

فرکانس بیداری و پایداری ترموول

تحلیل مهندسی با داده‌های **TI-1976**

WAKE FREQUENCY

[علیرضا یادگاری]

[استاد : سرکار خاتم مهندس فدایی]

درس : CFD

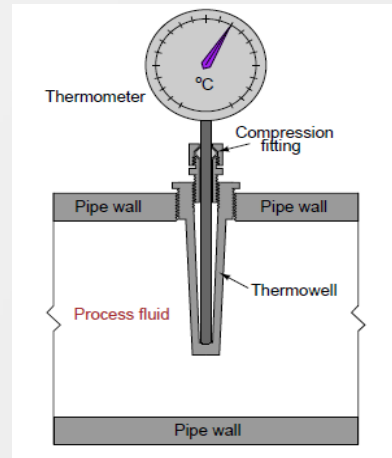


دستور کار



مقدمه

- > مقدمه‌ای بر ترموول
- > شرایط عملیاتی



استانداردها و مطالعه موردی

- > استاندارد ASME PTC 19.3 TW-2016
- > مطالعه موردی TI-1976
- > تحلیل ارتعاشات
- > تحلیل تنش



پدیده‌ها و تحلیل

- > پدیده گردابه‌زایی
- > فرکانس بیداری
- > فرکانس طبیعی
- > نسبت فرکانس و خطر تشدید



راهبردها و نتیجه‌گیری

- > نقش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)
- > راهبردهای کاهش ارتعاشات
- > نتیجه‌گیری
- > منابع
- > پرسش و پاسخ

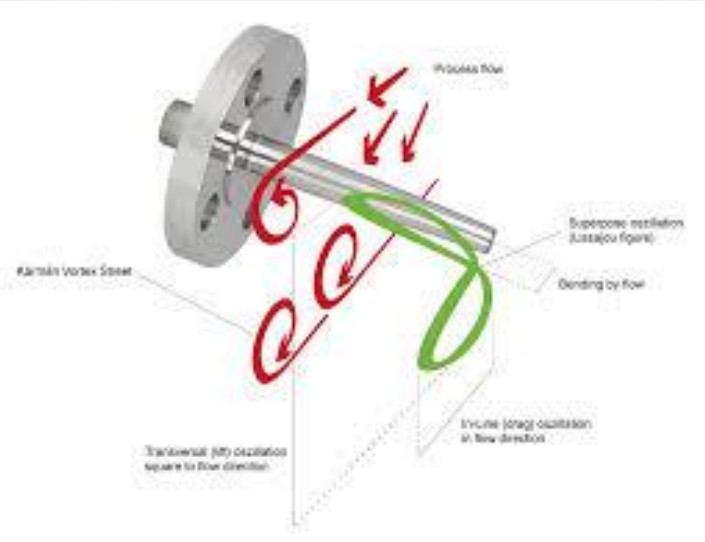
WAKE FREQUENCY



فرکانس گردابه‌ای **Wake Frequency** به فرکانس یا نرخی گفته می‌شود که در آن گردابه‌ها به طور متناوب از دو طرف یک جسم صلب جدا می‌شوند، هنگامی که یک سیال (مانند آب یا هوا) با سرعت ثابتی از روی آن عبور می‌کند. این پدیده به طور خاص برای اجسام غیرآیرودینامیک (مانند استوانه، مکعب یا سیلندر) که در مسیر جریان سیال قرار گرفته‌اند، اتفاق می‌افتد.

