

## A New Design Spectra for Iranian Code of Practice for Seismic Resistance Design of Buildings (Standard No. 2800) Based on Hazard Analysis and Strong Ground Motion Studies

Hamid Zafarani

Professor, Seismology Research Center  
h.zafarani@iiees.ac.ir

Mehdi Zare, Mohammadreza Soghrat, Hessam Vahidifar

Acceleration at the ground due to seismic vibrations at the time of an earthquake is recorded by accelerometers in the area. The history of development and installation of these stations in the world dates back to the 1930s and in our country to the 1350s. The acceleration response spectrum is the maximum values of the acceleration response of a number of systems of one degree of freedom with a certain damping, with different natural vibration periods that are exposed to the same input vibration. Acceleration response spectrum of a single time-history, which is related to a given earthquake at a specific recording station, has a jagged shape with distinct peaks and valleys.

By averaging a large number of these spectra, which represent the desired ground motion for a specific site but belong to different earthquakes, a spectrum is obtained that is used for design and evaluation and is called the design spectrum. These design spectra do not represent the acceleration response time response of a particular earthquake, but rather represent the general characteristics of the ground motion at the site for a reasonable range of expected earthquakes. The acceleration response spectrum is of great importance in seismic design due to its relationship with the maximum inertial force created by an earthquake. There is no comprehensive research on the need for changing the design bases earthquake in Iran, except for few studies by Zafarani and Dehnamaki (2012) and Zarrineghbal et al. (2021), which show the importance of the issue. For example, Zafarani and Dehnamaki (2012) has developed hazard curves and uniform spectra for three selected sites located in different seismic provinces across the country. Then, the hazard curves are compared with each other and are investigated to see how they change in different probabilities to answer the question of whether considering the risk level of ten percent in fifty years, creates a uniform seismic safety margin across the country.

Unfortunately, so far in Iran, a comprehensive study on the shape of the standard design spectrum based on data recorded on the Iranian plateau has not been done. Here, we perform statistical analysis based on what has been recorded from the Iranian earthquakes until now in order to determine the condition of the existing design spectrum of

## ارائه طیف جدید آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) بر مبنای مطالعات تحلیل خطر و خصوصیات جنبشی نیرومند زمین در ایران

حمید زعفرانی

استاد پژوهشکده زلزله‌شناسی h.zafarani@iiees.ac.ir

مهدی زارع، محمدرضا سقراط، حسام وحیدی‌فر

شتاب در سطح زمین ناشی از ارتعاشات لرزه‌ای در زمان وقوع زلزله، توسط دستگاه‌های شتابنگار موجود در منطقه ثبت می‌گردد. تاریخچه توسعه و نصب این ایستگاه‌ها در سطح جهانی به سال‌های دهه ۱۹۳۰ میلادی و در کشور ما به دهه ۱۳۵۰ شمسی باز می‌گردد. طیف پاسخ شتاب عبارت است از مقادیر بیشینه پاسخ شتاب تعدادی از سیستم‌های یک درجه آزادی با میرایی مشخص، با پیوند ارتعاش طبیعی مختلف که در معرض ارتعاش ورودی مشابه قرار می‌گیرند. طیف پاسخ شتاب برای یک شتابنگار، که مربوط به یک زلزله معین و در یک ایستگاه ثبت‌کننده مشخص می‌باشد دارای شکل دندانه دار با دره‌ها و قله‌های مشخص است. از میانگین‌گیری تعداد زیادی از این دسته طیف‌ها که معرف جنبش زمین برای یک ساختمان مشخص، اما متعلق به زلزله‌های متفاوتی هستند، طیفی حاصل می‌شود که برای طراحی و ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد و با نام طیف طراحی یا طیف طرح معرفی می‌گردد. این طیف‌ها نماینده پاسخ شتاب تاریخچه زمانی مشخص یک زمین‌لرزه منفرد نیستند، بلکه نماینده‌ای از ویژگی‌های عمومی جنبش زمین برای محدوده معقولی از زمین‌لرزه‌های مورد انتظار در ساختمان مورد مطالعه می‌باشد.

