

بررسی همبستگی مقادیر طیفی در داده‌های لرزه‌ای منطقه زاگرس ایران

سمیه فتاحی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشگاه آزاد واحد خمین، مرکزی، ایران
mary.fatahi@yahoo.com

علیرضا آذربخت

دانشیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
a-azarbakht@araku.ac.ir

حمید زعفرانی

استادیار، گروه عمران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
h.zafarani@iiees.ac.ir

کلید واژه‌ها: گسل زاگرس، روابط کاهندگی، مقادیر طیفی، همبستگی، خطرپذیری لرزه‌ای

چکیده

طیف‌های شرطی، طیف‌های طراحی نوینی هستند که برای جبران کاستی‌های طیف‌های با خطر یکنواخت به وجود آمده‌اند. همبستگی بین مقادیر شتابهای طیفی در پیوندهای چندگانه، یکی از عناصر کلیدی در مورد طیف‌های شرطی است. این نوع همبستگی به طور آشکار به مجموعه داده‌های لرزه‌ای بستگی دارد. با توجه به این مهم مدلهای همبستگی موجود نیازمند به بررسی بیشتر برای مورد استفاده قرار گرفتن در مناطق جدید هستند. از آنجایی که پهنه ایران زمین در بخش میانی کمربند کوه زایی و لرزه خیز آلپت هیمالیا قرار دارد و یکی از لرزه خیزترین مناطق جهان به شمار می‌رود، اهمیت این بررسی چند برابر می‌شود. در این مطالعه و با توجه به تأثیر چشمگیر همبستگی میان مقادیر طیفی بر روابط کاهندگی و در نتیجه بر ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای سعی شده است با استفاده از داده‌های لرزه‌ای منطقه زاگرس همبستگی میان مقادیر طیفی این داده‌ها مورد بررسی قرار گیرد و در صورت وجود همبستگی مقدار آن بدست آید.

مقدمه

مقدار شتاب طیفی شتاب نگاشت‌های زمین لرزه به شکل وسیعی در تحلیل خطر لرزه‌ای و تخمین پاسخ سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های پیش‌بینی حرکت یا جنبش زمین (مدل کاهندگی) توزیع احتمالاتی مقادیر شتاب طیفی را برای یک رخداد مشخص پیش‌بینی می‌کنند. این مدل‌ها تنها به نحوه توزیع احتمالاتی داده‌ها در دوره تناوبی مشخص محدود می‌شوند و مقادیر شتاب‌های طیفی در دوره‌های تناوبی متفاوت را بدست نمی‌دهند. در سالهای اخیر مدل‌های همبستگی میان شتاب‌های طیفی توسط محققین مختلف ارائه شده که به مهندسين کمک میکند از این اطلاعات جدید برای بالا بردن دقت در تعیین عملکرد احتمالاتی سازه‌ها استفاده نمایند. از طرفی مدل‌های مذکور برای بسط و توسعه مدل‌های کاهندگی و طیف‌های طراحی نیز کاربرد خواهند داشت.

مطالعه پیش‌رو در جهت تعیین مقدار و مدل همبستگی مقادیر طیفی در داده‌های لرزه‌ای منطقه زاگرس ایران می‌باشد. لزوم انجام چنین تحقیقی از آنجا ناشی می‌شود که برای منطقه زاگرس ایران تلاش‌هایی در جهت تعیین مدل‌های کاهندگی توسط محققین صورت گرفته است و به دلیل وابستگی مدل‌های کاهندگی به میزان همبستگی برای بدست دادن نتایج دقیقتر و همچنین بسط و توسعه این مدل‌ها، کمبود رابطه‌ای برای همبستگی بین مقادیر داده‌های طیفی این منطقه مشاهده می‌گردد. لذا با مطالعه تحقیقات گذشته و استفاده از بهترین مدل کاهندگی بدست آمده منطبق بر داده‌های لرزه‌ای منطقه زاگرس ایران (مدل کاهندگی زعفرانی ۲۰۱۲) در مطالعه پیش‌رو سعی بر آن شده که میزان همبستگی این داده‌های لرزه‌ای را تعیین و در صورت وجود همبستگی رابطه‌ای برای پیش‌بینی این مقادیر بدست آید. برای انجام این کار

از ۱۱۴ شتابنگاشت منطقه زاگرس و ایران مرکزی استفاده گردید و نتایج حاصل از آن با مدل های همبستگی نقاط مختلف جهان مورد مقایسه قرار گرفت. مشاهدات نشان داده که مقادیر همبستگی بدست آمده برای منطقه زاگرس ایران با هیچکدام از مدل های همبستگی ارائه شده توسط زلزله شناسان جهان تطابق نداشته و همچنین نمودار طیف شرطی میانگین نیز به طیف حاصل از این مدل های همبستگی نزدیکی ندارد. بنابراین با تحلیل مقادیر همبستگی برای مقادیر طیفی داده های لرزه ای منطقه زاگرس سعی بر بدست آوردن رابطه ای متناسب با این مقادیر گردیده است.