نحوه تشکیل گردابه‌ها

1. زمانی که سیال به جسم برخورد می‌کند، از دو طرف آن عبور می‌کند.
 2. در سوی دیگر جسم (پشت آن)، جریان سیال نمی‌تواند خود را به خوبی به بدنه بچسباند و جریان جدا می‌شود.
 3. این جدایش منجر به تشکیل مناطق کم‌فشار و گردابه‌های متناوب در پشت جسم می‌شود. این گردابه‌ها به طور متناوب از دو طرف جسم جدا می‌شوند (مثلاً یکی از چپ، سپس یکی از راست).
 4. این جدایش متناوب، یک الگوی متناوب از گردابه‌ها موسوم به جاده گردابه‌ای یا جاده کارمان را در پشت جسم ایجاد می‌کند. فرکانس تشکیل این گردابه‌ها، فرکانس گردابه‌ای نام دارد.
- در ادامه می‌خواهیم درباره ی اثر فرکانس گردابه ای بر روی ترموول ها صحبت کنیم...



ترموول چیست؟

تعریف

ترموول یک غلاف محافظ برای سنسورهای دما است که حسگر را از محیط فرآیند جدا می‌کند و امکان تعویض یا نگهداری سنسور را بدون تخلیه سیستم فراهم می‌آورد.
این جزء حیاتی، سنسور را در برابر فشار، جریان و خوردگی محافظت می‌کند.

طراحی

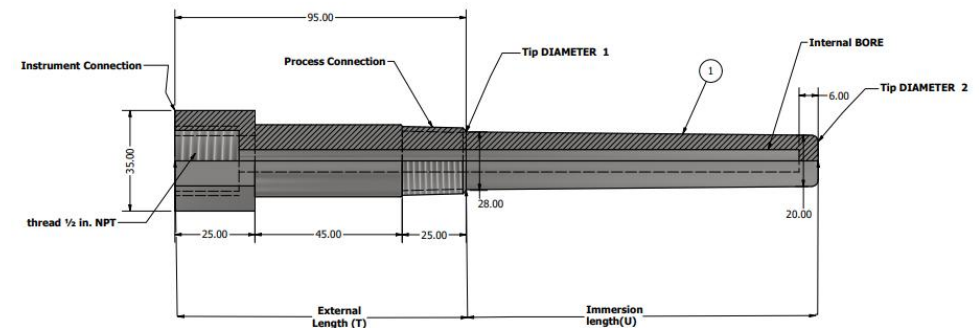
برای بهینه کردن جریان سیال و کاهش مقاومت فشاری (Tapered) مخروطی طراحی شده است.

جنس

مصنوع از **A182-F316**، یک آلی سیلوئیت دارای مقاومت خوب ضد خوردگی و شیمیایی است.

ابعاد کلیدی

- میلی‌متر 28 (A): قطر ریشه
- میلی‌متر 20 (B): قطر نوک
- میلی‌متر 7 (d): قطر داخلی
- میلی‌متر 6 (t): ضخامت نوک
- میلی‌متر 500 (L): طول بدون پشتیبانی



شرایط عملیاتی

شرایط عملیاتی برای تحلیل ترموول TI-1976 به شرح زیر است:

توضیح	واحد	مقدار	نماد	پارامتر
	°C	7	t	دما
	bar(g)	0.85	p1	فشار
	kg/m ³	855	ρ1	چگالی
	cP	0.6	η1	ویسکوزیته دینامیکی
	m ² /s	701.75e-9	v1	ویسکوزیته سینماتیکی
	m/s	2	u	سرعت جریان