طیف پاسخ شتاب به دلیل ارتباط با حداکثر نیروی اینرسی ایجاد شده در اثر زلزله از اهمیت بسزایی در طراحی لرزه‌ای برخوردار می‌باشد. ویرایش‌های اول تا چهارم آیین‌نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، برای سطح خطر ۴۷۵ ساله، طیف طراحی را ارائه نموده است. اگرچه، در آیین‌نامه‌های اخیر دنیا یکی از نکات اصلی حرکت از مقدار شتابهای طرح ۴۷۵ ساله به سطح خطر ۲۴۷۵ سال، برای ایجاد ایمنی یکنواخت در سطح کشورهایی با رژیم‌های لرزه‌خیزی متفاوت است (مانند آیین‌نامه آمریکا از ۱۹۹۷ و کانادا از ۲۰۰۵). هنوز تحقیق جامعی در خصوص ضرورت این موضوع در ایران صورت نگرفته، هرچند تحقیقات اولیه نظیر زعفرانی و دهنمکی (بررسی و ارزیابی سطوح خطر لرزه‌ای برای نواحی با شرایط لرزه‌خیزی متفاوت در ایران، ۱۳۹۱، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان) و زرین‌اقبال و همکاران (۲۰۲۱)، اهمیت این موضوع را نشان داده است. برای مثال، دهنمکی، سه ساختمان در مناطق با لرزه‌خیزی متفاوت ایران انتخاب شده و با انجام مطالعات تحلیل خطر، منحنی خطر و طیف خطر یکنواخت برای هر یک از این ساختمان‌ها تهیه شده است. سپس منحنی‌های خطر با یکدیگر مقایسه شده و چگونگی تغییرات آنها در احتمال‌های مختلف بررسی شده تا بتوان به این سؤال پاسخ داد که آیا در نظر گرفتن سطح خطر ده درصد در پنجاه سال، حاشیه امنیت لرزه‌ای یکنواختی را در سطح کشور ایجاد می‌کند؟

متأسفانه، تاکنون در ایران مطالعه جامعی در خصوص شکل طیف طرح

standard No. 2800 from a statistical point of view. In other words, in this project, it is examined whether the obtained statistical spectrum, based on the recorded time-histories, is in good agreement with the proposed design spectrum of the standard No. 2800, Edition 4. It is worth noting that due to the small number of records with type IV site condition, the results of this study do not have sufficient credibility for this type of soil and is provided for research purposes only until further details became available.

Examining the level of the dimensionless spectrum relative to acceleration for accelerometers recorded in Iran is one of the ways that can determine the adequacy or inefficiency of the existing spectrum.

Given that displacement-based design has been of interest to engineers and on the other hand, the displacement spectrum obtained through the standard 2800 acceleration spectrum is unrealistic in shape and amplitude, therefore, the proper shape of the displacement spectrum has been studied using the available high quality records. Finally, in this project, additional explanations are provided regarding the response spectrum of rotation and how to consider the effects of orientation and vertical spectrum development. According to the new applications of direction conversion coefficients from geometric mean to maximum load for the first time, the ratio of maximum value to geometric mean of the Iranian records has been investigated.

**Keywords:** Acceleration response spectrum, Displacement spectrum, Iranian plateau, Horizontal spectrum, Vertical spectrum

استاندارد بر اساس داده‌های ثبت شده در فلات ایران صورت نگرفته است. بنابراین، نیاز به تحقیق عمیق در این حوزه به همراه استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان وجود دارد. در این پروژه پژوهشی، کار آماری بر اساس آنچه تاکنون از زلزله‌های ایران ثبت شده است (جنبش نیرومند زمین)، صورت خواهد گرفت تا مشخص شود که از دیدگاه آماری، طیف موجود چه شرایطی دارد. به بیان دیگر، در این پروژه بررسی می‌شود که آیا طیف بدست آمده بر اساس رکوردهای ثبت شده، تطابق خوبی با طیف پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ دارد. شایان ذکر است با توجه به تعداد اندک رکوردهای با ساختگاه نوع IV، نتایج این مطالعه برای این نوع خاک دارای اعتبار کافی نیست و تنها برای اهداف تحقیقاتی تا بدست آمدن داده‌های بیشتر، ارائه شده است. بررسی سطح طیف بی‌بعد شده نسبت به شتاب برای شتابنگاشت‌های ثبت شده در ایران، در پریودهای کوتاه و بلند، و مقایسه با طیف فعلی آیین‌نامه ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)، از مواردی است که می‌تواند کفایت یا ناکارایی طیف موجود را مشخص کند.

با توجه به آن‌که طراحی مبتنی بر جابه‌جایی، مورد علاقه مهندسين بوده است و از طرفی طیف جابه‌جایی به‌دست‌آمده از طریق طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰، در شکل و دامنه غیرواقعی است، بنابراین در این تحقیق، شکل مناسب طیف جابه‌جایی با استفاده از رکوردهای باکیفیت مطلوب مورد مطالعه قرار گرفته است. در واقع از ضعف‌های موجود در طیف استاندارد ۲۸۰۰، مقادیر ارائه شده در دوره تناوبهای بلند می‌باشد که استفاده از این نواحی (نواحی حساس به جابه‌جایی) جابه‌جایی طیفی زیادی را ارائه می‌دهد که در طراحی سازه‌های با پریود بلند مانند پلها و یا سازه‌های جداسازی شده مقادیر غیر منطقی را ارائه می‌دهد.

در نهایت در این پروژه، توضیحات تکمیلی در خصوص طیف پاسخ دوران یافته و نحوه در نظرگرفتن اثرات جهت‌پذیری و توسعه طیف قائم ارائه شده است. با توجه به کاربردهای جدید ضرایب تبدیل جهت از میانگین هندسی به بیشینه بارگذاری، برای اولین بار، نسبت مقدار بیشینه به میانگین هندسی رکوردهای ایران بررسی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** طیف پاسخ شتاب، طیف جابه‌جایی، فلات ایران، طیف افقی، طیف قائم