مدل های کاهندگی

در طی سالهای گذشته بررسی جنبش های نیرومند زمین با تاکید بر جمع آوری و تفسیر آنها به عنوان یکی از مهمترین مباحث در ارزیابی خطر پذیری لرزه ای مطرح شده است. در این مسیر زلزله شناسان با ارائه مدل های کیفی و با استفاده از روش های تئوری و تجربی به تخمین جنبش های نیرومند زمین پرداخته اند این امر با معرفی روابطی موسوم به روابط کاهندگی^۱ ممکن شده است. روابط مذکور با گسترش سوابق لرزه ای به صورت مداوم بازبینی شده و بدین طریق مدل های ریاضی متعددی در جهت توصیف حرکت زمین بکار گرفته شده است (Elnashai, 2008).

مدلهای کاهندگی مقدار میانگین و انحراف معیار شتاب طیفی لگاریتمی را به صورت تابعی از متغیرهای پیش بینی کننده مانند بزرگای زلزله، فاصله و شرایط ساختگاه پیش بینی میکنند و برای محیط های لرزه ای مختلفی در سراسر جهان توسعه یافته اند. از آنجا که هدف اصلی و عمومی آنالیز دینامیکی یک سازه پیش بینی پاسخ سازه در معرض جنبش زمین با یک شتاب طیفی خاص و در پیرودی مشخص است (Baker, 2011)، برخی از محاسبات مانند محاسبه طیف میانگین شرطی (CMS) از این اطلاعات استفاده میکنند اما در کنار آن به دانش ضرایب همبستگی بین مقادیر شتاب طیفی لگاریتمی در پیرودهای متعدد نیاز است. تا چندی پیش، پیش بینی همبستگی ها عمدتاً براساس داده های ثبت شده در غرب ایالات متحده از زلزله های کم عمق پوسته ای صورت می گرفت (Jayaram et al., 2011). اما محققان برای دستیابی به مدل های مختلف پیش بینی مقادیر همبستگی از شتاب های طیفی در سایر نقاط جهان مانند ژاپن، ایتالیا و اروپا نیز استفاده کرده و به مدل های منطبق بر داده های لرزه ای این مناطق دست یافته اند. با توجه به زلزله خیز بودن ناحیه زاگرس ایران و تلاش محققان برای دست یابی به مدل کاهندگی منطبق بر داده های لرزه ای این ناحیه، در این مطالعه سعی بر آنست که با استفاده از ۱۱۴ شتابنگاشت ثبت شده زلزله در مناطق زاگرس و ایران مرکزی و مدل کاهندگی بدست آمده توسط زعفرانی و همکاران (۲۰۱۲) رابطه همبستگی بین مقادیر طیفی را بدست آورده و طیف میانگین شرطی بدست آمده توسط آن را با مدل های پیش بینی همبستگی در سایر نقاط جهان مقایسه می گردد.

مروری بر تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی

عبارت خطر لرزه ای معمولاً برای توصیف پتانسیل پدیده ویرانی مربوط به خطر زلزله مورد استفاده قرار می گیرد (Sighjrnsson et al, 2007). هدف از تحلیل خطر لرزه ای برای مهندسان زلزله این است که اطمینان حاصل کنند آیا سازه مورد مطالعه برای یک سطح عملکرد مشخص می تواند تحت تحریک پایه، پایدار بماند یا خیر؟ اما سطح تحریک اعمالی به سازه معمولاً جزو سوالاتی است که پیش رو است. از آنجا که هیچ قطعیتی در ارتباط با پارامترهای زلزله های آتی مانند فاصله و بزرگای وجود ندارد، بنابراین به دانشی برای ارتباط این عدم قطعیت ها و پاسخ به سوالات مهندسان زلزله نیاز است. این دانش تحت عنوان تحلیل خطر لرزه ای، به بیانی واضح در رابطه با رخداد تحریک زلزله در یک ساختگاه مشخص می پردازد. تحلیل خطر لرزه ای به دو صورت تعیینی^۲ و احتمالاتی^۳ انجام می شود.

هدف تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی عبارت است از اندازه گیری نرخ فراگذشت سطوح مختلف زلزله در یک ساختگاه یا مجموعه ای از ساختگاه ها برای تمامی زمین لرزه های محتمل معین. روش عددی ت تحلیلی برای PSHA ابتدا توسط Cornell در سال ۱۹۸۶ فرمول بندی گردید (Cornell, 1986) و تا به امروز جامع ترین عملکرد این روش در گزارش کمیته ارشد تجزیه و تحلیل خطر لرزه ای (SSHAC 1997) آمده است. در گذشته به صورت سنتی از شتاب حداکثر (PGA) برای تعیین کمیت زمین لرزه در PSHA استفاده می گردید. اما امروزه کمیتی که ترجیح داده می شود به جای آن در محاسبات مورد استفاده قرار گیرد عبارت است از بیشینه شتابی که توسط یک میراگر سیستم نوسانی یک درجه آزادی تجربه میشود و یا به زبان ساده تر شتاب طیفی (Sa). به عبارت دیگر هنگامی که هدف بیان کیفی احتمالات، فرکانس یا احتمال رخداد اثری خاص در یک ساختگاه مشخص برای یک ناحیه معلوم است از روش تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی استفاده می گردد که پایه های تئوری آن بر اساس اطمینان و سلامت سازه می باشد.

