

تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه نقشه‌های هم شتاب شهرستان نیشابور

حسین بخشی^۱، مهراله رخشانی مهر^۲، مسعود نوروزی^{۳*}

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۲۹	فلات ایران روی نوار آلپ - هیمالایا و در یکی از فعال ترین مناطق زلزله خیز جهان قرار گرفته است؛ به گونه‌ای که زلزله در ایران تا کنون موجب فجایع انسانی فراوانی شده است. بی تردید توسعه شهری بدون لحاظ این پدیده، منجر به خسارات جانی و مالی بزرگتری خواهد شد. برآوردهای ناقص و گاه نادرست از بیشینه شتاب زلزله وارد بر سازه در طول عمر مفید آن، از مهمترین عوامل خسارات وارده بر سازه‌ها می‌باشد. شهرستان نیشابور واقع در شرق کشور ایران به دلیل جمعیت زیاد، اهمیت تاریخی و فرهنگی و قرارگیری در نزدیکی سه گسل فعال از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. بنابراین برای تخمین دقیق تر پارامترهای زلزله‌های مورد استفاده در طراحی سازه‌ها خطر لرزه‌ای آن ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور به جمع‌آوری و پالایش داده‌هایی از قبیل مشخصات گسل‌ها و کاتالوگ زمین لرزه‌ها، و به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه پرداخته شد و با استفاده از روابط کاهندگی، تحلیل قطعی و همین‌طور احتمالی خطر لرزه‌ای بیشینه شتاب افقی در منطقه‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر انجام شد. تحلیل خطر احتمالی برای سطح خطر ۱ منطبق بر تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود برای دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ در ۵۰ سال عمر مفید سازه می‌باشد. در نهایت بیشینه‌های شتاب برآورد و در قالب نقشه‌های هم‌شتاب، برای دو نوع ساخت‌گاه (سفت $V_s > 375m/s$ و نرم $V_s < 375m/s$) ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهد بیشینه شتاب افقی برای ساخت‌گاه اول و دوم به ترتیب $0.25g$ و $0.26g$ می‌باشد.
پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۳	
واژگان کلیدی: تحلیل خطر لرزه‌ای، قطعی، احتمالی، بیشینه شتاب، نقشه هم‌شتاب.	

۱- مقدمه

های ثبت شده، تخمینی از زلزله‌های محتمل در آینده در منطقه مورد بررسی بدست می‌آید. نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای به صورت تخمین زلزله‌های محتمل محاسبه و معمولاً به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی شده که هرکدام از این نقشه‌ها، بیان کننده تغییرات یکی از پارامترهای لرزه‌ای منطقه مورد نظر هستند، ارائه می‌گردد.

هدف از تحلیل خطر زلزله، برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین، برای طراحی لرزه‌ای است و بیانگر زمین لرزه‌های محتمل در آینده بر مبنای زلزله‌های رخ داده در گذشته و چشمه‌های لرزه‌زا می‌باشد. به عبارت دیگر با بررسی و مطالعات روی زمین ساخت منطقه و اطلاعات زلزله

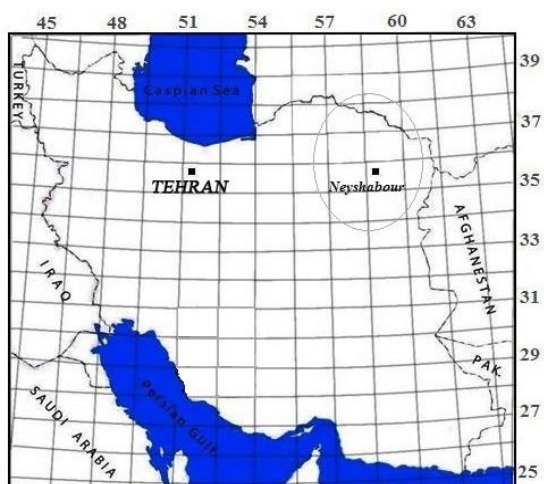
* پست الکترونیک نویسنده مسئول: masud_norouzi1991@yahoo.com

۱. استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

۲. استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهرا

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه حکیم سبزواری

ناحیه مورد بررسی در این مقاله که در شکل ۱ نشان داده شده است؛ منطقه‌ای به مرکزیت شهرستان نیشابور به شعاع حدود ۲۰۰ کیلومتر است که در محدوده جغرافیایی ۵۶.۶۰۱ تا ۶۱.۰۰۹ درجه طول جغرافیایی و ۳۴.۱۸ تا ۳۸ عرض جغرافیایی در حاشیه شرقی کویر مرکزی ایران واقع شده است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه [۸]

۲- تحلیل خطر لرزه‌ای

با استفاده از روش‌های تحلیل خطر لرزه‌ای می‌توان تا حدودی رفتار لرزه‌ای یک منطقه خاص را پیش بینی کرد. این روش‌ها با استفاده از پیشینه لرزه‌خیزی یک منطقه و با استفاده از اطلاعات لرزه‌ای تاریخی و دستگاهی و بررسی‌های ساینموتکتونیک احتمال وقوع زلزله‌های با بزرگای مختلف را در منطقه مورد مطالعه، بررسی می‌کند. به نحوی که با توجه به دوره بازگشت‌های متفاوت، خطر زلزله را در نقاط مختلف پهنه مورد مطالعه تخمین زده و سپس برای هر سطح خطر نقشه پیشینه مولفه‌هایی همچون سرعت و شتاب در دو راستای افقی و قائم را ارائه می‌دهد. تحلیل خطر لرزه‌ای در اصل روشی است که با اتکاء به آن و با توجه به شرایط زمین‌شناسی و تکتونیکی منطقه و زلزله‌های ثبت شده گذشته می‌توان به تخمینی از زلزله‌های آینده رسید، به گونه‌ای که می‌توان برای پریدهای مختلف با توجه به دوره بازگشت‌های متفاوت، خطر زلزله را در نقاط مختلف پهنه تخمین زده و سپس برای هر پریود و هر سطح

تحلیل خطر زلزله به صورت قطعی و با تعیین یک زلزله و محل خاص به کار می‌رود و یا اینکه عدم قطعیت مربوط به زمان، مکان و زلزله محتمل در محاسبات تحلیل خطر در نظر گرفته می‌شود. بر همین مبنا دو روش اصلی برای تحلیل خطر وجود دارد که عبارتند از:

- روش قطعی تحلیل خطر زلزله (DSHA)

- روش احتمالاتی تحلیل خطر زلزله (PSHA)

پیچیدگی طبیعت به گونه‌ای است که محل وقوع زمین-لرزه‌های آینده بطور دقیق قابل پیش‌بینی نیست، روش‌های آماری و احتمالاتی بعنوان پاسخ عملی برای پیش‌بینی و برآورد خطر زمین‌لرزه بکار گرفته می‌شوند؛ و دارای نتایج قابل قبول و اقتصادی می‌باشند.

کرنل برای اولین بار در سال ۱۹۶۸ روش تحلیل خطر لرزه-ای را پیشنهاد کرد [۱]، که امروزه به روش تخمین خطر لرزه‌ای معروف شده است و برای محاسبه شتاب احتمالی زلزله در یک منطقه بکار می‌رود. در این روش ابتدا منابع لرزه‌زا در منطقه مورد نظر شناسایی و در مرحله دوم به کمک اطلاعات تاریخی برای هر منبع یک رابطه تهیه می‌شود. سپس رابطه کاهندگی مناسبی با توجه به جنس زمین، محاسبه یا انتخاب می‌شود و در نهایت شتاب پیشینه حرکت زمین محاسبه می‌شود.

