

تعیین فرکانس طبیعی تیرهای فولادی با اتصال گیردار برای کنترل ارتعاش کف با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

محسن گرامی^۱، عباس سیوندی پور^{۲*}، احمد دالوند^۳

۱- استادیار و عضو پژوهشکده فناوری‌های نوین ساختمان، دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی دکترای مهندسی زلزله دانشگاه سمنان

۳- دانشجوی دکترای مهندسی سازه دانشگاه سمنان

abbas.sivandi@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۲۳

چکیده- ارتعاش محسوس تیرهای باربر فولادی در دهانه‌های بزرگ امری ناخوشایند در ساختمان‌هاست. حتی اگر محاسبات مربوط به این تیرها از نظر مقاومت و معیارهای کنترل تغییر شکل طبق آیین‌نامه به‌خوبی صورت گرفته باشد، با این وجود ممکن است هنگام عبور افراد دچار نوساناتی شوند. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان رابطه‌ای برای کنترل ارتعاش تیرهای با اتصال مفصلی در حالت بهره‌برداری ارائه کرده است، اما برای تعیین فرکانس تیرهای با اتصالات گیردار روابطی را بیان نکرده است. از آنجا که این تیرها سهم قابل توجهی از قاب‌های ساختمانی را به خود اختصاص می‌دهند، کنترل ارتعاش آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. روابط ارائه‌شده در تحقیقات سال‌های اخیر برای تعیین فرکانس تیرهای گیردار دارای پیچیدگی‌های زیاد است که استفاده از آن‌ها برای کنترل ارتعاش سقف‌ها مشکل است. در این مقاله، رابطه ارائه‌شده در آیین‌نامه طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی ایران بررسی شده است. همچنین، با استفاده از تحلیل دینامیکی، روش اجزای محدود و شبکه‌های عصبی روابطی برای تعیین فرکانس تیرهای دوسر گیردار و کنسول پیشنهاد شده است. مقایسه فرکانس حاصل از روابط مورد نظر با داده‌های به‌دست آمده از شبکه عصبی با خطای بسیار کم همراه بود که حاکی از دقت بالای روابط معرفی شده است. پیشنهاد می‌شود برای محاسبه فرکانس طبیعی تیرهای کنسول و دوسر گیردار جهت کنترل ارتعاش سقف‌های ساختمانی از روابط معرفی شده در این مقاله استفاده شود.

واژگان کلیدی: اجزای محدود، شبکه عصبی مصنوعی، فرکانس طبیعی، تیر گیردار، تیر کنسول

۱- مقدمه

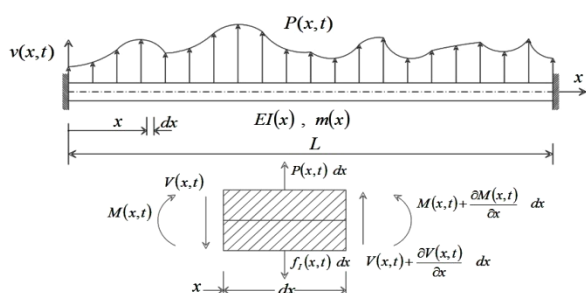
گرفته می‌شود، اما در طراحی سقف به روش حدی سرویس‌دهی، خیز و ارتعاش تیرها محدود می‌شود. چندین دلیل از جمله تغییر تکنیک‌های طراحی، تغییر در بهره‌برداری از کف‌ها و حساسیت دستگاه‌های علمی و آزمایشگاهی به ارتعاش سبب شده است امروزه کنترل

امروزه کنترل و کاهش ارتعاشات سقف ساختمان‌ها به مسئله‌ای مهم در فرآیند طراحی ساختمان تبدیل شده است. سقف‌ها در روش‌های قدیمی فقط برای حالت حدی نهایی طراحی می‌شدند. در این روش، فقط مقاومت تیر در نظر

کنترل ارتعاش در سیستم سقف‌های ساختمانی دشوار است. در این تحقیق، با استفاده از تحلیل دینامیکی، روش اجزای محدود، شبکه‌های عصبی مصنوعی و به‌کارگیری درون‌یابی غیرخطی، روابطی برای تعیین فرکانس تیرهای دوسر گیردار و کنسول جهت کنترل ارتعاش سقف‌های ساختمانی منطبق با ضوابط آیین‌نامه طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی ایران پیشنهاد شده است.

۲- تحلیل دینامیکی برای تعیین فرکانس تیرها

در محاسبه فرکانس طبیعی تیرهای گیردار فولادی، در صورتی که تیر تحت بارگذاری عرضی متغیر نسبت به بعد زمان و مکان قرار داشته باشد، پاسخ تغییر مکانی سازه نسبت به تغییر بعد عمود بر محور طولی تیر در صفحه بارگذاری تابعی از این دو بعد خواهد بود که هر متغیر نسبت به متغیر دیگر مستقل است [۱۲]. برای تعیین فرکانس طبیعی تیرهای گیردار، ابتدا باید معادله حاکم بر ارتعاش این تیرها با شرایط و خصوصیات مختلف با استفاده از تحلیل دینامیکی به‌دست آید. با توجه به معادلات تعادل تیر نشان داده شده در شکل ۱، با فرض کردن اثرات نیروی محوری، معادله کلی ارتعاش به فرم رابطه (۱) خواهد بود.



شکل (۱) تیر تحت اثر بارگذاری دلخواه

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI(x) \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial x^2} \right] - \frac{\partial}{\partial x} \left[N(x) \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} \right] + m(x) \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial t^2} = p(x,t) \quad (1)$$

ارتعاش نسبت به کنترل خیز در طراحی ساختمان‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار باشد [۱-۳]. با توجه به اهمیت کنترل ارتعاش کف‌ها، در تدوین ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌های فولادی مانند آیین‌نامه AISC آمریکا [۴]، آیین‌نامه CSA کانادا [۵] و آیین‌نامه طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی ایران [۶] روابطی برای تعیین فرکانس تیرها جهت کنترل ارتعاش کف ارائه شده است. در آیین‌نامه طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی ایران، رابطه‌ای برای تعیین فرکانس تیرهای ساده معرفی شده است، ولی برای تیرهای با اتصال گیردار هیچ‌گونه رابطه‌ای ارائه نشده است. معرفی رابطه‌ای ساده برای تعیین فرکانس طبیعی تیرهای با اتصال گیردار در تدوین ضوابط بعدی این آیین‌نامه ضروری به‌نظر می‌رسد.