¹ Attenuation Relationships or Ground Motion Prediction Models (GMPMs)

² Deterministic Seismic Hazard (DSHA)

³ Probabilistic Seismic Hazard (PSHA)



اپسیلون

پارامتر اپسیلون (ε) معیاری است برای تفاضل بین شتاب طیفی یک شتابنگاشت و میانه مقدار طیفی که توسط مدل پیش بینی زمین لرزه برای بزرگای M و فاصله R شتابنگاشت مورد نظر در یک پریود معلوم، پیش بینی شده و توسط انحراف معیار لگاریتمی نرمال سازی شده است. به عبارت دیگر ε مشخص می کند که انحراف معیارهای استاندارد به چه میزان از میانه مدل زمین لرزه دور هستند (Cimellaro, 2013). رابطه ریاضی این پارامتر به صورت زیر است:

$$\varepsilon(T) = \frac{\ln sa(T) - \mu \ln sa(M, R, T)}{\sigma \ln sa(T)} \quad (1)$$

در معادله (1)، $\mu \ln sa(M, R, T)$ و $\sigma \ln sa(T)$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار پیش بینی شده برای $\ln sa$ در یک پریود معین هستند. $\ln sa$ نیز شتاب طیفی لگاریتمی مورد نظر هستند که با استفاده از روابط کاهشدهنده بدست می آیند. علت اینکه مقدار ε با استفاده از مقادیر $\ln sa$ فرمول بندی شده است این است که مقادیر Sa به خوبی توسط توزیع لگاریتمی نمایش داده می شوند. نتیجه این فرمول بندی برای $\varepsilon(T)$ وجود متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار واحد است که متغیر تصادفی نرمال استاندارد خوانده می شود. به علت این توزیع لگ - نرمال میتوان نشان داد که $\mu \ln sa(M, R, T)$ نمایی عبارت است از مقدار میانه Sa غیر لگاریتمی. بنابراین هنگامیکه میانه Sa در محاسبات مورد استفاده قرار می گیرد به این علت است که با میانگین اصلی $\ln sa$ مقایسه می شود. لازم به ذکر است که پارامتر $\mu \ln sa(M, R, T)$ اغلب تابعی است از پارامترهای اضافی دیگر مانند؛ شرایط ساختگاهی و مکانیسم خرابی که برای محاسبه آنها باید از علم مربوط به شرایط ساختگاه و لرزه خیزی منطقه ای استنباط گردند. (Baker, 2011)

اثر اپسیلون بر پاسخ سازه و طیف پاسخ

ابتدا این مسئله مورد بررسی قرار می گیرد که چرا از آن برای محاسبات استفاده می گردد که دلایل آن به شرح زیر است: می توان با استفاده از PSHA مدل رخداد آنرا مدل سازی نمود.

استفاده از $Sa(T^*)$ این امکان را فراهم میسازد که بین پاسخ های سازه ای برای شاخص عملکرد مهندسی و رخداد زلزله ارتباط برقرار نمود.

یک طیف میانگین شرطی مقدار دقیق شتاب طیف پاسخ را برای یک جفت پارامتر زلزله مشخص در سناریو M و R و همچنین مقدار مختصات طیفی هدف $Sa(T^*)$ را بدست میدهد که T^* همان مود اول ارتعاشی سازه مورد نظر است (Baker, 2011). مقدار اپسیلون عامل اصلی اختلاف بین طیف میانگین شرطی، طیف خطر یکنواخت و مدل کاهشدهنده است و این مسئله در انتخاب شتابنگاشت زمین لرزه که اصلی ترین ورودی تحلیل دینامیکی است تاثیر بسزایی دارد. هر یک از اپسیلون های معیار شدت زمین لرزه می توانند بخشی از اطلاعات نهفته در یک شتاب نگاشت را منعکس کنند. به عبارت دیگر می توان تمام معیار های شدت را مورد بررسی قرار داد و میزان تاثیر هر یک از اپسیلون های متناظر را بر روی پاسخ سازه بررسی نمود. اپسیلون رایج در محاسبات و تحقیقات بر مبنای تنها یک معیار شدت در نظر گرفته شده است و آن معیار شدت نیز به دلیل اهمیت شتاب طیفی در پاسخ سازه Sa فرض شده است، خصوصا برای سیستم هایی که حالت اول ارتعاشی در آنها غالب است (Shome, 1998).