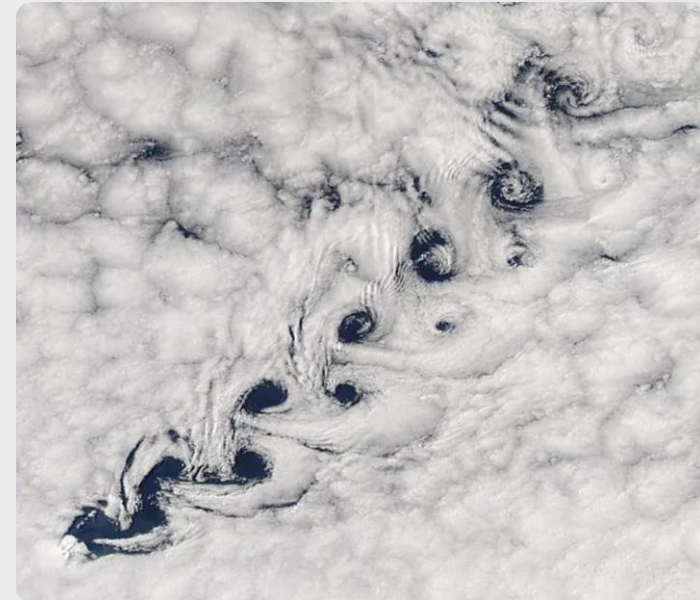
نکته: این شرایط عملیاتی برای تحلیل پایداری و فرکانس بیداری ترموول TI-1976 مورد نیاز است.

فرکانس بیداری و پایداری ترموول

پدیده گردابه‌زایی

پدیده گردابه‌زایی کارمن (Kármán Vortex Street) زمانی رخ می‌دهد که سیال **i** از کنار یک جسم استوانه‌ای مانند ترموول عبور می‌کند.

این پدیده باعث ایجاد گردابه‌های متناوب در پایین‌دست جسم شده که به نوبه خود نیروهای نوسانی بر ترموول وارد می‌کنند. این نیروهای نوسانی می‌توانند منجر به ارتعاش ترموول شوند.



عدد رینولدز (Re)

برای شرایط عملیاتی مورد بررسی

$$Re = 71,250$$

(turbulent - جریان آشفته)

فرمول محاسبه عدد رینولدز

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot B}{\eta}$$

در جریان‌های آشفته، پدیده گردابه‌زایی به وضوح مشاهده می‌شود و تحلیل آن برای اطمینان از پایداری ترموول حیاتی است.

- چگالی سیال: ρ
- سرعت جریان سیال: u
- قطر نوک ترموول: B
- ویسکوزیته دینامیکی سیال: η

فرکانس بیداری



تعریف

فرکانس بیداری (**fw**) به نرخ تشکیل و جدا شدن گردابه‌ها از پشت ترموول اشاره دارد. این فرکانس، نیروی نوسانی اعمال شده توسط سیال بر ترموول را تعیین می‌کند.



محاسبه

$$f = (0.18796 \times 2) / 0.02 = \mathbf{15.037 \text{ Hz}}$$



نتیجه

15.037 هرتز

TI-1976 فرکانس بیداری ترموول



فرمول محاسبه

$$f = Ns \cdot u / B$$



پارامترهای ورودی

(Ns) عدد استرووال

0.18796

(u) سرعت جریان

2 m/s

(B) قطر نوک

20 mm

فرکانس بیداری و پایداری ترموول

فرکانس طبیعی

i

تعریف

فرکانس طبیعی (fn) بیانگر فرکانس ذاتی ارتعاش ترموول است که به خواص ماده و هندسه آن بستگی دارد. اگر فرکانس بیداری به فرکانس طبیعی نزدیک شود، پدیده تشدید (resonance) رخ داده و می‌تواند منجر به شکست خستگی ترموول شود.

√x

فرمول محاسبه

$$f_n \approx (K / 2\pi) \cdot \sqrt{(E / \rho)}$$

K: ثابت مربوط به شرایط مرزی ترموول

E: ماده ترموول (Modulus of Elasticity) مدول الاستیسیته

pm: چگالی ماده ترموول

📊

محاسبه برای TI-1976

(مدول الاستیسیته) E

28.405e6 psi

(چگالی) p

482.23 lb/ft³

(fn) فرکانس طبیعی

75.627 Hz



📈

نمایش فرکانس طبیعی



Hz فرکانس طبیعی: 75.627

نکته حیاتی: برای ترموول TI-1976، فرکانس طبیعی (75.627 Hz) به طور قابل توجهی از فرکانس بیداری (15.037 Hz) بیشتر است، بنابراین خطر تشدید وجود ندارد.

