NICO TECHNICAL LEARNING SERIES

مجموعه آموزش فنی ابزار دقیق

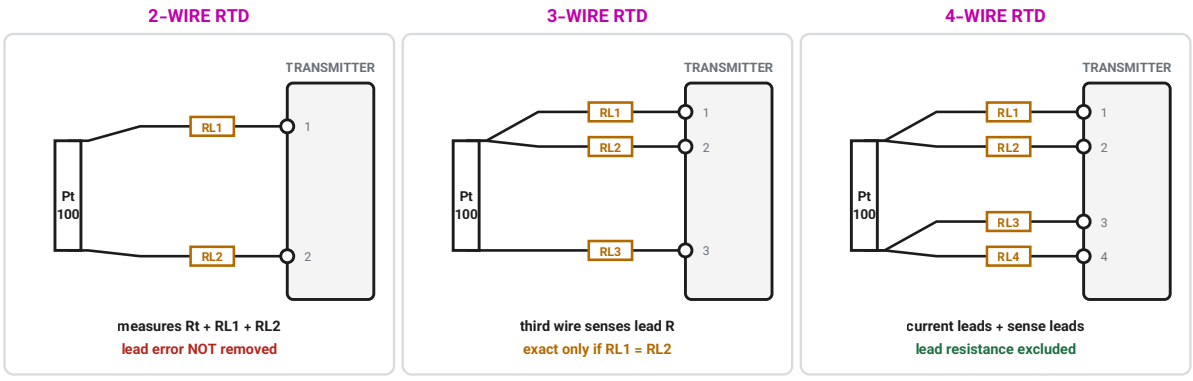
LEVEL 2 — PROFESSIONAL ENGINEERING

# انتخاب، نصب و تنظیم ترانسمیتر دما

## راهنمای مهندسی برای RTD، Pt100 و Thermocouple

Engineering Guide to Temperature Transmitter Selection, Wiring, Configuration and Commissioning

سیم‌بندی ۲، ۳ و ۴ سیمه، ترموکوپل و CJC، انتخاب Rail Mount / Field Mount / Head Mount، URV / LRV ، مقاومت حلقه، HART، خرابی سنسور، کالیبراسیون و عیب‌یابی.




RL = lead-wire resistance; Rt = sensor resistance. Wires are drawn as a schematic, not as terminal numbers of any specific model.

**شکل ۱** — سیم‌بندی ۲، ۳ و ۴ سیمهٔ Pt100 به ترمینال ترانسمیتر

| شماره سند | بازنگری | سطح محتوا | تاریخ انتشار |
|---|---|---|---|
| NICO-EDU-TMP-L2-012-FA | Rev00 | LEVEL 2 | October 2026 — مهر ۱۴۰۵ |

## 1 هدف راهنما و داده‌های لازم برای انتخاب

این راهنما برای مهندسان ابزار دقیق، راه‌اندازی و نگهداری نوشته شده است و فرض می‌کند مفاهیم پایهٔ ترانسمیتر دما (سنسور، 4–20 mA، HART) را می‌شناسید؛ این مفاهیم در سطح ۱ همین مجموعه، NICO-EDU-TMP-L1-011-FA، آمده است. پرسش مهندسی این سند این است: **با چه داده‌هایی ترانسمیتر دما را انتخاب کنم، چگونه سیم‌بندی و تنظیم کنم و چگونه صحت حلقه را تأیید کنم؟** مقادیر عددی مثال‌ها نمونه‌اند و جایگزین دادهٔ برگهٔ فنی تجهیز نیستند.

**پس از مطالعه این راهنما خواهید توانست:**

1. داده‌های لازم برای انتخاب ترانسمیتر دما را فهرست و داده‌های نامعلوم را به‌صراحت علامت‌گذاری کنید.
2. سیم‌بندی Pt100 دو، سه و چهار سیمه و سیم‌بندی ترموکوپل را انتخاب و خطای سیم رابط را برآورد کنید.
3. نوع نصب Head Mount، Field Mount یا Rail Mount را بر اساس محیط، دسترسی و نویز انتخاب کنید.
4. URV / LRV را تنظیم و مقاومت مجاز حلقهٔ 4–20 mA را محاسبه کنید.
5. جهت هشدار خرابی سنسور، HART و ایزولاسیون را برای حلقه تعریف کنید.
6. حلقه را کالیبره، راه‌اندازی و با جدول عیب‌یابی خطاهای رایج را رفع کنید.

انتخاب ترانسمیتر، پیش از هر چیز، تصمیمی دربارهٔ **کل حلقه** است: نوع سنسور، محل نصب، فاصلهٔ کابل، محیط، محدودهٔ اندازه‌گیری، خروجی و سیستم کنترل. جدول ۱ داده‌هایی را فهرست می‌کند که پیش از نهایی‌کردن انتخاب باید معلوم باشند. هر مقدار نامعلوم باید به‌صراحت علامت بخورد (Not Provided، TBC یا Required for Final Selection)؛ پر کردن آن با حدس، پایهٔ رایج خطاهای میدانی است.

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

**جدول ۱** — برگهٔ داده‌های فرآیند (Process Data) برای انتخاب ترانسمیتر دما

| داده | چرا لازم است | اگر نامعلوم باشد |
|---|---|---|
| **دمای عادی، حداقل و حداکثر فرآیند** | تعیین URV / LRV، نوع سنسور و حاشیهٔ ایمن | Required for Final Selection |
| **دمای طراحی و دمای گذرا (استارت، شست‌وشو)** | حد دمای سنسور، ماده و ترانسمیتر | TBC؛ بدون آن حد بالای سنسور نهایی نیست |
| **سرعت تغییر دما و نیاز پاسخ** | انتخاب غلاف، Damping و نوع سنسور | TBC |
| **دما، ارتعاش، رطوبت و خوردگی در محل نصب** | نوع نصب و درجهٔ حفاظت محفظه | Required for Final Selection |
| **طبقه‌بندی منطقهٔ خطرناک** | گواهی Ex و آرایش ایزولاسیون | Required for Final Selection؛ حدس ممنوع |
| **فاصلهٔ سنسور تا اتاق کنترل و مسیر کابل** | سیم‌بندی، افت حلقه و نویز | TBC |
| **خروجی و پروتکل مورد نیاز سیستم کنترل** | 4–20 mA، HART یا ارتباط دیگر | Required for Final Selection |
| **دقت لازم کل حلقه** | انتخاب سنسور و ترانسمیتر هماهنگ | TBC |

## 2 انتخاب سنسور: RTD در برابر Thermocouple

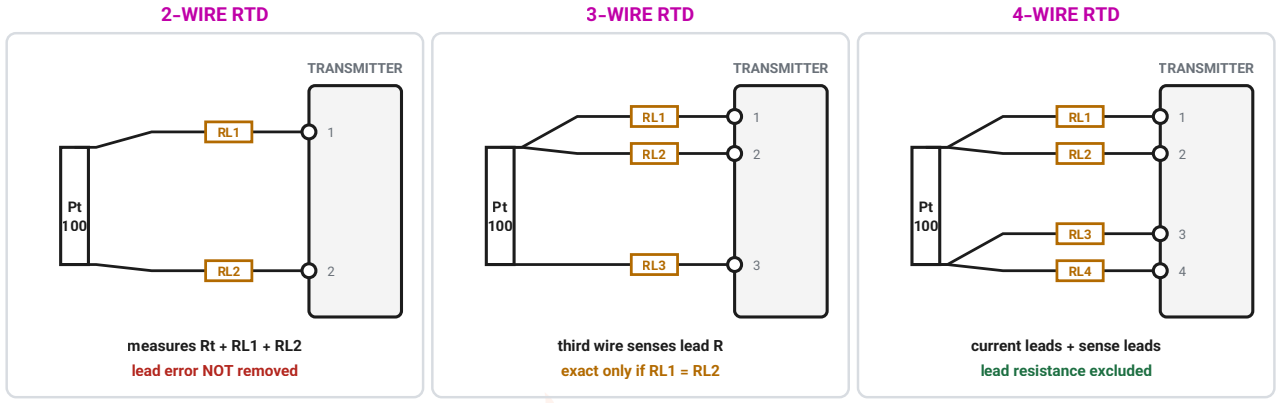
ترانسمیتر دما بر سنسور سوار است و انتخاب سنسور بر ترانسمیتر اثر می‌گذارد. RTD پلاتینی در محدودهٔ دمای متوسط معمولاً دقت و پایداری بهتری دارد و سیگنال مقاومتی آن را می‌توان با مس معمولی منتقل کرد. ترموکوپل برای دماهای بالاتر، پاسخ سریع و ساختار مقاوم به لرزش مناسب‌تر است، اما سیگنال آن ضعیف‌تر است و به کابل هم‌جنس و CJC نیاز دارد. حدود دمایی دقیق هر نوع باید از استاندارد و برگهٔ فنی سازندهٔ سنسور خوانده شود (جدول ۲ فقط مقایسهٔ کیفی است).