طیف میانگین شرطی

هدف عمومی و معمول آنالیز دینامیکی یک سازه عبارت است از پیش بینی پاسخ سازه در معرض زمین لرزه با یک شتاب طیفی خاص (Sa) در پریودی معین T^* . این شتاب طیفی علی رغم اینکه ممکن است با چند احتمال فراگذشت کم مانند ۱٪ و ۲٪ در ۵۰ سال مطابق باشد، معمولا مقدار بزرگی است. هنگامیکه منحنی های خطر زمین لرزه حاصل از PSHA و نتایج بدست آمده از آنالیز دینامیکی سازه با هم ترکیب شوند پیش بینی پاسخ سازه اغلب با انتخاب زمین لرزه هایی که با طیف هدف همخوانی دارند صورت گرفته و این زمین لرزه ها به عنوان ورودی اصلی در آنالیز دینامیکی سازه مورد استفاده قرار می گیرند. مشروط کردن مقدار شتاب طیفی تنها در یک پریود به علت اینکه با منحنی خطر لرزه ای ارتباط مستقیم دارد، در برآورد احتمالاتی پاسخ سازه بسیار سودمند است. (Baker, 2011) طیف میانگین شرطی به این پرسش که «ارتباط بین

طیف پاسخ مورد انتظار با یک $Sa(T^*)$ هدف به چه صورت است؟» با استفاده از دانش بزرگ، فاصله و اپسیلون که باعث وقوع آن $Sa(T^*)$ می شوند پاسخ می دهد؛ همچنین تغییرات در مقادیر طیفی با استفاده از طیف شرطی قابل محاسبه هستند. برای سطوح Sa بزرگ دامنه، یا $(\varepsilon > 0)$ ، این طیف دارای یک مقدار بیشینه در پرپود T^* است که به جهت مشروط سازی و از تجزیه دامنه های کمتر در پرپودهایی که تا حد زیادی با T^* متفاوت هستند بکار می رود.

همبستگی

مدلهای پیش بینی زلزله توزیع احتمالاتی شتاب طیفی در یک پرپود را تشریح می کنند اما در مورد همبستگی بین شتابهای طیفی در سایر پرپودها و مختصات آنها اطلاعاتی ارائه نمیدهند. این همبستگی ها برای توسعه CMS در یک ساختگاه معین و همچنین بهبود تحلیل خطر لرزه ای و انتخاب زمین لرزه مورد نیاز هستند. در یک CMS ضرایب همبستگی (ε) برای محاسبه همبستگی بین مقادیر ε در پرپودهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی (PSHA) معمول نرخ میانگین سالانه فراگذشت یک مقدار ویژه از یک پارامتر زمین لرزه منفرد را (که در بخشهای پیشین تحت عنوان شتاب طیفی (Sa) معرفی گردید)، در یک پرپود مشخص (T^*) تعیین میکند (Kramer, 1996). این تحلیل خطر می تواند برای شتاب طیفی در چندین پرپود تکرار شود و بطور یکجا طیف خطر یکنواخت (UHS) را ارائه دهد؛ اما این UHS عبارت است از مکان هندسی نتایج بدست آمده از مجموعه ای از تحلیل های خطر حاشیه ای برای مقادیر منفرد طیفی است. بنابراین نمی تواند به عنوان تفسیر علمی درباره رخدادهای مشترک از مقادیر طیفی در پرپودهای مختلف ارائه گردد. برای دستیابی به علم در مورد رخدادهای مشترک یا تکراری از شتاب های طیفی در پرپودهای جداگانه لازم است بردار ارزش تحلیل خطر احتمالاتی (VPSHA) انجام شود (Bazzurro & Cornell, 2002).

رابطه کاهندگی زعفرانی (۲۰۱۲) و علت انتخاب آن

این مدل یک رابطه کاهندگی فیزیکی است که بر مبنای مدل حائل های ویژه^۴ (SBM) در سال ۲۰۱۲ برای منطقه زاگرس ایران استخراج شده است. این رابطه قادر به پیش بینی بیشترین شتاب زمین و طیف پاسخ شتاب بر اساس میرایی ۵٪ در دو گروه خاک و سنگ در این منطقه می باشد. انتخاب روابط کاهندگی و تعیین وزن هریک از آنها یکی از مهمترین و اساسی ترین مراحل هر آنالیز خطر لرزه ای است. عدم قطعیت مربوط به انتخاب رابطه کاهندگی بیش از سایر جنبه های مدل سازی لرزه خیزی، نتایج تحلیل خطر را تحت تاثیر قرار میدهد (Toro, 2006). این عدم قطعیت اغلب توسط یک رویکرد مبتنی بر نظر کارشناسی در چارچوب درخت منطقی قابل حل است (Budnitz et al, 1997) که وزن هر یک از شاخه ها در درخت منطقی برای روابط مختلف کاهندگی براساس اعتقاد کارشناسان تعیین میگردد. موسوی و همکاران برای تعیین بهترین گزینه در بین رابطه کاهندگی موجود برای منطقه زاگرس ایران در سال ۲۰۱۲ اقدام به مطالعاتی نموده و در آن تعداد ۱۰ رابطه کاهندگی را که از نظر کارشناسی احتمال انطباق بیشتری داشته انتخاب و مورد بررسی قرار دادند (mousavi et al., 2012).

