

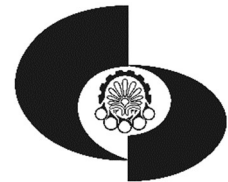


دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

ارتعاشات سیستم‌های ممتد

Continuous Vibration Course

Professor: Abdolreza Ohadi
T.A.: Nopour-Yazdinezhad



دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پروژه اول

مهلت تحویل: جمعه، ۱۲/دی/۱۴۰۴، تا ساعت ۲۳:۵۹

شکل ۱ جرثقیل برجی (Hammerhead Tower Crane) را نشان می‌دهد. جرثقیل‌های برجی از اجزای حیاتی در ساخت‌وسازهای مدرن هستند که برای جابه‌جایی مصالح سنگین در ارتفاعات بالا به کار می‌روند. این سازه‌های بلند و انعطاف‌پذیر به طور ذاتی مستعد ارتعاشات قابل توجهی هستند که می‌تواند بر ایمنی، کارایی، و طول عمر سازه تأثیر بگذارد. تحلیل دقیق ارتعاشات برای طراحی جرثقیل‌هایی که بتوانند بارهای سنگین را تحمل کرده و در معرض باد یا حرکت بار پایدار بمانند، ضروری است.



شکل ۱ جرثقیل برجی

سیستم جرثقیل شامل یک تیر افقی است که توسط کابل‌های ارتجاعی به یک ستون اصلی (Mast) متصل شده است. برای ساده‌سازی، سیستم به صورت زیر مدل می‌شود:

- **ستون اصلی یا برج (Mast):** ستون اصلی در جرثقیل‌ها یک تیر عمودی است. این تیر یک تغییرشکل عمودی (در راستای طول ستون) دارد، که به دلیل سختی بسیار بالا در راستای طولی ناچیز است، پس به صورت یک مفصل برای تیر افقی می‌توان آن را در نظر گرفت. این ستون اصلی یک جابجایی عرضی نیز دارد، این جابجایی عرضی در این پروژه به صورت یک فنر پیچشی در محل اتصال به تیر افقی در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه مقدار سختی فنر پیچشی، یک گشتاور M به انتهای ستون اعمال می‌شود، نسبت گشتاور به شیب ایجاد شده در ستون، همان سختی پیچشی است (همانگونه که سختی انواع تیرها با روش‌های مقاومت مصالح برای فنرهای خطی محاسبه می‌شدند). بنابراین ستون اصلی جرثقیل در محل اتصال به تیر افقی (بوم) به صورت یک مفصل با فنریت پیچشی ساده‌سازی می‌شود.
- **تیر افقی یا بوم (Boom):** بوم همان تیر افقی می‌باشد که جابجایی بار در جرثقیل روی آن انجام می‌شود. در این پروژه بوم به صورت یک تیر اویلر-برنولی (Euler-Bernoulli Beam) در نظر گرفته می‌شود. این تیر اصلی را می‌توان از محل اتصال به برج، دو قسمت در نظر گرفت؛ یک بازوی اصلی (Jib) به طول ۸۰ متر که ترولی روی آن حرکت می‌کند و یک بازوی تعادلی (Counter-Jib) ۲۲.۳ متری که وظیفه بازوی تعادلی را بر عهده دارد. پس، مبدأ مختصات ($x = 0$) محل اتصال تیر به برج است و بازوی تعادلی از $x = 0$ تا $x = -22.3$ و بازوی اصلی از $x = 0$ تا $x = +80$ می‌باشد.

- بار (Load):
 - ❖ وزنه تعادلی (Counterweight) به صورت جرم متمرکز در انتهای بازوی تعادلی ($x = -22.3$) قرار می‌گیرد.
 - ❖ مجموعه تrolley و بار (Payload) بر روی Jib قرار گرفته و روی آن حرکت می‌کند.
- کابل‌ها (Cable Stays): کابل‌ها به صورت فنر ایده‌آل خطی مدل می‌شوند که فقط سختی محوری دارند. آرایش کابل‌ها به صورت زیر است:

- ❖ دو رشته کابل از محل کلاهک بالای برج (مطابق شکل ۱) متصل به انتهای بازوی تعادلی (در $x = -22.3$).
- ❖ یک رشته کابل از محل کلاهک بالای برج متصل به یک‌چهارم (۱/۴) طول Jib (در $x = +20$).
- ❖ یک رشته کابل از محل کلاهک بالای برج متصل به انتهای Jib (در $x = +80$).