💡

نسبت فرکانس و خطر تشدید

%

نسبت فرکانس (r)

نسبت فرکانس برای ترموول: TI-1976

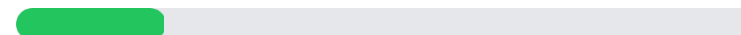
19.883%

فرمول: $(f/f) \times 100\%$

جایگزینی: $(15.037 \text{ Hz} / 75.627 \text{ Hz}) \times 100\%$



تحلیل خطر تشدید



نسبت فعلی



80% حد خطر

نسبت فرکانس کمتر از 80% بوده که نشان‌دهنده یک طراحی ایمن است. خطر تشدید زمانی بالا می‌رود که این نسبت از 80% تجاوز کند.



پارامترهای ایمنی مرتبط

متر بر ثانیه (uIR): 4.9165 سرعت تشدید هم‌راستا

عدد اسکراتون (NSc): 0.041089

فرکانس بیداری و پایداری ترموول

استاندارد ASME PTC 19.3 TW-2016



هدف استاندارد

استاندارد ASME PTC 19.3 TW-2016 با هدف تضمین یکپارچگی مکانیکی و ایمنی ترموول‌ها در برابر ارتعاشات ناشی از جریان سیال تدوین شده است. این استاندارد مجموعه‌ای از الزامات طراحی و تحلیل را ارائه می‌دهد تا از خرابی‌های احتمالی جلوگیری کند.



الزامات کلیدی

- > طراحی ترموول: برای شرایط عملیاتی مشخص، ترموول می‌باید تمامی بررسی‌های استاندارد را با موفقیت پشت سر گذاشد
- > حد خستگی تنظیم شده (Sf): 3,002.3 psi برای ترموول TI-1976
- > حداکثر فشار مجاز (p): 633.17 bar(g) برای ترموول TI-1976



اهداف کلیدی

- ✓ تضمین ایمنی ترموول: جلوگیری از شکست‌های ناشی از خستگی و رزونانس
- ✓ بررسی نسبت فرکانس: اطمینان از اینکه نسبت فرکانس بیداری به فرکانس طبیعی (r) در محدوده ایمن قرار دارد
- ✓ محدودیت‌های تنش: تعیین حداکثر تنش‌های مجاز برای مواد ترموول



محدودیت تنش

حداکثر تنش مجاز (S) برای مواد ترموول در این تحلیل 20,000 psi تعیین شده است.

0 psi

20,000 psi



75%

حداکثر تنش مجاز

حد خستگی

مطالعه موردی TI-1976



نتایج بررسی

ترموول مخروطی شکل TI-1976 تمامی بررسی‌های ایمنی را با موفقیت پشت سر گذاشته است.



حد خستگی تنظیم شده

3,002.3 psi



حداکثر فشار مجاز

633.17 bar(g)