مجموعه شتابنگاشتهای زلزله ی انتخاب شده

به منظور بررسی موثرترین رابطه کاهندگی در بین مدلهای فوق، از ۲۱ زلزله مهم که در منطقه زاگرس ایران به وقوع پیوسته و هر کدام دارای بزرگایی بین ۵.۰ تا ۶.۲ میباشند، استفاده گردیده است. علاوه بر این داده ها ۵ رخداد زلزله ای قابل توجه در منطقه شرق ایران مرکزی نیز برای رفع نقصان در محدوده بزرگای موجود در منطقه مورد نظر اضافه گردیده است. این افزایش داده لرزه ای از منطقه ای بجز منطقه زاگرس به این دلیل معتبر و قابل اعتماد است که بنا به مطالعات گذشته بین منطقه زاگرس و منطقه شرقی ایران مرکزی شباهت های کلی وجود دارد (Zafarani & Hassani, 2012; Hassani & etal, 2011). این مجموعه داده ی ترکیبی محدوده بزرگای ۵.۰ تا ۷.۲ را پوشش می دهد که برای دستیابی به یک تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی مناسب با در نظر گرفتن نقصان زلزله های تاریخی بزرگتر از ۷.۴ در منطقه زاگرس ایران (Ambraseys & Melville, 1982) کافی می باشد.

⁴ Specific Barrier Model



جدول ۱: مشخصات زلزله های استفاده شده در مطالعه پیش رو

NO.	EVENT DATE	TIME	MW	DEPTH(KM)	S_N	REFERENCE OF M_W
*1	1979/11/27	15:36	7.1	10	4	HRVD ⁵
*2	1997/05/10	07:57	7.2	13	3	HRVD
*3	1998/03/14	19:40	6.6	5	2	HRVD
4	1999/08/21	05:31	5.0	25	3	HRVD
5	1999/05/06	23:00	6.2	7	5	HRVD
6	1999/05/06	23:13	5.7	10	3	HRVD
7	1999/10/31	15:09	5.2	15	4	HRVD
8	2002/04/24	19:48	5.4	25	6	HRVD
9	2002/12/24	17:03	5.2	20	6	HRVD
10	2003/07/10	17:06	5.8	10	4	HRVD
11	2003/07/10	17:40	5.7	15	4	HRVD
12	2003/11/28	23:19	5.0	25	3	HRVD
*13	2003/12/26	01:56	6.5	3	3	HRVD
*14	2005/02/22	02:25	6.3	10	6	HRVD
15	2005/11/27	10:22	5.9	12	6	HRVD
16	2006/03/30	19:36	5.1	20	8	HRVD
17	2006/03/31	01:17	6.1	12	9	HRVD
18	2006/03/31	11:54	5.1	26	6	HRVD
19	2006/06/28	21:02	5.8	12	4	HRVD
20	2008/05/05	21:57	5.2	12	3	HRVD
21	2008/09/10	11:00	6.1	12	5	HRVD
22	2008/09/11	02:16	5.2	7	3	HRVD
23	2008/09/17	17:43	5.2	12	3	HRVD
24	2008/12/07	13:36	5.4	12	4	HRVD
25	2008/12/08	14:41	5.1	12	3	HRVD
26	2008/12/09	15:09	5.0	14	3	HRVD

⁵ Harvard Seismology

در این لیست زلزله هایی که با علامت * مشخص شده اند از مجموعه داده های منطقه شرقی ایران مرکزی انتخاب شده و ناس تعداد شتابنگاشتهای مورد استفاده است. تعداد ۱۱۴ شتابنگاشت مورد استفاده نیز از وب سایت مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی ایران استخراج شده است. این مجموعه داده ها دارای فاصله کانونی بین ۴ تا ۱۰۰ کیلومتر بوده؛ همچنین برای جلوگیری از وارد شدن عدم قطعیت مربوط به شرایط ساختمانی تنها شتابنگاشتهایی استفاده شده اند که دارای سرعت متوسط موج برشی (VS30) شناخته شده بودند. تحلیل موجک چند حلی برای برطرف کردن نویزهای نامطلوب موجود در سیگنالهای این شتابنگاشتها صورت گرفته است (Ansari & etal, 2010).

روابط همبستگی استفاده شده برای محاسبه همبستگی بین داده های زاگرس

همبستگی بدست آمده برای منطقه زاگرس ایران، با استفاده از چندین مدل همبستگی موجود بوسیله محاسبه طیف میانگین شرطی مورد مقایسه قرار گرفته است. این مدلها به شرح زیر می باشند:

- مدل همبستگی پواسون
- مدل همبستگی بیکرت کرنل برای کالیفرنیا آمریکا (۲۰۰۶)
- مدل همبستگی وانگ برای ژاپن (۲۰۰۷)
- مدل همبستگی بیکرت جایارام برای کالیفرنیا آمریکا (۲۰۰۸)
- مدل همبستگی سیمارو و همکاران برای ایتالیا (۲۰۰۹)
- مدل همبستگی بهینه شده بیکرت جایارام برای ایتالیا توسط سیمارو و همکاران (۲۰۰۹)
- مدل همبستگی سیمارو برای اروپا (۲۰۱۳)
- مدل همبستگی بهینه شده بیکرت جایارام برای اروپا توسط سیمارو (۲۰۱۳)