لرزه‌خیزی ایران توسط محققین زیادی از جمله بربریان در سال ۱۹۷۲ [۲]، نوروزی در سال ۱۹۷۶ بررسی شده است [۳]. امبرسیز و ملویل در سال ۱۹۸۲ با بررسی زلزله-های تاریخی قبل از سال ۱۹۰۰ و نیز زلزله‌های ثبت شده قرن حاضر، لرزه‌خیزی ایران را بررسی کردند [۴]. مهاجر اشجعی و بزرگ‌نیا در سال ۱۹۸۴، منحنی‌های هم شتاب را برای نواحی ایران ارائه نمودند [۵]. همچنین به سفارش مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، منحنی‌های هم شتاب برای نواحی شمالی کشور، توسط توکلی در سال ۱۹۹۴ ارائه گردید [۶]. قدرتی امیری و همکاران در تحقیقی تحلیل خطر شهر تهران را انجام داده و در پژوهش دیگری روابط کاهندگی برای ایران را به ترتیب در سال ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ ارائه دادند [۷].

روش تحلیل خطر زلزله به روش قطعی همه پارامترها از جمله بزرگای تولید شده در چشمه لرزه‌زا و فاصله از سایت به طور قطعی انتخاب شده و سپس تحلیل خطر لرزه‌ای انجام می‌گیرد. در این روش پارامترهایی مانند فاصله ساخت‌گاه تا چشمه‌ی لرزه‌زا و بزرگای زلزله‌ی محتمل ثابت در نظر گرفته می‌شود [۸].

۳-۱- شناسایی منابع لرزه‌ای و بررسی لرزه‌خیزی منطقه

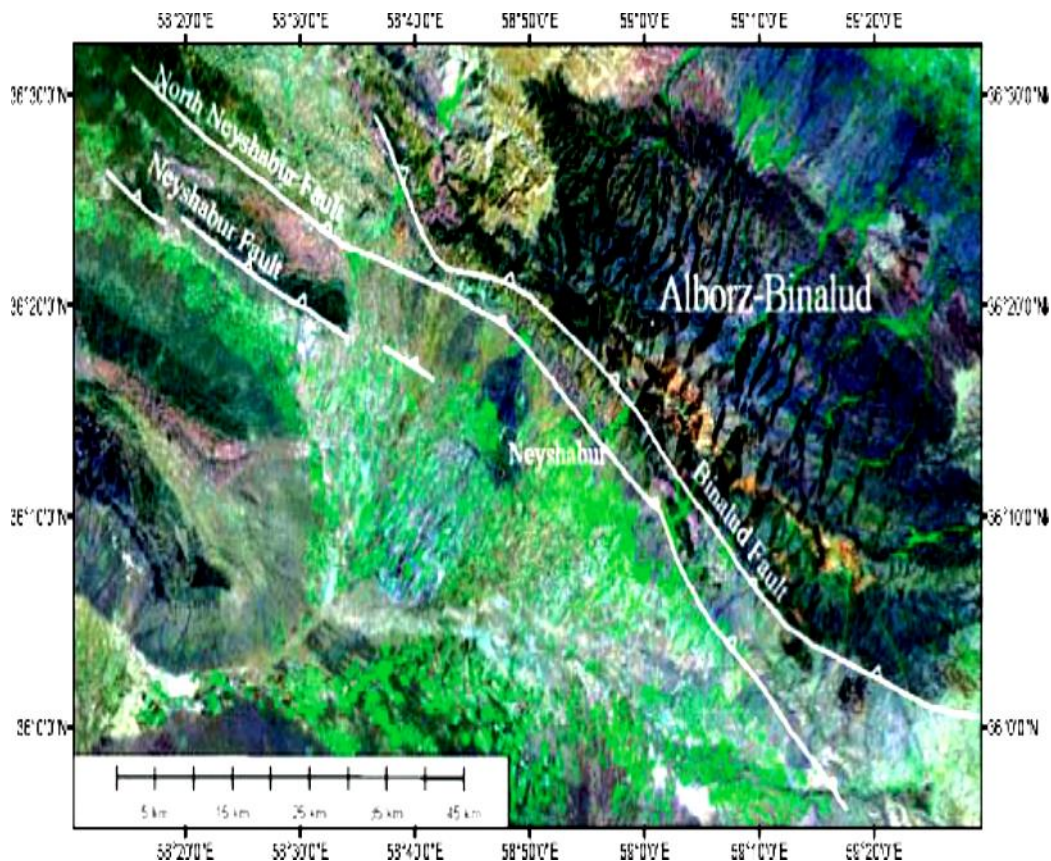
اولین گام در تحلیل خطر به روش قطعی شناسایی منابع لرزه‌ای و وضعیت لرزه‌خیزی منطقه می‌باشد. برای بررسی ویژگی‌های لرزه‌خیزی منطقه مورد نظر بایستی داده‌های پایه از چشمه‌های لرزه‌ای (گسل‌ها) جمع‌آوری شود و در قالب کاتالوگ گسل‌های واقع در گستره مورد نظر برای استفاده در برآورد پارامترهای مورد نیاز در تحلیل خطر قطعی مرتب شود [۸].

خطر نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی یا به عبارتی نقشه نقاط هم شتاب تهیه کرد.

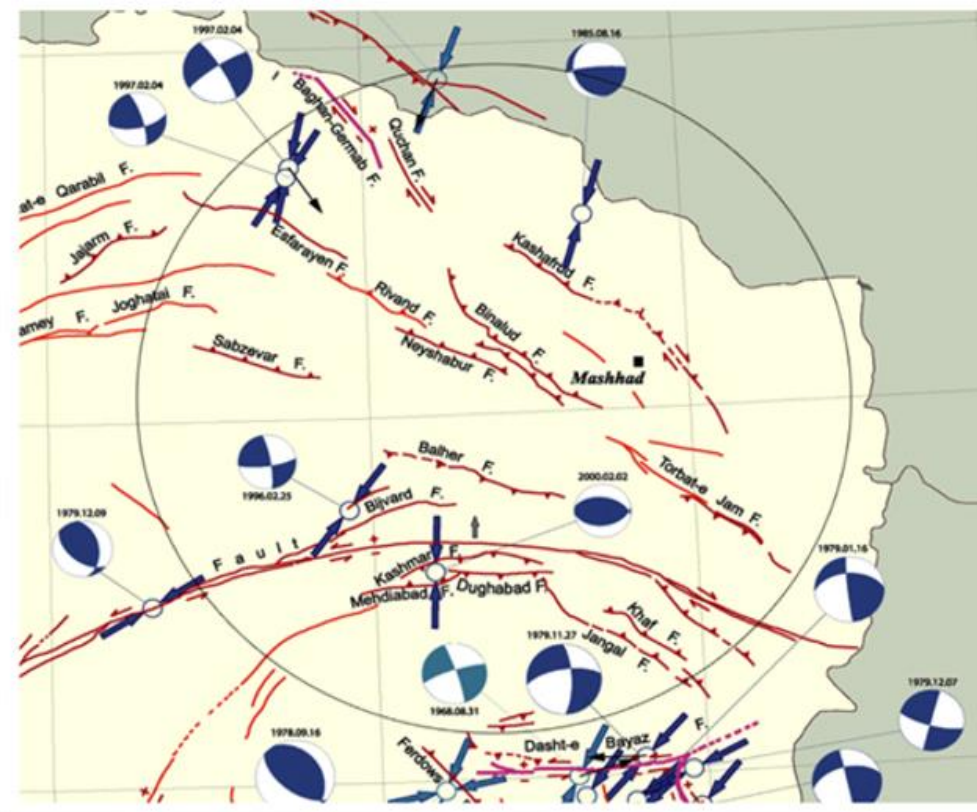
به عبارت دیگر تحلیل خطر لرزه‌ای، تخمینی از خطرات لرزش زمین در یک ساخت‌گاه می‌باشد. این تحلیل می‌تواند تعیینی و برای یک زلزله خاص محاسبه شود؛ یا به روش احتمالاتی انجام شود، که در آن عدم قطعیت مربوط به بزرگی، مکان و زمان زلزله نیز در محاسبات لحاظ می‌شود. در این مقاله تحلیل قطعی خطر زمین‌لرزه برای شعاع ۲۰۰ کیلومتری شهرستان نیشابور بررسی می‌شود و بیشینه شتاب با توجه به در نظر گرفتن دو نوع خاک برای ساخت-گاه (خاک سفت $V_s > 375$ m/s و خاک نرم $V_s < 375$ m/s) برای مولفه‌های افقی و قائم محاسبه می‌گردد [۸].