تحقیقات زیادی در زمینه تعیین فرکانس تیرها و کنترل ارتعاش کف‌ها انجام شده است. Sahin و Heins [۷] رابطه‌ای ساده برای تعیین فرکانس طبیعی تیرهای گیردار با مقطع قوطی شکل مورد استفاده در پل‌ها ارائه کردند. عبدالجبار [۸] مطالعاتی را بر روی فرکانس تیرهای کنسولی با مقطع کاهش‌یافته با استفاده از دو روش تعادل هارمونیکی و روش انتقال زمانی صورت داد. بر پایه مطالعات انجام شده توسط یون و همکاران [۹] بر روی فرکانس طبیعی تیرهای منحنی جدار نازک، معادلاتی به منظور محاسبه فرکانس طبیعی این تیرها ارائه شد. دوان [۱۰] مطالعاتی را بر روی تیرهای منحنی شکل با مقطع نامتقارن انجام داد که با توجه به تحلیل‌های اجزای محدود یک فرمول‌بندی برای ارتعاش آزاد این تیرها ارائه شد. نیومارک و ولتساس [۱۱] در تحقیقات خود، یک روش عددی برای تعیین فرکانس طبیعی تیرهای پیوسته ارائه دادند. روابط ارائه شده در تحقیقات اخیر برای تعیین فرکانس تیرها با اتصال گیردار دارای پیچیدگی‌های زیاد است که استفاده از آن‌ها برای

تیرهای فولادی رابطه ۵ را معرفی کرده‌اند.

$$f = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad (5)$$

در این رابطه Δ خیز وسط دهانه تیر و g شتاب ثقل زمین است [۵ و ۵]. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای محاسبه فرکانس تیرهای ساده استفاده از رابطه ۶ را توصیه کرده است.

$$f = 70 \sqrt{\frac{I}{PL^4}} \quad (6)$$

در این رابطه، I ممان اینرسی تیر بر حسب cm^4 ، P بار مرده وارده بر حسب kg/m طول دهانه بر حسب متر و f فرکانس طبیعی مد اول ارتعاش بر حسب هرتز است. مطابق با ضوابط این آیین‌نامه، فرکانس به‌دست آمده از رابطه (۶) باید بیش از ۵ هرتز باشد [۶]. در جدول ۱، مشخصات تعدادی تیر با اتصال مفصلی نشان داده شده که با توجه به ضوابط مبحث دهم طراحی شده‌اند، ولی فرکانس آن‌ها کنترل نشده است.

۴- استفاده از شبکه‌های عصبی در تعیین فرکانس تیرها

شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان با اغماض زیاد مدل‌های الکترونیکی از ساختار عصبی مغز انسان نامید. شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه‌ای از نرون‌ها (اجزای پردازش) و نیز ارتباط‌دهنده بین آن‌ها با وزن‌های قابل تنظیم (وابسته به شرایط حاکم مسئله) است. شبکه عصبی متشکل از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است [۱۴ و ۱۵].

در صورتی که از اثرات نیروی محوری صرف‌نظر شود و ممان اینرسی در طول تیر ثابت در نظر گرفته شود معادله (۱) به معادله (۲) تبدیل می‌شود.

$$\left[EI \frac{\partial^4 v(x,t)}{\partial x^4} \right] + \left[m(x) \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial t^2} \right] = p(x,t) \quad (2)$$

به منظور حل معادله فوق در حالت ارتعاش آزاد، با ثابت در نظر گرفتن جرم و سختی خمشی در طول تیر و استفاده از روش جداسازی متغیرها در حل معادلات مشتقات جزئی، معادله نهایی به صورت معادله ۳ نوشته می‌شود [۱۳].

$$\frac{\phi^{iv}(x)}{\phi(x)} + \frac{m}{EI} \frac{\ddot{Y}(t)}{Y(t)} = 0 \quad (3)$$

در این معادله $\phi(x)$ تابع تغییر مکان بر حسب متغیر طول و $Y(t)$ تابع زمان نوسان ارتعاشاتی است. با فرض شرایط مرزی برای تیرهای گیردار، فرکانس طبیعی مد اول برای این تیر با شرایط دلخواه به صورت رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$f = \beta \sqrt{\frac{I}{PL^4}} \quad (4)$$

در رابطه ۴، I ممان اینرسی تیر، P بار مرده، L طول دهانه، f فرکانس طبیعی مد اول ارتعاش و β ضریب ثابت معرفی شده در این مقاله است که با توجه به شرایط تکیه‌گاهی تیر تعیین می‌شود. با توجه به اینکه مدول الاستیسیته فولاد (E) در پروفیل‌های مورد استفاده در صنعت ساختمان برابر با عدد ثابت $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ است، این مقدار در ضریب β لحاظ شده است.

۳- ضوابط آیین‌نامه‌ای در رابطه با کنترل ارتعاش تیر

آیین‌نامه‌های *AISC* و *CSA* برای تعیین فرکانس طبیعی

جدول (۱) مشخصات تیرهای مفصلی طراحی شده مطابق با ضوابط مبحث دهم

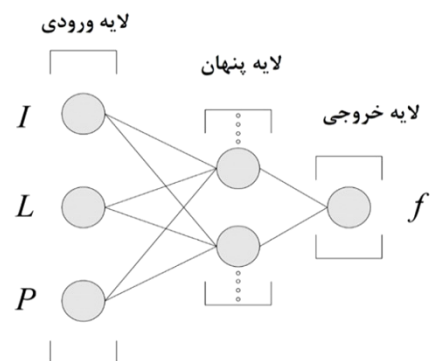
شماره	ارتفاع مقطع (cm)	ممان اینرسی (cm ⁴)	سطح مقطع (cm ²)	طول (m)	بار (kg/m)	فرکانس (Hz)
۱	۱۳	۶۶۸	۲۷	۴	۶۱۰	۶/۴
۲	۱۵	۱۱۶۵	۳۳	۴	۶۱۰	۶
۳	۱۵	۱۱۵۶	۳۳	۳/۴	۷۹۸	۶/۴
۴	۲۰	۲۵۷۳	۳۹	۳/۴	۷۹۸	۸/۶
۵	۲۰	۲۵۷۳	۳۹	۷/۴	۱۱۰۷	۸/۴
۶	۲۰	۳۱۸۶	۵۵	۷/۴	۱۱۰۷	۴/۵
۷	۳۰	۶۰۳۶	۴۸	۸/۵	۱۱۳۷	۸/۴
۸	۳۰	۸۵۵۷	۷۰	۸/۵	۱۱۳۷	۷/۵
۹	۳۳	۱۳۴۲۱	۷۵	۶	۲۱۴۷	۹/۴
۱۰	۳۳	۱۶۴۶۷	۸۹	۶	۲۱۴۷	۴/۵
۱۱	۵۰	۷۵۴۴۳	۲۱۲	۳/۷	۵۳۸۲	۹/۴
۱۲	۵۰	۸۷۶۵۶	۲۵۲	۳/۷	۵۳۸۲	۳/۵
۱۳	۶۰	۱۶۵۶۵۶	۳۱۵	۸	۸۲۰۰	۹/۴
۱۴	۶۰	۲۱۰۰۹۶	۳۷۲	۸	۸۲۰۰	۵/۵

مقادیر ممان اینرسی مقطع (I) و طول تیر (L) و بار گسترده روی تیر (P) به عنوان ورودی شبکه و فرکانس تیر (f) به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شده اند.