جدول ۱ پارامترهای فیزیکی جرثقیل

پارامتر	مقدار	واحد	توضیحات
تیر افقی (Boom)			
طول Jib (L_{jib})	۸۰	m	طول بازوی سمت راست (بازوی اصلی)
طول بازوی تعادلی (L_{cw})	۲۲.۳	m	طول بازوی سمت چپ (بازوی تعادلی)
مدول یانگ (E)	۲۰۶	GPa	جنس فولاد
ممان اینرسی Jib (I_{jib})	۰.۰۲۵	m ⁴	
ممان اینرسی بازوی تعادلی (I_{cw})	۰.۰۴۰	m ⁴	
چگالی خطی Jib (ρ_{jib})	۱۸۳.۱	kg/m	جرم واحد طول سازه راست (بازوی اصلی)
چگالی خطی بازوی تعادلی (ρ_{cw})	۲۵۰.۰	kg/m	جرم واحد طول سازه چپ (بازوی تعادلی)
برج (Mast)			
ارتفاع برج تا بوم (H_{mast})	۵۹.۶	m	طول مؤثر ستون عمودی
ممان اینرسی برج (I_{mast})	۰.۲۲	m ⁴	
ارتفاع کلاهک (h_{top})	۱۲	m	ارتفاع محل اتصال کابل‌ها
جرم‌های متمرکز			
جرم وزنه تعادلی (M_{cw})	۲۴,۸۰۰	kg	در انتهای بازوی چپ (بازوی تعادلی) در محل -۲۲.۳
جرم تrolley خالی ($M_{trolley}$)	۱,۶۹۲	kg	بر روی بازوی اصلی می‌تواند حرکت کند
جرم بار روی تrolley ($M_{payload}$)	۲,۳۰۰	kg	حداکثر جرمی که می‌تواند بر روی تrolley قرار گیرد
کابل‌ها			
مدول یانگ کابل (E_{cab})	۱۵۰	GPa	رشته‌های سیم به هم بافته شده
قطر کابل (d_{cab})	۴۰	mm	سطح مقطع دایروی

با توجه به موارد اشاره شده، مسئله حاضر، ارتعاشات تیر افقی جرثقیل می‌باشد که وزنه تعادلی در انتهای بازوی تعادلی و در ابتدا (تا بند ۶ خواسته‌های پروژه) تrolley خالی از بار در انتهای Jib قرار گرفته است؛ همچنین همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، چهار کابل (فنر) از انتهای بالایی برج به بوم متصل است. دو کابل به انتهای بازوی تعادلی متصل، یک کابل به فاصله ¼ از ابتدای بازوی اصلی و یک کابل دیگر به انتهای بازوی اصلی متصل می‌باشد.

خواسته‌های پروژه

- ۱ - معادله حاکم و شرایط مرزی مسئله را با استفاده از اصل هامیلتون بدست آورید.
 - ۲ - آیا این سیستم خودهمراه است؟ پاسخ خود را اثبات نمایید.
 - ۳ - آیا اپراتور سختی سیستم فوق‌الذکر مثبت معین (PD) است؟ پاسخ خود را اثبات نمایید.
 - ۴ - معادله حاکم بر مسئله را حل نموده (نیمه تحلیلی یا حل تحلیلی) و شکل مودهای سیستم را بدست بیاورید.
 - ۵ - آیا برای این سیستم تعامد مودها وجود دارد؟ پاسخ را بر اساس شکل مودهای حاصله از حل بند ۴ نشان دهید.
 - ۶ - اثر جرم انتهایی تیر بر روی فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها را برای چهار حالت زیر بررسی و نتایج را تفسیر نمایید.
 - ❖ حالت الف: مسئله در نظر گرفته شده بدون ترولی بر روی Jib.
 - ❖ حالت ب: مسئله با در نظر گرفتن ترولی در انتهای Jib (همان مسئله حل شده در بخش ۴).
 - ❖ حالت پ: مسئله با در نظر گرفتن ترولی بر روی انتهای Jib با داشتن Payload به جرم ۲,۳۰۰ کیلوگرم.
 - ❖ حالت ت: مسئله با در نظر گرفتن ترولی بر روی $\frac{1}{2}$ طول Jib با داشتن Payload به جرم ۲,۳۰۰ کیلوگرم.
 - ۷ - پاسخ ارتعاشاتی سیستم با فرض حرکت ترولی و داشتن Payload از ابتدای طول Jib به سمت انتها آن را برای سرعت‌های ۰.۲، ۰.۴ و ۰.۶ متر بر ثانیه محاسبه نمایید (حل ارتعاشات اجباری با بار متحرک- در این حالت ترولی و Payload نیرو در نظر گرفته شده و جرم فرض نمی‌شوند).
- قسمت اختیاری ۱:** نتایج بندهای ۴ به بعد را با نتایج یک نرم افزار تخصصی المان محدود مقایسه کنید.
- قسمت اختیاری ۲:** برای قسمت اختیاری ۲ یکی از موارد ذیل را انجام دهید و بروی نتایج بند ۷ بحث نمایید.
- ❖ در نظر گرفتن میرایی متناسب در کنار سختی چهار کابل سیستم.
 - ❖ نظر گرفتن ترولی به صورت جرم متحرک بر روی Jib.

نکات مهم

- ۱ - پروژه باید به صورت دونفره و مستقل از سایر دانشجویان انجام شود. به هیچ عنوان امکان مشارکت با سایر دانشجویان وجود ندارد.
- ۲ - پروژه ۲.۵ نمره دارد.
- ۳ - قسمت‌های اختیاری نمره اضافی دارند.
- ۴ - مهلت تحویل پروژه جمعه ۱۲ دی ماه ۱۴۰۴ است.
- ۵ - لازم است پروژه به مدت ۱۵ دقیقه توسط پاورپوینت ارائه گردد. گزارش مکتوب و کلیه فایل‌های پروژه شامل برنامه و کد، مراجع اصلی، متن اصلی گزارش به ورد و پی دی، فایل‌های المان محدود و ... نیز در همین روز تحویل گردد. این زمان به هیچ وجه تمدید نمی‌شود و دانشجویان محترم در این روز باید بر اساس یک برنامه زمانبندی مشخص، که متعاقباً اعلام می‌شود، پروژه خود را ارائه نمایند.