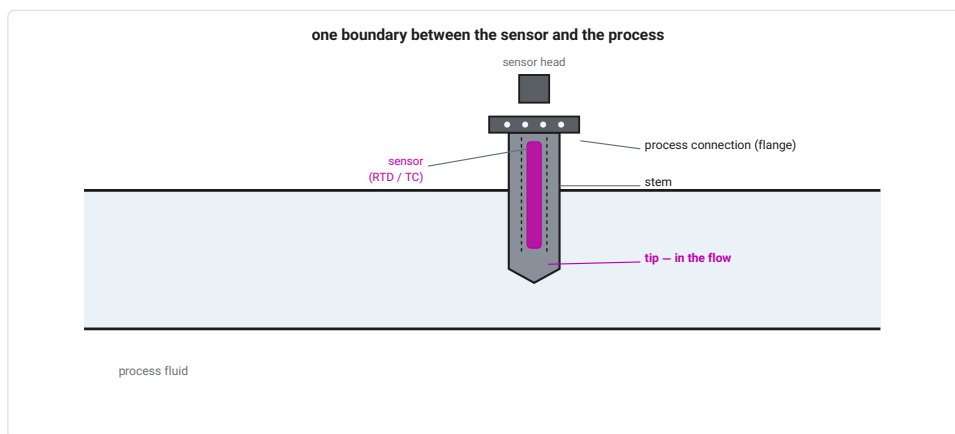


ترموول چگونه سنسور دما را از فرآیند جدا نگه می‌دارد؟

How Does a Thermowell Work? – Fundamentals of Temperature Sensor Protection

چرا یک RTD یا Thermocouple معمولاً مستقیم وارد فرآیند نمی‌شود، و چه قطعه‌ای این جدایی را ممکن می‌کند؟ این راهنما اجزای Thermowell، شکل ساقه، طول درون‌رفت و مسیر انتقال حرارت تا سنسور را بدون نیاز به دانش پیشرفته توضیح می‌دهد.



شکل ۱ – ترموول نصب‌شده در خط لوله و اجزایی که به آن متصل می‌شوند

تاریخ انتشار

August 2026 – شهریور ۱۴۰۵

سطح محتوا

LEVEL 1

بازنگری

Rev00

شماره سند

NICO-EDU-TWL-L1-001-FA

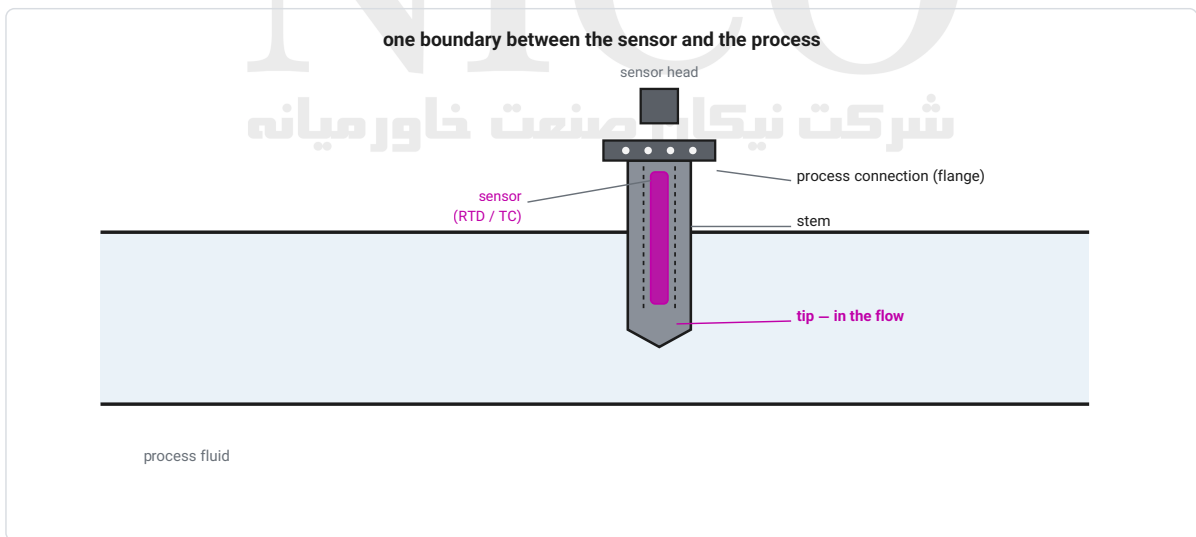
پس از مطالعه این راهنما خواهید توانست:

1. بگویید Thermowell چیست و چه کاری انجام می‌دهد.
2. توضیح دهید چرا سنسور دما معمولاً مستقیماً وارد فرآیند نمی‌شود.
3. اجزای اصلی یک Thermowell را نام ببرید و کار هرکدام را بگویید.
4. سه روش اتصال به فرآیند – فلنجی، رزوه‌ای، جوشی – را از هم تشخیص دهید.
5. سه شکل ساقه – Straight، Tapered و Stepped – را با مزیت هرکدام توضیح دهید.
6. بگویید طول درون‌رفت (Insertion Length) چیست و چرا اهمیت دارد.
7. مسیر انتقال حرارت از فرآیند تا نوک سنسور را شرح دهید و بگویید فاصله هوا چرا مشکل‌ساز است.
8. مزیت تعویض سنسور بدون باز کردن فرآیند و چند اشتباه رایج نصب را تشخیص دهید.

1 Thermowell چیست؟

Thermowell یک قطعه فلزی توپر است که میان سنسور دما و سیال فرآیند قرار می‌گیرد. یک سر آن – Stem – داخل لوله یا مخزن و در تماس مستقیم با فرآیند است؛ سر دیگر آن بیرون از لوله می‌ماند و سنسور داخل حفره‌ای در همان قطعه نصب می‌شود. سنسور هرگز با سیال فرآیند تماس پیدا نمی‌کند؛ گرما از جدار فلزی Thermowell به سنسور منتقل می‌شود.

کار Thermowell ساده و در عین حال دوگانه است: مانعی مکانیکی میان فرآیند و سنسور ایجاد می‌کند، و در همان حال اجازه می‌دهد دمای فرآیند با تأخیر کم به سنسور برسد.

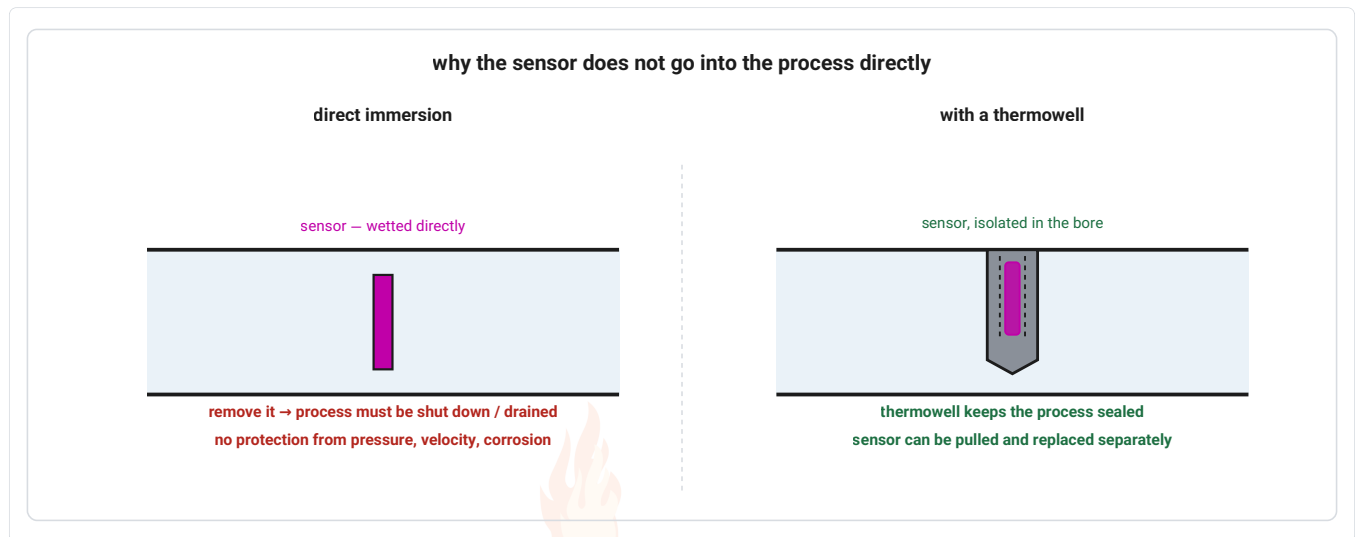


شکل ۱ – ترموول نصب‌شده در خط لوله، از اتصال فرآیند تا نوک در جریان

2 چرا سنسور مستقیم وارد فرآیند نمی‌شود؟

اگر یک RTD یا Thermocouple مستقیماً وارد لوله یا مخزن شود، هر تعویض یا سرویس سنسور به معنای باز کردن یک مسیر به فرآیند است. در بسیاری از سرویس‌ها این کار یا اصلاً ممکن نیست یا نیازمند توقف فرآیند، تخلیه فشار و اقدامات ایمنی گسترده است. سنسور همچنین بدون هیچ حفاظتی در برابر فشار، سرعت جریان و خوردگی قرار می‌گیرد.