۵- استفاده از روش اجزای محدود تیرهای مورد نظر به عنوان داده‌های آموزش شبکه عصبی

برای به دست آوردن داده‌های مورد نیاز برای آموزش و تست شبکه عصبی جهت کنترل و پیش‌بینی مقادیر فرکانس طبیعی تیرهای دوسر گیردار و کنسولی، از نتایج مربوط به آنالیز ۲۰۰ نمونه تیر دو سر گیردار و کنسول به وسیله نرم‌افزار اجزای محدود [۱۶] استفاده شد. تعداد ۲۰۰ تیر مطابق جدول ۲ و ۳ برای تیرهای گیردار و کنسول مورد تحلیل قرار گرفته و فرکانس طبیعی مد اول به دست آمده است. از تیرهای تحلیل شده تعداد ۱۸۰ عدد برای آموزش و ۲۰ عدد برای تست شبکه عصبی انتخاب شد.

شبکه مورد استفاده در این تحقیق از نوع انتشار برگشتی پیشروست که به روش نظارت شده آموزش دیده است. توابع *Log-sigmoid* و *Levenberg-Marquart* به ترتیب به عنوان توابع تحریک و الگوریتم بهینه‌سازی برای تنظیم مناسب وزن‌های شبکه عصبی بکار گرفته شدند. در این تحقیق، از شبکه عصبی با ۲۰ لایه پنهان استفاده شد. تعداد نرون لایه‌های مخفی شبکه عصبی استفاده شده برابر ۷ نرون در نظر گرفته شد. شکل ۲ ساختار شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل (۲) ساختار شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این تحقیق

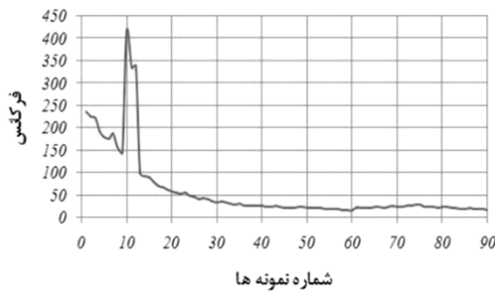
جدول (۲) مشخصات تیرها و فرکانس به دست آمده از اجزای محدود (دوسر گیردار)

