راهنمای تخصصی انتخاب سنسور دما

RTD یا ترموکوپل؟ کدام گزینه برای فرایند شما مناسب‌تر است؟

این راهنما چه کمکی می‌کند؟

با مقایسه اصول عملکرد، معیارهای فنی و شرایط واقعی فرایند، گزینه‌های مناسب‌تر را شناسایی کنید؛ سپس با یک چک‌لیست روشن، اطلاعات لازم برای سفارش و استعلام را آماده کنید.

مقایسه فنی	مسیر تصمیم‌گیری	چک‌لیست سفارش
شناخت تفاوت‌ها، مزایا و محدودیت‌های RTD و ترموکوپل	ارزیابی دما، دقت، محیط، نصب و سیستم اندازه‌گیری	ثبت اطلاعات کلیدی برای استعلام فنی و تجاری

نسخه راهنمای کاربردی برای مهندسان ابزار دقیق، مدیران فنی و مدیران خرید صنعتی

اصول عملکرد و ساختار

۱. ابتدا فناوری اندازه‌گیری را بشناسیم

RTD و ترموکوپل هر دو برای اندازه‌گیری دمای صنعتی به‌کار می‌روند، اما سیگنال، الزامات اتصال و رفتار آن‌ها یکسان نیست. انتخاب درست از شناخت فناوری و سپس تطبیق آن با شرایط کاربرد آغاز می‌شود.

RTD | Resistance Temperature Detector

در RTD، مقاومت الکتریکی یک عنصر فلزی - معمولاً پلاتین -با دما تغییر می‌کند. تجهیز لندازه‌گیری مقاومت را می‌خواند و آن را به مقدار دما تبدیل می‌کند. PT100 و PT1000 از شناخته‌شده‌ترین نام‌گذاری‌ها هستند؛ عدد 100 یا 1000 به مقاومت نامی بر حسب اهم در صفر درجه سانتی‌گراد اشاره دارد.

• ساختارهای رایج المان‌های سیم‌پیچی‌شده و فیلم نازک؛ انتخاب ساختار بر دقت، پایداری، ابعاد، مقاومت مکانیکی و محدوده کاربرد اثر می‌گذارد.

• سیم‌بندی اتصال ۲ سیمه ساده‌تر است اما مقاومت سیم رابط می‌تواند به قرائت افزوده شود. در اتصال ۳ سیمه اثر مقاومت سیم های رابط با فرض تقریبا برابر بودن مقاومت آن ها جبران میشود. اتصال ۴ سیمه با حذف اثر مقاومت سیم های رابطدر مدار اندازه گیری، دقت بالاتری فراهم میکند.

• نکته طراحی جریان تحریک، گرمایش خودی، عایق‌بندی، طول سیم و سازگاری ورودی دستگاه نیز باید بررسی شوند.

۱-۱. کلاس‌های دقت RTD بر اساس IEC 60751 :

سنسورهای RTD یا آشکارسازهای دمای مقاومتی، با استفاده از تغییر مقاومت الکتریکی یک عنصر فلزی ـ معمولاً پلاتین ـ دما را اندازه‌گیری می‌کنند. در سنسورهای پلاتینی مانند Pt100 وPt1000 ، مقدار مقاومت با تغییر دما تغییر می‌کند.

استاندارد IEC 60751:2022 کلاس‌های تلرانس سنسورهای مقاومتی پلاتینی را مشخص می‌کند. در این استاندارد، کلاس‌های متداول اندازه‌گیری شامل AA ، A، B و C هستند.

میزان تلرانس هر کلاس با استفاده از فرمول مشخصی محاسبه می‌شود و به دمای اندازه‌گیری‌شده وابسته است.