۳- تحلیل قطعی خطر زمین لرزه

تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش قطعی بر مبنای ارزیابی خطر لرزش زمین برای یک زلزله خاص صورت می‌گیرد. در



شکل ۲ - تصویر ماهواره‌ای منطقه نیشابور [۸]



شکل ۳- گسل‌های فعال منطقه شهرستان نیشابور [۸]

با توجه به زمین‌لرزه‌های کنترلی حاصل M_{max} برای روابط تجربی بدست آمده و میانگین گرفته شده است و سپس با توجه به نزدیک شدن فاصله هر گسل و مولفه شتاب حاصل از هر گسل مولفه شتاب برای هر منطقه محاسبه شده است.

۳-۲- تعیین زمین‌لرزه کنترلی

برآورد توان لرزه‌زایی هر یک از گسل‌ها با استفاده از توابعی مشخص می‌شود. این توابع به عواملی مانند رفتار زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد نظر بستگی دارد. معمولاً تابع خطی تجربی برای منطقه‌های مختلف به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\log L = a + bM \quad (1)$$

L نمایانگر طول گسیختگی است، که برحسب درصدی از طول گسل بیان می‌شود و نشان‌دهنده آن مقدار از طول گسل که بعنوان چشمه لرزه‌ها در نظر گرفته می‌شود می‌باشد، M بزرگای زمین لرزه‌ای و a و b پارامترهای ثابت‌اند.

- شناسایی گسل‌ها

سه گسل فعال در اطراف نیشابور وجود دارد که حدود ۱۰۰ کیلومتر در امتداد سمت جنوبی کوه‌های بینالود گسترده شده‌اند.

(۱) گسل بینالود

(۲) گسل شمال نیشابور در ناحیه جنوبی کوه‌های بینالود.

(۳) گسل نیشابور که در ناحیه جنوب کوه‌های البرز-بینالود، در غرب نیشابور قرار دارد.

در شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای سه گسل مهم در منطقه را نشان می‌دهد. علاوه بر آن گسل‌های دیگری از جمله سبزوار، درونه، کشف‌رود و ... در یک شمای کلی در شکل ۳ نشان داده شده است.

همچنین اطلاعات کاملی درباره گسل‌های موجود در منطقه از قبیل طول، ساز و کار و نزدیک‌ترین فاصله گسل تا سایت در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱- برآورد بزرگا به روش تعینی

ردیف	نام گسل	ساز و کار	طول گسل (km)	طول گسیختگی (km)	نزدیکترین فاصله (km)	برآورد بزرگا با روابط تجربی			
						نوروزی	امبر سیز	ولز	سولماز
۱	جفتای	عادی(نرمال)	۳۱.۶۷	۱۵.۸۴	۱۷۹.۱۶	۶.۴۸	۶.۶۰	۶.۲۵	۶.۴۴
۲	اسفراین	عادی(نرمال)	۷۸.۳۱	۳۹.۱۶	۱۰۹.۵۱	۶.۹۷	۶.۹۹	۶.۷۱	۶.۹۷
۳	ترت جام	عادی(نرمال)	۷۸.۷۱	۳۹.۳۶	۱۲۵.۴۱	۶.۹۸	۶.۹۹	۶.۷۱	۶.۹۷
۴	بجنورد	عادی(نرمال)	۷۳.۲۵	۳۶.۶۳	۱۰۷.۲۵	۶.۹۴	۶.۹۶	۶.۶۷	۶.۹۳
۵	نایینی	عادی(نرمال)	۱۱۲.۲۵	۳۳.۶۸	۱۴۷.۰۳	۶.۸۹	۶.۹۳	۶.۶۳	۶.۸۸
۶	مشهد	عادی(نرمال)	۶۳.۸۷	۳۱.۹۳	۵۸.۹۶	۶.۸۶	۶.۹۰	۶.۶۰	۶.۸۵
۷	ریوند	راندگی معکوس	۶۳.۸۷	۳۱.۹۳	۴۱.۸۲	۶.۸۶	۶.۹۰	۶.۸۴	۷.۱۶
۸	سبزوآر	راندگی معکوس	۷۴.۹۷	۳۷.۴۹	۹۹.۰۲	۶.۹۵	۶.۹۷	۶.۹۲	۷.۲۴
۹	کشف رود	راندگی معکوس	۱۶۹.۹۹	۵۰.۱۰	۷۰.۱۹	۷.۱۱	۷.۱۰	۷.۰۷	۷.۳۹
۱۰	کاشمر	راندگی معکوس	۸۳.۳۷	۴۰.۶۸	۱۱۶.۸۹	۶.۹۹	۷.۰۱	۶.۹۶	۷.۲۸
۱۱	دوغ آباد	راندگی معکوس	۶۳.۱۵	۳۱.۵۸	۱۱۷.۷۸	۶.۸۶	۶.۹۰	۶.۸۳	۷.۱۶
۱۲	مهدی آباد	راندگی معکوس	۵۶.۴۹	۲۸.۲۴	۱۳۳.۱۵	۶.۸۰	۶.۸۵	۶.۷۷	۷.۱۰
۱۳	جنگل	راندگی معکوس	۱۲۴.۳۴	۳۷.۳۰	۱۷۹.۲۹	۶.۹۵	۶.۹۷	۶.۹۲	۷.۲۴
۱۴	بینالود	راندگی معکوس	۱۰۶.۸۱	۳۲.۰۴	۳۵.۲۲	۶.۸۶	۶.۹۰	۶.۸۴	۷.۱۷
۱۵	شمال نیشابور	راندگی معکوس	۶۴.۱۵	۳۲.۰۸	۳۰.۴۰	۶.۸۶	۶.۹۱	۶.۸۴	۷.۱۷
۱۶	نیشابور	راندگی معکوس	۶۸.۵۱	۳۴.۲۶	۱۱.۰۵	۶.۹۰	۶.۹۳	۶.۸۷	۷.۲۰
۱۷	بالهر	راندگی معکوس	۱۳۰.۲۵	۳۹.۰۷	۵۸.۶۷	۶.۹۷	۶.۹۹	۶.۹۴	۷.۲۶
۱۸	باتقان-گرماب	امتداد لغز	۴۷.۴۰	۲۳.۷۰	۱۴۰.۵۱	۶.۷۰	۶.۷۷	۶.۴۵	۶.۴۸
۱۹	قوچان	امتداد لغز	۴۸.۶۳	۲۴.۳۱	۱۰۴.۷۴	۶.۷۱	۶.۷۹	۶.۴۷	۶.۴۹
۲۰	درونه	امتداد لغز	۳۷۳.۲۰	۱۱۱.۹۶	۱۴۸.۷۴	۷.۵۴	۷.۴۵	۷.۲۴	۳.۷۸
۲۱	خاف	راندگی معکوس	۴۷.۲۰	۲۳.۷۰	۱۴۰.۵۳	۶.۷۰	۶.۷۷	۶.۶۸	۷.۰۲