شماره نمونه	طول تیر (m)	ممان اینرسی (cm ⁴)	بار روی تیر (Kg/m)	فرکانس مد اول (Hz)	شماره نمونه	طول تیر (m)	ممان اینرسی (cm ⁴)	بار روی تیر (Kg/m)	فرکانس مد اول (Hz)
۱	۱	۲۴۶	۱۰۰	۲۳۱/۸۵	۵۱	۶	۲۷۵۱۲	۱۱۲۰	۲۱/۰۱
۲	۱/۱	۴۲۲	۱۳۰	۲۲۰/۴۴	۵۲	۷/۱	۲۸۵۵۸	۱۱۴۰	۲۰/۱۲
۳	۱/۲	۶۶۸	۱۵۰	۲۱۶/۱۷	۵۳	۷/۲	۲۹۴۵۶	۱۱۶۰	۱۹/۹۳
۴	۱/۳	۸۵۶	۱۸۰	۱۹۱/۰۳	۵۴	۷/۳	۲۹۸۶۲	۱۱۸۰	۱۸/۹۶
۵	۱/۴	۱۱۶۵	۲۰۰	۱۸۲/۴۹	۵۵	۷/۴	۳۰۸۳۰	۱۲۰۰	۱۹/۰۳
۶	۱/۵	۱۵۵۶	۲۲۵	۱۷۳/۰۳	۵۶	۷/۵	۳۰۹۹۶	۱۲۲۵	۱۷/۸۱
۷	۱/۶	۲۵۷۳	۲۵۰	۱۸۵/۴۴	۵۷	۷/۶	۳۱۷۶۵	۱۲۵۰	۱۷/۶۷
۸	۱/۷	۳۸۹۵	۲۸۵	۱۶۳/۲۶	۵۸	۷/۷	۳۱۹۹۸	۱۲۷۵	۱۶/۶۹
۹	۱/۸	۳۱۸۶	۳۰۰	۱۴۸/۰۸	۵۹	۷/۸	۳۱۸۴۸	۱۳۰۰	۱۶/۳۷
۱۰	۱/۹	۳۱۵۶	۳۲۵	۴۰۴/۱۲	۶۰	۷/۸۵	۳۵۶۵۲	۱۳۲۵	۱۶/۵۴
۱۱	۲	۳۱۱۹۶	۳۵۰	۳۳۵/۹۱	۶۱	۷/۹	۳۷۸۳۹	۱۳۵۰	۲۲/۱۴
۱۲	۲/۱	۳۵۴۵۶	۳۷۵	۳۳۶/۴۲	۶۲	۷	۷۰۵۴۴	۱۳۸۰	۲۲/۱
۱۳	۲/۲	۳۸۹۵	۴۰۰	۹۷/۴۸	۶۳	۷/۱	۷۵۴۴۳	۱۴۰۰	۲۱/۸۲
۱۴	۲/۳	۴۹۵۰	۴۲۵	۹۵/۵۰	۶۴	۷/۱۵	۸۵۳۶۹	۱۴۲۵	۲۲/۱۹
۱۵	۲/۴	۵۰۳۵	۴۵۰	۸۷/۶۴	۶۵	۷/۲	۸۷۶۵۶	۱۴۵۰	۲۲/۳۱
۱۶	۲/۵	۵۱۲۳	۴۷۵	۷۷/۷۹	۶۶	۷/۳	۹۶۴۸۲	۱۴۷۵	۲۲/۵۸
۱۷	۲/۶	۵۳۳۶	۵۰۰	۷۲/۲۷	۶۷	۷/۴	۱۰۳۸۹۳	۱۵۰۰	۲۲/۷۹
۱۸	۲/۷	۵۴۰۱	۵۲۵	۶۵/۱۳	۶۸	۷/۵	۱۳۰۵۸	۱۵۲۵	۲۴/۱۲
۱۹	۲/۸	۵۴۷۸	۵۵۰	۶۰/۹۸	۶۹	۷/۶	۱۴۴۸۶۴	۱۵۵۰	۲۴/۸۶
۲۰	۲/۹	۵۷۸۶	۵۷۵	۵۵/۸۴	۷۰	۷/۷	۱۵۶۳۶۸	۱۵۷۵	۲۴/۶۳
۲۱	۳	۶۰۳۶	۶۰۰	۵۳/۸۷	۷۱	۷/۸	۱۶۵۶۵۶	۱۶۰۰	۲۴/۶۵
۲۲	۳/۱	۷۵۹۸	۶۲۵	۵۳/۱۱	۷۲	۷/۸۵	۱۹۲۵۴۸	۱۶۲۵	۲۵/۸۹
۲۳	۳/۲	۸۵۵۷	۶۵۰	۵۳/۷۷	۷۳	۷/۹	۲۱۰۰۹۶	۱۶۵۰	۲۶/۳۹
۲۴	۳/۳	۸۶۳۶	۶۷۵	۴۸/۶۲	۷۴	۸	۲۲۵۳۶۴	۱۶۷۵	۲۶/۹۳
۲۵	۳/۴	۸۷۷۶	۷۰۰	۴۶/۹۷	۷۵	۸/۱	۲۵۳۳۱۲	۱۷۰۰	۲۷/۱۲
۲۶	۳/۵	۹۱۲۲	۷۱۵	۴۳/۱۶	۷۶	۸/۲	۲۵۴۶۹۲	۱۷۲۵	۲۶/۴۹
۲۷	۳/۶	۹۳۱۸	۷۳۰	۴۲/۱۳	۷۷	۸/۳	۲۵۶۸۸۷	۱۷۵۰	۲۵/۸۳
۲۸	۳/۷	۹۵۱۳	۷۴۵	۳۸/۶۴	۷۸	۸/۴۵	۲۸۰۶۹۸	۱۷۷۵	۲۵/۸۱
۲۹	۳/۸	۹۶۹۷	۷۶۰	۳۷/۹۶	۷۹	۸/۶	۳۳۵۰۵۶	۱۸۰۰	۲۶/۷۷
۳۰	۳/۹	۱۰۵۶۶	۷۷۰	۳۶/۰۵	۸۰	۸/۷۵	۳۵۲۵۶۹	۱۸۲۵	۲۷/۲۰
۳۱	۴	۱۱۶۰۶	۷۹۰	۳۶/۴۳	۸۱	۸/۹	۳۹۳۳۴۷	۱۸۵۰	۲۴/۶۲
۳۲	۴/۱	۱۱۶۲۳	۸۱۰	۳۳/۳۶	۸۲	۹/۱۵	۴۱۰۵۶۴	۱۸۷۵	۲۵/۹۰
۳۳	۴/۲	۱۱۶۶۷	۸۴۰	۳۲/۴۸	۸۳	۹/۳	۴۳۲۲۵۰	۱۹۰۰	۲۵/۲۲
۳۴	۴/۳	۱۲۴۵۶	۸۶۵	۳۰/۳۸	۸۴	۹/۴۵	۴۵۳۹۸۱	۱۹۲۵	۲۵/۲۰
۳۵	۴/۴	۱۳۳۴۴	۸۸۰	۳۰/۶۰	۸۵	۹/۶	۴۹۴۶۲۰	۱۹۵۰	۲۴/۸۴
۳۶	۴/۵	۱۳۳۴۱	۹۰۰	۲۸/۱۴	۸۶	۹/۷۵	۵۰۰۴۶۲	۱۹۷۵	۲۴/۵۴
۳۷	۴/۶	۱۳۴۲۱	۹۲۰	۲۷/۷۷	۸۷	۹/۹	۵۰۱۷۱۶	۲۰۰۰	۲۳/۴۱
۳۸	۴/۷	۱۴۸۶۵	۹۳۵	۲۷/۱۵	۸۸	۱۰/۱	۵۲۱۶۴۸	۲۰۲۵	۲۳/۲۹
۳۹	۴/۸	۱۶۴۶۷	۹۵۰	۲۷/۶۳	۸۹	۱۰/۳	۵۵۸۴۴۰	۲۰۵۰	۲۲/۴۳
۴۰	۴/۹	۱۶۵۶۳	۹۶۰	۲۵/۸۸	۹۰	۱۰/۴۵	۵۹۰۶۲۴	۲۰۷۵	۲۲/۶۴
۴۱	۵	۱۶۷۲۹	۹۷۰	۲۵/۲۹	۹۱	۱۰/۶	۶۴۲۰۲۷	۲۱۰۰	۲۲/۴۳
۴۲	۵/۱	۱۷۸۹۶	۹۸۵	۲۴/۵۲	۹۲	۱۰/۸	۶۵۴۶۲۵	۲۱۲۵	۲۲/۰۵
۴۳	۵/۲	۲۰۵۵۱	۱۰۰۰	۲۵/۶۴	۹۳	۱۰/۹	۷۰۰۱۹۲	۲۱۵۰	۲۱/۸۲
۴۴	۵/۳	۲۰۹۸۶	۱۰۱۵	۲۴/۲۲	۹۴	۱۱/۱	۷۱۲۶۹۰	۲۲۰۰	۲۱/۴۱
۴۵	۵/۴	۲۱۳۲۰	۱۰۳۰	۲۳/۶۷	۹۵	۱۱/۳	۷۳۲۴۹۶	۲۳۰۰	۲۰/۲۵
۴۶	۵/۵	۲۳۵۴۶	۱۰۴۵	۲۲/۹۷	۹۶	۱۱/۴	۷۴۳۶۹۴	۲۳۲۵	۲۰/۱۶
۴۷	۵/۶	۲۳۰۱۵	۱۰۶۰	۲۲/۷۲	۹۷	۱۱/۶	۷۹۸۰۰۰	۲۳۵۰	۱۹/۷۸
۴۸	۵/۷	۲۵۶۵۴	۱۰۸۰	۲۳/۴۴	۹۸	۱۱/۸	۸۴۵۶۳۱	۲۴۰۰	۱۹/۷۶
۴۹	۵/۸	۲۷۴۷۰	۱۰۹۰	۲۲/۹۲	۹۹	۱۲/۵	۹۳۱۶۹۱	۲۶۰۰	۱۷/۵۲
۵۰	۵/۹	۲۷۸۵۹	۱۱۰۰	۲۱/۶۳	۱۰۰	۱۲/۸	۹۳۸۷۶۵	۲۶۵۰	۱۷/۰۲