کلاس دقت	فرمول تلرانس	Wire-Wound	Thin-Film
AA	±(0.10 + 0.0017 × |t|) °C	-50 ... +250	0 ... +150
A	±(0.15 + 0.002 × |t|) °C	-100 .... +450	-30 ... 300
B	±(0.30 + 0.005 × |t|) °C	-196 ... +600	-50 ... +500
C	±(0.60 + 0.01 × |t|) °C	-196 ... +600	-50 .... +600

Thermocouple | ترموکوپل

ترموکوپل از دو رسانای ناهم‌جنس تشکیل می‌شود. اختلاف دما میان اتصال اندازه‌گیری و اتصال مرجع، ولتاژ ترموالکتریکی کوچکی ایجاد می‌کند که دستگاه لندازه‌گیری آن را به دما تبدیل می‌کند. نوع ترموکوپل با حروفی مانند S، R، N، E، T، J، K و B مشخص می‌شود.

• در اندازه گیری ترموکوپل، دمای اتصال مرجع (Reference Junctionn) باید اندازه گیری و در محاسبه دمای محل اندازه گیری لحاظ شود.این فرایند که به عنوان CJC شناخته میشود، معمولاً توسط تجهیزات اندازه گیری یا ترانسمیترهای سازگار با ترموکوپل انجام می شود.

• اتصال مرجع سرد (CJC) دمای محل اتصال سیم‌های ترموکوپل به تجهیزات اندازه‌گیری باید در محاسبه لحاظ شود. بسیاری از ورودی‌ها و ترانسمیترهای ترموکوپل این جبران را به‌صورت داخلی انجام می‌دهند؛ وجود و دقت آن باید کنترل شود.

• کابل رابط یا جبرانی نوع کابل، جنس هادی‌ها، قطبیت و محدوده دمای مجاز باید با نوع ترموکوپل سازگار باشد. کابل مسی معمولی جایگزین عمومی کابل جبرانی نیست.

• نکته طراحی جنس اتصال، قطر سیم، نوع غلاف، اتمسفر فرایند و مدت مواجه در دمای بالا بر عملکرد و پایداری اثر می‌گذارند.

۲-۱ .کلاس‌های دقت ترموکوپل بر اساس IEC 60584-1 :

ترموکوپل‌ها با استفاده از اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجادشده بین دو فلز غیرهم‌جنس، دما را اندازه‌گیری می‌کنند. این اختلاف پتانسیل تابعی از دما است و با استفاده از جداول و روابط استاندارد به مقدار دما تبدیل می‌شود.

استاندارد **IEC 60584-1:2013** مشخصات نیروی محرکه الکتریکی (EMF) و تلرانس ترموکوپل‌ها را تعیین می‌کند. بر اساس این استاندارد، ترموکوپل‌ها در کلاس‌های دقت ۱، ۲ و ۳ دسته‌بندی می‌شوند.

نوع ترموکوپل	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
T	±(0.5°C or 0.004 × |t|) / -40 … +350°C	±(1°C or 0.0075 × |t|) / -40 … +350°C	±(1°C or 0.015 × |t|) / -200 … +40°C
E	±(1.5°C or 0.004 × |t|) / -40 … +800°C	±(2.5°C or 0.0075 × |t|) / -40 … +900°C	±(2.5°C or 0.015 × |t|) / -200 … +40°C
J	±(1.5°C or 0.004 × |t|) / -40 … +750°C	±(2.5°C or 0.0075 × |t|) / -40 … +750°C	—
K	±(1.5°C or 0.004 × |t|) / -40 … +1000°C	±(2.5°C or 0.0075 × |t|) / -40 … +1200°C	±(2.5°C or 0.015 × |t|) / -200 … +40°C
N	±(1.5°C or 0.004 × |t|) / -40 … +1000°C	±(2.5°C or 0.0075 × |t|) / -40 … +1200°C	±(2.5°C or 0.015 × |t|) / -200 … +40°C

جدول تصمیم‌گیری فنی

۲. مقایسه RTD و ترموکوپل

جدول زیر یک مقایسه عمومی برای غربال اولیه گزینه‌هاست. هیچ‌یک از دو فناوری در همه کاربردها برتری مطلق ندارد؛ مشخصات نهایی به مدل، کلاس، ساختار، نصب و زنجیره کامل اندازه‌گیری وابسته است.