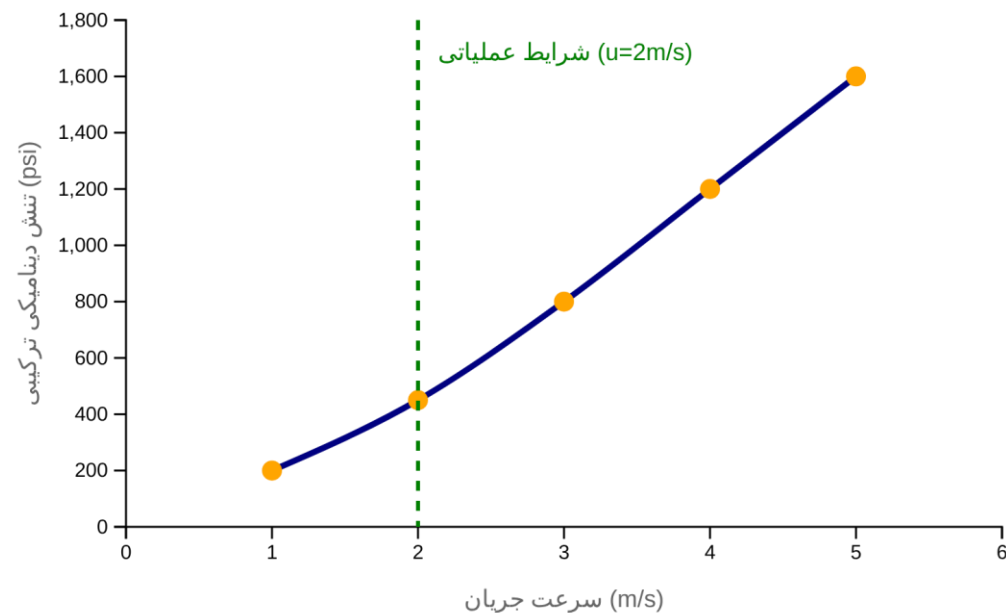


نتیجه کلی

این طراحی برای شرایط عملیاتی مشخص شده، ایمن و پایدار ارزیابی می‌شود.

فرکانس بیداری و پایداری ترموول

تحلیل تنش ترموول



تحلیل ارتعاشات



نتایج تحلیل ارتعاشات



هرتز **15.037** (fw): فرکانس بیداری

نرخ تشکیل گردابه‌ها



هرتز **75.627** (fn): فرکانس طبیعی

فرکانس ذاتی ترموول



نسبت فرکانس (r): **19.883%**

($r < 80\%$) در محدوده ایمن



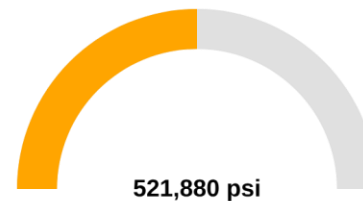
خطر تشدید

در حالت رزونانس، نیروی نوسانی به ترموول وارد می‌شود که می‌تواند منجر به:

- ارتعاشات سیگنالی در سنسور
- شکست خستگی ترموول
- نابرابری سیستم دما



تنش نوسانی در حالت رزونانس



حداکثر تنش نوسانی: **521,880 psi**

مقایسه با حد خستگی: 3,002.3 psi



تنش نوسانی در حالت رزونانس می‌تواند تا 173 برابر حد خستگی برسد

تحلیل تنش

بررسی تنش‌ها

مقایسه تنش‌ها با حدود مجاز



تنش فون میسر (SvM)

مقدار: **525.67 psi**

حد مجاز: 30,000 psi ($1.5 \times S$)

نتیجه: $525.67 < 30,000$ (ایمن)



تنش دینامیکی ترکیبی (Sod,max)

مقدار: **904.98 psi**

حد خستگی (Sf): 3,002.3 psi

نتیجه: $904.98 < 3,002.3$ (ایمن)

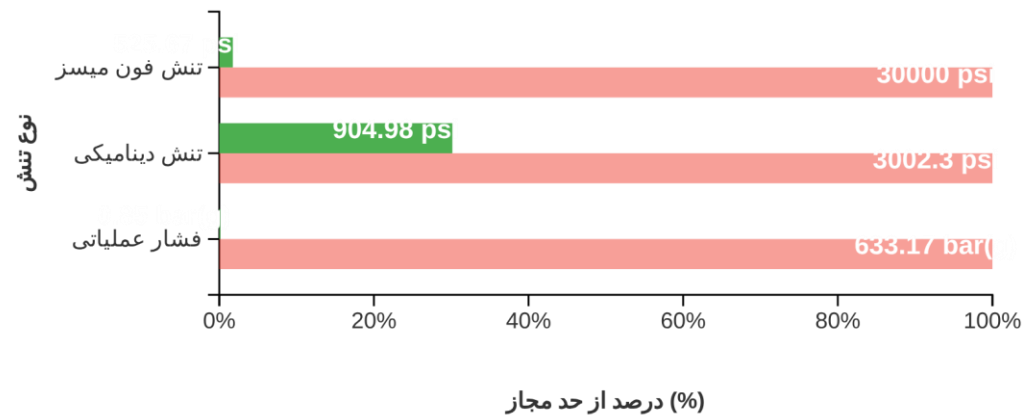


فشار عملیاتی (p1)