جدول ۲- برآورد بیشینه شتاب به روش تعینی

ردیف	نام گسل	ساز و کار	طول	طول	نزدیکترین فاصله	Ms	Mw	مولفه شتاب			
			گسل	گسیختگی				HIII	VIII	HII	VII
			(km)	(km)	(km)						
۱	جغتای	عادی(نرمال)	۳۱.۶۷	۱۵.۸۴	۱۷۹.۱۶	۶.۴۴	۶.۴۴	۰.۰۱۵۰	۰.۰۱۰۰	۰.۰۱۶۰	۰.۰۰۹۵
۲	اسفراین	عادی(نرمال)	۷۸.۳۱	۳۹.۱۶	۱۰۹.۵۱	۶.۹۱	۶.۹۱	۰.۰۳۶۰	۰.۰۲۵۰	۰.۰۳۶۹	۰.۰۲۳۳
۳	تربت جام	عادی(نرمال)	۷۸.۷۱	۳۹.۳۶	۱۲۵.۴۱	۶.۹۱	۶.۹۱	۰.۰۳۱۰	۰.۰۲۱۰	۰.۰۳۱۹	۰.۰۱۹۸
۴	بجنورد	عادی(نرمال)	۷۳.۲۵	۳۶.۶۳	۱۰۷.۲۵	۶.۸۸	۶.۸۸	۰.۰۳۵۸	۰.۰۲۴۹	۰.۰۳۷۰	۰.۰۲۳۴
۵	نابینی	عادی(نرمال)	۱۱۲.۲۵	۳۳.۶۸	۱۴۷.۰۳	۶.۸۳	۶.۸۳	۰.۰۲۴۶	۰.۰۱۶۵	۰.۰۲۵۵	۰.۰۱۵۶
۶	مشهد	عادی(نرمال)	۶۳.۸۷	۳۱.۹۳	۵۸.۹۶	۶.۸۱	۶.۸۱	۰.۰۶۵۲	۰.۰۴۸۷	۰.۰۶۷۶	۰.۰۴۵۸
۷	ریوند	راندگی معکوس	۶۳.۸۷	۳۱.۹۳	۴۱.۵۹۸۲	۶.۹۴	۶.۹۴	۰.۱۰۴۶	۰.۰۸۱۷	۰.۱۰۸۰	۰.۰۷۶۳
۸	سبزوار	راندگی معکوس	۷۴.۹۷	۳۷.۴۹	۹۹.۰۲	۷.۰۲	۷.۰۲	۰.۰۴۳۱	۰.۰۳۰۴	۰.۰۴۴۵	۰.۰۲۸۴
۹	کشف رود	راندگی معکوس	۱۶۹.۹۹	۵۰.۱۰	۷۰.۱۹	۷.۱۷	۷.۱۷	۰.۰۶۹۹	۰.۰۵۱۵	۰.۰۷۱۸	۰.۰۴۷۷
۱۰	کاشمر	راندگی معکوس	۸۳.۳۷	۴۰.۶۸	۱۱۶.۸۹	۷.۰۶	۷.۰۶	۰.۰۳۷۱	۰.۰۲۵۷	۰.۰۳۸۲	۰.۰۳۴۰
۱۱	دوغ آباد	راندگی معکوس	۶۳.۱۵	۳۱.۵۸	۱۱۷.۷۸	۶.۹۴	۶.۹۴	۰.۰۳۳۸	۰.۰۲۳۳	۰.۰۳۴۹	۰.۰۲۱۸
۱۲	مهدی آباد	راندگی معکوس	۵۶.۴۹	۲۸.۲۴	۱۳۳.۱۵	۶.۸۸	۶.۸۸	۰.۰۲۸۴	۰.۰۱۹۳	۰.۰۲۹۳	۰.۰۱۸۱
۱۳	جنگل	راندگی معکوس	۱۲۴.۳۴	۳۷.۳۰	۱۷۹.۲۹	۷.۰۲	۷.۰۲	۰.۰۲۲۸	۰.۰۱۵۰	۰.۰۲۳۵	۰.۰۱۴۱
۱۴	بینالود	راندگی معکوس	۱۰۶.۸۱	۳۲.۰۴	۳۵.۲۲	۶.۹۴	۶.۹۴	۰.۱۴۰۵	۰.۱۱۳۴	۰.۱۴۳۹	۰.۱۰۶۱
۱۵	شمال نیشابور	راندگی معکوس	۶۴.۱۵	۳۲.۰۸	۳۰.۴۰	۶.۹۴	۶.۹۴	۰.۱۴۸۵	۰.۱۲۰۶	۰/۱۵۲۰	۰/۱۱۲۸
۱۶	نیشابور	راندگی معکوس	۶۸.۵۱	۳۴.۲۶	۱۱.۰۵	۶.۹۸	۶.۹۸	۰.۴۶۶۰	۰.۴۳۱۰	۰.۴۵۴۳	۰.۴۰۶۸
۱۷	بالهر	راندگی معکوس	۱۳۰.۲۵	۳۹.۰۷	۵۸.۶۷	۶.۹۷	۶.۹۷	۰.۰۷۳۶	۰.۰۵۵۲	۰.۰۷۵۷	۰.۵۱۶۰
۱۸	باتقان-گرماب	امتداد لغز	۴۷.۴۰	۲۳.۷۰	۱۴۰.۵۱	۶.۶۴	۶.۶۴	۰.۰۲۲۶	۰.۰۵۱۰	۰.۰۲۳۵	۰.۰۱۴۴
۱۹	قوچان	امتداد لغز	۴۸.۶۳	۲۴.۳۱	۱۰۴.۷۴	۶.۶۱	۶.۶۱	۰.۰۳۰۳	۰.۰۲۱۰	۰.۰۳۱۵	۰.۰۲۰۰
۲۰	درونه	امتداد لغز	۳۷۳.۲۰	۱۱۱.۹۶	۱۴۸.۷۴	۶.۵۲	۶.۵۲	۰.۰۱۹۳	۰.۰۱۲۸	۰.۰۲۰۲	۰.۰۱۲۳
۲۱	خاف	راندگی معکوس	۴۷.۲۰	۲۳.۷۰	۱۴۰.۵۳	۶.۷۹	۶.۷۹	۰.۰۲۵۱	۰.۰۱۶۹	۰.۰۲۶۰	۰.۰۱۶۰

زمین لرزه کنترلی، میزان حداکثر جنبش زمین لرزه ناشی از فعالیت گسل است، که با در نظر گرفتن خصوصیات لرزه-خیزی گسل‌ها و با استفاده از روابط تجربی بدست می‌آید:

- رابطه تجربی نوروزی [۳]

$$M_s = 1.259 + 1.244 \log L \quad (2)$$

طول گسیختگی L بزرگای سطحی زمین لرزه و M_s که در آن بر حسب متر می‌باشد.

- رابطه تجربی امبرسیز و ملویل

$$M_s = 5.4 + \log L \quad (3)$$

که در آن L بر حسب متر می‌باشد.

در یک طبقه‌بندی معمولاً ۱۷ تا ۱۰۰ درصد طول گسل متناسب با طول کلی گسل بعنوان چشمه لرزه‌ها در نظر گرفته می‌شود:

(۱) اگر $L > 300$ ، ۱۷٪ طول گسل چشمه لرزه‌ها است.

(۲) اگر $100 < L < 300$ ، ۳۰٪ طول گسل چشمه لرزه‌ها است.

(۳) اگر $L < 100$ ، ۵۰٪ طول گسل چشمه لرزه‌ها است.

(۴) اگر $L < 20$ کل طول گسل می‌تواند چشمه لرزه‌ها باشد.