**جدول ۲** — مقایسهٔ کیفی RTD و Thermocouple برای حلقهٔ ترانسمیتر

| معیار | RTD (Pt100) | Thermocouple |
|---|---|---|
| **نوع سیگنال** | مقاومت؛ تغییر کوچک و به مقاومت سیم حساس | ولتاژ میلی‌ولت؛ به اختلاف دما وابسته |
| **دقت و پایداری** | معمولاً بهتر در دمای متوسط | معمولاً کمتر؛ وابسته به نوع و جبران مرجع |
| **محدودهٔ دما** | محدودتر؛ حد دقیق از استاندارد و سازنده | تا دماهای بالاتر؛ بسته به نوع |
| **پاسخ و استحکام** | المان بزرگ‌تر؛ پاسخ کندتر، لرزش‌پذیرتر | اتصال نقطه‌ای؛ سریع و مقاوم‌تر |
| **کابل بین سنسور و ترانسمیتر** | مس معمولی؛ ۲، ۳ یا ۴ سیمه | Extension Cable یا Compensating Cable هم‌جنس |
| **جبران مرجع** | لازم نیست | Cold Junction Compensation لازم است |

## 3 سیم‌بندی Pt100: دو، سه و چهار سیمه

تغییر مقاومت Pt100 بسیار کوچک است (حدود 0.39 ohm/°C نزدیک صفر درجه)، پس مقاومت سیم‌های رابط در برابر آن کوچک نیست. در **دو سیمه**، ترانسمیتر مقاومت سنسور را به‌همراه مقاومت دو سیم می‌خواند و خطا قابل‌جبران نیست. در **سه سیمه**، سیم سوم مقاومت سیم را اندازه می‌گیرد و ترانسمیتر آن را کم می‌کند؛ این جبران وقتی دقیق است که مقاومت دو سیم یکسان باشد. در **چهار سیمه**، جفت سیم جریان و جفت سیم ولتاژ جدا هستند و مقاومت سیم عملاً از اندازه‌گیری خارج می‌شود.




RL = lead-wire resistance; Rt = sensor resistance. Wires are drawn as a schematic, not as terminal numbers of any specific model.

**شکل ۱** — سیم‌بندی ۲، ۳ و ۴ سیمهٔ Pt100 به ترمینال ترانسمیتر؛ RL مقاومت سیم رابط است

خطای دو سیمه را می‌توان با دو رابطهٔ ساده برآورد کرد: مقاومت کل دو سیم از طول و سطح مقطع، و تبدیل آن به دما با حساسیت سنسور.

$$R_L = 2 \times rho \times L / S \;;\; \Delta T = R_L / (dR/dT) \quad (1)$$

| | | |
|---|---|---|
| $R_L$ | مقاومت کل دو سیم رابط در مسیر اندازه‌گیری (دو سیمه) | ohm |
| rho | مقاومت ویژهٔ مس؛ مقدار نمونهٔ 0.0172 ohm·mm²/m در 20 °C (REQUIRES SOURCE VERIFICATION) | ohm·mm²/m |
| L | طول یک‌طرفهٔ کابل | m |
| S | سطح مقطع هر هادی | mm² |
| dR/dT | حساسیت Pt100 در دمای کار؛ حدود 0.38 ohm/°C نزدیک 100 °C | ohm/°C |
| ΔT | خطای دمای ناشی از مقاومت سیم | °C |

### مثال ۱ — خطای سیم رابط Pt100 EXAMPLE

**داده (ASSUMPTION):** کابل مسی 1.5 mm²، طول یک‌طرفه 50 m، دمای فرآیند نزدیک 100 °C.

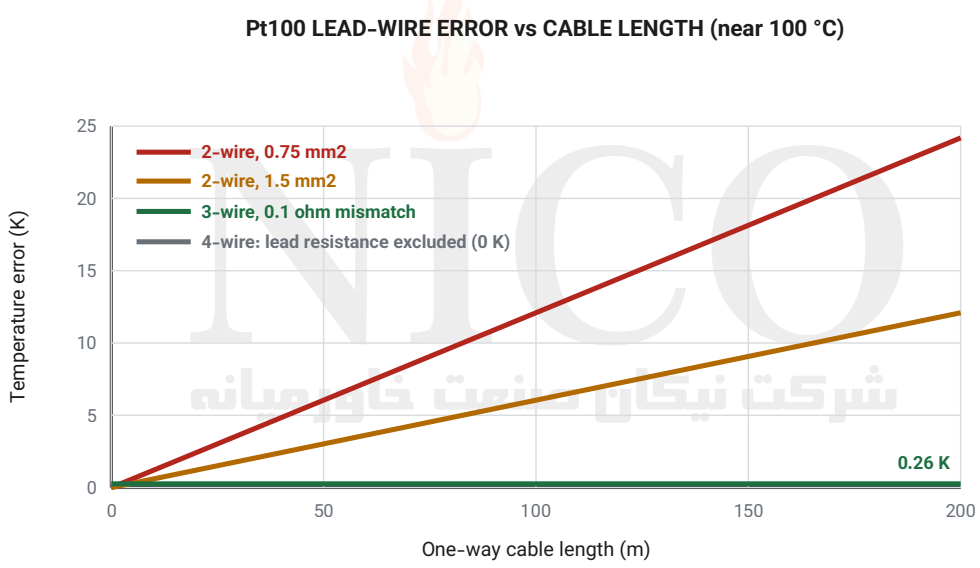
$$R_L = 2 \times 0.0172 \times 50 / 1.5 = 1.147 \text{ ohm}$$

$$\Delta T(2\text{-wire}) = 1.147 / 0.3793 = 3.02 \text{ °C}$$

در سه سیمه، اگر اختلاف مقاومت دو سیم 0.1 ohm باشد (تفاوت اتصال یا ترمینال):

$$\Delta T(3\text{-wire}) = 0.1 / 0.3793 = 0.26 \text{ °C}$$

**نتیجه: در دو سیمه حدود 3.0 °C خطای سیستماتیک ایجاد می‌شود که با کالیبراسیون ترانسمیتر حذف نمی‌شود؛ سه سیمه آن را به حدود 0.26 °C می‌رساند. در چهار سیمه این سهم عملاً صفر است.**