معیار	RTD	ترموکوپل
اصل عملکرد	تغییر مقاومت الکتریکی عنصر فلزی	ولتاژ ترموالکتریکی ناشی از اختلاف دما
نوع سیگنال	مقاومت (Ω)	ولتاژ کوچک (µV / mV)
انواع متداول	PT100، PT1000	K، J، T، E، N، R، S، B و...
محدوده دمای کاری	وابسته به نوع المان، ساختار و غلاف؛ محدوده واقعی دیتاشیت بررسی شود	وابسته به نوع ترموکوپل، قطر سیم، اتمسفر و غلاف؛ حدود مجاز سازنده بررسی شود
دقت و تکرارپذیری	در بسیاری از کاربردهای دمای پایین تا متوسط، گزینه مناسب برای دقت و تکرارپذیری بالاست	به نوع، کلاس تلرانس، سیم و تجهیزات جبران‌سازی وابسته است
پایداری و دریفت	معمولاً پایداری بلندمدت خوبی دارد؛ اما تنش، آلودگی و ساختار می‌توانند اثرگذار باشند	در برخی شرایط، به‌ویژه دمای بالا و اتمسفر نامناسب، دریفت می‌تواند مهم باشد
سرعت پاسخ	قطر و ابعاد المان، قطر غلاف محافظ، نوع اتصال المان به غلاف، جنس غلاف، عمق غوطه روی، شرایط انتقال حرارت و سرعت جریان	اتصال و المان کوچک می‌تواند پاسخ سریعی داشته باشد؛ مجموعه نصب تعیین‌کننده است
سیم‌بندی	۲، ۳ یا ۴ سیمه؛ مقاومت سیم رابط باید مدیریت شود	کابل امتداد/جبرانی هم‌نوع، رعایت قطبیت و CJC
شرایط مکانیکی	ساختار و نوع المان باید با ارتعاش و شوک سازگار باشد	ساختارهای مناسب برای ارتعاش و دمای بالا موجود است؛ انتخاب مدل ضروری است
سازگاری سیستم	ورودی RTD یا ترانسمیتر مقاومتی مناسب	ورودی نوع ترموکوپل و جبران اتصال مرجع سرد
هزینه مالکیت	قیمت خرید، سیم‌بندی، دقت و عمر کاری با هم سنجیده شوند	قیمت خرید به‌تنهایی کافی نیست؛ کابل، جبران‌سازی، تعویض و کالیبراسیون نیز لحاظ شوند

انتخاب سنسور برای محیط‌های مستعد انفجار

۳. EX و ATEX

در صنایعی مانند نفت، گاز و پتروشیمی، ممکن است به دلیل وجود گازها، بخارات یا گردوغبار قابل اشتعال، احتمال ایجاد جو انفجاری وجود داشته باشد. در این محیط‌ها، انتخاب سنسور دما تنها بر اساس محدوده اندازه‌گیری و کلاس دقت کافی نیست؛ بلکه تجهیزات باید متناسب با شرایط منطقه و الزامات حفاظت در برابر انفجار انتخاب شوند.

۳-۱. مفهوم حفاظت ضدانفجار (Ex)

علامت **Ex** به تجهیزات طراحی‌شده برای استفاده در محیط‌های مستعد انفجار اشاره دارد. این علامت به‌تنهایی بیانگر یک روش حفاظتی مشخص نیست؛ بلکه نوع حفاظت، گروه تجهیز و سطح ایمنی آن با کدها و علائم تکمیلی روی پلاک تجهیز مشخص می‌شوند.