با توجه به مطالعات انجام شده و منابع تاریخی در سال‌های ۱۲۰۹ و ۱۴۰۵ میلادی برای شهرستان نیشابور حداقل- بزرگای $M_s=4$ و حداکثر نیز $M_s=7.6$ در نظر گرفته می- شود. همچنین با توجه به شرایط موجود روابط کاهندگی مورد استفاده به شرح زیر انتخاب می‌گردد.

۱- رابطه کاهندگی امبرسیز، سیمپسون ۱۹۹۶ [۱۰]

۲- رابطه کاهندگی کمپل - بزرگنیا ۲۰۰۰ [۱۱]

۳- رابطه کاهندگی قدرتی ۲۰۰۷ [۷ و ۱۲]

۳-۴- محاسبه جنبش نیرومند زمین

در این مرحله با استفاده از بزرگای بیشینه بهینه شده هر گسل و با توجه به نزدیک‌ترین فاصله هر گسل تا سایت و استفاده از روابط کاهندگی انتخابی، شتاب بیشینه افقی و قائم بر مبنای دو نوع خاک حاصل می‌گردد. در محاسبات نهایی با استفاده از روش درخت منطقی، با توجه به کاستی‌های موجود در داده‌های زمین‌لرزه‌های ایران و ارائه مقادیر بیش از حد محافظه‌کارانه برای فواصل زیاد، وزن بیشتر برای دو رابطه کمپل- بزرگنیا و امبرسیز و همکاران در نظر گرفته شده (۵۰٪ و ۳۰٪) و به رابطه قدرتی ۵۰٪ وزن داده شد.

با توجه به جدول ۱ بیشینه شتاب افقی و قائم گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه برای دو نوع خاک با روش تحلیل خطر قطعی انجام گردید که بیشینه غالب متعلق به گسل نیشابور می‌باشد. در جدول ۳ بیشینه شتاب غالب به‌طور خلاصه نشان داده شده است. لازم به ذکر است در روش قطعی بیشینه شتاب برای طراحی تاسیسات و سازه- هایی بکار می‌رود که در اثر تخریب آنها خسارات جبران ناپذیری به بار آید.

جدول ۳ - شتاب بیشینه غالب [۸]

شتاب بیشینه	مقدار بر حسب g
افقی خاک نوع II	۰/۴۵۴۳
قائم خاک نوع II	۰/۴۰۸۶
افقی خاک نوع III	۰/۴۶۶
قائم خاک نوع III	۰/۴۳۱

- روابط تجربی ولز - کوپر اسمیت [۹]

$$\begin{cases} M_s = 5.16 + 1.12 \text{Log}L, \text{ گسل راستالغز} \\ M = 5 + 1.22 \text{Log}L, \text{ گسل معکوس} \\ M = 5 + 1.16 \text{Log}L, \text{ کلیه گسل ها} \end{cases} \quad (۴)$$

که در آن L بر حسب کیلو متر می‌باشد.

- روابط تجربی سولماز

$$\begin{cases} M = 1.404 + 1.16 \text{Log}L, \text{ گسل راستالغز} \\ M = 2.021 + 1.142 \text{Log}L, \text{ گسل معکوس} \\ M = 0.809 + 1.34 \text{Log}L, \text{ گسل نرمال} \end{cases} \quad (۵)$$

که در آن L بر حسب متر می‌باشد.

۳-۳- انتخاب رابطه کاهندگی مناسب

میرایی امواج زلزله به صورت تابعی از بزرگا، فاصله منبع تا ساخت‌گاه، نوع خاک و ... بیان می‌شود که توابع حاصل، روابط کاهندگی نامیده می‌شود. در انتخاب روابط کاهندگی در فرآیند تحلیل خطر روابطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که سازگار با منطقه و چشمه‌های لرزه‌زا باشد. ارتباط اساسی بین ویژگی‌های زلزله (بیشینه شتاب و بیشینه سرعت زمین و ...) با کمیت‌های پاسخ و پارامترهای گوناگون مثل بزرگا، شرایط زمین‌ساختی و ... را میسر می‌سازد. در این پژوهش تلاش شده است تا روابط انتخابی دارای چنین شرایطی باشند؛ که برخی از ویژگی‌های آنها عبارتند از:

۱) استفاده از داده‌های زمین‌لرزه‌های ایران

۲) به طور کلی بزرگای زلزله‌ها به چهار گروه کلی تقسیم می‌شوند که استفاده از بزرگای گشتاوری M_w (بزرگای گشتاوری اساسا وابسته به جابجایی گسل، سطح گسیختگی و خواص مصالح ناحیه شکست می‌باشد و بزرگای گشتاور برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۷/۵ تعریف شده است.) و بزرگای سطحی M_s به عنوان مقیاس بزرگا در روابط، که برای بزرگای بالا معتبرتر است.

۳) بازه تغییرات بزرگا یکی از عوامل موثر می‌باشد که باید محدوده‌ای مورد نظر را پوشش دهد.

۴- تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالی

در تحلیل خطر احتمالی باید نقشه‌های بیشینه نقاط هم شتاب افقی را منطبق بر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (۱۳۸۱) [۱۳] برای سطح خطر ۱، ۱۰٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال با دوره بازگشت ۴۷۵ سال، محاسبه شود. لازم به ذکر است سطح خطر زلزله ۱ در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۱۴] بعنوان زلزله طرح (DBE) نامیده می‌شود و مبنای شتاب پایه ساختمان قرار می‌گیرد. در فرآیند تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالی شهرستان نیشابور مراحل زیر به ترتیب انجام گردید:

- شناسایی منابع لرزه‌ای

۲۱ گسل در شعاع ۲۰۰ کیلومتری شناسایی (شکل ۳) و مختصات جغرافیایی آنها برای مدل‌سازی در نرم افزار SeisRiskIII استخراج گردید.

کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها در شعاع ۲۰۰ کیلومتری شهرستان نیشابور مورد نیاز می‌باشد. تهیه کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها، به منظور فراهم نمودن شرایط همگن و یکنواخت داده‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. شناخت قوانین حاکم بر رخداد زمین‌لرزه‌ها بدون داشتن داده‌ای مناسب عملاً امکان‌پذیر نیست؛ با این حال به دلایل مختلف اطلاعات در بازه‌های زمانی خاصی به شدت ناقص هستند. با یک نگاه کلی داده‌های زمین‌لرزه‌ای در دو دسته تاریخی و دستگاهی طبقه بندی می‌شوند.

اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران در نوشتارهای مختلفی، از جمله امبرسیز (۱۹۷۴ و ۱۹۶۸)، بربریان (۱۹۷۷) [۲]، سیدنبوی (۱۹۷۸) و ... گردآوری شده است. اطلاعات کامل‌تر توسط امبرسیز و ملویل (۱۹۸۲) [۱۵] ارائه و در سال‌های (۱۹۸۸ و ۱۹۸۹) ادامه و توسعه یافت.

زمین‌لرزه‌های دستگاهی در دو گروه مختلف ثبت شده است. دسته اول شامل زمین‌لرزه‌هایی که قبل از استقرار شبکه لرزه‌نگاری استاندارد جهانی (۱۹۰۰-۱۹۶۳) ثبت شده‌اند. و دسته دوم شامل زمین‌لرزه‌هایی می‌گردد؛ که پس

از استقرار شبکه لرزه‌نگاری استاندارد جهانی (۱۹۶۴) تاکنون) ثبت شده‌اند. پس از گردآوری کاتالوگ‌ها از پایگاه‌هایی همچون IIEES [۱۶]، BHRC [۱۷]، NGDIR [۱۸] USGS [۱۹] و ... نسبت به همگن‌سازی بزرگای زمین‌لرزه‌ها با استفاده از رابطه ارائه شده (رابطه ۶) توسط کمیته ملی سدهای بزرگ ایران [۲۰]، برای تبدیل بزرگای حجمی به سطحی و همچنین براساس جدول ارائه شده توسط آقایان کرینیزسکی و ناتلی (جدول ۴)، برای تبدیل بزرگای مختلف به بزرگای سطحی اقدام و داده‌ی لرزه-ای به صورت همگن و برحسب بزرگای سطحی (M_s) بزرگتر از ۴ مرتب می‌شوند.