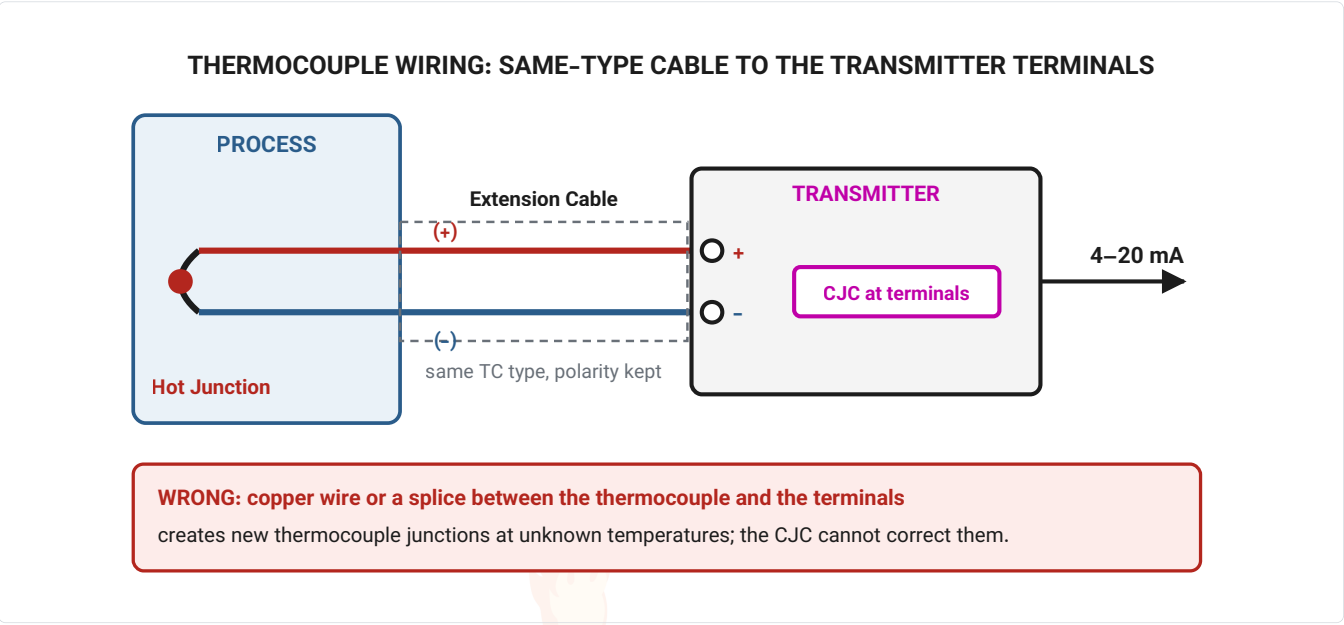

**شکل ۲** — خطای سیم رابط Pt100 بر حسب طول کابل در دو سیمه (دو سطح مقطع)، سه سیمه با عدم‌تطابق 0.1 ohm و چهار سیمه

**ENGINEERING TIP — سه سیمه را سه سیمهٔ واقعی نگه دارید**

سه سیمه فقط وقتی جبران می‌کند که سه هادی هم‌جنس، هم‌طول و هم‌مقطع باشند و ترمینال‌ها محکم شده باشند. استفاده از یک جفت سیم نازک‌تر برای یکی از سه سیم، یا اتصال سست روی یک ترمینال، عدم‌تطابق می‌سازد و جبران را نصفه می‌کند. در کابل بلند یا الزام دقت بالا، چهار سیمه ارزش هزینهٔ سیم اضافه را دارد.

## 4 سیم‌بندی ترموکوپل

ولتاژ ترموکوپل در تمام مسیر میان Hot Junction و ترمینال ترانسمیتر باید از هادی‌های هم‌جنس عبور کند. اگر در این مسیر مس معمولی یا اتصال نامناسب قرار گیرد، اتصال‌های ناخواسته‌ای با دمای نامعلوم ساخته می‌شود و CJC نمی‌تواند آن‌ها را جبران کند. به همین دلیل از Extension Cable یا Compensating Cable هم‌نوع با ترموکوپل استفاده می‌شود و قطبیت (+ و -) در همهٔ اتصال‌ها حفظ می‌شود.




**شکل ۳** — سیم‌بندی ترموکوپل با کابل هم‌نوع تا ترمینال ترانسمیتر؛ مس یا اتصال میانی خطای جبران‌ناپذیر می‌سازد

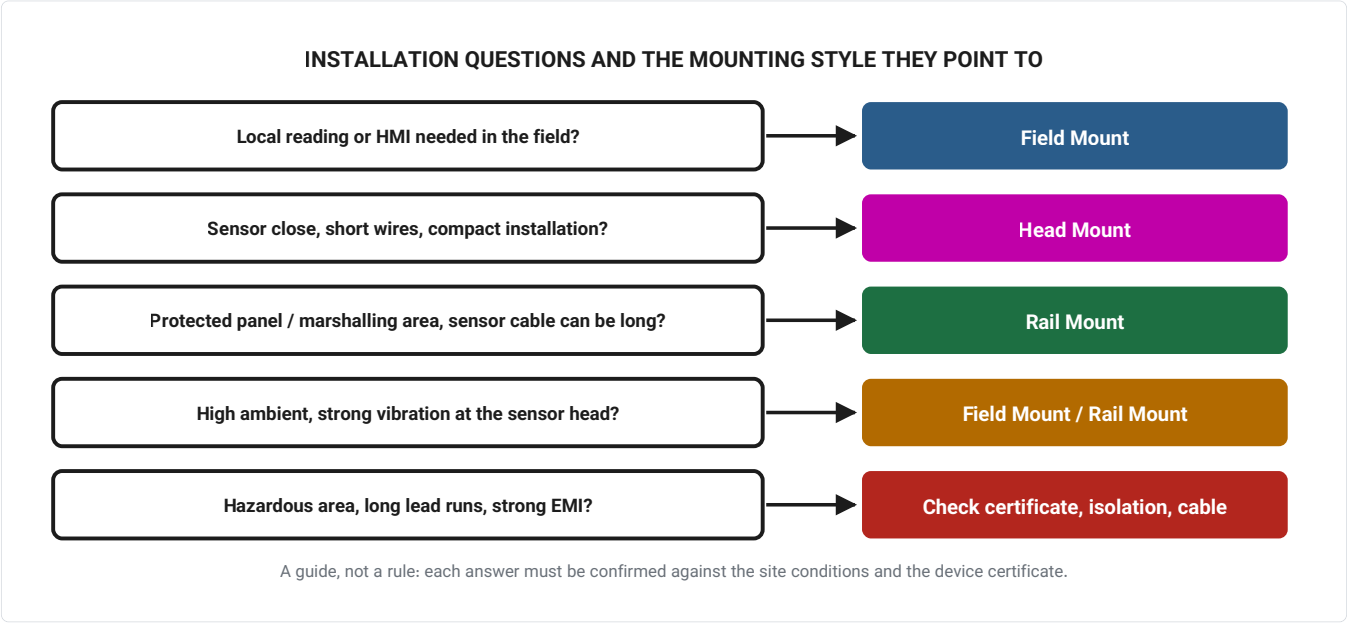
چهار نکتهٔ اجرایی تکرار می‌شود: نخست، نوع ترموکوپل در ترانسمیتر دقیقاً با سنسور یکی باشد؛ دوم، قطبیت در تمام اتصال‌ها رعایت شود (معکوس بودن قطبیت باعث می‌شود با گرم‌شدن فرآیند، قرائت کم یا دچار خطای بزرگ شود)؛ سوم، اتصال‌ها و ترمینال‌ها از ماده‌ای باشند که مشخصهٔ ترموکوپل را تغییر نمی‌دهد؛ چهارم، سنسور CJC ترانسمیتر در دمای واقعی ترمینال‌ها باشد. اگر ترمینال‌ها گرادیان دما داشته باشند (مثلاً نزدیک منبع گرما یا زیر آفتاب)، خطای دمای ترمینال تقریباً یک‌به‌یک به قرائت اضافه می‌شود؛ یعنی گرادیان 3 °C میان سنسور CJC و ترمینال حدود 3 °C خطا می‌سازد.

**CAUTION — مشخصهٔ کابل را از برگهٔ فنی بخوانید**

گروه‌بندی رنگ، قطبیت و ردهٔ دمایی Extension Cable و Compensating Cable بین استانداردها و سازندگان فرق دارد و در این سند نقل نشده است؛ نوع و رنگ کابل را با استاندارد مربوط به ترموکوپل (IEC 60584-1، ویرایش جاری راستی‌آزمایی نشده) و برگهٔ فنی سازنده تأیید کنید.

## 5 انتخاب نوع نصب: Head Mount، Field Mount و Rail Mount

نوع نصب با پنج پرسش اجرایی تعیین می‌شود: محل نصب، طول کابل سنسور، شرایط محیط، دسترسی نگهداری و میزان نویز. شکل ۴ این پرسش‌ها را به نوع نصب مربوط می‌کند و جدول ۳ مقایسهٔ کامل‌تر را می‌دهد.