برخی از روش‌های رایج حفاظت عبارت‌اند از:

- **EX d**: محفظه ضدشعله؛ به‌گونه‌ای طراحی شده که انفجار داخلی به محیط اطراف منتقل نشود.
- **EX i**: ایمنی ذاتی؛ محدودکردن انرژی الکتریکی و حرارتی مدار به سطحی که از ایجاد جرقه یا حرارت قابل اشتعال جلوگیری کند.
- **EX e**: ایمنی افزوده؛ کاهش احتمال ایجاد جرقه، قوس الکتریکی و دمای بیش از حد در شرایط تعریف‌شده.

۳-۲. استاندارد و دستورالعمل ATEX چیست؟

ATEX مجموعه الزامات اتحادیه اروپا برای تجهیزات و سیستم‌های حفاظتی مورد استفاده در محیط‌های مستعد انفجار است. دستورالعمل EU/2014/34 الزامات مربوط به تجهیزات را مشخص می‌کند و انتخاب تجهیز باید بر اساس طبقه‌بندی منطقه خطر و مشخصات فنی آن انجام شود.

توجه داشته باشید که Ex به مفاهیم و روش‌های حفاظت ضدانفجار اشاره دارد، درحالی‌که ATEX چارچوب قانونی و الزامات انطباق تجهیزات در اتحادیه اروپا را تعیین می‌کند. گواهی ATEX و IECEx نیز یکسان نیستند و باید مطابق الزامات پروژه بررسی شوند.

۳-۳. آشنایی Zone (0,1,2,20,21,22)

در استانداردهای طبقه‌بندی مناطق خطرناک، محیط‌ها بر اساس احتمال و مدت حضور مواد قابل اشتعال به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

نوع خطر	تعریف منطقه
Zone 0	حضور مداوم یا طولانی‌مدت گاز، بخار یا مه قابل اشتعال
Zone 1	احتمال حضور گاز، بخار یا مه قابل اشتعال در شرایط عادی کار
Zone 2	احتمال کم حضور گاز، بخار یا مه قابل اشتعال؛ در صورت وقوع، برای مدت کوتاه
Zone 20	حضور مداوم یا طولانی‌مدت ابر گردوغبار قابل اشتعال
Zone 21	احتمال حضور ابر گردوغبار قابل اشتعال در شرایط عادی کار
Zone 22	احتمال کم حضور ابر گردوغبار قابل اشتعال؛ در صورت وقوع، برای مدت کوتاه

۳-۴ .مفهوم Temperature Class یاT-Class

کلاس دمایی یا **T-Class**حداکثر دمای سطحی مجاز تجهیز را در محیط‌های مستعد انفجار گازی مشخص می‌کند. این دما نباید به اندازه‌ای برسد که باعث اشتعال گاز یا بخار موجود در محیط شود.

کلاس دمایی	حداکثر دمای سطح تجهیز
T1	450°C
T2	300°C
T3	200°C
T4	135°C
T5	100°C
T6	85°C

هرچه عدد کلاس T بزرگ‌تر باشد، حداکثر دمای سطح مجاز تجهیز کمتر است. برای مثال، تجهیز دارای کلاس T6 حداکثر دمای سطح 85°C دارد. توجه شود که T-Class با دمای فرآیند یا محدوده اندازه‌گیری سنسور یکسان نیست. برای محیط‌های دارای گردوغبار قابل اشتعال نیز باید محدودیت دمای سطح متناسب با مشخصات گردوغبار بررسی شود.

از نیاز فرایند تا مشخصات سفارش

۴. راهنمای انتخاب در پنج مرحله

به‌جای انتخاب بر اســـاس قیمت یا یک عدد دمایی، مراحل زیر را به ترتیب طی کنید. هر مرحله بخشـــی از عدم‌قطعیت انتخاب را کاهش می‌دهد.