مقدار: **0.85 bar(g)**

حداکثر فشار مجاز (p_max): 633.17 bar(g)

نتیجه: $0.85 < 633.17$ (ایمن)



مقدار فعلی (سبز) حد مجاز (قرمز)



نتیجه تحلیل تنش

تمامی تنش‌های محاسبه شده در محدوده مجاز قرار دارند. این نشان‌دهنده ایمنی و پایداری ترموول -TI- 1976 است.

نقش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) یک ابزار قدرتمند برای تحلیل و اعتبارسنجی رفتار ترموول در جریان سیال است.

تجسم الگوهای گرداب



این ابزار امکان مشاهده بصری الگوهای پیچیده گرداب‌های ایجاد شده در پشت ترموول را فراهم می‌کند. تجسم این الگوها کمک می‌کند تا بهتر فهماییم چگونه سیال در اطراف ترموول می‌دند.

پیش‌بینی دقیق فرکانس بیداری



CFD می‌تواند با دقت بالا فرکانس بیداری را در شرایط عملیاتی مختلف پیش‌بینی کند. برای ترموول TI-1976، فرکانس بیداری محاسبه شده برابر با **15.037 هرتز** است.

بهینه‌سازی طراحی



نرم‌افزارهایی مانند ANSYS به طور گسترده‌ای برای انجام این تحلیل‌ها استفاده می‌شوند. این ابزارها امکان بهینه‌سازی طراحی ترموول‌ها برای کاهش ارتعاشات و بهبود عملکرد را فراهم می‌کنند.

شبیه‌سازی توزیع تنش



CFD به مهندسان اجازه می‌دهد تا توزیع تنش‌ها را در سراسر ترموول شبیه‌سازی کرده و نقاط بحرانی را شناسایی کنند. برای مثال، تنش دینامیکی ترکیبی (Sod,max) در حالت رزونانس می‌تواند به **521,880 psi** برسد.

استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی برای طراحی‌های آینده و بهینه‌سازی بیشتر توصیه می‌شود.



راهبردهای کاهش ارتعاشات



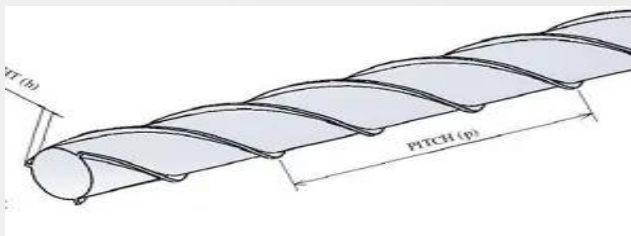
کوتاه کردن طول بدون تکیه‌گاه (L)

این روش معتبرترین وسیله برای افزایش فرکانس طبیعی ترموول است. با کاهش طول، سرعت سینوسویدی ترموول افزایش می‌یابد که منجر به دوری بیشتر از فرکانس بیداری می‌شود.



افزودن پره‌های مارپیچی (Helical Strakes)

پره‌های مارپیچی به شکستن الگوهای منظم گرداب کمک کرده و ارتعاشات را به شدت کاهش می‌دهند.