**شکل ۴** — پرسش‌های محل نصب و نوع نصبی که هرکدام نشان می‌دهد؛ راهنما است، قاعدهٔ قطعی نیست

**جدول ۳** — مقایسهٔ Head Mount، Field Mount و Rail Mount

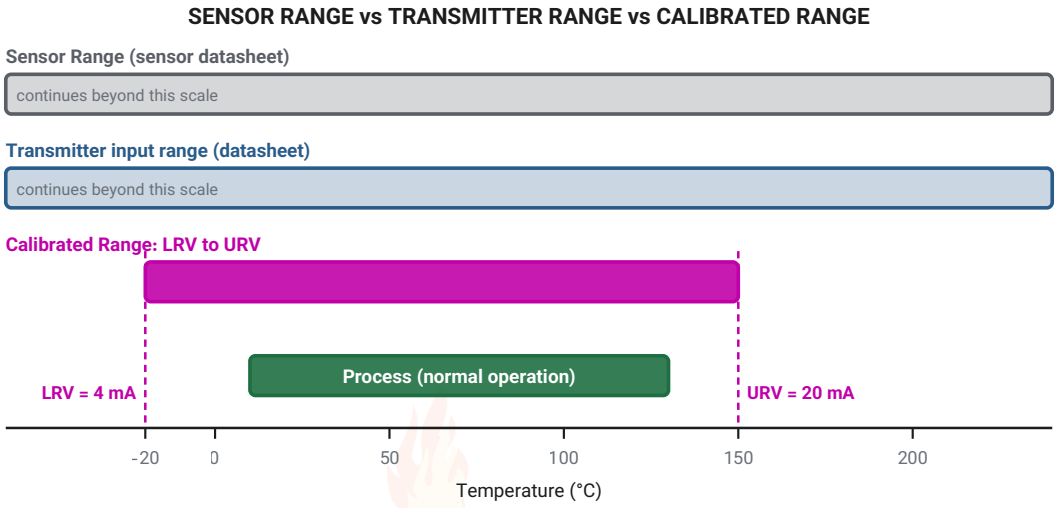
| معیار | Head Mount | Field Mount | Rail Mount |
|---|---|---|---|
| **محل نصب** | داخل Connection Head روی سنسور | محفظهٔ مستقل در میدان، روی لوله یا پایه | تابلو یا اتاق تجهیزات، روی ریل DIN Rail |
| **کابل سنسور** | بسیار کوتاه (فقط داخل سر اتصال) | متوسط؛ بسته به فاصلهٔ سنسور و محفظه | بلند؛ تا تابلو |
| **محیط** | در معرض دمای محیط، لرزش و رطوبت سر اتصال | محفظهٔ مقاوم صنعتی؛ درجهٔ حفاظت از مشخصات مدل | محیط تابلو؛ حفاظت‌شده از هوای آزاد |
| **نگهداری و دسترسی** | برای دسترسی باید سر اتصال باز شود | نمایشگر و دسترسی محلی بهتر | دسترسی راحت در تابلو؛ دور از فرآیند |
| **نویز** | سیگنال کم‌سطح کوتاه؛ نویز کمتر بر سیگنال سنسور | کابل سنسور متوسط؛ شیلد و مسیردهی مهم است | کابل سنسور بلند و حساس به نویز؛ مسیردهی دقیق لازم است |

## 6 چرا ترانسمیتر را نزدیک سنسور نصب می‌کنیم؟

سیگنال سنسور (اهم یا میلی‌ولت) ضعیف و حساس به مقاومت سیم، نویز و رطوبت است، در حالی که خروجی 4–20 mA به‌مراتب مقاوم‌تر است. هر چه ترانسمیتر به سنسور نزدیک‌تر باشد، طول مسیر کم‌سطح کوتاه‌تر می‌شود و سهم خطای سیم و نویز کم می‌شود. این همان دلیل رایج انتخاب Head Mount و Field Mount نزدیک سنسور است. نصب Rail Mount در تابلو پذیرفتنی است، به‌شرط آنکه سیم‌بندی سه یا چهار سیمه، کابل شیلددار و مسیردهی مناسب رعایت شود.

## 7 تنظیم محدوده: Sensor Range، Calibrated Range، LRV و URV

سه «محدوده» که اغلب با هم اشتباه گرفته می‌شوند، مفاهیم متفاوتی‌اند. Sensor Range محدودهٔ دمایی است که خود سنسور و استاندارد آن مجاز می‌دانند. محدودهٔ ورودی ترانسمیتر آن چیزی است که ترانسمیتر می‌تواند بخواند و در برگهٔ فنی آمده است. Calibrated Range محدوده‌ای است که کاربر با LRV و URV تنظیم می‌کند و خروجی 4–20 mA را روی آن مقیاس می‌دهد. Calibrated Range باید درون هر دو محدودهٔ دیگر باشد و محدودهٔ عادی فرآیند را با حاشیه بپوشاند؛ اختلاف URV و LRV برابر Span است و ترانسمیتر حداقل Span قابل‌تنظیم دارد که از برگهٔ فنی مدل خوانده می‌شود.




**شکل ۵** — Sensor Range، محدودهٔ ورودی ترانسمیتر، Calibrated Range و محدودهٔ عادی فرآیند (مقیاس نمونه)

**مثال ۲ — Pt100 برای -20…150 °C** EXAMPLE

**داده:** LRV = -20 °C و URV = 150 °C؛ پس Span = 170 °C. مقاومت Pt100 در دو سر محدوده (محاسبه از رابطهٔ Callendar–Van Dusen، REQUIRES SOURCE VERIFICATION): 92.16 ohm و 157.33 ohm.

$$I = 4 + 16 \times (T - LRV) / (URV - LRV) = 4 + 16 \times (T + 20) / 170$$

نقاط مرجع: -20 °C = 4 mA؛ 22.5 °C = 8 mA؛ 65 °C = 12 mA؛ 107.5 °C = 16 mA؛ 150 °C = 20 mA. دمای 0 °C برابر 5.88 mA می‌شود، نه ۴ میلی‌آمپر.

**نتیجه: مقیاس‌گذاری سیستم کنترل باید دقیقاً -20 °C برای ۴ میلی‌آمپر و 150 °C برای ۲۰ میلی‌آمپر باشد. اگر در DCS فرض شود ۴ میلی‌آمپر برابر صفر است، قرائت در کل محدوده حدود 20 °C اشتباه می‌شود.**

## 8 حلقهٔ 4–20 mA: ولتاژ تغذیه و مقاومت حلقه

ترانسمیتر دو سیمه برای کار به حداقل ولتاژ ترمینال (V حداقل) نیاز دارد. ولتاژ باقی‌مانده از منبع، پس از افت روی مقاومت‌های حلقه (ورودی کارت، سیم‌ها، Barrier یا ایزولاتور در صورت وجود)، باید در بدترین حالت جریان (جریان هشدار بالا) از این حداقل کمتر نشود. رابطهٔ زیر حداکثر مقاومت مجاز حلقه را می‌دهد:

$$R_{max} = (V_s - V_{min}) / I_{max} \quad (2)$$

| | | |
|---|---|---|
| $R_{max}$ | حداکثر مقاومت مجاز کل حلقه | ohm |
| $V_s$ | ولتاژ منبع تغذیه حلقه (در مثال 24 V) | V |
| $V_{min}$ | حداقل ولتاژ ترمینال ترانسمیتر؛ از برگهٔ فنی مدل (در مثال فرض 10 V) | V |
| $I_{max}$ | بیشترین جریان حلقه، شامل جریان هشدار بالا (در مثال فرض 22 mA) | A |

### مثال ۳ — بار حلقه EXAMPLE

**داده (همگی ASSUMPTION):** V_s = 24 V، V_min = 10 V، I_max = 22 mA؛ ورودی کارت 250 ohm؛ کابل 1.5 mm² به طول یک‌طرفه 300 m.

$$R_{max} = (24 - 10) / 0.022 = 636.4 \text{ ohm}$$

$$R_{cable} = 2 \times 300 \times 0.0172 / 1.5 = 6.88 \text{ ohm} ; R_{load} = 250 + 6.88 = 256.9 \text{ ohm}$$

**نتیجه:** R_load = 256.9 ohm **کمتر از** R_max = 636.4 ohm **است و حاشیه حدود** 379 ohm **باقی می‌ماند. ولتاژ ترمینال در** 22 mA **برابر** $18.35 \text{ V} = 256.9 \times 0.022$ **است. افت ولتاژ ورودی کارت در** 20 mA **برابر** 5.0 V **است (محدودهٔ** 1–5 V**).**