۱	محدوده دمای واقعی را مشخص کنید حداقل، دمای معمول، حداکثر و شرایط گذرا یا غیرعادی را ثبت کنید. محدوده دمایی سنسور باید برای کار پیوسته و شرایط کوتاه‌مدت مجاز باشد.
۲	دقت موردنیاز را تعریف کنید تلرانس مجاز اندازه‌گیری را بر حسب °C تعیین کنید. کلاس سنسور را جدا از خطای ترانسمیتر، سیم رابط، ورودی کنترلر و نصب بررسی نکنید؛ معیار واقعی، عملکرد زنجیره کامل اندازه‌گیری است.
۳	محیط و سیال را ارزیابی کنید نوع سیال، فشار، خوردگی، اکسیداسیون، رطوبت، ارتعاش، سرعت جریان و شست‌وشوی دوره‌ای را مشخص کنید. جنس غلاف و سازگاری شیمیایی را بر همین اساس انتخاب کنید.
۴	ساختار و نصب را طراحی کنید قطر، طول غوطه‌وری، اتصـال فرایندی، محل اندازه‌گیری، ترموول، زمان پاسـخ و امکان تعویض سـنسـور را بررسی کنید. نصب نامناسب می‌تواند حتی با المان دقیق، خطای اندازه‌گیری ایجاد کند.
۵	سازگاری سیستم را تأیید کنید نوع ورودی PLC/کنترلر، ترانسمیتر، تعداد سیم‌ها، نوع کابل، قطبیت، CJC و خروجی موردنیاز مانند 4-20 mA را بررسی کنید.

تصمیم اولیه، نه انتخاب نهایی

RTD را در کاربردهایی که دقت و پایداری در محدوده مجاز آن مهم است بررسی کنید. ترموکوپل را برای کاربردهای دمای بالاتر، محدوده وسـیع‌تر یا پاسخ سـریعِ موردنیاز بررسـی کنید. انتخاب نهایی پس از تأیید دما، اتمسـفر، غلاف، نصب و سازگاری ورودی انجام می‌شود.

اگر یکی از اطلاعات کلیدی مانند نوع سیال، دمای بیشینه، فشار یا ورودی کنترلر نامشخص است، پیش از سفارش آن را تعیین کنید یا برای بررسی فنی ارسال کنید.

مثال‌های کاربردی برای تصمیم‌گیری

۵. سنسور مناسب در صنایع مختلف

نام صنعت به‌تنهایی نوع سنسور را تعیین نمی‌کند. دو نقطه اندازه‌گیری در یک کارخانه ممکن است به فناوری، غلاف و ساختار کاملاً متفاوت نیاز داشته باشند.

فولاد و کوره‌های صنعتی

در کوره‌ها، نواحی احتراق و فرایندهای دمای بالا، ترموکوپل‌های متناسب با محدوده دما و اتمسفر معمولاً گزینه‌های مهم بررسی هستند. نوع ترموکوپل، جنس غلاف یا محافظ سرامیکی/فلزی، عمق نصب و احتمال اکسیداسیون باید با دقت انتخاب شود.

پیش از انتخاب بررسی کنید: دمای پیوسته و پیک، اتمسفر کوره، چرخه حرارتی، جنس غلاف، امکان تعویض و حفاظت مکانیکی.

نفت، گاز و پتروشیمی

در خطوط، مخازن و تجهیزات فرایندی ممکن است هم RTD و هم ترموکوپل استفاده شوند. در این کاربردها، ترموول و اتصال فرایندی به‌اندازه المان سنسور اهمیت دارند؛ فشار، سرعت جریان و خوردگی نباید نادیده گرفته شوند.

پیش از انتخاب بررسی کنید: فشار و دمای طراحی، نوع سیال، خوردگی، ارتعاش ناشی از جریان، متریال ترموول، اتصال و الزامات مکانیکی.

غذایی و دارویی

در اندازه‌گیری‌های بهداشتی و دماهای معمول فرایندی، RTDهایی مانند PT100 اغلب در فهرست گزینه‌های اولیه قرار می‌گیرند. طراحی اتصال، سطح تماس، قابلیت شست‌وشو و الزامات بهداشتی می‌توانند تعیین‌کننده باشند.