Thermowell این مشکل را حل می‌کند: مرز فشار و آب‌بندی فرآیند ثابت می‌ماند و فقط سنسور – که ارزان‌تر و شکننده‌تر است – از داخل حفره بیرون کشیده و جایگزین می‌شود.



شکل ۲ – تماس مستقیم سنسور با فرآیند در برابر جداسازی با ترموول

3 اجزای Thermowell

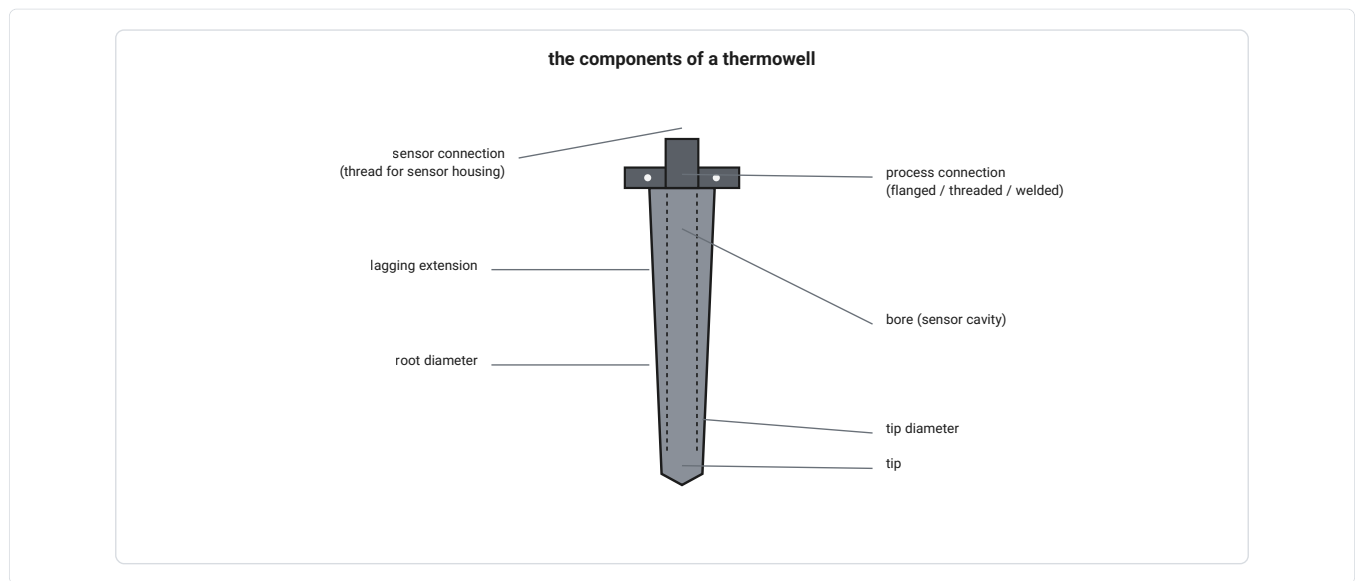
چند جزء در هر Thermowell تکرار می‌شوند، صرف‌نظر از شکل یا نوع اتصال آن.

شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

جدول ۱ – اجزای اصلی و کار هرکدام

جزء	نام انگلیسی	کار آن
ساقه	Stem	بدنه اصلی که داخل فرآیند قرار می‌گیرد و گرما را به سمت سنسور هدایت می‌کند
حفره سنسور	Bore	حفره داخلی که سنسور در آن جای می‌گیرد؛ سنسور را از فرآیند جدا نگه می‌دارد
اتصال فرآیند	Process Connection	محل آب‌بندی Thermowell به لوله یا مخزن – فلنجی، رزوه‌ای یا جوشی
اتصال سنسور	Sensor Connection	رزوه‌ای که محفظه سنسور یا سرکابل روی آن بسته می‌شود
افزایش طول عایق	Lagging Extension	بخشی که از عایق حرارتی لوله عبور می‌کند تا اتصال سنسور بیرون از عایق بماند
قطر ریشه	Root Diameter	قطر ساقه در نزدیک‌ترین نقطه به اتصال فرآیند – استحکام مکانیکی از همین‌جا می‌آید