**شکل ۶** — خط بار حلقه: ولتاژ ترمینال ترانسمیتر در 22 mA بر حسب مقاومت حلقه؛ نقطهٔ کار و R_max مشخص شده‌اند

## 9 پیکربندی با HART

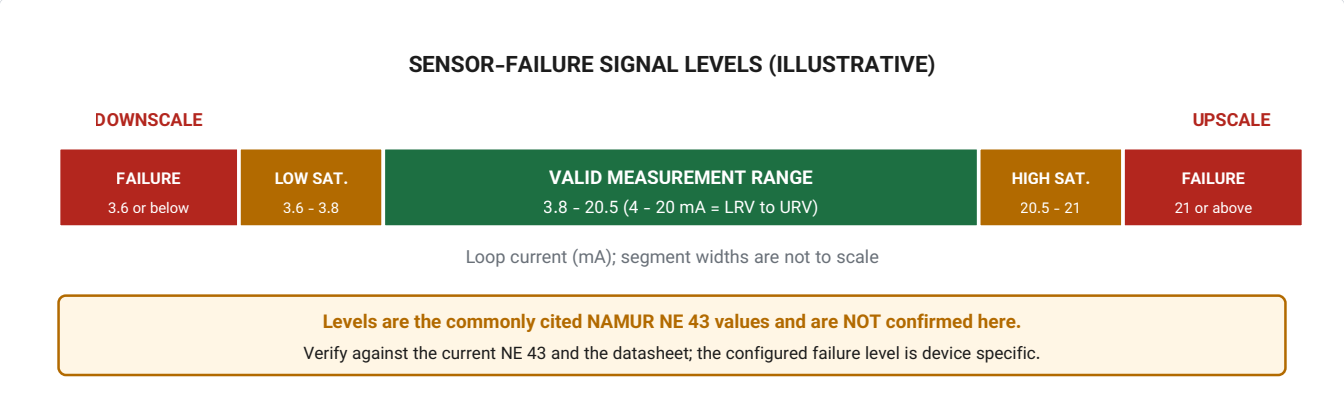
با ارتباط HART می‌توان بدون جدا کردن سیم‌ها پارامترهای ترانسمیتر را خواند و تغییر داد. فهرست دقیق دستورها و پارامترها به مدل و نسخهٔ توصیف‌گر دستگاه بستگی دارد؛ در این راهنما فقط گروه‌های متداول معرفی می‌شوند (جدول ۴). هر تغییر پیکربندی باید ثبت و در DCS و نقشهٔ حلقه به‌روز شود.

**جدول ۴** — پارامترهای معمول پیکربندی HART ترانسمیتر دما

| پارامتر | کاربرد و ملاحظه |
|---|---|
| (PV) Primary Variable | مقدار اصلی اندازه‌گیری؛ باید با واحد و مقیاس DCS هماهنگ باشد |
| **نوع سنسور و تعداد سیم** | Pt100، Pt1000، نوع ترموکوپل، ۲/۳/۴ سیمه؛ اشتباه در آن خطای بزرگ می‌سازد |
| URV / LRV | مقیاس خروجی 4–20 mA؛ باید با مقیاس DCS یکی باشد |
| Damping | فیلتر نوسان؛ مقدار بزرگ نویز را کم و پاسخ را کند می‌کند |
| **سطح هشدار خرابی سنسور** | Upscale یا Downscale؛ ببینید بخش بعد |
| **تشخیص و وضعیت** | وضعیت سنسور، هشدارهای دستگاه؛ در برگهٔ فنی هر مدل تعریف شده است |
| **آزمون حلقه** (Loop Test) | تولید جریان ثابت برای آزمون سیم‌ها و ورودی DCS؛ پس از آزمون باید برگردانده شود |

## 10 خرابی سنسور و Burnout

اگر سیم RTD قطع شود، مقاومت به سمت بی‌نهایت می‌رود و قرائت بالا می‌رود؛ اگر اتصال کوتاه شود، قرائت به حد پایین سقوط می‌کند. ترموکوپل قطع‌شده نیز ولتاژ بی‌معنی می‌دهد. ترانسمیتر هوشمند این حالت‌ها را تشخیص می‌دهد و بسته به پیکربندی، خروجی را به سطح هشدار بالا (Upscale) یا پایین (Downscale) می‌برد تا DCS بتواند آن را از مقدار واقعی تشخیص دهد. انتخاب جهت هشدار یک تصمیم ایمنی-فرآیندی است: حلقه‌ای که با دمای بالا خطرناک می‌شود معمولاً به Downscale نیاز ندارد، بلکه جهتی را می‌خواهد که شرایط را امن نگه دارد.




**شکل ۷** — نواحی سیگنال: خرابی (Downscale)، اشباع، محدودهٔ اندازه‌گیری معتبر و خرابی (Upscale)؛ مقادیر نمونه و راستی‌آزمایی نشده

**IMPORTANT — مقادیر NAMUR NE 43 باید از منبع تأیید شوند**

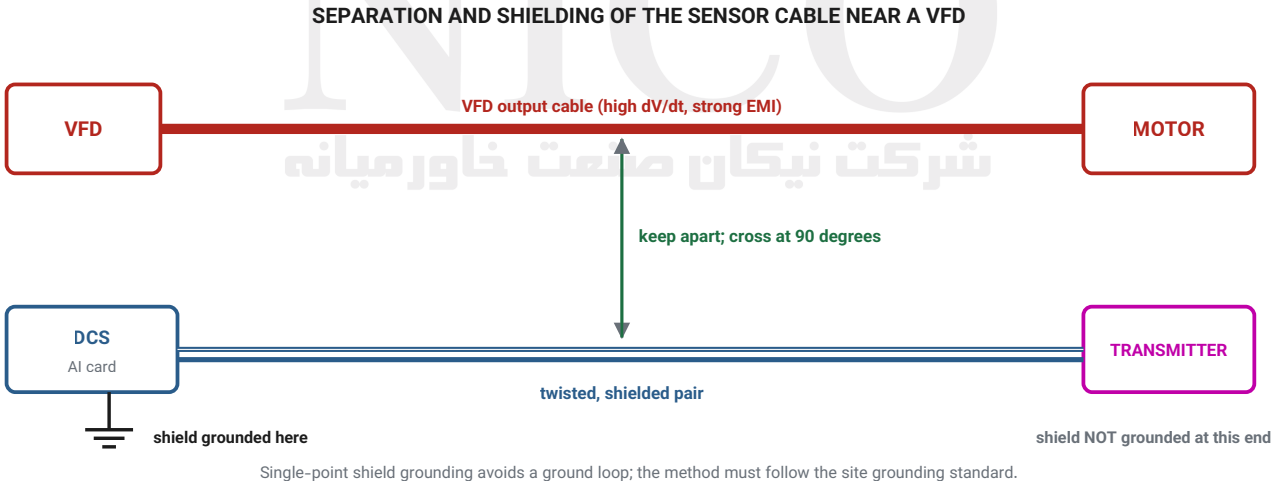
توصیهٔ NAMUR NE 43 سطوح سیگنال برای اندازه‌گیری معتبر و اعلام خطا را تعریف می‌کند و مقادیر رایج‌نقل‌شده، مانند حدود ۳٫۸ تا ۲۰٫۵ میلی‌آمپر برای اندازه‌گیری معتبر و ۳٫۶ یا ۲۱ میلی‌آمپر برای خطا، در شکل ۷ فقط نمونه‌اند. ویرایش جاری استاندارد راستی‌آزمایی نشده است؛ سطح واقعی هشدار هر ترانسمیتر قابل پیکربندی است و باید از برگهٔ فنی همان مدل و رویهٔ پروژه خوانده شود. DCS باید جریان بیرون از محدوده را به‌عنوان خرابی حلقه تفسیر و آلارم کند، نه به‌عنوان دمای واقعی.

