسی آماری شتابنگاشت های ایران''*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۰.

[4] Zare, M., *"Contribution a letude des mouvements forts eu Iran, du catalogue aux loix dattenuations"* , Ph.D Thesis, Universite Joseph – Fourier, Grenoble , 237, p., 1999.

[۵] میرزایی علویچه، حسین و رمضی، حمید رضا، *'' مطالعات زمین شناسی ساختگاهی توسط روش های ژئوفیزیکی در چند ایستگاه شتابنگاری کشور''*، گزارش تحقیقاتی، نشریه شماره ک – ۳۲٤، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۹.

[6] SWS, *"Seismic Workstation Software"*, Inc, Pasadena, California, 1990.

[7] Hall, W. J., Mohraz, B. and Newmark , N.M.," Statistical study of Earthquake Response Spectra" ,*Proceedings Of 3rd International Conference on Sructural Mechanics in Reactor Technology,* Paper No. K1/6, 1975.

[8] Seed, H.B. and Idriss, I.M., "Ground Motion and Soil Liguefaction During Earthguakes" , *EERC* , Monograph Series, 1982.