محاسبات طیف میانگین شرطی برای منطقه زاگرس

برای شروع محاسبات مقدار Sa هدف در یک پیرو دلتخواه مشخص میگردد. این پیرو د اغلب برابر است با پیرو د مود اول سازه است. در این محاسبات $T^* = 1^{sec}$ در نظر گرفته شده است. همچنین لازم است مقادیر بزرگا، فاصله و $\mathcal{E}(T^*)$ مربوط به $Sa(T^*)$ هدف نیز تعیین گردد. چنانچه $Sa(T^*)$ هدف از PSHA بدست آمده باشد مقادیر M، R و $\mathcal{E}(T^*)$ را میتوان با استفاده از تحلیل تفکیک به عنوان میانگین M، R و $\mathcal{E}(T^*)$ بدست آورد. در مواردی که محقق بخواهد این محاسبات را برای سناریویی با بزرگای M، فاصله از منبع R و شتاب طیفی Sa انجام دهد مقدار \mathcal{E} مربوطه به سادگی برابر خواهد بود با مقدار انحراف معیاری که توسط آن Sa هدف، از میانه پیش بینی شده در M و R مشخص بزرگتر می شود. سناریوی انتخاب شده برای محاسبه CMS در منطقه زاگرس دارای بزرگای $M_w = 7$ ، فاصله کانونی $R_{epi} = 10^{km}$ و $\mathcal{E} = 1$ است. پس از تعیین Sa هدف باید مقادیر میانگین و انحراف معیار را برای طیف پاسخ در M و R معلوم محاسبه نماییم. مقادیر میانگین و انحراف معیار در تمام پیرودها برای مقادیر شتاب طیفی لگاریتمی سناریو با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه هستند. این جملات می توانند با استفاده از روابط کاهندگی موجود و چندین ابزار محاسبه آنلاین بدست آیند.

$$\mu_{LnSa} = (M, R, T) \quad (2)$$

$$\sigma_{LnSa} = (T) \quad (3)$$

در این مرحله مقادیر میانگین مشروط \mathcal{E} را محاسبه میکنیم. این عملیات برای تعداد تمام پیرودهای مورد استفاده در تحلیل انجام میشود. می توان نشان داد که \mathcal{E} میانگین مشروط برابر است با ضرب $\mathcal{E}(T^*)$ در ضریب همبستگی بین مقدار \mathcal{E} در دو پیرو د، مطابق معادله زیر:

$$\mu_{\mathcal{E}(T_i)|_{\mathcal{E}(T^*)}} = \rho(T_i, T^*) \mathcal{E}(T^*) \quad (4)$$

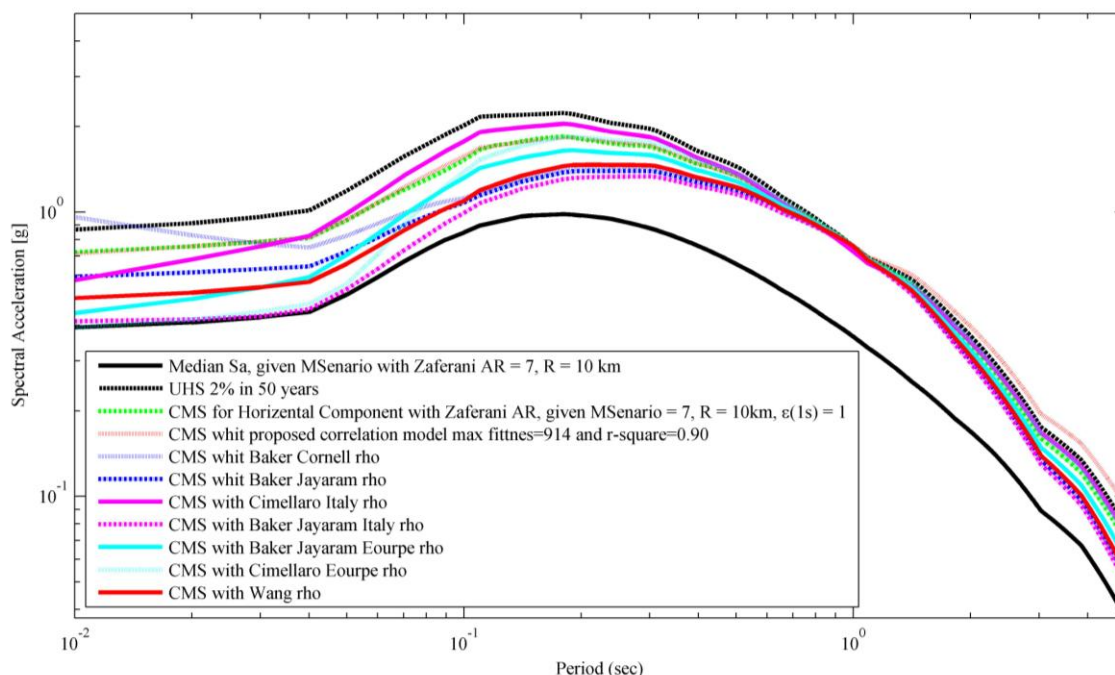
که در معادله (۴) عبارت $\mu_{\mathcal{E}(T_i)|_{\mathcal{E}(T^*)}}$ نشان دهنده مقدار میانگین $\mathcal{E}(T_i)$ بر حسب $\mathcal{E}(T^*)$ است. جمله $\rho(T_i, T^*)$ بیانگر همبستگی بین مقادیر اپسیلون در پیرودهای مختلف است. در مطالعه پیش رو از ۸ مدل همبستگی برای بدست آوردن مقادیر همبستگی استفاده