## 11 ایزولاسیون گالوانیکی

Galvanic Isolation مسیر هدایتی بین ورودی سنسور، خروجی حلقه و تغذیه را قطع می‌کند و از ایجاد Ground Loop و عبور جریان اختلاف پتانسیل زمین در سیگنال جلوگیری می‌کند. این ویژگی در ترموکوپل زمین‌شده یا ترموکوپل با غلاف متصل به سازهٔ دارای پتانسیل اهمیت دارد. وجود و سطح ایزولاسیون از مشخصات هر مدل است و نباید فرض شود؛ بسیاری از مشکلات «قرائت اشتباه ناپایدار» در حلقه‌هایی ریشه دارد که زمین سنسور و زمین سیستم کنترل با هم اختلاف دارند.

## 12 نویز و RFI / EMI

منابع اصلی نویز در محیط صنعتی، کابل خروجی VFD، موتورها، ترانسفورماتورها و ارتباط رادیویی است. سیگنال مقاومتی و ترموکوپلی کم‌سطح بیشتر از 4–20 mA آسیب می‌بیند، پس مسیر کم‌سطح باید کوتاه و شیلددار باشد. اصول عملی: استفاده از جفت‌سیم تابیده و شیلددار (Twisted Pair، Shield)، فاصله از کابل قدرت، تقاطع عمود به‌جای موازی، و زمین کردن شیلد در یک نقطه تا Ground Loop نسازد. روش دقیق زمین کردن باید از استاندارد زمین‌کردن همان سایت پیروی کند.



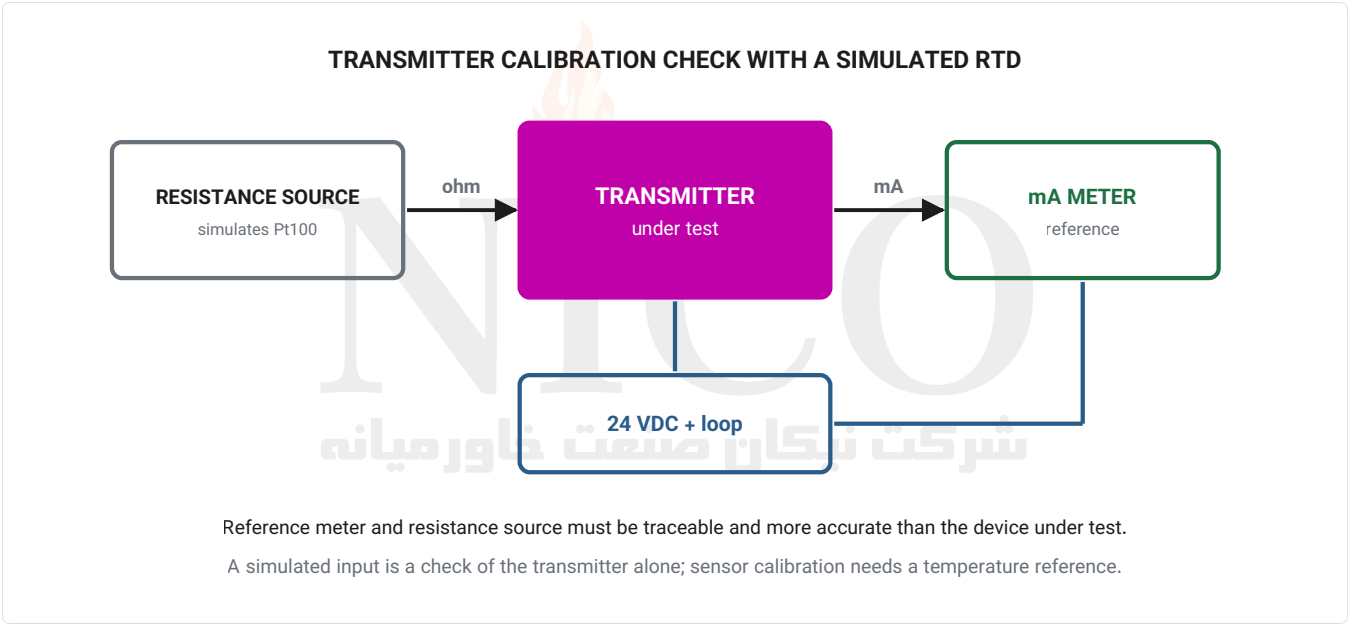

**شکل ۸** — مسیردهی کابل سنسور در مجاورت VFD: فاصله، تقاطع عمود و زمین کردن شیلد از یک طرف

## 13 مشخصات دقت: سنسور، ترانسمیتر و کل حلقه

دقت یک حلقهٔ دما تنها دقت ترانسمیتر نیست. سه سهم جدا وجود دارد: تلرانس یا کلاس دقت سنسور، دقت ورودی ترانسمیتر (به‌همراه اثر دمای محیط و پایداری)، و دقت خروجی آنالوگ و تبدیل در DCS. جمع ساده، محافظه‌کارانه است و ترکیب درست آن‌ها مبتنی بر روش Root-Sum-Square یا بودجهٔ عدم‌قطعیت است که در راهنمای سطح ۳ همین مجموعه توضیح داده شده است. در این سطح دو قاعدهٔ عملی کافی است: دقت ترانسمیتر را با Span واقعی تنظیم‌شده مقایسه کنید (نه با تمام محدودهٔ ورودی)، و دقت سنسور را هیچ‌گاه با ادعای «دقت ترانسمیتر» یکی نگیرید.

## 14 کالیبراسیون و تأیید عملکرد

Calibration مقایسهٔ خروجی دستگاه با مرجع قابل‌ردیابی است و لزوماً شامل تنظیم نیست؛ تنظیم (Adjustment) فقط وقتی انجام می‌شود که انحراف از حد قابل‌قبول بیشتر باشد. نتایج پیش و پس از تنظیم باید ثبت شوند (As Found و As Left). برای ترانسمیتر دما سه روش رایج است: شبیه‌سازی سنسور با منبع مقاومت (برای ورودی RTD)، شبیه‌سازی با منبع میلی‌ولت (برای ترموکوپل) و کالیبراسیون حلقه از ترانسمیتر تا ورودی DCS. شبیه‌سازی فقط ترانسمیتر را می‌سنجد؛ خود سنسور را باید با مرجع دمایی، مثلاً کوره یا حمام کالیبراسیون، سنجید.




**شکل ۹** — کالیبراسیون ترانسمیتر با منبع مقاومت شبیه‌سازشدهٔ RTD و مرجع جریان mA

**جدول ۵** — نقاط بررسی Pt100 برای ترانسمیتر تنظیم‌شده روی 0…150 °C (محاسبه، REQUIRES SOURCE VERIFICATION)

| نقطه | دما | مقاومت شبیه‌سازی | جریان مورد انتظار |
|---|---|---|---|
| ۰٪ | 0 °C | 100.00 ohm | 4.000 mA |
| ۲۵٪ | 37.5 °C | 114.58 ohm | 8.000 mA |
| ۵۰٪ | 75 °C | 128.99 ohm | 12.000 mA |
| ۷۵٪ | 112.5 °C | 143.24 ohm | 16.000 mA |
| ۱۰۰٪ | 150 °C | 157.33 ohm | 20.000 mA |

دو عمل تنظیم را باید از هم جدا دانست. Sensor Trim ورودی ترانسمیتر را به یک مرجع می‌رساند تا خطای ورودی یا ناهمخوانی با سنسور کم شود. Output Trim خروجی 4–20 mA را با مرجع جریان هماهنگ می‌کند. انجام نابجای Sensor Trim با مرجع نادرست (مثلاً سنسور در محیط ناپایدار) خطا را کم نمی‌کند، بلکه به ترانسمیتر منتقل می‌کند. تنظیم باید تنها در صورت انحراف تأییدشده و با مرجع معتبر انجام شود.