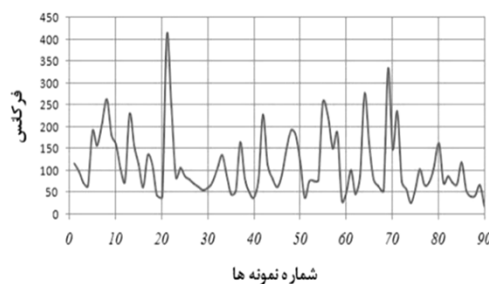
جدول (۳) مشخصات تیرها و فرکانس به دست آمده از اجزای محدود (تیر کنسول)

شماره نمونه	طول تیر (m)	ممان اینرسی (cm ⁴)	بار روی تیر (Kg/m)	فرکانس مد اول (Hz)	شماره نمونه	طول تیر (m)	ممان اینرسی (cm ⁴)	بار روی تیر (Kg/m)	فرکانس مد اول (Hz)
۱	۰/۴	۲۴۶	۴۰۰	۱۱۸/۲۲	۵۱	۱/۷	۱۶۵۶۵۶	۱۲۰۰	۸۹
۲	۰/۴	۲۴۶	۶۰۰	۹۷/۰۸	۵۲	۱/۵	۱۰۳۸۹۳	۳۰۰	۱۵۷/۳۵
۳	۰/۸	۵۴۷۸	۱۵۰۰	۷۱/۳	۵۳	۰/۵	۵۳۳۶	۱۱۰۰	۱۹۸/۴۵
۴	۰/۸	۵۴۷۸	۱۹۰۰	۶۳/۶	۵۴	۰/۶	۵۴۷۸	۶۰۰	۱۹۱/۳۶
۵	۰/۶	۱۳۴۲۱	۱۵۰۰	۱۸۳/۶	۵۵	۰/۶	۵۴۷۸	۱۵۰۰	۱۲۳/۹
۶	۰/۶	۱۳۴۲۱	۲۰۰۰	۱۵۹/۸	۵۶	۱/۶	۳۱۷۶۵	۲۰۰۰	۳۷/۲
۷	۰/۴	۲۵۷۳	۱۳۰۰	۱۹۹/۰۶	۵۷	۱/۸	۲۵۶۸۸۷	۲۰۰۰	۷۷/۹
۸	۰/۵	۳۱۹۶	۴۰۰	۲۵۵	۵۸	۱/۷	۲۵۶۸۸۷	۲۴۰۰	۸۰/۲
۹	۰/۵	۳۱۹۶	۸۰۰	۱۸۴/۴	۵۹	۱/۷	۲۵۶۸۸۷	۲۸۰۰	۷۴/۶
۱۰	۰/۸	۲۱۳۲۰	۱۰۰۰	۱۶۳/۴	۶۰	۰/۴	۶۰۳۶	۱۵۰۰	۲۶۴/۵۲
۱۱	۰/۸	۳۱۸۶	۴۰۰	۱۰۲/۷	۶۱	۰/۴	۶۰۳۶	۲۰۰۰	۲۲۹/۸
۱۲	۰/۸	۳۱۸۶	۸۰۰	۷۴/۵	۶۲	۰/۶	۵۴۷۸	۹۰۰	۱۵۸/۳
۱۳	۰/۶	۱۳۴۲۱	۱۰۰۰	۲۲۲/۸	۶۳	۰/۴	۱۱۶۵	۷۰۰	۱۸۸/۶۵
۱۴	۱	۲۰۵۵۱	۴۰۰	۱۵۷	۶۴	۱/۶	۳۰۸۳۰	۳۰۰۰	۳۰/۱
۱۵	۱	۲۰۵۵۱	۸۰۰	۱۱۵/۶	۶۵	۱/۶	۳۰۸۳۰	۹۵۰	۵۲/۱۱
۱۶	۰/۸	۳۱۸۶	۱۲۰۰	۶۱/۳۲	۶۶	۱/۸	۲۵۶۸۸۷	۱۰۰۰	۱۰۳/۶
۱۷	۰/۸	۲۱۳۲۰	۱۵۰۰	۱۳۴/۶	۶۷	۱/۸	۳۳۰۱۵	۶۰۰	۴۴/۲۵
۱۸	۰/۸	۲۱۳۲۰	۲۰۰۰	۱۱۷/۴۳	۶۸	۰/۴	۲۴۶	۸۰۰	۸۴/۳۱۶
۱۹	۱	۵۰۳۵	۱۵۰۰	۴۴/۳	۶۹	۰/۵	۵۳۳۶	۵۰۰	۲۲۸
۲۰	۱	۵۰۳۵	۲۰۰۰	۳۸/۴۵	۷۰	۰/۴	۱۱۶۵	۹۰۰	۱۶۷/۰۴
۲۱	۰/۴	۲۵۷۳	۳۰۰	۳۹۹/۳۴	۷۱	۲	۲۵۶۸۸۷	۱۰۰۰	۸۴/۶
۲۲	۰/۴	۲۵۷۳	۹۰۰	۲۳۸/۰۲	۷۲	۲	۲۵۶۸۸۷	۲۰۰۰	۶۳/۶۵
۲۳	۱	۲۰۵۵۱	۱۶۰۰	۸۳/۵	۷۳	۲	۲۵۶۸۸۷	۳۰۰۰	۵۳/۲
۲۴	۱	۲۷۴۷۰	۱۲۰۰	۱۰۸/۷	۷۴	۰/۴	۶۰۳۶	۱۰۰۰	۳۲۲
۲۵	۱	۲۷۴۷۰	۲۰۰۰	۸۵/۱۲	۷۵	۰/۵	۳۱۹۶	۱۲۰۰	۱۵۱/۴
۲۶	۱	۲۷۴۷۰	۲۴۰۰	۷۷/۹۲	۷۶	۰/۵	۵۳۳۶	۸۰۰	۲۳۱
۲۷	۱/۲	۲۱۳۲۰	۱۰۰۰	۷۴/۶	۷۷	۱/۷	۱۶۵۶۵۶	۱۹۰۰	۷۳
۲۸	۱/۲	۲۱۳۲۰	۱۵۰۰	۶۱/۸	۷۸	۱/۷	۱۶۵۶۵۶	۳۰۰۰	۵۹/۴
۲۹	۱/۲	۲۱۳۲۰	۲۰۰۰	۵۳/۹	۷۹	۱/۸	۳۳۰۱۵	۲۰۰۰	۲۵/۲۹
۳۰	۱/۲	۲۷۴۷۰	۲۱۰۰	۵۸/۹	۸۰	۱/۶	۳۱۷۶۵	۸۰۰	۵۶/۸
۳۱	۱/۴	۲۳۰۱۵	۶۰۰	۷۲/۴	۸۱	۱/۸	۲۵۶۸۸۷	۱۰۰۰	۱۰۰/۶
۳۲	۰/۸	۲۱۳۲۰	۲۴۰۰	۱۰۷/۶	۸۲	۱/۸	۲۵۶۸۸۷	۳۰۰۰	۶۵
۳۳	۱/۲	۷۵۴۴۳	۱۰۰۰	۱۳۲/۳۲	۸۳	۱/۲	۲۷۴۷۰	۱۴۰۰	۷۱/۶
۳۴	۱/۲	۷۵۴۴۳	۲۴۰۰	۸۹/۲	۸۴	۱/۲	۲۷۴۷۰	۶۰۰	۱۰۶/۱
۳۵	۱/۳	۲۷۴۷۰	۲۴۰۰	۴۷/۳۸	۸۵	۱/۲	۷۵۴۴۳	۶۵۰	۱۵۸/۱۶
۳۶	۱	۵۰۳۵	۱۰۰۰	۵۳/۸۴	۸۶	۱/۴	۸۷۶۵۶	۲۴۰۰	۷۱/۳
۳۷	۱/۴	۱۴۴۸۶۴	۶۰۰	۱۵۹/۸	۸۷	۱/۳	۲۷۴۷۰	۶۰۰	۹۱/۱
۳۸	۰/۸	۵۴۷۸	۱۲۰۰	۷۹/۴	۸۸	۱/۳	۲۷۴۷۰	۹۶۰	۷۳/۴
۳۹	۱/۴	۲۳۰۱۵	۱۵۰۰	۴۷/۵	۸۹	۱/۴	۸۷۶۵۶	۲۸۰۰	۶۶/۳۵
۴۰	۱/۴	۲۳۰۱۵	۲۴۰۰	۳۷/۹	۹۰	۱/۴	۸۷۶۵۶	۸۰۰	۱۱۵
۴۱	۱/۴	۱۴۴۸۶۴	۳۰۰	۸۰/۴	۹۱	۱/۳	۲۷۴۷۰	۲۰۰۰	۵۱/۸
۴۲	۰/۴	۱۱۶۵	۵۰۰	۲۲۱/۶۴	۹۲	۱/۸	۷۵۴۴۳	۳۵۰۰	۴۰
۴۳	۱/۴	۱۴۴۸۶۴	۱۵۰۰	۱۱۰/۵۲	۹۳	۱/۵	۲۷۴۷۰	۱۵۰۰	۴۳/۷
۴۴	۱/۵	۱۰۳۸۹۳	۱۵۰۰	۸۳/۶۵	۹۴	۱	۲۵۶۸۸۷	۲۰۰۰	۶۵/۲
۴۵	۱/۵	۱۰۳۸۹۳	۳۱۰۰	۵۹/۸	۹۵	۱/۶	۵۰۳۵	۱۳۰۰	۱۷/۷
۴۶	۱	۳۱۹۶	۱۶۰۰	۳۰/۹	۹۶	۰/۵	۳۱۹۶	۶۰۰	۲۱۸/۷
۴۷	۱/۲	۱۳۴۲۱	۱۸۰۰	۳۹/۳	۹۷	۰/۶	۲۵۷۳	۸۰۰	۱۱۷/۱
۴۸	۱/۱	۲۰۵۵۱	۲۰۰۰	۵۹/۷	۹۸	۰/۷	۱۱۶۵	۱۰۰۰	۵۱/۹
۴۹	۱/۳	۲۷۴۷۰	۲۲۰۰	۵۰/۵	۹۹	۰/۸	۵۳۳۶	۱۲۰۰	۷۸/۴
۵۰	۱/۵	۱۴۴۸۶۴	۲۵۰۰	۷۹	۱۰۰	۰/۹	۵۴۷۸	۱۴۰۰	۵۸/۴