پیش از انتخاب بررسی کنید: طراحی بهداشتی، نوع اتصال، زبری سطح(Surface Finish)، قابلیت شست و شو، آب بندی مناسب، جلوگیری از ایجاد نقاط مرده، سازگاری با چرخه های CIP/SIP و الزامات کالیبراسیون و تکرار پذیری

نیروگاه و تولید انرژی

برای خطوط آب و بخار، اگزوز، توربین و تجهیزات حرارتی، انتخاب باید بر اساس سطح دما، پاسخ، شرایط مکانیکی و اهمیت اندازه‌گیری انجام شود. RTD و ترموکوپل هر دو می‌توانند در نقاط متفاوت یک نیروگاه کاربرد داشته باشند.

پیش از انتخاب بررسی کنید: دمای کار و گذرا، فشار، سرعت جریان، ارتعاش، ترموول، الزامات پایش و سازگاری با سیستم کنترل.

هزینه‌هایی که با مشخصات‌دهی دقیق می‌توان کاهش داد

۶. خطاهای رایج در انتخاب و سفارش

۰۱ انتخاب فقط بر اساس قیمت قیمت اولیه را با هزینه نصب، تعویض، توقف، سیم‌کشی و نگهداری مقایسه کنید. معیار درست، هزینه مالکیت در طول عمر تجهیز است.

۰۲ توجه صرف به دمای نامی حداکثر دمای پیوسته و پیک، مدت مواجهه و اتمسفر را نیز بررسی کنید. محدوده یک نوع سنسور را به همه مدل‌ها تعمیم ندهید.

۰۳ نادیده گرفتن کلاس دقت کلاس سنسور را با خطای کل زنجیره اندازه‌گیری اشتباه نگیرید. ورودی، ترانسمیتر، سیم و نصب نیز در نتیجه مؤثرند.

۰۴ غلاف نامتناسب با سیال جنس غلاف باید از نظر خوردگی، اکسیداسیون، فشار و دمای فرایند بررسی شود. انتخاب متریال فقط بر مبنای نام عمومی صنعت کافی نیست.

۰۵ طول غوطه‌وری یا محل نصب نامناسب عمق کم، تماس حرارتی نامناسب یا انتقال گرما از محل نصب می‌تواند قرائت را منحرف کند. ابعاد و محل نصب باید با هندسه تجهیز و جریان سیال تطبیق داده شود.

۰۶ کابل یا اتصال الکتریکی اشتباه در RTD، نوع سیم‌بندی و مقاومت سیم‌ها مهم است. در ترموکوپل، کابل امتداد/جبرانی هم‌نوع، قطبیت و CJC باید درست باشند.

۰۷ عدم سازگاری با کنترلر یا ترانسمیتر نوع ورودی، منحنی سنسور، تعداد سیم، محدوده، تغذیه و خروجی ترانسمیتر را قبل از سفارش تأیید کنید.

۰۸ نادیده گرفتن ارتعاش و زمان پاسخ ساختار المان، قطر، نوع اتصال، غلاف و ترموول بر دوام و پاسخ اثر دارند. مشخصات نصب‌شده را ارزیابی کنید، نه فقط المان خام را.

> **یک قاعده ساده**
>
> هرگاه مشخصات سفارش فقط شامل «PT100»، «Type K» یا یک محدوده دما باشد، برای انتخاب و قیمت‌گذاری دقیق کافی نیست. مشخصات نصب، محیط، اتصال و سیگنال نیز باید تعیین شوند.

پیش از خرید، برگه اطلاعات فنی (Data Sheet) را با شرایط واقعی فرایند و مشخصات ورودی سیستم کنترل تطبیق دهید.