گردیده است؛ که شرح آنها در بخش پیشین آورده شد. پیوندهای در نظر گرفته شده برای انجام محاسبات بین ۰.۰۱ تا ۵ ثانیه می‌باشند. محاسبات طیف میانگین شرطی می‌تواند با استفاده از میانگین و انحراف معیار و \mathcal{E} میانگین مشروط بدست آمده صورت می‌پذیرد. با جایگذاری مقدار میانگین $\mathcal{E}(T_i)$ حاصل از معادله بالا و حل بر روی $LnSa(T)$ می‌توان مقدار میانگین مشروط $LnSa(T_i)$ را در یک $LnSa(T^*)$ مشخص طبق معادله زیر بدست آورد:

$$\mu_{LnSa(T_i)|LnSa(T^*)} = \mu_{LnSa}(M, R, T_i) + \rho(T_i, T^*) \mathcal{E}(T^*) \sigma_{LnSa}(T_i) \quad (5)$$

در معادله (5) مجموعه مقادیر نمایی $\mu_{LnSa(T_i)|LnSa(T^*)}$ ، طیف میانگین شرطی را بدست می‌دهند که در شکل ۱ نشان داده

شده‌اند.



شکل ۱: طیف میانگین شرطی با استفاده از مدل‌های همبستگی معرفی شده

مدل پیشنهادی برای همبستگی بین مقادیر طیفی داده‌های لرزه‌ای زاگرس

از نرم افزار GeneXPro که یک ابزار قدرتمند برای ایجاد مدل بوده و از الگوریتم ژنتیک برای انجام محاسبات بهره می‌گیرد، برای بدست آوردن مدل پیشنهادی همبستگی بین مقادیر طیفی داده‌های لرزه‌ای منطقه زاگرس ایران استفاده شده است. این نرم افزار با معرفی یک مجموعه از توابع مختلف، مناسبترین و نزدیکترین مدل قابل پیش بینی را ارائه می‌دهد. در این نرم افزار با استفاده از دو ضابطه بیشترین شباهت^۶ و جذر میانگین مجذور اختلاف‌ها^۷ می‌توان به شباهت مدل پیشنهادی با داده‌های مشاهده شده پی برد.

در مطالعه پیش رو پس از بررسی مقادیر همبستگی مشاهده شده برای منطقه زاگرس ایران و مقایسه کانتور آن با سایر مدل‌های همبستگی ارائه شده مشاهده گردید که این ضرایب همبستگی با هیچ یک از ضرایب بدست آمده از مدل‌های همبستگی معرفی شده تشابهی ندارند. با این حال؛ با استفاده از نرم افزار معرفی شده سعی بر آن شد که تا حد امکان مدلی برای ضرایب همبستگی بین مقادیر طیفی داده‌های لرزه‌ای زاگرس ارائه گردد. معادله بدست آمده برای پیش بینی مقادیر همبستگی با استفاده از این نرم افزار به صورت زیر می‌باشد.

⁶ Maximum Fitness

⁷ R-Square

$$A = \left(\sin \left(\left(\frac{\exp(a * T_2)}{\exp(T_2 * T_1)} \right) \right)^4 \right) + \left(\exp \left(\log_{10} \left(\frac{T_1^4}{(b - T_1)^3} \right)^2 \right) \right) \quad (6)$$