جزء	نام انگلیسی	کار آن
قطر نوک	Tip Diameter	قطر ساقه در انتهای درون فرآیند – هرچه کوچک‌تر، پاسخ سریع‌تر ولی استحکام کمتر



شکل ۳ – اجزای یک Thermowell نمونه، از اتصال سنسور تا نوک

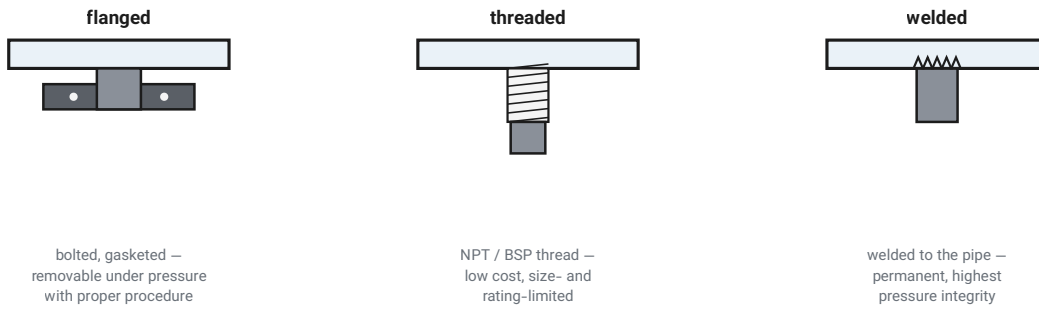
4 اتصال به فرآیند: فلنجی، رزوه‌ای، جوشی

Process Connection نحوه آب‌بندی Thermowell به لوله یا مخزن را تعیین می‌کند و انتخاب آن به فشار، دما و سیاست تعمیرات سرویس بستگی دارد.

جدول ۲ – سه نوع اتصال فرآیند

نوع	ویژگی
فلنجی	پیچ‌ودوایی و آب‌بندی‌شده با گسکت؛ با رعایت روش کار ایمن، قابل باز شدن تحت شرایط کنترل‌شده – رایج در فشار و دمای بالاتر
رزوه‌ای	رزوه NPT یا BSP؛ ارزان و ساده، اما محدود در اندازه و رده فشاری
جوشی	مستقیماً به جدار لوله جوش می‌خورد؛ دائمی و بالاترین یکپارچگی فشاری، بدون امکان باز کردن ساده

three ways to seal a thermowell to the process



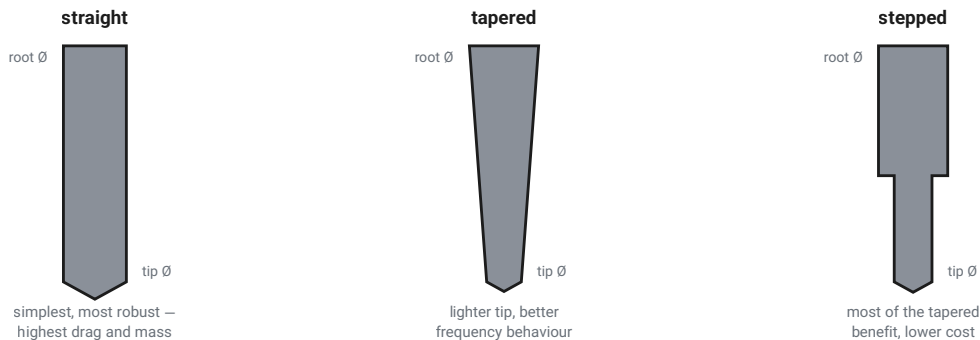
شکل ۴ — سه روش متعارف اتصال ترموول به فرآیند

5 شکل ساقه: Stepped, Tapered, Straight

ساقه Thermowell به یکی از سه شکل ساخته می‌شود و انتخاب شکل، مصالحه‌ای میان استحکام مکانیکی، وزن و رفتار دینامیکی است.

- **Straight** — قطر یکنواخت از ریشه تا نوک؛ ساده‌ترین و مقاوم‌ترین شکل از نظر ساخت، اما سنگین‌ترین و بیشترین مقاومت در برابر جریان.
- **Tapered** — قطر به تدریج از ریشه به نوک کم می‌شود؛ جرم نوک کمتر است و رفتار ارتعاشی بهتری دارد، با هزینه ماشین‌کاری بیشتر.
- **Stepped** — قطر بزرگ در بخش ریشه و قطر کوچک‌تر در بخش باقی‌مانده تا نوک؛ بخش زیادی از مزیت Tapered را با هزینه کمتر می‌دهد.

straight, tapered and stepped stems



شکل ۵ — مقایسه سه شکل ساقه و مصالحه استحکام در برابر جرم نوک

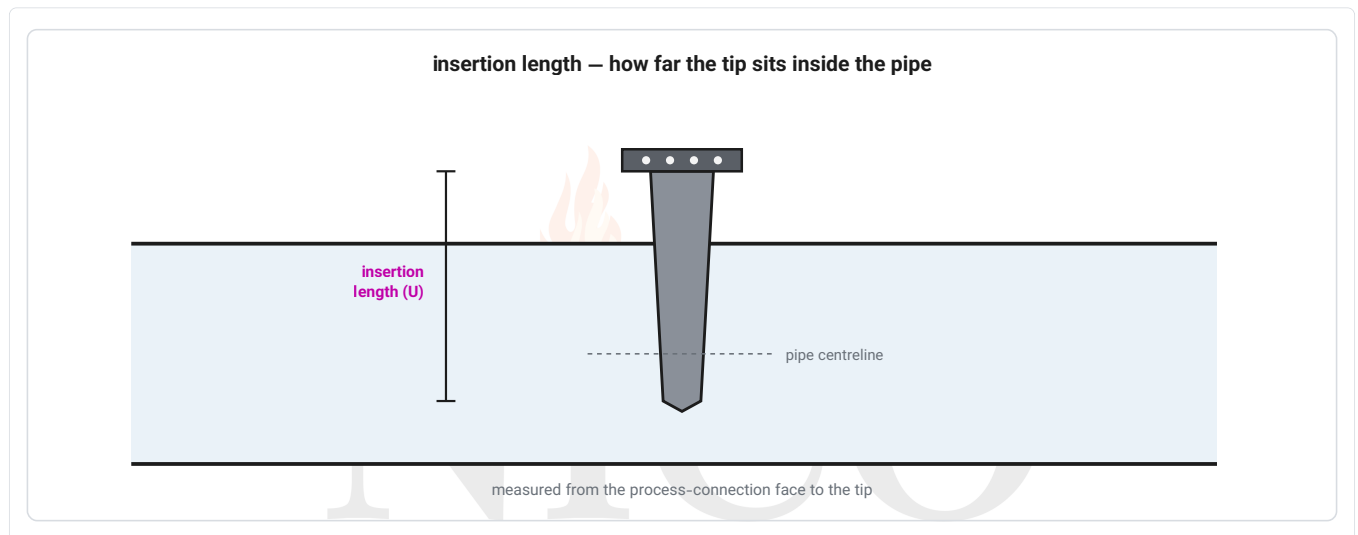
NOTE – چرا در این سند شکل مناسب هر کاربرد تعیین نشده است

انتخاب شکل ساقه، در سرویس‌های با سرعت جریان بالا، به بررسی فرکانسی (Wake Frequency Calculation) وابسته است. این محاسبه، الزام مهندسی جدی دارد و در سطح بالاتر همین مجموعه، پس از راستی‌آزمایی منبع، ارائه خواهد شد.

6 طول درون‌رفت (Insertion Length) چیست؟

طول درون‌رفت فاصله‌ای است که از سطح اتصال فرآیند تا نوک Thermowell اندازه‌گیری می‌شود. این طول تعیین می‌کند نوک چقدر عمیق داخل جریان یا مخزن قرار می‌گیرد.

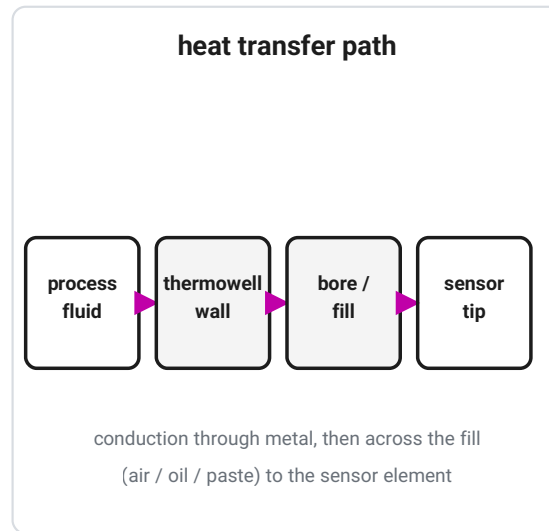
این عدد یک مقدار ثابت نیست: به قطر لوله، محل نصب، عمق ناحیه راکد نزدیک جدار و الزامات مکانیکی سرویس بستگی دارد. طول ناکافی باعث می‌شود نوک در ناحیه‌ای با دمای غیرنماینده – نزدیک جدار لوله، نه در مرکز جریان – بماند.



شکل ۶ – طول درون‌رفت، از سطح اتصال فرآیند تا نوک ترموول

7 انتقال حرارت به سنسور چگونه انجام می‌شود؟

گرما در چهار مرحله از فرآیند به سنسور می‌رسد: ابتدا سیال فرآیند جدار خارجی ساقه را گرم می‌کند؛ سپس گرما با هدایت از میان فلز ساقه عبور می‌کند؛ در مرحله سوم از حفره سنسور – که معمولاً هوا، روغن یا خمیر هدایت‌گر است – می‌گذرد؛ و در نهایت به المان حساس سنسور می‌رسد.



شکل ۷ – مسیر چهار مرحله‌ای انتقال حرارت از فرآیند تا نوک سنسور

هر مرحله‌ای که هدایت حرارتی ضعیف‌تری داشته باشد، پاسخ کل زنجیره را کند می‌کند. فلز ساقه هادی خوبی است؛ نقطه ضعف معمول، فاصله میان نوک سنسور و کف حفره است.

8 چرا فاصله هوا مشکل‌ساز است؟

هوا هادی حرارتی بسیار ضعیفی است. اگر سنسور تا کف حفره نرسد یا کاملاً به آن نچسبد، یک لایه هوا میان نوک سنسور و فلز Thermowell باقی می‌ماند. این لایه، انتقال حرارت را به شدت کند می‌کند: زمان پاسخ سنسور افزایش می‌یابد و در فرآیندهای متغیر، قرائت همیشه از دمای واقعی عقب می‌ماند – بدون آنکه این تأخیر از روی خود عدد قابل تشخیص باشد.

راه حل رایج، بارگذاری فنری (Spring Loading) سنسور است: فنر داخل محفظه سنسور، نوک را پیوسته به کف حفره فشار می‌دهد و فاصله هوا را حذف می‌کند.

شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

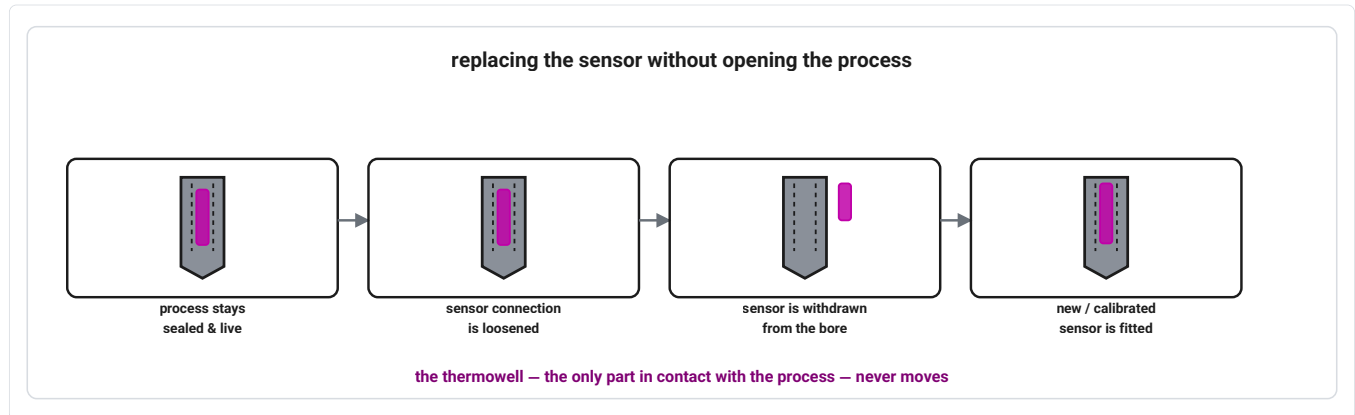


شکل ۸ – تماس کامل نوک سنسور در برابر فاصله هوا و اثر آن بر سرعت پاسخ

9 مزیت تعویض سنسور بدون باز کردن فرآیند

چون سنسور فقط داخل حفره Thermowell نشسته و به آن جوش یا آببندی دائمی ندارد، می‌توان اتصال سنسور را باز کرد و سنسور را – بدون لمس اتصال فرآیند – بیرون کشید. مرز فشار و آببندی فرآیند دست‌نخورده باقی می‌ماند.

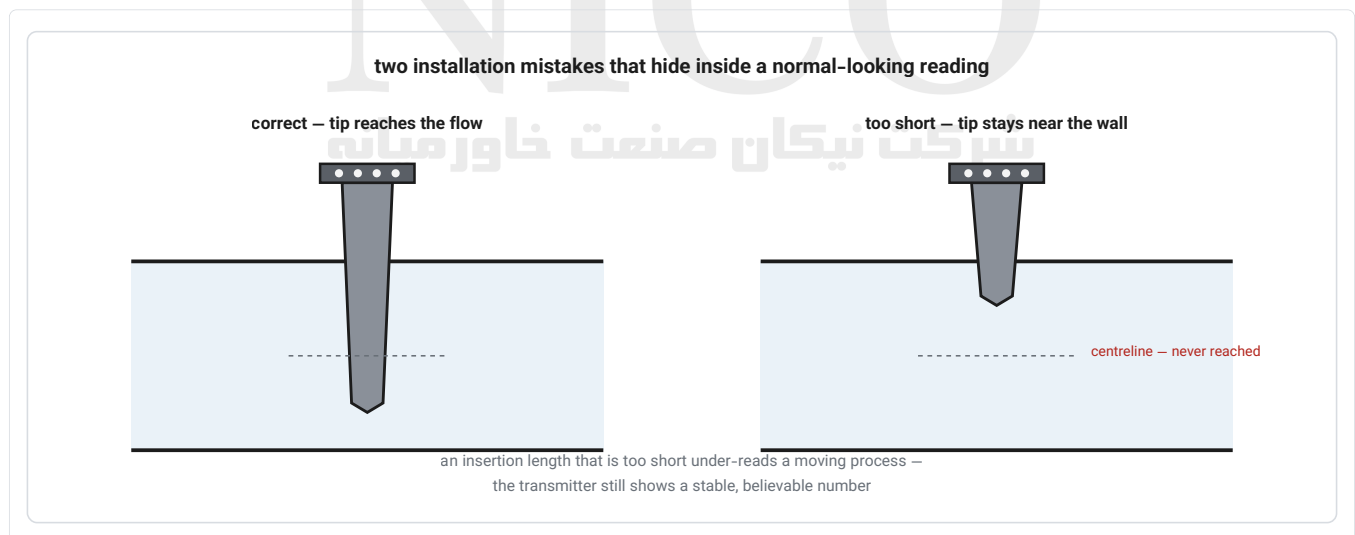
همین ویژگی، کالیبراسیون دوره‌ای، تعویض سنسور معیوب و ارتقای نوع سنسور (مثلاً از RTD به Thermocouple) را بدون توقف فرآیند در بسیاری از سرویس‌ها ممکن می‌کند – همیشه در چارچوب روش کار ایمن سایت و مجوزهای لازم.



شکل ۹ – تعویض سنسور در حالی که ترموول در فرآیند باقی می‌ماند

10 اشتباهات رایج نصب

دو اشتباه زیر رایج‌ترین‌اند و هر دو یک ویژگی مشترک خطرناک دارند: خروجی روی صفحه نمایش، پایدار و باورپذیر به نظر می‌رسد، در حالی که دما را درست نمی‌سنجد.



شکل ۱۰ – طول درون‌رفت کافی در برابر طول ناکافی که نوک را نزدیک جدار نگه می‌دارد

اشتباه رایج – طول درون‌رفت کوتاه انتخاب می‌شود چون «نصب راحت‌تر است» وقتی نوک Thermowell به مرکز جریان نمی‌رسد، در ناحیه راکد نزدیک جدار می‌ماند که دمایی متفاوت از دمای واقعی جریان دارد. در فرآیندهای با دمای متغیر، این اختلاف می‌تواند قابل‌توجه باشد – و چون قرائت ترانسمیتر پایدار به نظر می‌رسد، این خطا معمولاً سال‌ها کشف نمی‌شود.

11 جمع بندی

جمع بندی نکات کلیدی

- Thermowell مانعی مکانیکی میان فرآیند و سنسور است که در همان حال اجازه انتقال حرارت را می‌دهد.
- بدون آن، هر سرویس سنسور یعنی باز کردن یک مسیر به فرآیند.
- اجزای اصلی: Bore, Stem, Process Connection و Sensor Connection.
- اتصال فرآیند فلنجی، رزوه‌ای یا جوشی است؛ انتخاب به فشار، دما و سیاست تعمیرات بستگی دارد.
- شکل ساقه – Straight, Tapered, Stepped – مصالحه‌ای میان استحکام، وزن و رفتار دینامیکی است.
- طول درون‌رفت، عمق نوک در جریان را تعیین می‌کند و یک عدد ثابت نیست.
- گرما با هدایت از فرآیند، از میان فلز ساقه و حفره، به سنسور می‌رسد.
- فاصله هوا میان نوک سنسور و کف حفره، پاسخ را کند می‌کند – بارگذاری فنی این فاصله را حذف می‌کند.
- سنسور بدون باز کردن مرز فشار فرآیند قابل تعویض است.
- طول درون‌رفت ناکافی، خطایی می‌سازد که در قرائت پایدار و باورپذیر پنهان می‌ماند.

12 پرسش‌های متداول

Thermowell چیست؟

یک قطعه فلزی توپر که میان سنسور دما و سیال فرآیند قرار می‌گیرد. یک سر آن داخل فرآیند است و سر دیگر بیرون از لوله می‌ماند؛ سنسور داخل حفره‌ای در همان قطعه نصب می‌شود و هرگز با فرآیند تماس پیدا نمی‌کند.

چرا سنسور مستقیم وارد فرآیند نمی‌شود؟

چون در آن صورت هر سرویس یا تعویض سنسور به معنای باز کردن مسیری به فرآیند است – کاری که در بسیاری از سرویس‌ها یا ممکن نیست یا نیازمند توقف فرآیند است. سنسور همچنین بدون حفاظت در برابر فشار، سرعت جریان و خوردگی قرار می‌گیرد.

تفاوت Straight، Tapered و Stepped در چیست؟

Straight قطر یکنواخت دارد و ساده‌ترین شکل است. Tapered قطر را از ریشه به نوک کم می‌کند و جرم نوک را برای رفتار ارتعاشی بهتر کاهش می‌دهد. Stepped بخش زیادی از این مزیت را با هزینه ساخت کمتر می‌دهد.

طول درون‌رفت (Insertion Length) چگونه تعیین می‌شود؟

بر اساس قطر لوله، محل نصب و الزامات مکانیکی سرویس تعیین می‌شود، نه یک عدد ثابت. هدف، رساندن نوک به ناحیه‌ای نماینده از جریان است، نه ماندن در ناحیه راکد نزدیک جدار.

چرا فاصله هوا میان سنسور و Thermowell مشکل‌ساز است؟

چون هوا هادی حرارتی ضعیفی است. این فاصله انتقال حرارت را کند می‌کند، زمان پاسخ سنسور را افزایش می‌دهد و در فرآیندهای متغیر، قرائت را همیشه عقب‌تر از دمای واقعی نگه می‌دارد.

➤ آیا می‌توان سنسور را بدون توقف فرآیند تعویض کرد؟

در بسیاری از سرویس‌ها به – چون سنسور فقط داخل حفره نشسته و به اتصال فرآیند وابسته نیست. این کار همیشه باید در چارچوب روش کار ایمن سایت و مجوزهای لازم انجام شود.

➤ رایج‌ترین اشتباه نصب Thermowell چیست؟

انتخاب طول درون‌رفت کوتاه‌تر از نیاز، معمولاً برای راحتی نصب. نوک در ناحیه راکد نزدیک جدار می‌ماند و دمایی متفاوت از جریان اصلی می‌سنجد – خطایی که چون قرائت پایدار به نظر می‌رسد، اغلب سال‌ها کشف نمی‌شود.

➤ آیا در این سند محاسبه فرکانسی (Wake Frequency) آمده است؟

خیر. این سند یک راهنمای مفهومی سطح ۱ است. بررسی فرکانسی، الزام مهندسی جدی‌تری دارد و در سطح بالاتر همین مجموعه، پس از راستی‌آزمایی منبع، ارائه خواهد شد.

13 منابع و ادامه مسیر

این سند یک راهنمای مفهومی سطح ۱ است و عمده‌اً وارد محاسبه عددی – از جمله بررسی فرکانسی و مقاومت مکانیکی – نمی‌شود. این محاسبات، الزام مهندسی استاندارد دارند و در اسناد سطح بالاتر همین مجموعه، پس از راستی‌آزمایی منبع، ارائه خواهند شد.

منابع مرتبط NICO

ادامه همین موضوع

- راهنمای انتخاب، نصب و مهندسی کاربردی ترموول – NICO-EDU-TWL-L2-002-FA (در دست تدوین)

مرتبط از دسته اندازه‌گیری دما

- سیگنال 4–20 mA چیست؟ – NICO-EDU-SIG-L1-001-FA

این راهنما یک سند آموزشی مفهومی است و هیچ مشخصه یا مدل محصول خاصی در آن ادعا نشده است.