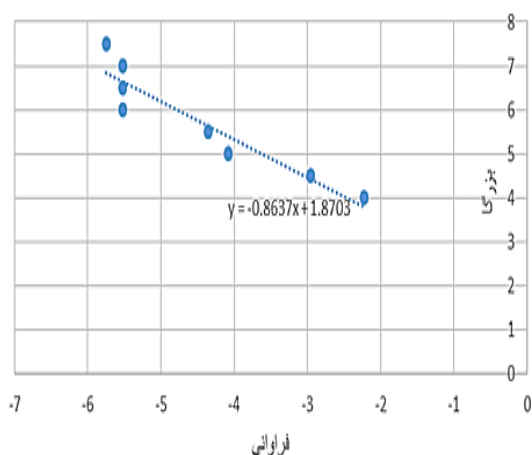
$$M_s = 1.21M_b - 1.29 \quad (۶)$$

که در آن M_b بزرگای حجمی لرزه‌ای است.

جدول ۴- تبدیل واحدهای بزرگا و شدت زلزله

M_b		M_L	M_s	M_w	M_o	I_o
۴		۴.۳	۳	۴.۱	۱.۰ ^{۲۱}	IV
۴.۵	۴.۸	۳.۶	۴.۵	۱.۰ ^{۲۲}	V	
۵	۵.۳	۴.۶	۵.۲	۱.۰ ^{۲۳}	VI	
۵.۵	۵.۸	۵.۶	۵.۸	۱.۰ ^{۲۴}	VII	
۶	۶.۳	۶.۶	۶.۶	۱.۰ ^{۲۵}	VIII	
۶.۵	۶.۸	۷.۳	۷.۳	۱.۰ ^{۲۵}	IX-X	
۷	۷.۳	۸.۲	۸.۲	۱.۰ ^{۲۶}	XI-XII	

توزیع گوتنبرگ-ریشر



شکل ۴: نمودار برازش شده بزرگا - فراوانی [۸]

جدول ۵ - پارامترهای لرزه‌خیزی برآورد شده به روش کیجکو - سلول

فهرست	بزرگای بیشینه	مقدار	پارامتر لرزه‌خیزی	نسبت توزیع پارامترهای لرزه‌خیزی (%)		
				>۱۹۶۴	۱۹۰۰-۱۹۶۴	<۱۹۰۰
زلزله‌های تاریخی	۸/۱±۰/۵	1.59±0.2	Beta	-	-	۱۰۰
		0.12	Lambda (Ms=۵.۳)	-	-	۱۰۰
زلزله‌های دستگاهی	۸/۰۵±۰/۵	1.188±0.10	Beta	۳۸.۷	۴۲/۴	-
		1.28۷/±0.10	Lambda (Ms=۴)	۴۳.۸	۵۶/۳	-
زلزله‌های تاریخی و دستگاهی	۸/۱±۰/۵	2.14±0.08	Beta	۲۲.۴	۲۴/۲	۵۳.۴
		1.1±0.09	Lambda (Ms=۴)	۴۰.۵	۵۲/۳	۷.۳

$$Y = -0.8637x + 1.8703$$

$$b = 08637, \quad a = 1.837$$

که $\beta = b \cdot \ln 10$ می‌باشد.

ب. روش کیجکو - سلول [۲۳ و ۲۴]

روش کیجکو اولین بار در سال ۱۹۸۴ ارائه شد. این مدل به علت اختصاص دادن خطا و بزرگای آستانه حداکثر به هر دسته زلزله، مدل مناسبی برای برآورد پارامترهای لرزه‌ای است که با خصوصیات لرزه‌خیزی ایران منطبق می‌باشد. با استفاده از نرم افزار کیجکو، پارامترهای لرزه‌خیزی β و λ (آهنگ لرزه‌خیزی) و حداکثر بزرگای پذیرفتنی M_{max} بدست می‌آید.

۵- تحلیل و تفسیر نتایج

در نهایت بعد از معرفی پارامترهای گسیختگی، لرزه‌خیزی و تعریف روابط کاهندگی با ضرایب وزنی مشابه روش تعیینی، در نرم افزار SEISRISKIII (۱۹۸۷) مولفه بیشینه شتاب افقی زلزله برای منطقه مورد نظر برای سطح خطر ۱ با دوره‌های بازگشت ۴۷۵ ساله در ۵۰ سال عمر مفید سازه بر اساس تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود محاسبه گردید.

نتایج برای دو ساخت‌گاه متفاوت که اولی دارای خاک سفت و دومی تشکیل شده از خاک‌های نرم می‌باشد روی شبکه-های ۶ × ۶ محاسبه، ترسیم و نمایش داده شده است.

پس از همگن‌سازی بزرگای، داده‌های لرزه‌ای پالایش می‌گردد، بدین منظور و برای حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها از پنجره زمانی- مکانی استفاده می‌شود. در این بررسی به منظور حذف پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها از مدل گاردنر و نوپوف [۲۱] استفاده شده است. با استفاده از این مدل از بین حدود ۲۵۶ زمین‌لرزه مربوط به سال‌های ۷۶۳ تا ۲۰۱۳ میلادی، ۱۵۹ زمین‌لرزه اصلی بدست آمده است.

- برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی

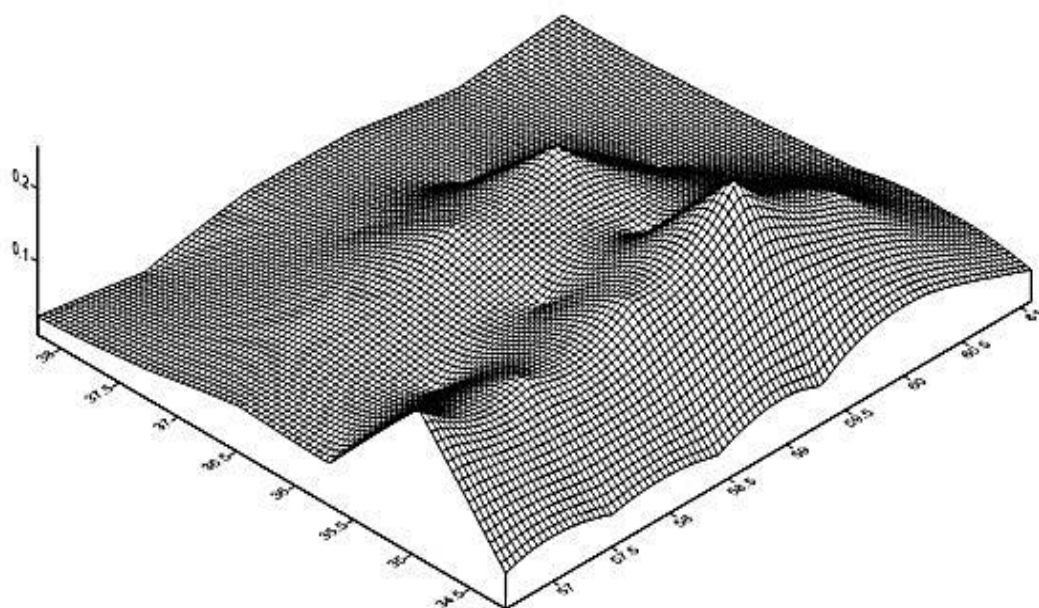
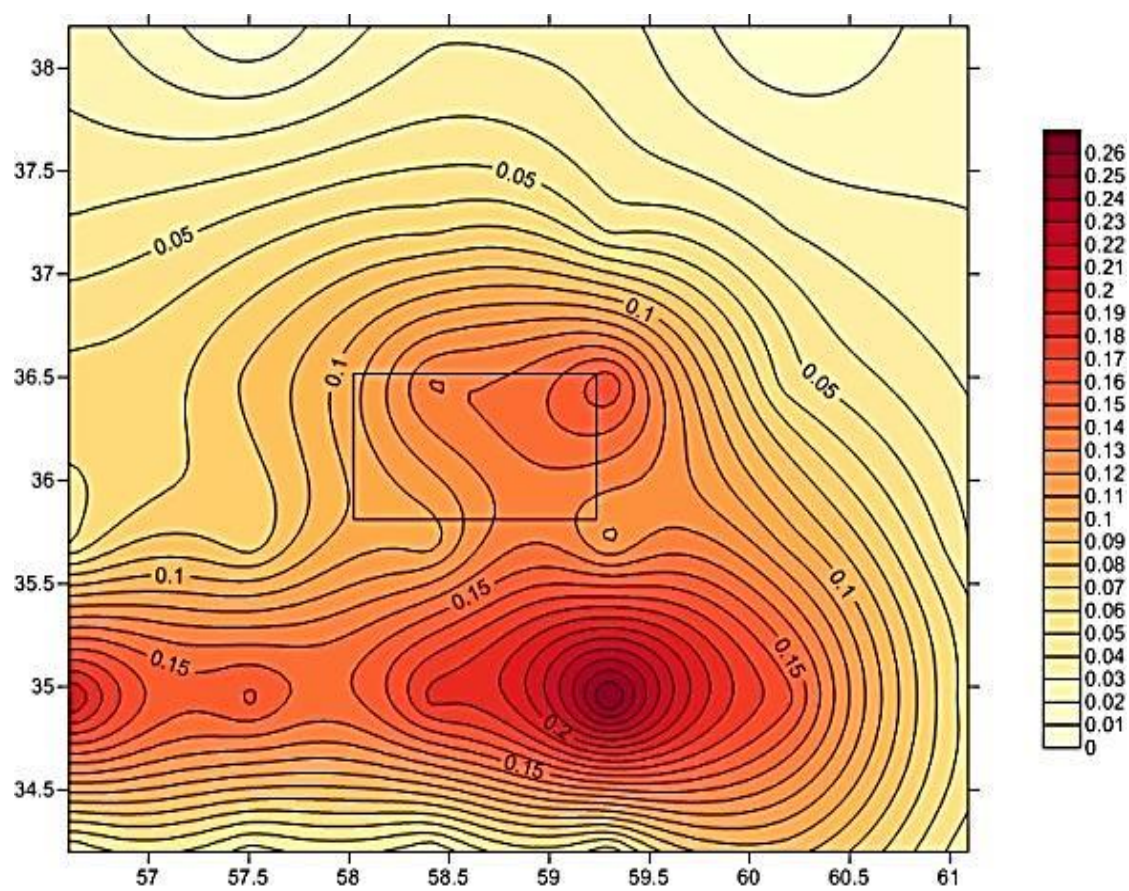
برای پی بردن به خصوصیات لرزه‌خیزی منطقه طرح، لازم است پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه محاسبه گردد. این پارامترها نشانگر چگونگی آهنگ رویداد زمین‌لرزه‌های آینده منطبق بر چشمه‌های لرزه‌ای آن منطقه می‌باشد. از جمله این روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف. روش گوتنبرگ - ریشتر [۲۲]

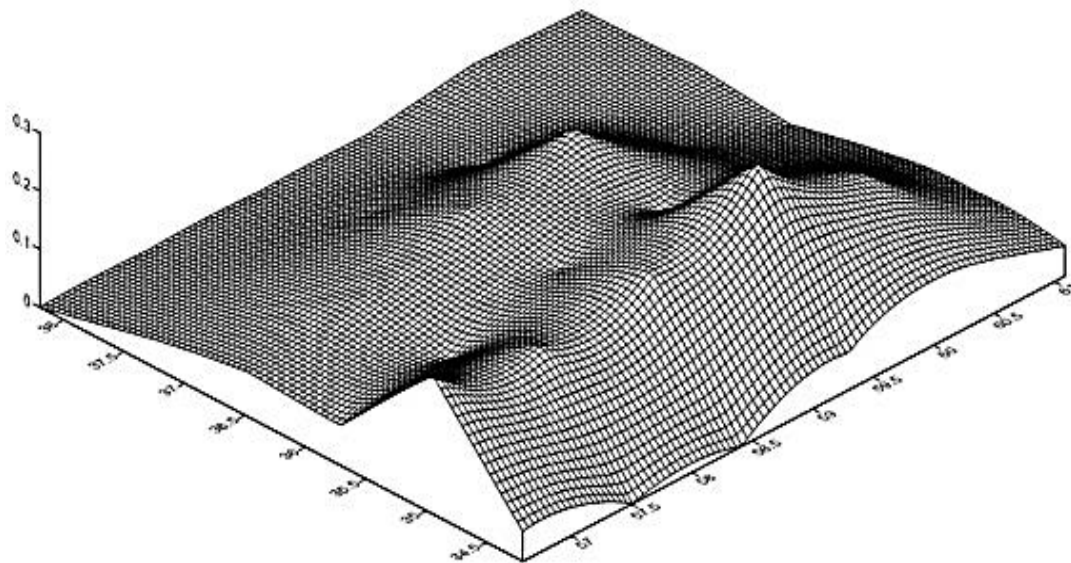
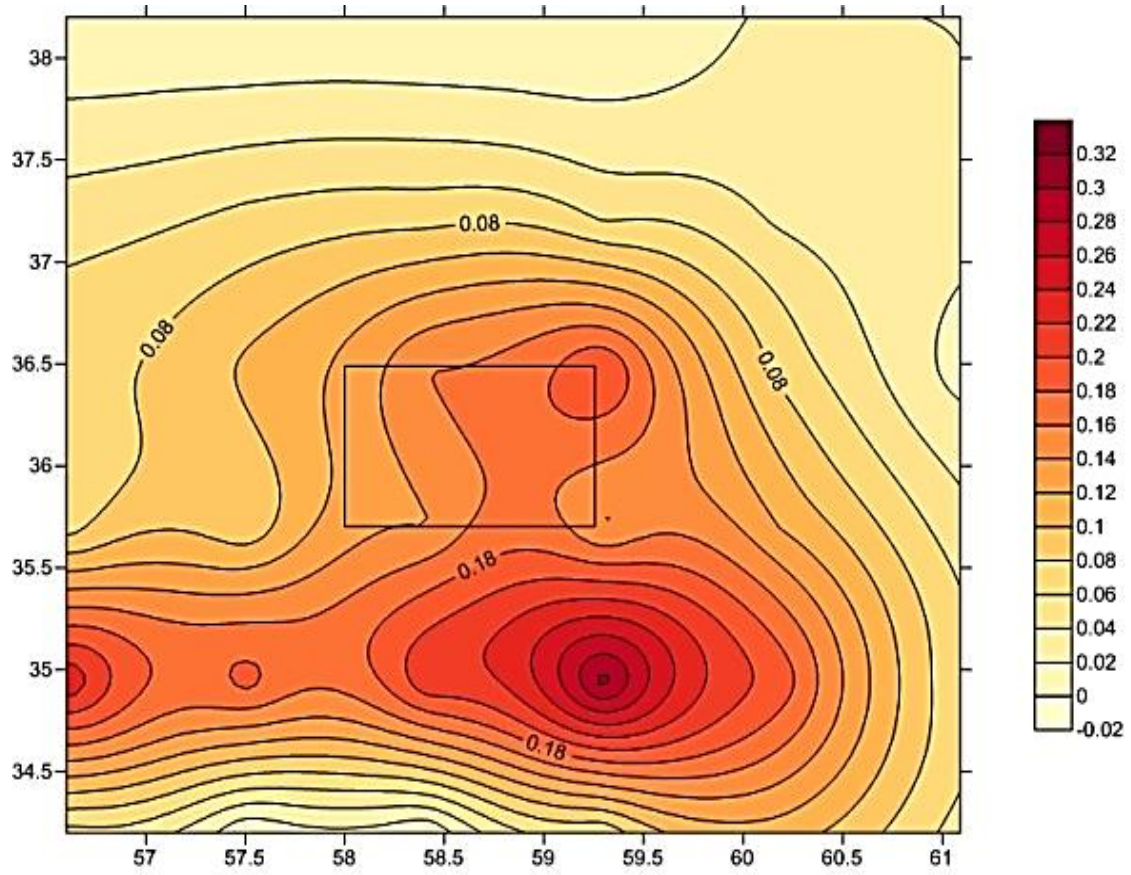
این روش یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش‌ها در برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی می‌باشد. پس از حذف پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها از فهرست زمین‌لرزه‌های جمع‌آوری شده، با استفاده از رابطه گوتنبرگ و ریشتر نتایج زیر حاصل می‌شود:

$$n N = a - bM \quad (7)$$

که در آن M بزرگای زمین‌لرزه و N تعداد زمین‌لرزه‌های مورد انتظار بزرگتر از زمین‌لرزه‌ای با بزرگای M بر بازه زمانی، a و b اعداد ثابت رابطه گوتنبرگ - ریشتر هستند.



شکل ۵ - بیشینه شتاب افقی سطح خطر ۱ - ساخت‌گاه ۱



شکل ۶ - بیشینه شتاب افقی سطح خطر ۱ - ساختگاه ۲

۶- نتیجه‌گیری

- ۱- با توجه به نقشه‌های بیشینه شتاب محتمل در نقطه مورد بررسی به علت قرارگیری در کنار گسل‌های فعال نیشابور، شمال نیشابور و بینالود دارای بیشینه شتاب بالایی است که این شهرستان در پیوست آیین‌نامه ۲۸۰۰ در پهنه با خطر نسبی زیاد قرار دارد. ولیکن نتایج نشان می‌دهد مقدار بیشینه شتاب ارائه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ در جهت اطمینان است.
- ۲- با تغییر نوع خاک از حالت سفت به حالت نرم‌تر بیشینه شتاب افقی افزایش یافته که آیین‌نامه ۲۸۰۰ این مطلب را تایید می‌کند.
- ۳- افزایش بیشینه شتاب قائم نیز مانند شتاب افقی با تغییر حالت خاک افزایش می‌یابد.

- انتخاب رابطه کاهندگی

روابط کاهندگی مناسب بر اساس آنچه در خصوص چگونگی انتخاب روابط کاهندگی ذکر گردید برگزیده شد. در این مقاله از روابط به کار رفته در روش تحلیل خطر تعینی استفاده گردید. به علت قرارگیری شهرستان نیشابور در مجاورت گسل‌های فعال نیشابور، شمال نیشابور و بینالود، این شهرستان دارای بیشینه شتاب بالایی است، که سبب گردیده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ در پهنه با خطر نسبی زیاد قرار گیرد. با توجه به نقشه‌های استخراج شده، بیشینه شتاب افقی برای ساخت‌گاه اول به ازای دوره بازگشت ۴۷۵ سال که معادل احتمال رخداد ۱۰٪ است، ۰.۲۵g و برای ساخت‌گاه دوم این مقدار تا ۰.۲۶g افزایش یافته است. در شکل‌های ۵ و ۶ نقشه‌های هم‌شتاب محدوده شهری شهرستان نیشابور برای دو نوع ساخت‌گاه ذکر شده نمایش داده شده است.

۷- مراجع

- [1] Cornel, C.A. (1968), "Engineering seismic risk analysis" Bssa, Vol.58, No. 5, 1583-1606
- [2] Berberian M. (1973), "Preliminary Map of Epicenters and Focal Depth Geological Survey of Iran", Historical Earthquakes in Iran, C. 300 B.C. 1900 A.D.J, Earth and Space Physics, Vol.7, 70-117.
- [3] Nowroozi, A. (1985), "Empirical relations between magnitude and fault parameters for earthquakes in Iran", Bull. Seismol. Soc Am, Vol. 75, No.5, pp. 1327-1338.
- [4] Ambraseys NN, Melville CP. (1982), "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press, Cambridge.
- [۵] بربریان، قریشی، ارژنگ روش و مهاجر اشجعی، (۱۳۶۴)، "پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین‌لرزه- گسلش در گسترده قزوین و پیرامون"، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۶۱.
- [6] B.Tavakoli and M.Ghafori-Ashtiany (1999), "Seismic Hazard Assessment of Iran", International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), ANNALI DI GEOFISICA, Vol. 42, No.6, pp. 1013-1021
- [7] Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A., Dana, F. M. (2007), "Response on the Discussion of Attenuation relationships for Iran", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 11, No. 6, 1036, U=1037.
- [۸] خیری، محمد باقر، (۱۳۹۳)، تحلیل خطر لرزه‌ای شهرستان نیشابور، رساله کارشناسی‌ارشد با راهنمایی دکتر حسین بخشی، دانشگاه حکیم سبزواری
- [9] Wells, D.L., Coppersmith, K.J., (1994), "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.84, No.4, pp.974-1002.

- [10] Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., Bommer, J. J., (1996), "Prediction of horizontal response spectra in Europe", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, No. 4, pp.371-400.
- [11] Campbell, K. W., Bozorgnia, Y., (2000), "New empirical models for predicting near-source horizontal, vertical, and V/H response spectra- Implications for design", *Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation*.
- [12] Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A., Dana, F. M., (2007) "Attenuation relationships for Iran", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 469-492
- [13] M.P.O., (2007), "Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Building", Standard No 360, Management and Planning Organization.
- [14] ICSRDB., (1999), "Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings", Standard building and Housing Research Center, Publication BHRC PN S 253.
- [15] Ambraseys NN, Melville CP., (1982), "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press, Cambridge.
- [16] IIEES: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.
- [17] BHRC, (2005), "Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings, standard No. 2800". 3rd Revision, Building & Housing Research Center, Sabzevar, Iran Atluri, S.N. and Shen, S. (2002), "The Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Method", Tech Science Press, USA.
- [18] Ngdir: National Geoscience Database of Iran.
- [19] USGS. U.S Geological Survey.
- [20] IRCOLD., (1994), "Relationship between fault length and maximum expected magnitude", Iranian Committee of Large Dams.
- [21] Gardner, J. K., Knopoff, L., (1974), "Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, With Aftershocks removed Poissonian", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 64, No.5, pp. 1363-1367.
- [22] Gutenberg, B., Richter, C.F., (1954), "Seismicity of the earth and associated phenomena", Princeton University Press.
- [23] Kijko A., (2000), "Statistical estimation of maximum regional earthquake magnitude M_{max} ", *Workshop of Seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping, Poljce, Slovenia, Geogolical Survey*, pp. 1-10.
- [24] Kijko, A., Sellevoll, M. A., (1992), "Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 82, No.1, pp. 120-134.