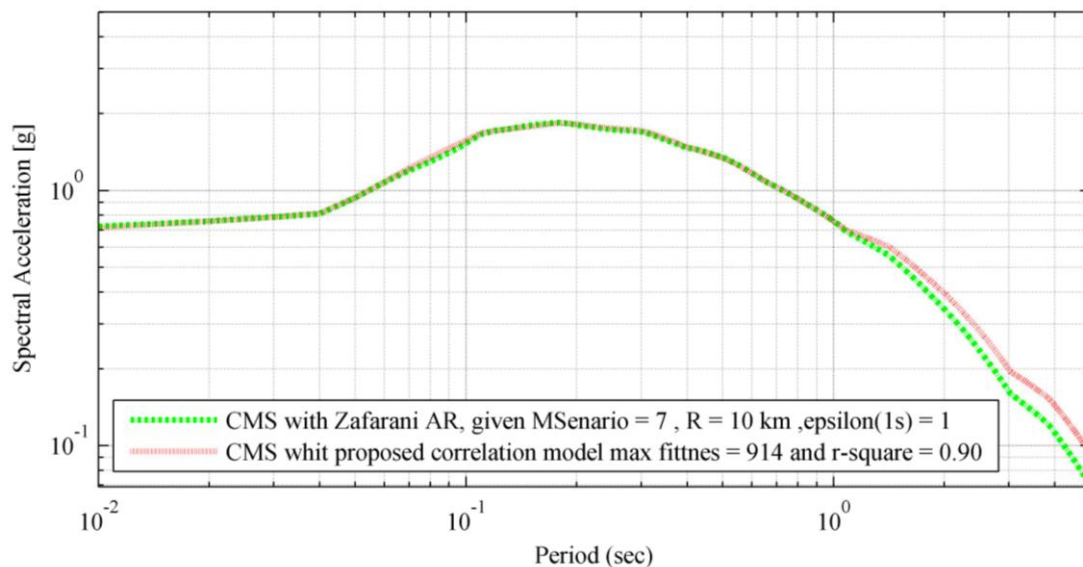
$$\rho = A + \left(\left(\log_{10} \left(\left(\frac{T_1}{T_2} \right) * \cos(c) \right) * \log_{10}(d^2) \right) \right) \quad (7)$$

مقدار ضرائب ثابت معادلات (۷۶) طبق جدول ۳ می باشد:

جدول ۲: مقادیر ثابت رابطه پیشنهادی پیش بینی مقادیر همبستگی زاگرس

a	b	c	d
-7.239532	9.685639	9.685639	1.470795

مقدار R-Square این مدل برابر با ۰.۹۹ بوده که این مقدار دقت مدل بدست آمده را اثبات می کند. همچنین با استفاده از مدل پیشنهادی (معادلات ۷۶) حاصل طیف میانگین شرطی نیز برای منطقه زاگرس رسم گردیده و مشاهده می گردد نسبت به طیف حاصل از بکارگیری مدل‌های همبستگی سایر نقاط جهان نزدیکی بیشتری با طیف میانگین شرطی برای مقادیر همبستگی مشاهده شده دارد.



شکل ۲: مقایسه طیف میانگین شرطی زاگرس بدست آمده با استفاده از رابطه پیشنهادی و رابطه پیرسون

نتیجه گیری

با در نظر گرفتن توضیحات بالا و مقایسه های انجام شده این نتیجه حاصل می گردد که شباهت اندکی بین کانتورهای ضرائب همبستگی مقادیر مشاهده شده برای منطقه زاگرس و مقادیر حاصل از سایر مدل‌های همبستگی وجود دارد. در نتیجه این مشاهدات مدلی برای پیش بینی ضرایب همبستگی منطقه زاگرس با بکارگیری نرم افزار GeneXpro Tools و استفاده از مقادیر اپسیلون حاصل تحلیل داده های لرزه ای منطقه زاگرس و مدل کاهندگی زعفرانی (۲۰۱۲)، پیشنهاد گردید که هم دارای بیشترین شباهت و تطابق کانتور با مقادیر همبستگی مشاهده شده می-

باشد و هم طیف میانگین شرطی حاصل از بکارگیری این مدل پیشنهادی در محاسبات دارای تطابق خوبی با طیف همبستگی حاصل از بکارگیری مقادیر همبستگی مشاهده شده است.

فهرست منابع

- Baker J (2011) Conditional Mean Spectrum: Tool for Gound Motion Selection. *Journal of Structural Engineering*, 322-331
- Bazzurro P (2002) Vector-value probabilistic seismic hazard analysis. *7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, (p. 10). Boston, Massachusetts
- Budnitz RM (1997) *Recommendation for probabilistic seismic hazard analysis, in Guidance on Uncertainty and Use of Experts* (Vol. 2). California: Lawrence Livermore National Laboratory
- Cimellaro G (2013) Correlation in spectral acceleration for earthquake in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 623-633
- Cornell C (1968, October) Engineering Seismic Risk Analysis. *Bull. Seism. Soc. Am*, 58, 1583-1606
- Elnashai (2008) *Earthquake Characterstics in Fundamentals of Earthquake Engineering*. John Wiley and Sons Ltd
- Hassani B (2011) Estimation of site amplification, attenuation and source spectra of S-Waves in the East-Central Iran. *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, 1397-1413
- Jayaram N (2011) Correlation of Response Spectral Values in Japanese Ground Motions. *Earthquake and Structures*, 357-376
- Kramer S (1996) *GEotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall
- Mousavi M (2012) Selection of ground motion prediction models for seismic hazard analysis in Zagros Region, Iran. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-24
- Shome NC (1998) *Earthquake Records and Nunlinear Responses*
- SSHAC S (1997) *Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts*. Washangton DC: US Nuclear Regulatory Commission report
- Toro G (2006) The effects of ground-motion uncertainty on seismic hazard results: Examples and approximate results. *Annual Meeting of the Seismo Seismological Society of America*. San Francisco, California
- Zafarani H (2012) Site responce and source spectra of S-Waves in the Zagros region, Iran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 1-22