برای ۹۰ نمونه تیر دوسر گیردار و کنسول نشان داده شده است.



شکل (۵) فرکانس به دست آمده از شبکه عصبی (تیر دوسر گیردار)



شکل (۶) فرکانس به دست آمده از شبکه عصبی (تیر کنسول)

در شکل های ۷ و ۸ مقدار خطای نسبی برای داده های آموزش شبکه عصبی نسبت به نتایج به دست آمده از روش اجزای محدود برای دو حالت تیر نشان داده شده است.

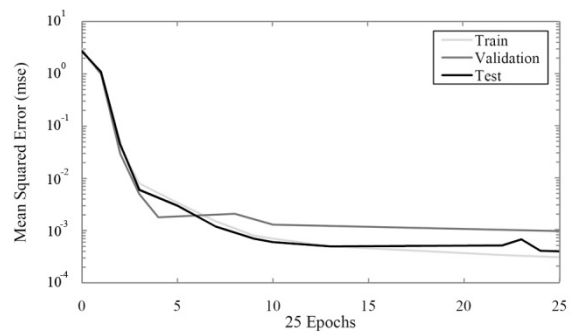
۷- تعیین رابطه فرکانس برای تیرهای با اتصال گیردار

روش های مختلفی به منظور به دست آوردن رابطه ای مشخص از فضای گسسته داده ها وجود دارد که از مهم ترین این روش ها رگرسیون غیرخطی است. این رگرسیون مدل های متنوعی دارا می باشد که می توان به مدل های درجه ۲ و بالاتر، چند جمله ای نمایی و توانی اشاره کرد. با توجه به فرم کلی تعیین شده توسط تحلیل دینامیکی در رابطه (۴) و همچنین رابطه معرفی شده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در این مقاله از مدل رگرسیون غیرخطی توانی مطابق با رابطه (۷) استفاده شده است [۱۸].

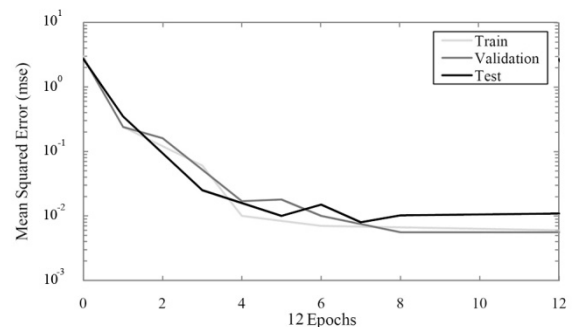
برای مدل سازی تیرها از المان دوبعدی Beam3 که یک المان دوگره ای با سه درجه آزادی در هر گره است استفاده شد.