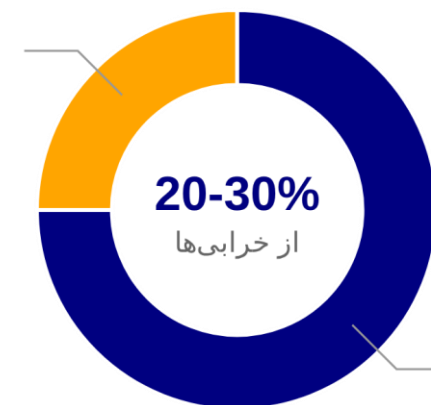
Helical Strakes



استفاده از مواد با مدول الاستیسیته (E) بالاتر

انتخاب موادی با سختی بیشتر می‌تواند فرکانس طبیعی ترموول را افزایش دهد. برای مثال، مدول الاستیسیته 28.405e6 psi برای ترموول TI-1976 ارزیابی شده است.

ارتعاشات ناشی از گرداب (VIV)



ارتعاشات ناشی از گرداب (VIV) عامل 20 تا 30 درصد از خرابی‌های خستگی در سازه‌های فراساحلی است.

در طراحی‌های آینده، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) توصیه می‌شود تا تأیید کامل برای طراحی‌های پیچیده ارائه دهد.



نتیجه‌گیری

اهمیت تحلیل فرکانس بیداری



تحلیل فرکانس بیداری برای اطمینان از ایمنی و پایداری ترموول‌ها حیاتی است. این تحلیل به مهندسان اجازه می‌دهد تا خطرات ارتعاشاتی که می‌توانند به وجود آوردن گردابه‌های سیال در پشت ترموول، را شناسایی و جلوگیری کنند.

تأیید ایمنی طراحی TI-1976



طراحی ترموول TI-1976 با موفقیت تمامی بررسی‌های استاندارد ASME را پشت سر گذاشته و برای شرایط عملیاتی مشخص شده ایمن و پایدار است. نسبت فرکانس (r) برابر با 19.883% قرار دارد که در محدوده ایمن قرار گرفته و خطر تشدید را مینیمایزد می‌کند.

پیشنهاد برای طراحی‌های آینده



برای طراحی‌های آینده و بهینه‌سازی بیشتر، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) توصیه می‌شود. این روش‌ها امکان پیش‌بینی دقیق فرکانس بیداری و توزیع تنش‌ها را فراهم می‌آورند و می‌توانند به طراحی ترموول‌های با عملکرد بهتر کمک کنند.

نکته نهایی: تحلیل فرکانس بیداری و استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند به خصوصیت‌های پایداری و ایمنی ترموول‌ها بسیار کمک کند.

منابع

گزارش نرم افزاری CONVAL



نام برنامه: **CONVAL**

تحلیل ترموول: موضوع

شناسه: **TI-1976**

تاریخ: 10/10/2025

استاندارد ASME PTC 19.3 TW-2016



نام استاندارد: **PTC 19.3 TW-2016**

سازمان: American Society of Mechanical Engineers (ASME)



هدف: تضمین یکپارچگی مکانیکی و ایمنی ترموول ها در برابر ارتعاشات ناشی از جریان سیال



این منابع به عنوان مرجع های اصلی برای تحلیل های ارتعاشی و تنش ترموول TI-1976 در این ارائه استفاده شده اند.

فرکانس بیداری و پایداری ترموول

از توجه شما سپاسگزارم

اطلاعات تماس



ایمیل

ALIREZAYADEGARY502@GMAIL.COM



LinkedIn

linkedin.com/in/ALIREZAYADEGARY



تلفن

+98 9017808793

فرکانس بیداری و پایداری ترموول

از توجه شما سپاسگزارم

از حضور و توجه خوب شما در این جلسه سپاسگزارم. امیدوارم که از این ارائه به خوبی استفاده کرده باشید.

برای هر سوال یا نظر بیشتر، خوشحال می‌شوم که با من در ادرس های اعلام شده به اشتراک بگذارید

“TI-1976 تحلیل مهندسی با داده‌های فرکانس بیداری و پایداری ترموول”