برای انتخاب مطمئن‌تر

۷. جمع‌بندی و منابع فنی

انتخاب سنسور دما زمانی قابل دفاع است که فناوری اندازه‌گیری، المان، کلاس تلرانس، ساختار مکانیکی، شرایط فرایند، روش نصب و تجهیزات دریافت‌کننده سیگنال به‌صورت یک مجموعه بررسی شوند.

> **خلاصه تصمیم**
>
> RTD را زمانی در اولویت بررسی قرار دهید که دقت و تکرارپذیری در محدوده کاری آن اهمیت بالایی دارد. ترموکوپل را زمانی بررسی کنید که دمای بالاتر، محدوده گسترده‌تر یا پاسخ سریع با ساختار مناسب موردنیاز است. در هر دو حالت، دیتاشیت مدل واقعی و شرایط نصب ملاک تصمیم نهایی است.

پیش از نهایی‌کردن سفارش، این پنج مورد را تأیید کنید:

- ☐ محدوده دمای پیوسته و گذرا با محدوده مجاز مدل انتخابی تطبیق دارد.
- ☐ تلرانس سنسور و دقت کل زنجیره اندازه‌گیری با نیاز فرایند سازگار است.
- ☐ جنس غلاف، ترموول و اتصال برای سیال، فشار و شرایط مکانیکی مناسب است.
- ☐ کابل، سیم‌بندی، قطبیت، CJC و نوع ورودی کنترلر صحیح انتخاب شده‌اند.
- ☐ مشخصات سفارش، گواهی‌ها و شرایط کالیبراسیون در دیتاشیت یا سفارش خرید ثبت شده‌اند.

نیاز به بررسی فنی دارید؟

اطلاعات موجود از نقطه اندازه‌گیری و شرایط فرایند را همراه با این چک‌لیست برای کارشناسان شرکت دقیق فرایند کنترل ارسال کنید تا گزینه‌های مناسب از نظر فنی بررسی شوند.

دقیق فرایند کنترل

وب‌سایت: https://dfc-co.com

ایمیل: info@dfc-co.com

تلفن: ۰۲۱۸۸۷۱۸۸۳۹

واتس‌اپ / تلگرام: ۹۸۹۳۰۰۶۷۶۸۷۷+

منابع و مراجع فنی

[۱] IEC ٦٠٧٥١:٢٠٢٢ - Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors. مرجع الزامات و رابطه مقاومت–دما برای RTD پلاتینی.
https://webstore.iec.ch/en/publication/٦٣٧٥٣

[۲] IEC ٦٠٥٨٤-١:٢٠١٣ - Thermocouples - Part ١: EMF specifications and tolerances. مرجع توابع مرجع و تلرانس انواع ترموکوپل.
https://webstore.iec.ch/en/publication/٢٥٢١

[۳] IEC ٦٠٥٨٤-٣:٢٠٢١ - Extension and compensating cables - Tolerances and identification system.
https://webstore.iec.ch/en/publication/٦٣٧٥٤

[۴] WIKA - RTD vs. Thermocouple: When to Use Each – راهنمای مقایسه کاربردی؛ توصیه‌های انتخاب، نقطه شروع‌اند و باید با شرایط دقیق کاربرد تطبیق داده شوند.
https://blog.wika.com/us/knowhow/rtd-vs-thermocouple-when-to-use-each-product/

[۵] National Instruments - Thermocouple CJC – توضیح نیاز به جبران اتصال مرجع سرد در اندازه‌گیری ترموکوپل.
https://www.ni.com/en/support/documentation/supplemental/١٧/specifications-explained--c-series-modules.html

یادداشت: این راهنما برای غربال اولیه و آماده‌سازی اطلاعات سفارش تهیه شده است و جایگزین بررسی مهندسی نقطه اندازه‌گیری، دیتاشیت سازنده، استانداردهای پروژه و الزامات ایمنی نیست. محدوده‌ها و تلرانس‌ها باید برای مدل و ساختار واقعی تأیید شوند.