۶- پیش بینی مقدار فرکانس طبیعی تیر دوسر گیردار و کنسول توسط شبکه عصبی

با استفاده از شبکه عصبی با N لایه (استفاده از $N-1$ لایه پنهان) می توان هر رابطه غیرخطی را با دقت مطلوب مدل سازی کرد [۱۷]. با توجه به وابستگی خروجی شبکه عصبی به چگونگی انتخاب داده های آموزش، در این مقاله از دو نوع متفاوت داده های تست و آموزش بهره گرفته شده است. مقادیر میانگین مربعات خطا در شبکه عصبی برای نمونه های تیر دوسر گیردار و کنسول به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

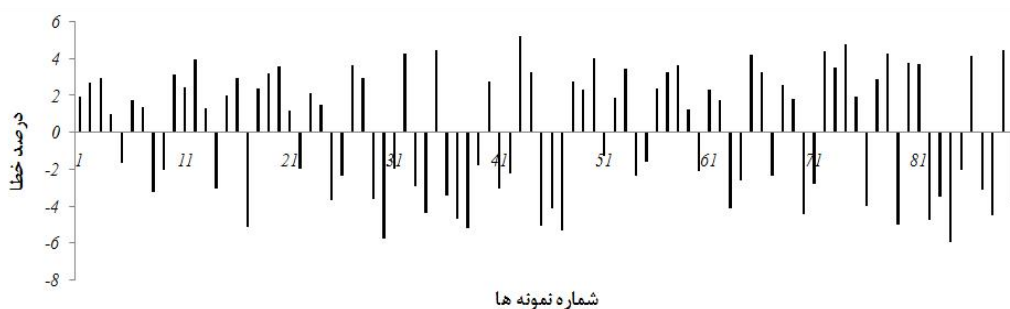


شکل (۳) عملکرد شبکه عصبی برای تیر دوسر گیردار



شکل (۴) عملکرد شبکه عصبی برای تیر کنسول

در شکل های ۵ و ۶ مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی



شکل (۷) درصد خطای مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با مقادیر به‌دست آمده از اجزای محدود (تیر دوسر گیردار)



شکل (۸) درصد خطای مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با مقادیر به‌دست آمده از اجزای محدود (تیر کنسول)

اجزای محدود و مقدار تخمین زده شده است.

با محاسبات انجام‌شده، معادله فرکانس تیر فولادی با توجه به رگرسیون غیرخطی به صورت رابطه (۱۰) برای تیر دوسر گیردار و برای تیر کنسول به صورت رابطه (۱۱) خواهد بود.

$$f = 145 \sqrt{\frac{I}{PL^4}} \quad (10)$$

$$f = 23 \sqrt{\frac{I}{PL^4}} \quad (11)$$

در روابط فوق، پارامترهای موجود مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان است به طوری که I ممان اینرسی تیر بر حسب cm^4 ، P بار مرده وارده بر حسب kg/m ، طول دهانه بر حسب متر و f فرکانس طبیعی مد اول ارتعاش بر حسب هرتز است. رابطه ارائه‌شده برای محاسبه فرکانس تیر گیردار ۲/۰۷ و تیر کنسول ۰/۳۳ برابر رابطه ارائه‌شده در

$$\text{Log}(f_1) = A_1 \text{Log}(I_1) + A_2 \text{Log}(L_1) + A_3 \text{Log}(P_1) \quad (7)$$

در رابطه (۷)، A_i ضرایب ثابت و I_i ممان اینرسی مقطع تیر، L_i طول دهانه و P_i بارگذاری یکنواخت روی تیر است. با حصول ضرایب، متغیرهای مستقل در معادله (۷) به معادله (۸) صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$f_1 = (I_1)^{A_1} (L_1)^{A_2} (P_1)^{A_3} \quad (8)$$

به منظور مقایسه دقت پیش‌بینی رگرسیون، از معیار مقادیر میانگین مربعات خطا استفاده شد که در رابطه ۹ نشان داده شده است.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (f_{FEM} - f_{est})^2 \quad (9)$$

در رابطه (۹)، n تعداد داده‌های تخمین زده شده با روش رگرسیون، f_{FEM} مقدار فرکانس به‌دست آمده از

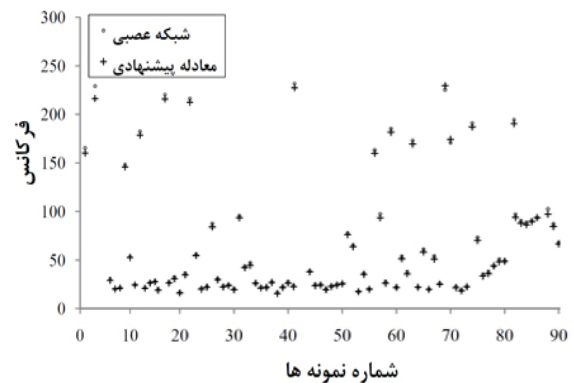
۸- نتیجه

از آنجایی که در آیین نامه مذکور رابطه‌ای برای تعیین و کنترل فرکانس تیرهای با اتصالات گیردار ارائه نشده است، در این مقاله، با استفاده از تحلیل دینامیکی، روش اجزای محدود و همچنین شبکه‌های عصبی مصنوعی روابطی برای تیرهای دوسر گیردار و کنسول پیشنهاد گردید. رابطه ارائه شده برای محاسبه فرکانس تیر گیردار $2/07$ و تیر کنسول $0/33$ برابر رابطه ارائه شده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای محاسبه فرکانس یک تیر ساده با مشخصات و شرایط یکسان است. مقایسه فرکانس حاصل از روابط مورد نظر با داده‌های به دست آمده از شبکه عصبی با خطای بسیار کم همراه بود که حاکی از دقت بالای روابط معرفی شده است. بنابراین، پیشنهاد می شود برای محاسبه فرکانس طبیعی تیرهای کنسول و دوسر گیردار جهت کنترل ارتعاش سقف‌های ساختمانی از روابط به دست آمده در این مقاله استفاده شود.

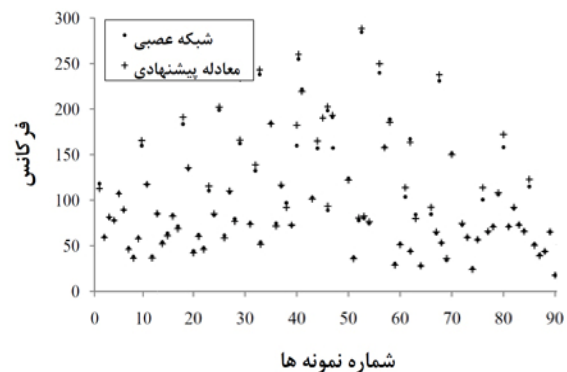
۹- مراجع

- [1] C.J. Middleton, J.M.W. Brownjohn. "Response of high frequency floors: A literature review". *Engineering Structures* 32 (2010) 337_352.
- [2] C. T. Nguyen, J. Moon, V. NamLe, H. Lee. "Natural frequency for torsional vibration of simply supported steel I-girders with intermediate bracings", *Journal of Thin-Walled Structures* 49 (2011) 534-542.
- [3] Farzad Naeim. "Design practice to prevent floor vibrations". *Structural Steel Educational Council*. 1991.
- [4] Murray TM, Allen DE, Ungar EE. Floor vibrations due to human activity. AISI American Institute of Steel Construction. 1997.
- [5] Canadian Standards Association, Guide for floor vibrations. CSA Standard CAN 3-S16.1-89. Steel structures for buildings-limit state design.

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای محاسبه فرکانس یک تیر ساده با مشخصات و شرایط یکسان است. به منظور کنترل روابط ارائه شده، فرکانس ۹۰ تیر دوسر گیردار و کنسول با طول، ممان اینرسی و بارگذاری مختلف توسط شبکه عصبی تعیین شده و سپس با استفاده از روابط ارائه شده فرکانس مد اول آن‌ها نیز محاسبه شده است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ اختلاف مقادیر به دست آمده از شبکه عصبی و روابط پیشنهادی نشان داده شده است. مطابق با شکل‌های ۹ و ۱۰ حداکثر اختلاف مقادیر محاسبه شده برای تیر گیردار $6/5$ و تیر کنسول $7/6$ درصد است. مقادیر کم خطا بیانگر این مطلب است که رابطه تعیین شده برای تیرهای مورد نظر از دقت بالایی برخوردار است.



شکل (۹) مقادیر به دست آمده از شبکه عصبی و رابطه ۱۰ (تیر دوسر گیردار)



شکل (۱۰) مقادیر به دست آمده از شبکه عصبی و رابطه ۱۱ (تیر کنسول)

- [12] J. Przybylski, "Non-linear vibrations of a beam with a pair of piezoceramic actuators", *Journal of Engineering Structures*; 2009. 1989.
- [13] R.W. Clough and J. Penzien, "Dynamics of structures", *McGraw-Hill*; 1975 .
- [14] V.P. Singh, S. Chakraverty, R.K. Sharma, G.K. Sharma. "Modeling vibration frequencies of annular plates by regression based neural network". *Applied Soft Computing* 9 (2009) 439-447.
- [15] Alok Madan. "Vibration control of building structures using self-organizing and self-learning neural networks". *Journal of Sound and Vibration* 287 (2005) 759-784.
- [16] ANSYS. User's Manual. Version 10.0. Houston: Swanson Analysis Systems Inc. 2006.
- [17] H.M. Gomesa and A.M. Awruch, "Comparison of response surface and neural network with other methods for structural reliability analysis", *Struct Saf*; 2004.
- [18] MATLAB R2009a, Users Manual, The Math Works, Inc., 2009.
- [6] مقررات ملی ساختمان مبحث دهم (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی)، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۷.
- [7] Heins CP, Sahin MA. "Natural frequency of curved box girder bridges". *Journal of Structural Engineering, ASCE* 105 (1979); 2591-600.
- [8] M.S. Abdel-Jaber. "Nonlinear natural frequencies of an elastically restrained tapered beam". *Journal of Sound and Vibration* 313 (2008) 772-783.
- [9] K.Y. Yoon, N.H. Park, Y.J. Choi, Y.J. Kang. "Natural frequencies of thin-walled curved beams". *Journal of Finite Elements in Analysis and Design* 42 (2006) 1176-1186.
- [10] Haijuan Duan. "Nonlinear free vibration analysis of asymmetric thin-walled circularly curved beams with open cross section". *Journal of Thin-Walled Structures* 46 (2008) 1107-1112.
- [11] Veletsos AS, Newmark NM. Natural frequencies of continuous flexural members". *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 112 (1957) 249-278.

«Research Note»

Determination of the Natural Frequency of the Moment Connections Steel Beams for Controlling Vibration of Floors by Artificial Neural Networks

M. Gerami¹, A. Sivandi Pour^{2*}, A. Dalvand³

1- Associate Prof. of Research Institute of New Technologies of Building, Semnan University, Semnan, Iran

2- Ph.D Student of Earthquake Engineering of Semnan University, Semnan, Iran

3- Ph.D Student of Structural Engineering of Semnan University, Semnan, Iran

abbas.sivandi@gmail.com

Abstract:

Sensible vibration of steel beams in long spans is undesirable issue in the buildings. These beams may be vibrated during people passage, although the strength calculations of these beams to be performed, accurately and drift control index based on buildings codes to be considered. Frequency of beams is an essential property required for doing dynamic analysis and vibration control of floors. Extra vibration makes the residents worried and creates the fear of structural damage although such fear is usually unwarranted because of the small displacements and stresses which are actually produced. Nevertheless, perceptible vibration is usually considered to be undesirable because it affects people's sense of well-being and their ability in carrying out tasks. Floors were traditionally designed to an Ultimate Limit State (ULS) in which designing for strength governed size of beams and thickness of deck. The concept of Serviceability Limit State (SLS) is to limit the maximum deflection of the floor and it is not set for avoiding the damage and collapse of structural members but for keeping away from the cracking of finishes. Instead of deflection, vibration serviceability has become a major concern in designing buildings for several reasons, such as changing the construction techniques, changing the occupancy of floors, sensitivity of some medical, scientific and micro-manufacturing equipment to vibration. Design guides from the American Institute of Steel Construction (AISC), Canadian Standards Association (CSA) and Iranian Design Code of Steel Buildings all offer methods of predicting and controlling natural frequency. These codes assert that the connected beams to large areas without beam partitions should be controlled based on shaking and vibration of kinetic loads (walking, elevator movement, etc). Iranian Steel Buildings Code has offered a formula for controlling of vibration of beams in building frames with pin connections in serviceability phase. However, this code has not presented criteria for beams include fixed connections. Since these beams have the considerable portion of building frames, their vibration control needs special attentions. The presented equations for determination of beams frequency are complicated and have been not used for control of buildings floor vibration. In this paper, the mentioned formula in forenamed codes has been discussed. The dynamic analysis, finite element method (FEM) and artificial neural networks (ANN) techniques have been adopted to constitute the frequency equations of the fix ends and cantilever steel beams. Comparison of resulted frequency from presented equations and ANN showed that the error is low. Furthermore, it is suggested that use proposed equations for determination of frequency of moment connection beams.

Keywords: Finite Elements, Artificial Neural Networks, Natural Frequency, Fixed Beam, Cantilever Beam