## 15 چک‌لیست راه‌اندازی

- ☐ نوع سنسور، تعداد سیم و مشخصهٔ ترموکوپل در ترانسمیتر با سنسور نصب‌شده یکی است.
- ☐ سیم‌بندی سه سیمه یا چهار سیمه با سیم‌های هم‌جنس و هم‌طول انجام و ترمینال‌ها با گشتاور مناسب سفت شده‌اند.
- ☐ Extension Cable ترموکوپل هم‌نوع و قطبیت حفظ شده است؛ بین سنسور و ترمینال، مس یا اتصال میانی وجود ندارد.
- ☐ LRV، URV، واحد و Damping ثبت و با مقیاس DCS و نقشهٔ حلقه یکسان است.
- ☐ مقاومت حلقه از R_max مدل کمتر است و ولتاژ ترمینال در جریان هشدار بالا از حداقل بیشتر است.
- ☐ جهت هشدار خرابی سنسور (Upscale یا Downscale) با ارزیابی ایمنی تعیین و در DCS آلارم شده است.
- ☐ شیلد از یک طرف زمین شده، کابل سنسور از کابل قدرت و VFD جدا یا عمود عبور کرده است.
- ☐ آزمون حلقه (Loop Test) در نقاط ۴، ۱۲ و ۲۰ میلی‌آمپر در DCS تأیید شد و ترانسمیتر به حالت عادی برگشت.
- ☐ نقاط بررسی (جدول ۵) با مرجع قابل‌ردیابی ثبت شده‌اند (As Left / As Found).
- ☐ گواهی و درجهٔ حفاظت تجهیز با طبقه‌بندی منطقه و محیط نصب هم‌خوان است.
- ☐ آب‌بندی ورودی کابل و درپوش Connection Head یا محفظه پس از اتصال بازبینی شد.
- ☐ پیکربندی نهایی ترانسمیتر ثبت و در پروندهٔ حلقه (Loop Folder) بایگانی شد.

## 16 عیب‌یابی

**جدول ۶** — عیب‌یابی حلقهٔ ترانسمیتر دما

| Symptom | Possible Cause | Check | Corrective Action |
|---|---|---|---|
| **قرائت بالاتر از واقعی** (RTD) | سیم‌بندی دو سیمه با کابل بلند؛ اتصال سست؛ سنسور Pt1000 به‌جای Pt100 | اندازه‌گیری مقاومت در دمای مشخص؛ نوع سنسور پیکربندی‌شده | سه یا چهار سیمه؛ محکم کردن ترمینال؛ اصلاح نوع سنسور |
| **قرائت پایین‌تر از واقعی** | رطوبت یا نشتی در سر اتصال؛ ترموکوپل با قطبیت معکوس؛ CJC نادرست | مقاومت عایق؛ قطبیت؛ دمای ترمینال و سنسور CJC | خشک و آب‌بند کردن؛ اصلاح قطبیت؛ جلوگیری از گرادیان دما در ترمینال |

| Symptom | Possible Cause | Check | Corrective Action |
|---|---|---|---|
| **قرائت ناپایدار** | نویز EMI؛ اتصال شل؛ زمین شیلد نادرست؛ Damping کم | مسیر کابل و فاصله از VFD؛ زمین شیلد؛ ترمینال‌ها | کابل شیلددار و جدا؛ زمین یک‌طرفه؛ افزایش Damping در حد مجاز |
| **قرائت ثابت** | حالت جریان ثابت (Loop Test) فعال مانده؛ سنسور یا DCS قفل‌شده | خروجی و وضعیت HART؛ تغییر شبیه‌سازی | خروج از حالت آزمون؛ بازنشانی ورودی یا اصلاح DCS |
| **خروجی در سطح هشدار پایین (مثلاً ۳٫۶ میلی‌آمپر، در صورت پیکربندی)** | RTD یا سیم قطع/کوتاه؛ هشدار Downscale | مقاومت دو سر سنسور؛ تشخیص HART | ترمیم سیم یا جایگزینی سنسور؛ بازبینی سطح هشدار |
| **خروجی بالا یا بیرون از محدوده** | Open Circuit سنسور یا Upscale؛ URV اشتباه | مقاومت یا ولتاژ سنسور؛ LRV / URV | اصلاح اتصال؛ تنظیم مجدد محدوده |
| **با گرم‌شدن فرآیند، قرائت کم می‌شود** | قطبیت ترموکوپل یا کابل معکوس | رنگ و قطبیت از سنسور تا ترمینال | اصلاح قطبیت در همهٔ اتصال‌ها |
| **خطای ثابت چند درجه‌ای** | نوع ترموکوپل یا سنسور اشتباه؛ CJC نادرست؛ مقاومت سیم دو سیمه | نوع پیکربندی‌شده؛ دمای ترمینال؛ طول کابل | تصحیح پیکربندی؛ جبران دمای ترمینال؛ تغییر سیم‌بندی |
| **ترانسمیتر درست، DCS غلط** | مقیاس DCS با URV / LRV ترانسمیتر یکی نیست | جریان واقعی با مولتی‌متر؛ مقیاس ورودی DCS | اصلاح مقیاس DCS؛ ثبت در پروندهٔ حلقه |

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

## 17 سناریوهای میدانی

### مورد A — Pt100 سه سیمه با Head Mount EXAMPLE

**داده (ASSUMPTION):** دمای عادی 20…120 °C؛ ترانسمیتر در سر اتصال؛ محدودهٔ تنظیم 20-…150 °C؛ کابل 4–20 mA به طول 300 m؛ ورودی DCS 250 ohm.

**تحلیل:** سیم کم‌سطح داخل سر اتصال است و خطای سیم عملاً ناچیز است. محدودهٔ تنظیم‌شده (مثال ۲) فرآیند را با حاشیه می‌پوشاند؛ 65 °C برابر 12 mA است. حلقه (مثال ۳) با 256.9 ohm زیر 636.4 ohm است.

> **نتیجه: آرایش Head Mount با Pt100 سه سیمه برای این فرآیند منطقی است. ملاحظهٔ اصلی، دمای محیط و لرزش سر اتصال و ثبت جهت هشدار خرابی سنسور در DCS است.**

### مورد B — Thermocouple با Field Mount EXAMPLE

**داده (ASSUMPTION):** ترموکوپل Type K؛ محدودهٔ 0…600 °C؛ ترانسمیتر در محفظهٔ Field Mount روی پایه؛ Extension Cable هم‌نوع به طول 15 m.

**گام ۱ — مقیاس.** در 450 °C جریان I = 4 + 16 × 450 / 600 = 16 mA است.

**گام ۲ — CJC.** اگر محفظه زیر آفتاب باشد و گرادیان 3 °C بین سنسور CJC و ترمینال ایجاد شود، خطای مستقیم حدود 3 °C به قرائت اضافه می‌شود؛ این خطا با تغییر دما در طول روز تغییر می‌کند.

> **نتیجه: حفاظت ترمینال از تابش مستقیم و گرادیان، و نگه داشتن کابل هم‌نوع تا ترمینال، مهم‌تر از انتخاب مدل ترانسمیتر است. اتصال میانی مسی یا قطبیت معکوس خطاهای جبران‌ناپذیر می‌سازد.**

### FIELD SCENARIO C موتور ۴۰۰ کیلووات با VFD و Pt100 یاتاقان

«قرائت دمای یاتاقان موتور وقتی درایو در بار بالا است چند درجه می‌پرد و آلارم کاذب می‌دهد؛ در خاموشی موتور قرائت صاف است.»

**تحلیل مهندسی:** الگوی «نوسان فقط با کار VFD» به کوپل نویز اشاره می‌کند: کابل سنسور موازی کابل خروجی درایو یا شیلد زمین‌نشده. سیگنال Pt100 کم‌سطح است و در مسیر بلند آسیب‌پذیر می‌ماند. باید کابل سنسور از کابل قدرت جدا و عمود عبور کند (شکل ۸)، ترانسمیتر نزدیک سنسور نصب شود تا مسیر کم‌سطح کوتاه شود، کابل 4–20 mA شیلددار و تابیده باشد، شیلد از یک طرف زمین شود و در صورت ممکن ترانسمیتر دارای Galvanic Isolation باشد.

### FIELD SCENARIO D ترانسمیتر Rail Mount در تابلو با کابل سنسور بلند

«ترانسمیتر روی ریل در تابلو است و Pt100 سه سیمه با کابل ۸۰ متری؛ قرائت چند دهم درجه نسبت به مرجع اختلاف دارد.»

