



شناسایی مشخصه‌های جرمی جسم صلب با استفاده از آنالیز مودال

نوید علیجانی^۱، وحید فخاری^{۲*}

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، navid.a8@gmail.com

^۲ عضو هیات علمی، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، v_fakhari@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۵ بهمن ۱۴۰۰

پذیرش: ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

آنالیز مودال

شناسایی مشخصه‌های جرمی

روش خط جرم

چکیده

در انجام تحلیل‌های ارتعاشی موتور خودرو بر روی دسته‌موتورها، دانستن مشخصه‌های جرمی موتور شامل جرم، موقعیت مرکز جرم و ممان‌های اینرسی جرمی ضروری است. از آنجا که موتور خودرو دارای شکل هندسی نسبتاً پیچیده‌ای بوده و از اجزای مختلف با چگالی‌های متفاوتی تشکیل شده است، تعیین مشخصه‌های جرمی آن، با چالش‌های بسیاری مواجه است. به منظور تعیین مشخصه‌های جرمی موتور خودرو روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از متداول‌ترین آنها استفاده از آنالیز مودال (روش خط جرم) است. در این مقاله، ابتدا روش خط جرم برای یافتن مشخصه‌های جرمی اجسام صلب ارائه می‌شود. به منظور بررسی کارایی و دقت روش مذکور، مدل‌سازی دینامیکی یک جسم صلب با مشخصه‌های جرمی معلوم در نرم‌افزار آدامز صورت می‌گیرد. به این ترتیب که مطابق تئوری خط جرم، جسم صلب از فنربندی نرم آویزان گشته و در نقاط مختلف به آن نیرو وارد می‌شود. سپس، با انجام شبیه‌سازی‌های آدامز، مقادیر شتاب‌های متناظر در نقاط متعددی استخراج می‌شوند. در ادامه، کدنویسی روش خط جرم در نرم‌افزار متلب انجام شده و نیروهای اعمالی و شتاب‌های به‌دست‌آمده از آدامز در حوزه زمان، به عنوان ورودی به کد متلب وارد شده و با اجرای کد متلب، مشخصه‌های جرمی جسم صلب محاسبه می‌شوند. در نهایت، مقادیر مشخصه‌های جرمی به‌دست‌آمده از کد متلب با مقادیر واقعی جسم صلب شبیه‌سازی‌شده در آدامز مقایسه شده و دقت روش خط جرم در یافتن مشخصه‌های جرمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

تعداد و محل مناسب نقاط تحریک و اندازه‌گیری را برای جسم صلب مورد نظر به‌دست آورد.

در این مقاله، با انجام شبیه‌سازی‌های آدامز، کد توسعه داده‌شده در متلب برای روش خط‌جرم صحه‌گذاری می‌شود. در ادامه از این کد، می‌توان برای تعیین تعداد و محل مناسب نقاط تحریک و اندازه‌گیری، قبل از انجام آزمون‌های تجربی استفاده نمود.

۲- تئوری خط جرم

تئوری خط جرم، از شیوه‌های آنالیز مودال خطی است و بر انتقال شتاب‌ها به یک مختصات مرجع دلخواه استوار است که نقاط تحریک و اندازه‌گیری نسبت به آن سنجیده می‌شوند. با استفاده از روابط خطی‌سازی‌شده شتاب نسبی می‌توان به رابطه‌ای برای تبدیل شتاب اندازه‌گیری‌شده توسط سنسور به شتاب نقطه مرجع دست یافت [۶].

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_T/F \\ \ddot{y}_T/F \\ \ddot{z}_T/F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_T & -y_T \\ 0 & 1 & 0 & -z_T & 0 & x_T \\ 0 & 0 & 1 & y_T & -x_T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_0/F \\ \ddot{y}_0/F \\ \ddot{z}_0/F \\ \dot{\omega}_x/F \\ \dot{\omega}_y/F \\ \dot{\omega}_z/F \end{bmatrix} \quad (1)$$

برای حل معادله فوق، معادله را به صورت زیر بازنویسی می‌شود و از ماتریس معکوس سودو استفاده می‌شود [۶].

$$\ddot{x}_T = G_{m0} \ddot{x}_0 \quad (2)$$

که G_{m0} در واقع ماتریس تبدیل می‌باشد. در این روش ماتریس معکوس سودوی G_{m0}^+ با G_{m0} نشان داده می‌شود که به شکل زیر محاسبه می‌شود [۶]:

$$G_{m0}^+ = (G_{m0}^T G_{m0})^{-1} G_{m0}^T \quad (3)$$

$$\ddot{x}_0 = G_{m0}^+ \ddot{x}_T \quad (4)$$

با استفاده از معادلات دینامیکی خطی‌سازی‌شده و شتاب‌های محاسبه‌شده در قسمت قبل، مشخصه‌های جرمی را به‌دست می‌آید [۶].

$$\begin{bmatrix} F_x - M\ddot{x}_0 \\ F_y - M\ddot{y}_0 \\ F_z - M\ddot{z}_0 \\ y_E F_z - z_E F_y \\ z_E F_x - x_E F_z \\ x_E F_y - y_E F_x \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} x_G \\ y_G \\ z_G \\ I_{xx} \\ I_{yy} \\ I_{zz} \\ I_{xy} \\ I_{yz} \\ I_{xz} \end{bmatrix} \quad (5)$$

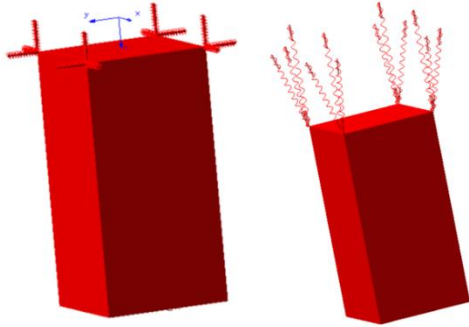
$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & -M\dot{\omega}_z & M\dot{\omega}_y & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ M\dot{\omega}_z & 0 & -M\dot{\omega}_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M\dot{\omega}_y & M\dot{\omega}_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & F_z & -F_y & \dot{\omega}_x & 0 & 0 & -\dot{\omega}_y & 0 & -\dot{\omega}_z \\ -F_z & 0 & F_x & 0 & \dot{\omega}_y & 0 & -\dot{\omega}_x & -\dot{\omega}_z & 0 \\ F_y & -F_x & 0 & 0 & 0 & \dot{\omega}_z & 0 & -\dot{\omega}_y & -\dot{\omega}_x \end{bmatrix} \quad (6)$$

به‌دست‌آوردن مشخصه‌های جرمی امری پرکاربرد در صنعت می‌باشد. مختصات مراکز جرم و همچنین ممان‌های اینرسی در تحلیل‌های مختلف دینامیکی جسم صلب مورد نیاز هستند. در صورتی که هندسه اجزای مکانیکی مورد بحث پیچیده نباشد و نقشه سه‌بعدی و جنس آن در دسترس باشد می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند سالیدورکس و کتیا مشخصه‌های جرمی را با دقت نسبتاً خوبی به‌دست آورد. اما در مواردی که نقشه سه‌بعدی در دسترس نباشد و ساختار جسم پیچیده باشد باید از روش‌های آنالیز مودال استفاده نمود. به طور کلی با کمک این روش‌ها می‌توان مشخصه‌های جرمی جسم صلب را با شیوه‌هایی در هر دو حوزه زمان و فرکانس به‌دست آورد [۱]. روش‌هایی مانند روش سنتی پاندول و روش‌های بر پایه ارتعاشات جسم نمونه‌هایی از روش‌های حوزه زمان، و روش‌های مدل مودال، شناسایی مستقیم پارامترهای فیزیکی و خط جرم، نمونه‌هایی از روش‌های حوزه فرکانس هستند. در این مقاله از روش خط جرم برای یافتن مشخصه‌های جرمی استفاده شده است. روش خط جرم خود به دو طریق تکراری و مستقیم قابل اجرا می‌باشد. روش‌های تکراری توسط اوکوبو [۲]، وی و ریس [۳] و اوکوزومی [۴] مورد بررسی قرار گرفته که مورد بحث این مقاله نمی‌باشد. روش‌های مستقیم توسط برتل و کانتی [۵]، فرگولنت و همکاران [۶، ۷]، لی [۸] و آلمیدا و اورگیرا [۹، ۱۰] توسعه یافته‌اند.

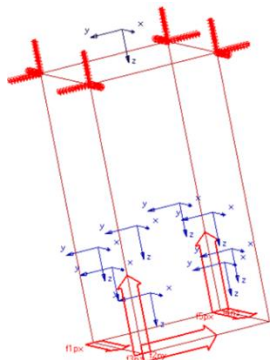
دو روش برای به‌دست‌آوردن مشخصه‌ها توسط برتل و کانتی [۵] معرفی شده است؛ اولی با کمک از تعریف خط جرم در تابع پاسخ فرکانسی رسم‌شده جسم موردنظر، و دومی با استفاده از مودهای جسم صلب. که البته اولین روش به مشخص‌بودن جرم جسم نیاز دارد. دو روش دیگر توسط فرگولنت و سستیری [۶، ۷] مورد بحث قرار گرفته است، که یکی از آنها مشابه روش نخست برتل و کنتی و با استفاده از خط جرم عمل می‌کند اما به جرم نیازی ندارد. تئوری خط جرم توسط اورگیرا [۱۱] مورد بحث قرار گرفته و بدون نیاز به دانستن جرم و با استفاده از خط جرم معادلاتی برای استخراج مشخصه‌ها معرفی شده است. چندین مقاله نیز با موضوع مقایسه روش‌های فوق منتشر شده است که می‌توان به مقالات آلمیدا و اورگیرا [۱۲] و توئیولا [۱۳] اشاره کرد.

با توجه به مرور پژوهش‌های پیشین ملاحظه می‌شود که به منظور تعیین تعداد و محل مناسب نقاط تحریک و اندازه‌گیری در روش خط جرم، از آزمون‌های تجربی استفاده شده است. از آنجا که تکرار آزمون‌های تجربی مستلزم صرف زمان و هزینه است، در این مقاله از شبیه‌سازی جسم صلب در نرم‌افزار آدامز به عنوان جایگزین آزمون تجربی استفاده می‌شود. به این ترتیب، بدون انجام آزمون‌های تجربی و با صرف زمان و هزینه کمتر می‌توان تعداد و محل نقاط تحریک و اندازه‌گیری را تغییر داد و مقادیر مشخصه‌های جرمی را بر اساس روش خط‌جرم (کد توسعه داده‌شده در متلب) تعیین نموده و در نهایت،

جسم شبیه‌سازی شده در ابتدا رها می‌شود تا تنها با وارد شدن نیروی وزن، به تعادل استاتیکی برسد که در شکل ۱ مشخص می‌باشد. هنگامی که جابه‌جایی مرکز جرم حدوداً به صفر رسید، نیروی اول وارد می‌شود و در انتها شتاب‌ها اندازه‌گیری می‌شود. محل نقاط تحریک و اندازه‌گیری شتاب در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین مختصات این نقاط در جدول ۲ مشخص می‌باشد.



شکل ۱: جسم صلب شبیه‌سازی شده قبل از رها شدن و پس از رسیدن به تعادل استاتیکی



شکل ۲: نمایش نقاط وارد شدن نیرو (فلش‌های قرمز رنگ) و نقاط اندازه‌گیری شتاب (مختصات آبی رنگ)

جدول ۲: مختصات نقاط تحریک و نقاط اندازه‌گیری نسبت به مختصات مرجع

ردیف	نوع مشخصه	مقدار مشخصه x (میلی‌متر)	مقدار مشخصه y (میلی‌متر)	مقدار مشخصه z (میلی‌متر)
۱	مختصات نیروی اول	۴۵۰	۱۰۰	-۱۰۰
۲	مختصات نیروی دوم	۴۵۰	۱۰۰	۱۰۰
۳	مختصات نیروی سوم	۴۵۰	۱۰۰	۱۰۰
۴	مختصات نیروی چهارم	۴۵۰	-۱۰۰	-۱۰۰
۵	مختصات نیروی پنجم	۴۵۰	-۱۰۰	-۱۰۰
۶	مختصات شتاب اول	۲۵۰	۰	۱۰۰
۷	مختصات شتاب دوم	۳۵۰	-۵۰	۱۰۰
۸	مختصات شتاب سوم	۴۰۰	۰	-۱۰۰
۹	مختصات شتاب چهارم	۲۵۰	-۱۰۰	۰
۱۰	مختصات شتاب پنجم	۳۰۰	۱۰۰	-۵۰
۱۱	مختصات شتاب ششم	۳۰۰	۱۰۰	۰
۱۲	مختصات شتاب هفتم	۲۵۰	۵۰	-۱۰۰
۱۳	مختصات شتاب هشتم	۳۰۰	۰	-۱۰۰

سه معادله اول مستقل از سه معادله بعدی هستند. با جداسازی این معادلات و انتقال جرم به سمت دیگر معادله مشخص می‌شود [۶]:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_0 & 0 & -\dot{\omega}_z & \dot{\omega}_y \\ \ddot{y}_0 & \dot{\omega}_z & 0 & -\dot{\omega}_x \\ \ddot{z}_0 & -\dot{\omega}_y & \dot{\omega}_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ Mx_G \\ My_G \\ Mz_G \end{bmatrix} \quad (7)$$

که با استفاده دوباره از ماتریس معکوس سودو قابل حل می‌باشد. به این طریق مختصات مرکز جرم به دست می‌آید و می‌توان سه معادله بعدی را بررسی کرد [۶].

$$\begin{bmatrix} y_E F_z - z_E F_y - y_G F_z + z_G F_y \\ z_E F_x - x_E F_z + x_G F_z - z_G F_x \\ x_E F_y - y_E F_x - x_G F_y + y_G F_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx} \\ I_{yy} \\ I_{zz} \\ I_{xy} \\ I_{yz} \\ I_{xz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_x & 0 & 0 & -\dot{\omega}_y & 0 & -\dot{\omega}_z \\ 0 & \dot{\omega}_y & 0 & -\dot{\omega}_x & -\dot{\omega}_z & 0 \\ 0 & 0 & \dot{\omega}_z & 0 & -\dot{\omega}_y & -\dot{\omega}_x \end{bmatrix} \quad (8)$$

با جایگذاری مختصات مرکز جرم از حل معادله (۷) و استفاده از ماتریس معکوس سودو برای حل معادله ۸، ممان‌های اینرسی نیز مشخص می‌شوند. معادلات ۱، ۷ و ۸ برای تعداد نیروها و شتاب‌های بیشتر قابل تعمیم می‌باشند.

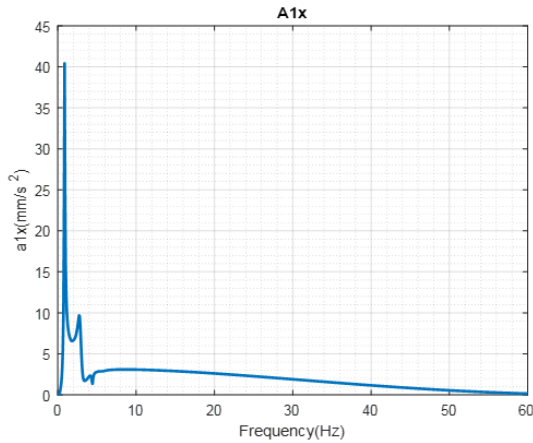
در انتهای این بخش خلاصه‌ای از مراحل پیاده‌سازی روش خط جرم در این مقاله ذکر می‌شود. در شبیه‌سازی، ابتدا جسم صلب از فریبندی نرم آویزان می‌شود و پس از رسیدن به تعادل استاتیکی، با چکش تحریک به آن نیرو وارد می‌شود و شتاب‌ها در نقاط مختلف اندازه‌گیری می‌شوند. این روند برای ضربه‌های دیگری نیز تکرار می‌شود. سپس تمام داده‌های حوزه زمان به داده‌های حوزه فرکانس تبدیل می‌شوند و توابع پاسخ فرکانسی به دست آمده ترسیم می‌شوند و به این صورت خط جرم، در فاصله آخرین مود صلب و اولین مود الاستیک قابل تشخیص است. در انتها کافی است مقادیر شتاب و نیروی حوزه فرکانس را در فرکانسی از بازه خط جرم، با در نظر گرفتن علامت بخش حقیقی [۱۴] در معادلات ۱، ۷ و ۸ که کد نویسی شده‌اند، جایگذاری کنیم تا مشخصه‌های جرمی به دست آیند.

۳- شبیه‌سازی در نرم‌افزار آدامز، کدنویسی متلب و بررسی نتایج

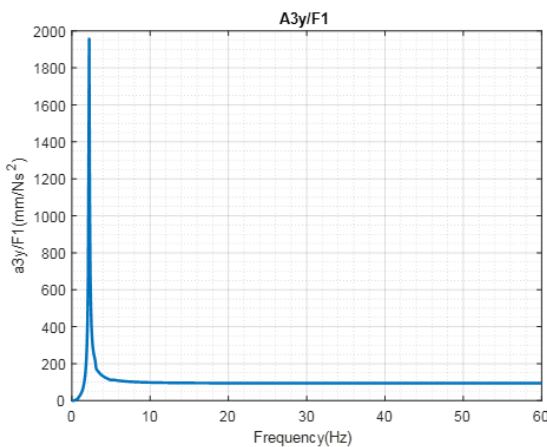
برای بررسی تئوری خط جرم، از شبیه‌سازی جسم صلب در نرم‌افزار آدامز استفاده می‌کنیم. جدول ۱ مشخصات جسم شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات جسم صلب

ردیف	نوع مشخصه	مقدار مشخصه (واحد)
۱	جرم	۱۶ (کیلوگرم)
۲	ابعاد	۴۰۰×۲۰۰×۲۰۰ (میلی‌متر)
۳	ثابت فنر	۱۰۰ (نیوتن بر متر)

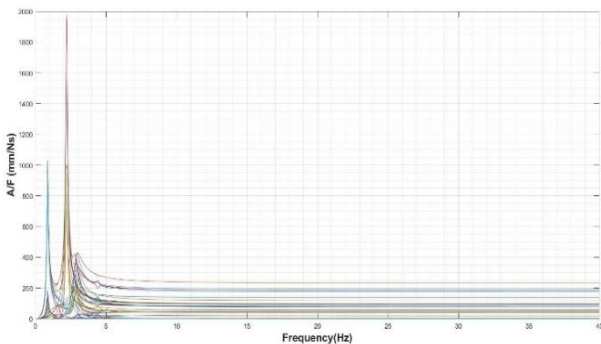


شکل ۶: منحنی شتاب در حوزه فرکانس پس از استفاده از تبدیل فوریه



شکل ۷: نمایش یک نمونه نمودار تابع پاسخ فرکانسی (FRF)

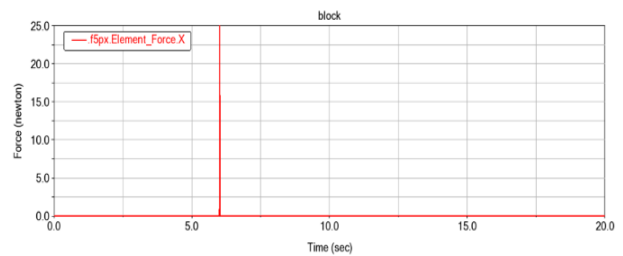
شبیه‌سازی انجام‌شده با پنج نیرو و هشت نقطه اندازه‌گیری شتاب به‌ازای هر نیرو صورت گرفته است. با توجه به این که شتاب‌ها در سه جهت اندازه‌گیری می‌شوند، در نهایت ۱۲۰ سری داده و به‌عبارت دیگر ۱۲۰ تابع پاسخ فرکانسی وجود خواهد داشت. با ترسیم منحنی این توابع در شکل ۸، می‌توان خط جرم را پس از آخرین مود صلب مشخص نمود.



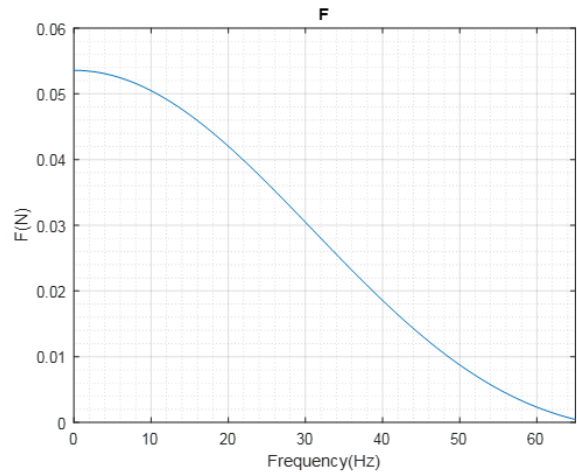
شکل ۸: منحنی‌های تابع پاسخ فرکانسی ترسیم‌شده برای پنج ضربه و هشت نقطه اندازه‌گیری (۱۲۰ منحنی)

لازم به ذکر است که نیروی تحریک مورد استفاده در شبیه‌سازی آدامز مطابق با داده‌های به‌دست‌آمده آزمون‌های تجربی با چکش مودال در نظر گرفته شده است که نمودار حوزه زمان آن در شکل ۳ نمایش داده شده است. پس از اعمال تبدیل فوریه، نمودار مربوطه در حوزه فرکانس نیز مطابق شکل ۴ خواهد بود.

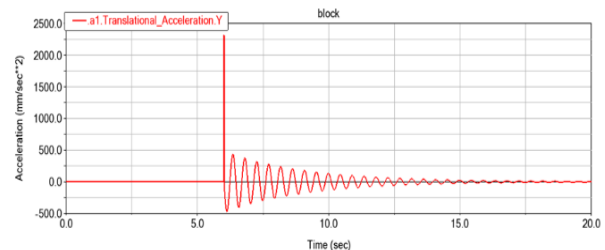
پس از استخراج شتاب‌ها، با استفاده از تبدیل فوریه سریع در نرم‌افزار متلب، داده‌ها به داده‌های حوزه فرکانس تبدیل می‌شوند. نمودارهای حوزه زمان و فرکانس برای یکی از شتاب‌ها به عنوان نمونه به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه می‌شوند. در نهایت، سپس با تقسیم دامنه شتاب‌ها بر دامنه نیروهای متناظر، توابع پاسخ فرکانسی به‌دست می‌آیند. در شکل ۷، یک نمونه نمودار تابع پاسخ فرکانسی قابل مشاهده است.



شکل ۳: منحنی یکی از نیروهای ضربه واردشده بر حسب زمان



شکل ۴: منحنی نیرو در حوزه فرکانس پس از استفاده از تبدیل فوریه



شکل ۵: منحنی شتاب خطی یکی از نقاط اندازه‌گیری‌شده در یک جهت بر حسب زمان

دینامیکی در آدامز و کدنویسی متلب، دقت کدنویسی انجام شده در استخراج مشخصه‌های جرمی مورد ارزیابی قرار گرفت. از این کد می‌توان برای تعیین تعداد و محل مناسب نقاط تحریک و اندازه‌گیری قبل از انجام آزمون‌های تجربی استفاده نمود که باعث کاهش سعی و خطاها در آزمون‌های تجربی و در نتیجه کاهش زمان و هزینه خواهد شد. برای ادامه کار، انجام آزمون‌های تجربی به منظور ارزیابی تجربی دقت کدنویسی انجام شده و همچنین تعیین مشخصه‌های جرمی یک جسم صلب پیچیده (مانند موتور خودرو)، پیشنهاد می‌شود. همچنین، بررسی سایر مشخصه‌های مودال در روش خط‌جرم مانند فرکانس‌های طبیعی، ضریب میرایی و شکل مودها به عنوان پژوهش آتی پیشنهاد می‌شود.

فهرست علائم

F	نیرو، N
I	ممان اینرسی، kgm^2
M	جرم، kg

علائم یونانی

ω	شتاب زاویه‌ای، rad/s^2
----------	---------------------------------

زیرنویس‌ها

G	مرکز جرم
T	نقاط اندازه‌گیری شتاب
O	مختصات مرجع (واقع بر مبدا مختصات)
E	نقاط تحریک

بالانویس‌ها

$+$	عملگر ماتریس معکوس سودو
-----	-------------------------

مراجع و منابع

[1] Ebrahimi, M. and H. Ahmadian, Identification of rigid body properties using mass line method. The 6th Iranian Aerospace Society Conference- Feb. 2007-K.N. Toosi University of Technology, 2007.

[2] Okubo, N. Measurement of rigid body modes for dynamic design. in Proc. 2nd IMAC. 1984.

[3] Wei, Y. and J. Reis. Experimental determination of rigid body inertia properties. in Proc. of the 7th Int. Modal Analysis Conference, IMAC. 1989.

[4] Okuzumi, H., Identification of the rigid body characteristics of a power plant by using experimentally obtained transfer functions. International Journal of Vehicle Design, 1994. 15(3-5): p. 425-434.

در این مرحله می‌توان از مقادیر شتاب و نیرو در فرکانسی از فرکانس‌های خط جرم به عنوان ورودی کد نوشته شده استفاده نمود. در نهایت می‌توان در جدول‌های ۳ و ۴ مشخصه‌های جرمی خروجی از کد متلب را با مشخصه‌های جرمی معین جسم شبیه‌سازی شده برای دو فرکانس مختلف در بازه خط جرم مقایسه نمود.

با توجه به جدول‌های ۳ و ۴، کد نوشته شده در نرم‌افزار متلب خروجی نسبتاً مناسبی در اختیار ما قرار می‌دهد، به صورتی که خطاها به جز یکی از ممان‌های اینرسی، در حدود یک تا سه درصد است. همچنین از مقایسه دو جدول با یکدیگر مشخص است که مقادیر خروجی به‌ازای فرکانس‌های مختلف واقع بر بازه خط جرم تفاوت چندانی ندارند که با تئوری خط جرم سازگار می‌باشد.

جدول ۳: مقایسه مقادیر مشخصه‌های جرمی واقعی و مقادیر به‌دست آمده از کد متلب در فرکانس ۲۳ هرتز

ردیف	نوع مشخصه	مقدار مشخصه خروجی از کدنویسی (تئوری)	مقدار مشخصه خروجی از شبیه‌سازی (عملی)
۱	x_G	0.0024(m)	0(m)
۲	y_G	0.00041(m)	0(m)
۳	z_G	0.2547(m)	0.250(m)
۴	I_{xx}	0.2414(kgm ²)	0.2666(kgm ²)
۵	I_{yy}	0.2580(kgm ²)	0.2666(kgm ²)
۶	I_{zz}	0.1078(kgm ²)	0.1066(kgm ²)
۷	I_{xy}	0.0026(kgm ²)	0(kgm ²)
۸	I_{yz}	0.0011(kgm ²)	0(kgm ²)
۹	I_{xz}	-0.00045(kgm ²)	0(kgm ²)

جدول ۴: مقایسه مقادیر مشخصه‌های جرمی واقعی و مقادیر به‌دست آمده از کد متلب در فرکانس ۴۵ هرتز

ردیف	نوع مشخصه	مقدار مشخصه خروجی از کدنویسی (تئوری)	مقدار مشخصه خروجی از شبیه‌سازی (عملی)
۱	x_G	0.0027(m)	0(m)
۲	y_G	-0.00054(m)	0(m)
۳	z_G	0.2548(m)	0.250(m)
۴	I_{xx}	0.2438(kgm ²)	0.2666(kgm ²)
۵	I_{yy}	0.2603(kgm ²)	0.2666(kgm ²)
۶	I_{zz}	0.1085(kgm ²)	0.1066(kgm ²)
۷	I_{xy}	0.0024(kgm ²)	0(kgm ²)
۸	I_{yz}	0.0013(kgm ²)	0(kgm ²)
۹	I_{xz}	-0.0012(kgm ²)	0(kgm ²)

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، ابتدا روش آنالیز مودال (خط جرم) در استخراج مشخصه‌های جرمی ارائه شد. در ادامه، با انجام شبیه‌سازی‌های

- [10] Urgueira, A. and R. Almeida. Dynamic properties of rigid body systems from vibration measurement. in Proc. of the International Conference on Structural Dynamics Modelling, Madeira, Portugal. 2002.
- [11] Urgueira, A.P. On the rigid body properties estimation from modal testing. in PROCEEDINGS-SPIE THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING. 1995. Citeseer.
- [12] Almeida, R., A. Urgueira, and N. Maia, Evaluation of the performance of three different methods used in the identification of rigid body properties. Shock and Vibration, 2008. 15(3, 4): p. 467-479.
- [13] Toivola, J. and O. Nuutila. Comparison of three methods for determining rigid body inertia properties from frequency response functions. in 11th International Modal Analysis Conference and Exhibit, February 1-4, Florida, 1993. 1993.
- [14] Software, S.I. (2018).
- [5] Bretl, J. and P. Conti. Rigid body mass properties from test data. in International Modal Analysis Conference, 5 th, London, England. 1987.
- [6] Fregolent, A. and A. Sestieri, Identification of rigid body inertia properties from experimental data. Mechanical systems and signal processing, 1996. 10(6): p. 697-709.
- [7] Fregolent, A., A. Sestieri, and M. Falzetti. Identification of rigid body inertia properties from experimental frequency response. in 10th International Modal Analysis Conference. 1992.
- [8] Lee, H., Y.-B. Lee, and Y.-s. Park, Response and excitation points selection for accurate rigid-body inertia properties identification. Mechanical systems and signal processing, 1999. 13(4): p. 571-592.
- [9] Almeida, R., A. Urgueira, and N. Maia. Evaluation of rigid body properties from frequency response data. in Proc. of the International Conference on Modal Analysis Noise and Vibration Engineering (ISMA 2004), Leuven, Belgium. 2004.



Mass properties identification of a rigid body using modal analysis

N. Alijani¹, V. Fakhari^{2*}

¹ BSc Graduated, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, navid.a8@gmail.com

² Faculty Member, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, v_fakhari@sbu.ac.ir

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 04 February 2022

Accepted: 19 May 2022

Keywords:

Modal analysis

Identification of mass properties

Mass line method

ABSTRACT

In performing vibration analysis of the car engine on the engine support, it is necessary to know the mass properties of the engine including mass, position of the center of mass and mass inertia moments. Because the car engine has a relatively complex geometric shape and is composed of different components with different densities, determining its mass properties faces many challenges. There are various methods to determine the mass properties of a car engine, one of the most common of which is the use of modal analysis (mass line method). In this paper, the mass line method is presented in order to finding the mass properties of rigid bodies. In order to evaluate the efficiency and accuracy of the method, dynamic modeling of a rigid body with known mass properties is performed in MSC Adams software. So according to the theory of mass line, the rigid body is hung from a soft suspension and a force is applied to it in different locations. Then, by performing Adams simulations, the corresponding acceleration values are extracted at various points. After that, the mass line method is coded in MATLAB software and the applied forces and accelerations obtained from Adams in the time domain are entered as input to the MATLAB code and by executing the MATLAB code, the mass properties of the rigid body are calculated. Finally, the values of the mass characteristics obtained from the MATLAB code are compared with the actual values of the rigid body simulated in Adams, and the accuracy of the mass line method in finding the mass properties is evaluated.