**تحلیل مهندسی:** کابل 1.0 mm² به طول 80 m هر هادی حدود 1.38 ohm مقاومت دارد (دو سیمه: 2.75 ohm یا حدود 7.3 °C خطا). در سه سیمه فقط عدم‌تطابق مهم است؛ اگر مقاومت تماس ترمینال‌ها 0.1 ohm اختلاف بسازد، خطا حدود 0.26 °C می‌شود که با اختلاف مشاهده‌شده سازگار است. اقدام: بازبینی و سفت‌کردن ترمینال‌های ترانسمیتر و تابلوی میانی، مقایسهٔ مقاومت سه هادی، و اگر دقت لازم بیشتر است، تغییر به چهار سیمه یا انتقال ترانسمیتر به Head Mount.

## 18 اشتباهات رایج

**COMMON MISTAKE — پنج اشتباه پرتکرار در انتخاب و راه‌اندازی**

۱) استفاده از دو سیمه با کابل بلند و انتظار دقت درجه‌ای؛ ۲) قطبیت معکوس یا کابل مسی در ترموکوپل؛ ۳) ناهمخوانی مقیاس DCS با URV / LRV؛ ۴) تعیین جهت هشدار خرابی بدون ارزیابی ایمنی؛ ۵) تأیید دقت حلقه با آزمون شبیه‌ساز و فرض سلامت سنسور.

### جمع‌بندی نکات کلیدی

- انتخاب ترانسمیتر تصمیم دربارهٔ کل حلقه است و باید با دادهٔ فرآیند، محیط و کابل‌کشی کامل شروع شود؛ داده‌های ناقص باید علامت صریح داشته باشند.
- در دو سیمه خطای سیم رابط جبران نمی‌شود؛ سه سیمه فقط با سه هادی هم‌ارز دقیق است و چهار سیمه این سهم را حذف می‌کند.
- ترموکوپل با کابل هم‌نوع و قطبیت صحیح تا ترمینال وصل می‌شود؛ مس یا اتصال میانی خطای جبران‌ناپذیر می‌سازد و گرادیان دمای ترمینال مستقیم به قرائت می‌رود.
- نوع نصب را محیط، دسترسی و نویز تعیین می‌کند؛ هیچ نوعی ذاتاً دقیق‌تر نیست.
- URV / LRV باید با مقیاس DCS یکی باشد و R_max حلقه از برگهٔ فنی تعیین می‌شود؛ جهت هشدار خرابی تصمیم ایمنی است و مقادیر NAMUR NE 43 باید تأیید شوند.
- کالیبراسیون ترانسمیتر سنسور را نمی‌سنجد؛ ثبت As Left / As Found و آزمون حلقه بخشی از راه‌اندازی است.

## 19 پرسش‌های متداول

**› تفاوت Pt100 دو سیمه، سه سیمه و چهار سیمه چیست؟**

در دو سیمه مقاومت سیم‌ها به قرائت اضافه می‌شود. در سه سیمه با سیم سوم جبران می‌شود، به‌شرط یکسان بودن دو سیم. در چهار سیمه مقاومت سیم از اندازه‌گیری خارج می‌شود و دقیق‌ترین آرایش است.

**› آیا می‌توان با کابل مسی ترموکوپل را به ترانسمیتر وصل کرد؟**

خیر؛ مس اتصال‌های ناخواسته با دمای نامعلوم می‌سازد و CJC جبرانشان نمی‌کند. باید Extension Cable یا Compensating Cable هم‌نوع و با قطبیت درست تا ترمینال کشیده شود.

**› کدام نوع نصب بهتر است: Head Mount، Field Mount یا Rail Mount؟**

برتری مطلق وجود ندارد. Head Mount مسیر کم‌سطح را کوتاه می‌کند، Field Mount دسترسی و نمایشگر محلی می‌دهد و Rail Mount محیط محافظت‌شده دارد ولی کابل سنسور بلند می‌شود. محیط، دسترسی و نویز تعیین‌کننده است.

**› LRV و URV را چگونه باید انتخاب کنم؟**

آن‌ها را طوری انتخاب کنید که کل محدودهٔ عادی فرآیند را با حاشیه بپوشانند و درون محدودهٔ سنسور و ورودی ترانسمیتر بمانند؛ مقیاس DCS باید دقیقاً همین مقادیر را داشته باشد.

### NAMUR NE 43 چیست و چرا مهم است؟

توصیه‌ای است که سطوح جریان برای اندازه‌گیری معتبر و اعلام خرابی را تعریف می‌کند تا DCS بتواند خرابی را از مقدار واقعی تشخیص دهد. مقادیر دقیق و ویرایش باید از منبع رسمی و برگهٔ فنی دستگاه تأیید شود.

### با HART چه چیزی را می‌توان تنظیم کرد؟

نوع سنسور، URV / LRV، Damping، سطح هشدار خرابی و خواندن تشخیص، بسته به مدل. هر تغییر باید در DCS و پروندهٔ حلقه ثبت شود.

### آیا کالیبراسیون ترانسمیتر به‌تنهایی دقت حلقه را تأیید می‌کند؟

خیر. شبیه‌سازی سنسور فقط ترانسمیتر را می‌سنجد. سنسور، سیم‌بندی و مقیاس DCS هم باید بررسی شوند؛ برای سنسور به مرجع دمایی نیاز است.

### چرا قرائت ترانسمیتر با نویز ناپایدار می‌شود؟

معمولاً کابل سنسور موازی منبع نویز (VFD) است، شیلد زمین نشده یا دو طرف زمین شده، یا اتصال شل است. تفکیک مسیر، شیلد یک‌طرفه و در صورت نیاز Damping یا Galvanic Isolation راه‌حل‌اند.

## 20 استانداردها و منابع

1. IEC 60751 — Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors
   مرجع منحنی Pt100 و کلاس‌های دقت سنسور؛ ویرایش جاری راستی‌آزمایی نشده؛ مقادیر این سند محاسبه‌ای‌اند.
2. IEC 60584-1 — Thermocouples — Part 1: EMF specifications and tolerances
   مرجع مشخصه و تلرانس ترموکوپل؛ گروه‌بندی کابل جبران‌کننده از این استاندارد یا برگهٔ فنی سازنده باید گرفته شود.
3. NAMUR NE 43 — Standardization of the signal level for the failure information of digital transmitters
   مقادیر و ویرایش جاری راستی‌آزمایی نشده؛ سطوح شکل ۷ فقط نمونه‌اند و باید از منبع تأیید شوند.
4. IEC 60079 series — Explosive atmospheres
   مرجع کلی حفاظت در مناطق خطرناک؛ بخش و ویرایش مرتبط با پروژه باید جداگانه تعیین و گواهی دستگاه بررسی شود.
5. HART Communication Protocol — FieldComm Group
   مشخصهٔ پروتکل؛ دستورها و توصیف دستگاه از مستند رسمی هر مدل خوانده می‌شود.

این راهنما سند سطح ۲ است. مقادیر مثال‌ها (مقاومت ویژهٔ مس، V_min، I_max، مقاومت ورودی کارت، طول‌ها) فرض آموزشی‌اند و باید با دادهٔ پروژه و برگهٔ فنی دستگاه جایگزین شوند. محاسبهٔ دقیق خطا و عدم‌قطعیت در سطح ۳ آمده است.

## منابع مرتبط NICO

**گام قبلی و بعدی**

- ترانسمیتر دما چیست؟ — NICO-EDU-TMP-L1-011-FA
- مهندسی پیشرفته اندازه‌گیری دما: خطا و عدم‌قطعیت — NICO-EDU-TMP-L3-013-FA
- راهنمای انتخاب و نصب ترموول — NICO-EDU-TWL-L2-005-FA

**تجهیزات مرتبط NICO**

- ترانسمیتر دمای TTM30-H — Head Mount
- ترانسمیتر دمای TTM30-F — Field Mount
- ترانسمیتر دمای TTM30-R — (DIN Rail) Rail Mount

نیکان صنعت خاورمیانه (NICO) به‌عنوان سازندهٔ ترانسمیتر دمای Head Mount، Field Mount و Rail Mount، برای انتخاب مدل مناسب پروژه از طریق برگهٔ فنی و تیم فنی در دسترس است. مشخصات، ورودی‌ها، دقت و تأییدیه‌های هر مدل باید از برگهٔ فنی رسمی NICO گرفته شود؛ هیچ مشخصهٔ محصولی در این راهنما ادعا نشده است.

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه