NICO TECHNICAL LEARNING SERIES

مجموعه آموزش فنی ابزار دقیق

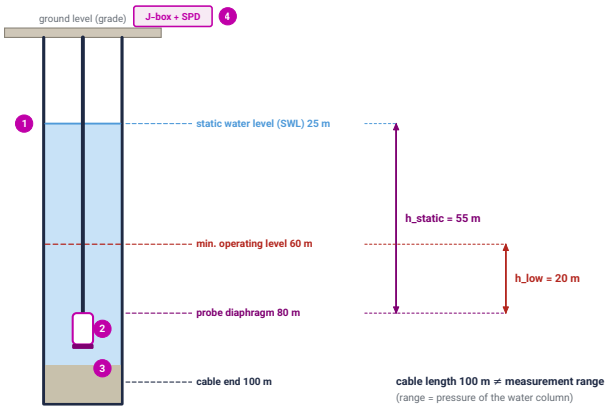
LEVEL 2 — PROFESSIONAL

راهنمای مهندسی انتخاب، سایزینگ و نصب

سطح‌سنج هیدرواستاتیک

Engineering Guide to Hydrostatic Level Transmitter Selection, Sizing and Installation

برای مخزن، چاه، آب، فاضلاب و کاربردهای صنعتی — برگهٔ داده، محدوده، Vented Cable، چگالی، DP، مثال‌های کاربردی و عیب‌یابی



شکل ۱ — چاه عمیق: طول کابل با محدودهٔ اندازه‌گیری یکی نیست

شماره سند	بازنگری	سطح محتوا	تاریخ انتشار
NICO-EDU-LVL-L2-008-FA	Rev00	LEVEL 2	November 2026 — **آذر ۱۴۰۵**

1 برگهٔ داده کاربرد (Application Data Sheet)

برای یک مخزن، چاه یا حوضچهٔ واقعی چگونه محدودهٔ اندازه‌گیری، نوع حسگر، مرجع فشار، کابل، جنس بخش‌های خیس، اتصال فرآیندی و نصب مناسب را انتخاب کنیم؟ پاسخ از یک برگهٔ ورودی کامل شروع می‌شود: انتخاب سطح‌سنج هیدرواستاتیک (Hydrostatic Level Transmitter) بر اساس «ارتفاع مخزن» تنها خطای رایج‌ترین نوع است، چون فشار خروجی به چگالی، مرجع اتمسفر، نوع مخزن و آرایش نصب هم وابسته است. این راهنما برای مهندسان طراحی، کارشناسان EPC، نیروهای راه‌اندازی و تعمیرات نوشته شده و فرض می‌کند خواننده با مبانی در سطح ۱ همین مجموعه (NICO-EDU-LVL-L1-007-FA) آشناست.

پس از مطالعه این راهنما خواهید توانست:

1. برگهٔ داده کاربرد را کامل کنید و داده‌های گمشده را پیش از انتخاب شناسایی کنید.
2. ترانسمیتر غوطه‌ور (Submersible) و ترانسمیتر خارجی را مقایسه و نوع حسگر نسبی (Gauge) یا مطلق (Absolute) را انتخاب کنید.
3. با رابطهٔ $P = \rho \cdot g \cdot h$ محدوده، LRV، URV و Span را برای مخزن باز محاسبه کنید و با اثر چگالی، دما و ارتفاع نصب تصحیح کنید.
4. مخزن تحت فشار را از مخزن باز تشخیص دهید و نیاز به DP یا جبران مستقل را توضیح دهید.
5. الزامات چاه، مخزن آب، فاضلاب و مایع شیمیایی را از نظر کابل، دیافراگم و مواد بسنجید.
6. مقاومت حلقه را بررسی، خطاهای نصب را عیب‌یابی و چک‌لیست راه‌اندازی را اجرا کنید.

جدول زیر حداقل داده‌هایی است که باید پیش از درخواست قیمت یا انتخاب نهایی ثبت شود. هر داده‌ای که معلوم نیست باید صریحاً «ارائه نشده» (Not Provided) یا «نیازمند تأیید» (TBC) علامت بخورد؛ هیچ مقداری نباید ضمنی فرض شود.

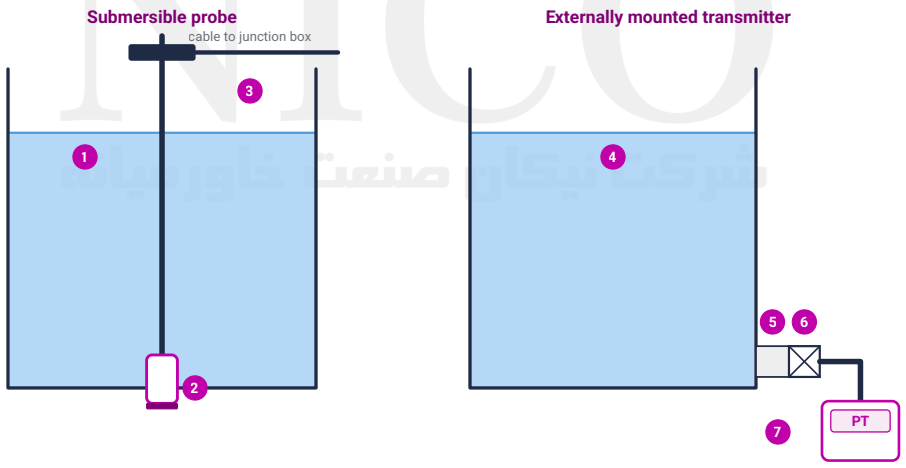
جدول ۱ — برگهٔ داده کاربرد؛ داده‌های لازم برای انتخاب و سایزینگ

داده	چرا لازم است / چه چیزی ثبت شود
مایع، چگالی / SG	ضریب مستقیم $P = \rho gh$؛ نام مایع، چگالی در دمای کاری و بازهٔ تغییر آن
تغییر چگالی	تغییر دما، غلظت، لایه‌بندی یا محصول؛ بازهٔ ρ_{min} تا ρ_{max}
Level **حداقل / نرمال / حداکثر**	تعیین LRV و URV، حاشیهٔ پر شدن بیش از حد (Overfill)
ارتفاع مخزن یا عمق چاه	ارتفاع کل برای جایگذاری حسگر؛ ارتفاع مخزن به‌تنهایی محدوده را تعیین نمی‌کند
فشار کاری و فشار فضای بخار	مخزن باز یا بسته؛ در مخزن بسته فشار فضای بخار باید جداگانه تعیین شود
دمای فرآیند و دمای محیط	اثر بر چگالی، دمای مجاز تجهیز و کابل، یخ‌زدگی و تقطیر
سازگاری مایع با مواد	جنس دیافراگم، بدنه، آب‌بندها و روکش کابل؛ فقط با منبع تأییدشده

داده	چرا لازم است / چه چیزی ثبت شود
ذرات جامد، لجن، گرانروی، کریستالیزاسیون	انتخاب طراحی دیافراگم، محل نصب، نیاز به تمیزکاری
طول کابل	بخشی از پیکربندی خریداری‌شده؛ با محدودهٔ اندازه‌گیری یکی نیست
دقت لازم	مبنای انتخاب حسگر و تصمیم دربارهٔ جبران؛ نه فقط «٪ Span» بلکه شرایط کاری
خروجی و تغذیه	4–20 mA، HART، ولتاژ تغذیه (مثلاً 24 VDC)، مقاومت حلقه
منطقهٔ خطرناک	الزام گواهی (Ex) و روش حفاظت؛ فقط با گواهی رسمی محصول
نوع مخزن، باز یا بسته	تعیین کفایت ترانسمیتر فشار تنها یا نیاز به DP
ارتفاع نصب	ارتفاع ترانسمیتر نسبت به نقطهٔ تپینگ یا دیافراگم؛ اثر بر صفر
اتصال فرآیندی و نصب	غوطه‌ور یا خارجی؛ نوع و اندازهٔ اتصال، حمایت از کابل

2 ترانسمیتر غوطه‌ور در برابر ترانسمیتر خارجی

ترانسمیتر غوطه‌ور (Submersible Level Transmitter) در مایع آویزان می‌شود؛ ترانسمیتر فشار خارجی روی نازل پایین مخزن نصب می‌شود و فشار از مسیر نازل (و در صورت نیاز لولهٔ ضربان یا Impulse Line) به آن می‌رسد. جدول زیر مقایسهٔ مهندسی دو آرایش است؛ هیچ‌کدام در همهٔ کاربردها برتر نیست.



شکل ۱ — پروب غوطه‌ور در برابر ترانسمیتر خارجی نصب‌شده روی نازل با شیر قطع

1 Level مایع بالای دیافراگم 2 دیافراگم پروب نزدیک کف 3 کابل و جعبهٔ تقسیم بالای مخزن 4 Level مایع بالای نازل 5 نازل 6 شیر قطع 7 ترانسمیتر خارجی

جدول ۲ — مقایسهٔ ترانسمیتر غوطه‌ور و ترانسمیتر خارجی

معیار	غوطه‌ور (Submersible)	خارجی روی نازل
نصب	آویز از بالا؛ نیاز به نازل پایین مخزن ندارد	نیازمند نازل و شیر قطع؛ کار جوشکاری یا اتصال روی مخزن لازم است
نگهداری و دسترسی	برای بیرون آوردن باید پروب را بالا کشید؛ در مخزن پر ممکن و در چاه معمول است	با بستن شیر قطع می‌توان ترانسمیتر را بدون تخلیه مخزن بازرسی کرد (با رعایت روش ایمن)
کابل	بخشی از مسیر اندازه‌گیری است (Vented Cable)؛ در تماس مداوم با مایع	کابل معمولی بیرون از مخزن؛ لولهٔ ارتباطی کوتاه است
اتصال فرآیندی	معمولاً آویز یا گلند؛ بدون اتصال فشار	اتصال فشاری روی نازل؛ Impulse Line در صورت وجود
آلودگی و گرفتگی	دیافراگم در تماس با جامدات و لجن؛ طراحی محافظت‌شده می‌تواند لازم باشد	نازل و لوله ممکن است مسدود یا گاز در آن محبوس شود
حفاظت مکانیکی	پروب و کابل در معرض ضربه، گرداب و پیچیدگی؛ لوله راهنما کمک می‌کند	ترانسمیتر بیرون مخزن و در معرض شرایط محیط ولی از جریان مایع جداست
مرجع Level	ارتفاع دیافراگم؛ در چاه با عمق نصب پروب تعریف می‌شود	ارتفاع نقطهٔ تپینگ (و اثر ارتفاع ترانسمیتر)

3 حسگر فشار نسبی (Gauge) در برابر مطلق (Absolute)

در مخزن باز، فشار اتمسفر روی سطح مایع هم وارد می‌شود؛ پس فشار مطلق کف مخزن برابر $P_{abs} = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$ است. دو راه برای حذف اتمسفر وجود دارد: **حسگر نسبی تهویه‌شده** (Vented Gauge Sensor) که اتمسفر را در ساختار خود خنثی می‌کند، یا **حسگر مطلق به‌علاوهٔ جبران بارومتریک**:

$$h = (P_{abs} - P_{baro}) / (\rho \cdot g) \quad (1)$$

P_{abs}	فشار مطلق اندازه‌گیری‌شده توسط حسگر مطلق (Absolute Pressure)	Pa
P_{baro}	فشار بارومتریک محل نصب، از یک ترانسمیتر مرجع یا ایستگاه محلی (Barometric Pressure)	Pa
ρ, g, h	چگالی، شتاب گرانش و Level مایع بالای دیافراگم	kg/m³, m/s², m

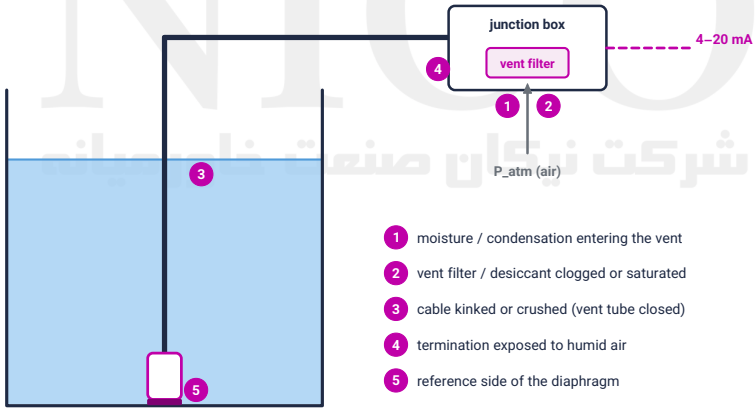
جبران بارومتریک زمانی لازم است که حسگر مطلق به‌کار می‌رود یا مسیر تهویه ممکن نیست (مثلاً در پروب‌هایی که در شرایط آب‌بندی کامل ساخته شده‌اند). در این حالت باید مرجع فشار بارومتریک در همان محل در دسترس باشد و تفاوت ارتفاع میان ترانسمیتر مرجع و محل نصب در نظر گرفته شود. خطای فشار بارومتریک، که با تغییر وضعیت جوی و ارتفاع محل تغییر می‌کند، در سطح ۳ همین مجموعه به‌طور کمی تحلیل شده است.

جدول ۳ — انتخاب حسگر نسبی تهویه‌شده یا حسگر مطلق با جبران بارومتریک

معیار	Vented Gauge	Absolute + جبران بارومتریک
حذف اتمسفر	در ساختار حسگر، از طریق مسیر تهویه	در PLC / DCS یا ترانسمیتر دوم، با یک فشار مرجع
وابستگی به کابل	به Vented Cable و سلامت لولهٔ تنفس وابسته است	کابل معمولی (بدون لولهٔ تنفس) کافی است
ریسک رطوبت در مسیر تهویه	وجود دارد؛ نیاز به فیلتر / Desiccant و دقت در انتهای کابل	ندارد
اجزای اضافه	معمولاً ندارد	ترانسمیتر فشار بارومتریک یا مرجع معتبر لازم است
رفتار در مخزن بسته	در مخزن تحت فشار تنها کافی نیست	در مخزن تحت فشار تنها کافی نیست
کاربرد رایج در سطح‌سنجی	مخزن باز، آب‌انبار، چاه	معماری‌هایی که سازنده یا طراح سیستم جبران بارومتریک را پیش‌بینی کرده است

4 مهندسی Vented Cable

در ترانسمیتر غوطه‌ور با حسگر نسبی، لولهٔ تنفس (Vent Tube) داخل کابل، پشت دیافراگم را به اتمسفر می‌رساند؛ پس **سیستم تهویه بخشی از زنجیرهٔ اندازه‌گیری است**، نه یک جزء جانبی. هر نقطهٔ ضعف در این مسیر مستقیماً در خروجی دیده می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲ — مسیر تهویه، فیلتر و نقاط خطای Vented Cable

1 رطوبت یا تقطیر وارد مسیر تهویه می‌شود
2 فیلتر یا Desiccant مسدود یا اشباع شده
3 کابل خم یا له شده و لولهٔ تنفس بسته است
4 انتهای کابل در هوای مرطوب باز مانده است
5 سمت مرجع دیافراگم

ملاحظات مهندسی مسیر تهویه به‌صورت پیوسته بررسی شود: **مسیر تهویه و طول کابل** — طول بلندتر مقاومت جریان هوا و حجم هوای محبوس بیشتری دارد و پاسخ به تغییر اتمسفر کندتر می‌شود؛ **ورود رطوبت** — هوای مرطوب از طریق سر کابل وارد لوله می‌شود و در اثر سرد شدن می‌تواند در لوله تقطیر شود؛ **تقطیر** — آب تجمع‌یافته در لوله ستونی ایجاد می‌کند که مرجع فشار را عوض می‌کند و در نهایت می‌تواند به حسگر برسد؛ **فیلتر یا** Desiccant — در بسیاری از معماری‌ها، سازندگان فیلتر

تهویه (غشای نفوذپذیر نسبت به هوا و مانع آب) یا Desiccant در جعبهٔ اتصال پیش‌بینی می‌کنند و باید طبق دستور سازنده نگهداری یا تعویض شوند؛ **آسیب مکانیکی** — خم تند، له شدن، کشیدگی و ضربه لوله را می‌بندد؛ حداقل شعاع خم را از مستندات سازنده بگیرید؛ **خاتمهٔ کابل** (Termination) — انتهای کابلِ دارای لولهٔ تنفس نباید در محیط مرطوب بدون حفاظت رها شود و نباید با روش‌های غیرمجاز بریده یا آب‌بندی شود.

> **CAUTION — روش خاتمه و کوتاه‌سازی فقط طبق دستور سازنده**
>
> جزئیات آماده‌سازی انتهای کابل و جعبهٔ اتصال هر مدل متفاوت است. این راهنما روش اجرایی خاتمه نیست؛ همیشه از دستورالعمل نصب سازندهٔ همان مدل استفاده کنید و فقط افراد آموزش‌دیده کار را انجام دهند.

5 انتخاب محدوده (Range Selection)

محدودهٔ فشار از سه داده شروع می‌شود: حداکثر ارتفاع مایع، چگالی بیشینه و ارتفاع نصب. محدوده فقط از ارتفاع مخزن انتخاب نمی‌شود، چون مایع سنگین‌تر در همان ارتفاع فشار بیشتری می‌دهد. فشار حداکثر مورد نیاز برای h_{max} و ρ_{max}:

$$P_{max} = \rho_{max} \cdot g \cdot h_{max} + P_{elev} \quad (2)$$

P_{max}	حداکثر فشار نسبی که حسگر باید در Level بالای عملیاتی (شامل Overfill) ببیند	Pa
ρ_{max}	بیشینهٔ چگالی مایع در شرایط کاری	kg/m³
h_{max}	حداکثر ارتفاع مایع بالای دیافراگم (شامل حاشیهٔ Overfill)	m
P_{elev}	اثر ارتفاع ترانسمیتر یا لولهٔ ارتباطی (بخش ۹)؛ صفر اگر ندارد	Pa

سپس نزدیک‌ترین محدودهٔ استاندارد سازنده بالاتر از P_{max} انتخاب می‌شود. بهره‌برداری (Utilization) و Turndown را بررسی کنید: بهره‌برداری یعنی P_{max} نسبت به بالای محدودهٔ حسگر؛ Turndown نسبت محدودهٔ حسگر به Span کاربردی است. محدودهٔ بسیار بزرگ‌تر از نیاز، رزولوشن و دقت نسبی را کم می‌کند؛ محدودهٔ بسیار کوچک‌تر، اشباع خروجی و آسیب مکانیکی به همراه دارد. مقادیر محدوده‌های استاندارد هر محصول باید از برگهٔ فنی رسمی همان محصول گرفته شود؛ ردیف‌های این راهنما فقط نمونه‌اند (جدول ۴).

جدول ۴ — نمونهٔ انتخاب محدوده برای مخزن آب ۱۰ متری؛ محدوده‌های نمونه، نه مشخصهٔ محصول NICO (نیازمند تأیید)

محدودهٔ نمونه	P_{max} نسبت به بالای محدوده	Turndown	ارزیابی
0–1 bar	97.9 %	1.02 : 1	حاشیهٔ بسیار کم برای Overfill و تغییر چگالی؛ معمولاً نامناسب
0–1.6 bar	61.2 %	1.63 : 1	حاشیهٔ منطقی؛ از نظر نوسان چگالی و Overfill ایمن‌تر
0–2.5 bar	39.2 %	2.55 : 1	حاشیهٔ زیاد؛ رزولوشن Span کاربردی کمتر

6 واحدهای ستون آب

فشار هیدرواستاتیک در صنعت به شکل‌های متفاوت بیان می‌شود. «متر ستون آب» (mH₂O) یک واحد قراردادی است: 1 mH₂O = 9.80665 kPa به‌طور دقیق بر پایهٔ g_n = 9.80665 m/s² و ρ = 1000 kg/m³ تعریف می‌شود (مرجع: NIST SP 811)؛ این مقدار با فشار یک متر آب واقعی در دمای کاری اندکی فرق دارد (برای آب 20 °C، حدود 9.7891 kPa یعنی -0.18 %).

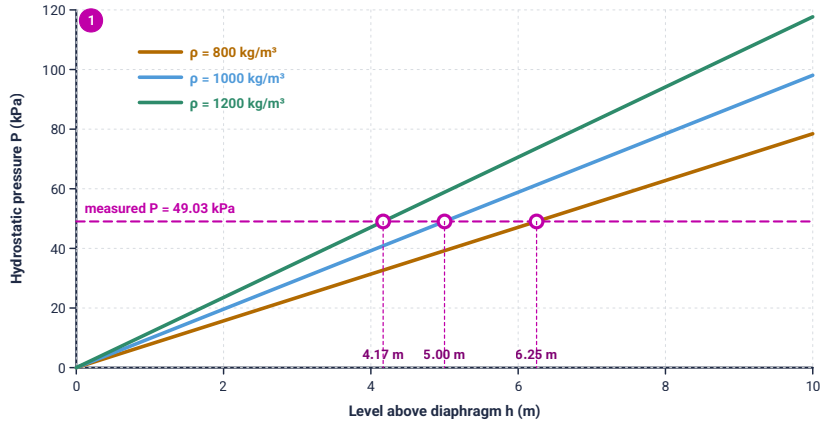
جدول ۵ — تبدیل واحدهای فشار هیدرواستاتیک (مقدار قراردادی mH₂O)

یکا	معادل
1 mH₂O	9.80665 kPa = 98.0665 mbar = 0.0980665 bar
1 mmH₂O	9.80665 Pa
1 bar	100 kPa = 10.197 mH₂O
1 kPa	101.97 mmH₂O = 10.197 mbar × 10
1 mbar	10.197 mmH₂O = 100 Pa

هنگام بیان محدوده در برگهٔ داده «bar» یا «kPa» نوشته شود، یا اگر «mH₂O» استفاده می‌شود، صراحتاً یادداشت شود که مقدار قراردادی است و برای کدام چگالی مقیاس شده است. برای مایعات غیر از آب، به‌جای ضرب در «ستون آب»، باید با ρ·g·h محاسبه شود.

7 اثر چگالی

با ثابت بودن فشار اندازه‌گیری‌شده، Level استنتاج‌شده با چگالی نسبت عکس دارد: h = P / (ρ·g). جدول جدول ۶ و شکل ۳ نشان می‌دهند که فشار یکسان 49.03 kPa به سه Level متفاوت مربوط است (چگالی‌ها فرضی و برای مثال‌اند).



شکل ۳ — فشار هیدرواستاتیک در برابر Level برای سه چگالی؛ یک فشار اندازه‌گیری‌شده، سه Level متفاوت

1 نمودار فشار بر حسب Level

جدول ۶ — فشار ثابت 49.03 kPa و Level متناظر با سه چگالی

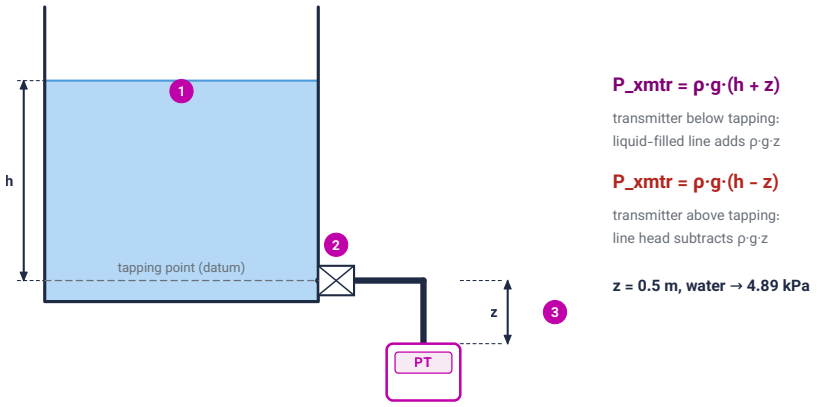
مایع (نمونه)	چگالی (kg/m³)	فشار به‌ازای هر متر (kPa/m)	Level متناظر با 49.03 kPa (m)
هیدروکربن سبک	800	7.85	6.25
آب	1000	9.81	5.00
آب‌نمک سنگین	1200	11.77	4.17

8 دما و چگالی

چگالی تقریباً همهٔ مایعات با دما تغییر می‌کند؛ پس همان Level واقعی در دمای متفاوت فشار متفاوتی ایجاد می‌کند. مثال آب (محاسبه با IAPWS-95): ρ(20 °C) = 998.21 kg/m³ و ρ(60 °C) = 983.20 kg/m³. اگر ترانسمیتر برای 20 °C پیکربندی شده و آب 60 °C باشد، Level استنتاج‌شده حدود 1.50 % (برای 6 m، حدود 90 mm) کمتر از Level واقعی دیده می‌شود. این اثر برای آب در بازهٔ دمایی معمول ساختمان‌ها نسبتاً کوچک است، اما در مایعاتی با ضریب انبساط حجمی بزرگ‌تر یا بازهٔ دمایی وسیع‌تر می‌تواند قابل توجه شود. راه‌های مدیریت: ثبت بازهٔ دما و چگالی در برگهٔ داده، جبران در PLC / DCS با اندازه‌گیری دما، یا پذیرش خطا در حد مجاز. محاسبهٔ کمی عدم‌قطعیت و اثر ترکیب عوامل در سطح ۳ آمده است.

9 ارتفاع نصب ترانسمیتر

Level صفر از محل دیافراگم (غوطه‌ور) یا نقطهٔ تپینگ (خارجی) تعریف می‌شود. اگر ترانسمیتر خارجی در ارتفاعی متفاوت از نقطهٔ تپینگ نصب شود، ستون مایع داخل لولهٔ ارتباطی فشار اضافی یا کاسته‌ای ایجاد می‌کند (شکل ۴). برای ترانسمیتر **پایین‌تر** از نقطهٔ تپینگ به فاصلهٔ z، لوله پر از مایع است و فشار ترانسمیتر ρ·g·(h + z) است؛ برای ترانسمیتر **بالاتر** از تپینگ، فشار ρ·g·(h − z) (به شرط پر بودن لوله) خواهد بود. برای آب و z = 0.5 m اثر 4.89 kPa است — یعنی چند درصد Span کاربردی در مخزن کوچک — و باید در صفر (LRV) جبران شود، یا ترانسمیتر در همان تراز نقطهٔ تپینگ نصب شود.



شکل ۴ — اثر ارتفاع ترانسمیتر نسبت به نقطهٔ تپینگ؛ ستون مایع در لولهٔ ارتباطی به فشار اضافه یا از آن کم می‌شود

1 Level بالای نقطهٔ تپینگ 2 شیر قطع 3 اختلاف ارتفاع ترانسمیتر و تپینگ (z)

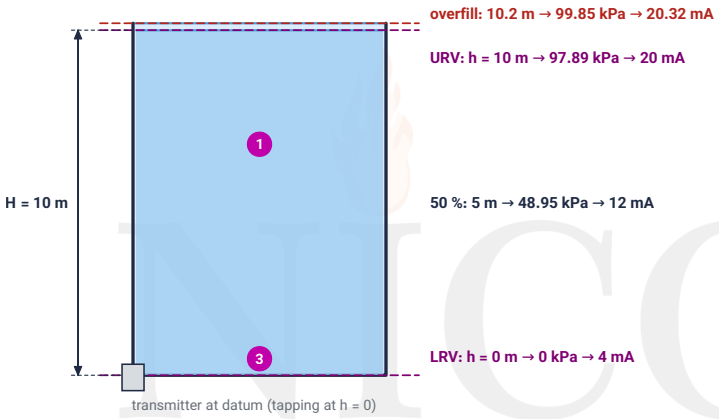
10 مخزن باز: LRV، URV و Span

برای مخزن باز، LRV فشار متناظر با Level پایین (۰٪) و URV فشار متناظر با Level بالا (۱۰۰٪) است؛ Span اختلاف آن‌هاست:

$$\text{LRV} = \rho \cdot g \cdot h_{0\%}\,, \quad \text{URV} = \rho \cdot g \cdot h_{100\%}\,, \quad \text{Span} = \text{URV} - \text{LRV} \tag{3}$$

$h_{0\%}$	Level متناظر با ۴ mA، نسبت به دیافراگم (یا نقطهٔ تپینگ)	m
$h_{100\%}$	Level متناظر با ۲۰ mA، نسبت به همان مرجع	m

اگر مبنای صفر (۴ mA) بالاتر از دیافراگم باشد — مثلاً دیافراگم یک متر پایین‌تر از کف عملیاتی مخزن برای حذف حجم مرده نصب شده باشد — LRV غیر صفر است؛ به این حالت تنظیم صفر مثبت یا «Zero Suppression » گفته می‌شود. مثال آب 20 °C: Levelهای 1 m تا 6 m بالای دیافراگم: LRV = 9.79 kPa، URV = 58.73 kPa و Span = 48.95 kPa. (شکل ۵ حالت ساده‌تر 0–10 m را نشان می‌دهد.)

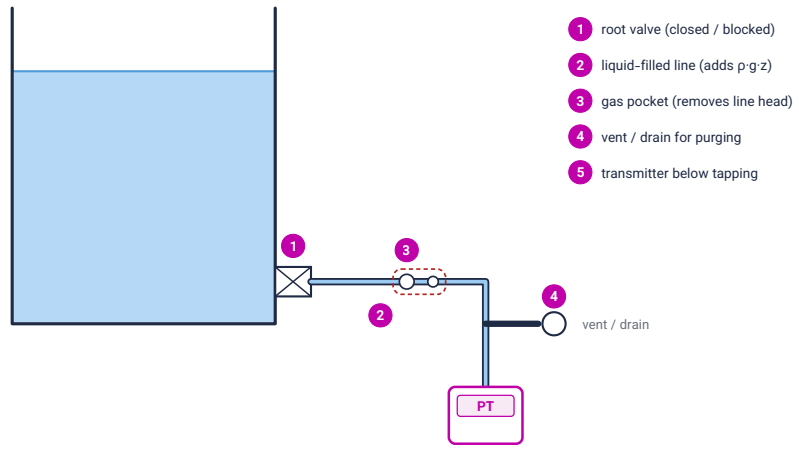


شکل ۵ — LRV، URV و Level پر شدن بیش از حد برای مخزن باز 10 m آب در 20 °C

1 Level میانی و خروجی ۱۲ mA 2 ترانسمیتر در تراز مرجع 3 ارتفاع LRV برابر صفر

11 ترانسمیتر خارجی با Impulse Line

اگر ترانسمیتر از طریق یک لولهٔ ضربان (Impulse Line) به نازل وصل باشد، چهار موضوع باید بررسی شود (شکل ۶). **لوله پر از مایع باشد:** اگر لوله پر از مایع نباشد، ستون ایجادشده واقعی نیست؛ **حباب گاز:** حباب محبوس در لوله بخشی از ستون مایع را حذف می‌کند و خروجی را کاهش می‌دهد؛ برای نمونه حباب به ارتفاع 0.3 m در لولهٔ قائم، در آب 2.94 kPa خطا می‌دهد — حدود 3.00 % از Span مورد A (۹۷٫۸۹ kPa)؛ **انسداد:** شیر قطع بسته، نازل مسدود یا لولهٔ رسوب‌دار باعث می‌شود فشار تغییر نکند و خروجی «ثابت» دیده شود؛ **ارتفاع:** اختلاف ارتفاع ترانسمیتر و نازل مطابق بخش ۹ در محاسبهٔ صفر لحاظ شود. لولهٔ باید شیب مناسب و شیر تخلیه / تهویه داشته باشد تا شستشو و پر کردن ممکن باشد.

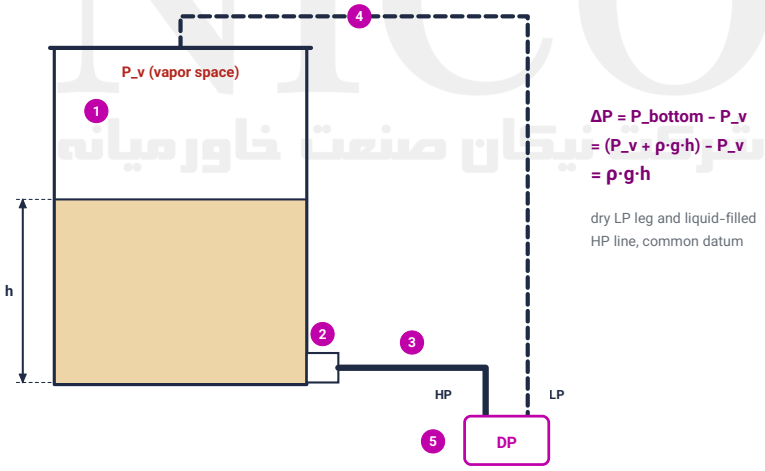


شکل ۶ — Impulse Line پر از مایع؛ نقاط خطای مهم: حباب گاز و انسداد شیر

1 شیر قطع بسته یا مسدود 2 لولهٔ پر از مایع با ستون اضافه 3 حباب گاز 4 تخلیه / تهویه برای پاک‌سازی 5 ترانسمیتر زیر تپینگ

12 مخزن بسته و تحت فشار

در مخزن بسته، یک ترانسمیتر فشار نزدیک کف فشاری برابر مجموع فشار فضای بخار و فشار ستون مایع می‌بیند: $P_{bottom} = P_v + \rho \cdot g \cdot h$. اگر P_v ثابت و معلوم باشد می‌توان آن را کم کرد؛ اما در بیشتر مخزن‌های تحت فشار P_v با دما، فشار فرآیند یا گاز پوششی تغییر می‌کند و Level به‌تنهایی قابل استخراج نیست — مثال محاسباتی در بخش ۲۷ آمده است. برای جدا کردن اثر فشار فضای بخار دو راه رایج وجود دارد:



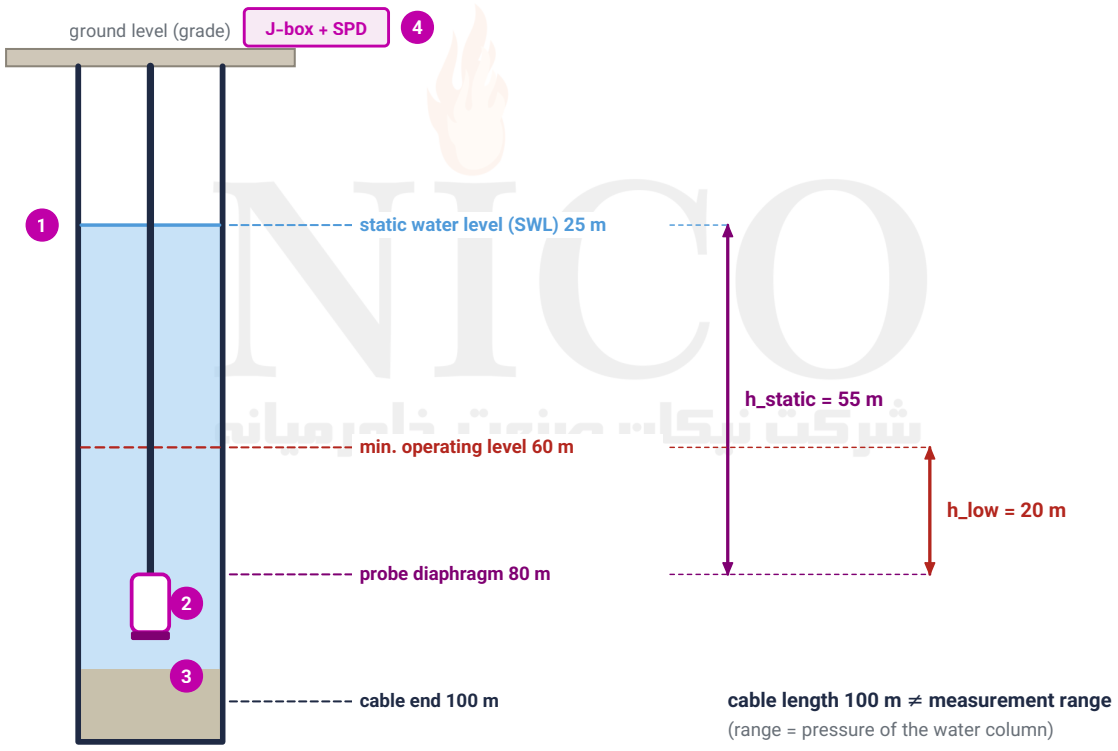
شکل ۷ — اندازه‌گیری Level مخزن بسته با DP؛ فشار فضای بخار از ΔP حذف می‌شود

1 فضای بخار با فشار P_v 2 اتصال پایین (HP) 3 خط اتصال HP 4 خط اتصال LP به فضای بخار (Dry Leg) 5 ترانسمیتر اختلاف فشار

راه اول **اندازه‌گیری اختلاف فشار** (Differential Pressure **یا** DP) است: سمت HP به پایین مخزن و سمت LP به فضای بخار متصل می‌شود؛ $\Delta P = (P_V + \rho gh) - P_V = \rho gh$ و فشار فضای بخار حذف می‌شود. سیمان‌بندی لوله‌ها (پایه‌های مرطوب Wet Leg یا خشک Dry Leg، پات سیل و مانیفولد) مهندسی جداگانه می‌خواهد. راه دوم **جبران مستقل فشار بخار** است: ترانسمیتر دوم فشار فضای بخار را اندازه می‌گیرد و PLC / DCS آن را از فشار کف کم می‌کند. هر دو راه با خطاهای خاص خود همراه‌اند و محتوای آموزشی NICO دربارهٔ DP Level (ترانسمیتر اختلاف فشار DPT11) آن‌ها را به‌تفصیل توضیح می‌دهد.

13 کاربرد در چاه

سطح‌سنج چاه (لول ترانسمیتر چاه) بیش از هر کاربرد دیگری پارامتر «طول کابل» و «محدودهٔ اندازه‌گیری» را با هم اشتباه می‌گیرد. باید داده‌های زیر مشخص شود (شکل ۸): **عمق چاه** و عمق نصب پروب؛ **طول کابل** (بلندتر از عمق نصب)؛ **موقعیت پروب** نسبت به پمپ، رسوب ته چاه و بالاترین و پایین‌ترین Level آب؛ **رسوب و ماسه** که دیافراگم را می‌پوشاند؛ **نگه‌داشتن کابل** (Strain Relief، گیره، سر چاه) تا وزن کابل به ترانسمیتر وارد نشود؛ **مرجع اتمسفر** برای Vented Cable (سر چاه محافظت‌شده و بدون ورود آب)؛ و در محل‌های مستعد، **صاعقه و** Surge (بخش ۲۲). محدودهٔ فشار از ستون آب بالای پروب محاسبه می‌شود، نه طول کابل (مورد B).



شکل ۸ — چاه عمیق؛ طول کابل ۱۰۰ متر محدودهٔ اندازه‌گیری نیست — محدوده از ستون آب بالای دیافراگم تعیین می‌شود

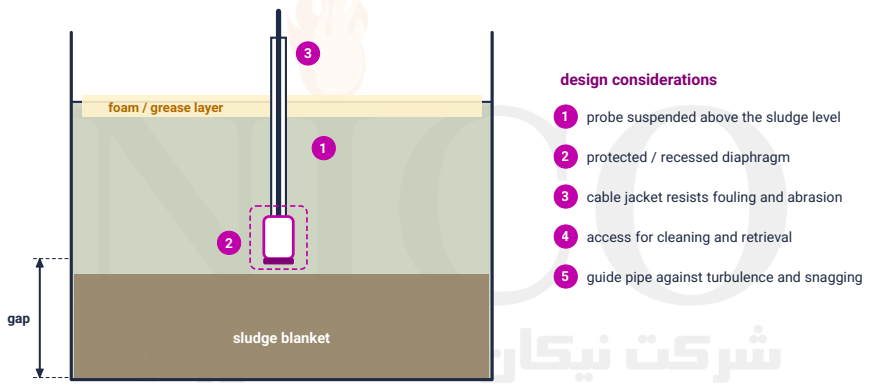
1 Level ایستای آب (SWL) در 25 m زیر سطح زمین
2 پروب با دیافراگم در 80 m
3 رسوب ته چاه؛ فاصلهٔ مناسب از دیافراگم
4 جعبه تقسیم و محافظ Surge (SPD) در سر چاه

14 مخزن آب و آب‌انبار (Reservoir)

در آب‌انبار و مخزن ذخیرهٔ آب، سطح معمولاً آرام است و تغییر Level کند. نکات اصلی: **آب آرام و Level متغیر کند** — ترانسمیتر غوطه‌ور یا خارجی هر دو قابل استفاده‌اند؛ **کابل بلند** — مسیر کابل از پروب تا جعبهٔ تقسیم باید محافظت و نگه‌داری شود؛ **نصب بیرونی** — تابش آفتاب، یخ‌زدگی و باد بر جعبهٔ اتصال و روکش کابل اثر می‌گذارند؛ **حفاظت از تهویه** — فیلتر یا Desiccant و جعبهٔ اتصال مقاوم در برابر نفوذ آب، به‌ویژه وقتی مسیر تهویه بیرون از مخزن است و جعبهٔ اتصال با درجهٔ حفاظت (IP) مناسب که مقدار آن باید از مدرک سازنده تأیید شود، در معرض باران است.

15 فاضلاب و پساب

در حوضچهٔ فاضلاب، لجن، ذرات معلق، چربی و کف می‌توانند اندازه‌گیری را مختل کنند (شکل ۹). **لجن** — اگر پروب در لجن بنشیند، فشار اندازه‌گیری‌شده شامل لجن با چگالی بالاتر است و Level بیش‌نمایی می‌شود؛ نصب پروب بالاتر از بستر لجن، یا اندازه‌گیری چگالی مؤثر لایه‌ها، لازم است. **ذرات معلق** — دیافراگم را می‌پوشانند؛ **گرفتگی دیافراگم** — طراحی دیافراگم محافظت‌شده یا تمیزکاری دوره‌ای لازم است؛ **حفاظت مکانیکی** — لوله راهنما در برابر گرداب و گیر کردن؛ **رسوب و چربی روی کابل** — جنس روکش کابل مهم است؛ و **تمیزکاری** — طراحی باید بدون تخلیه حوضچه امکان بیرون کشیدن و شستن پروب را بدهد.



شکل ۹ — پروب در حوضچهٔ فاضلاب؛ فاصله از لجن، دیافراگم محافظت‌شده و لولهٔ راهنما

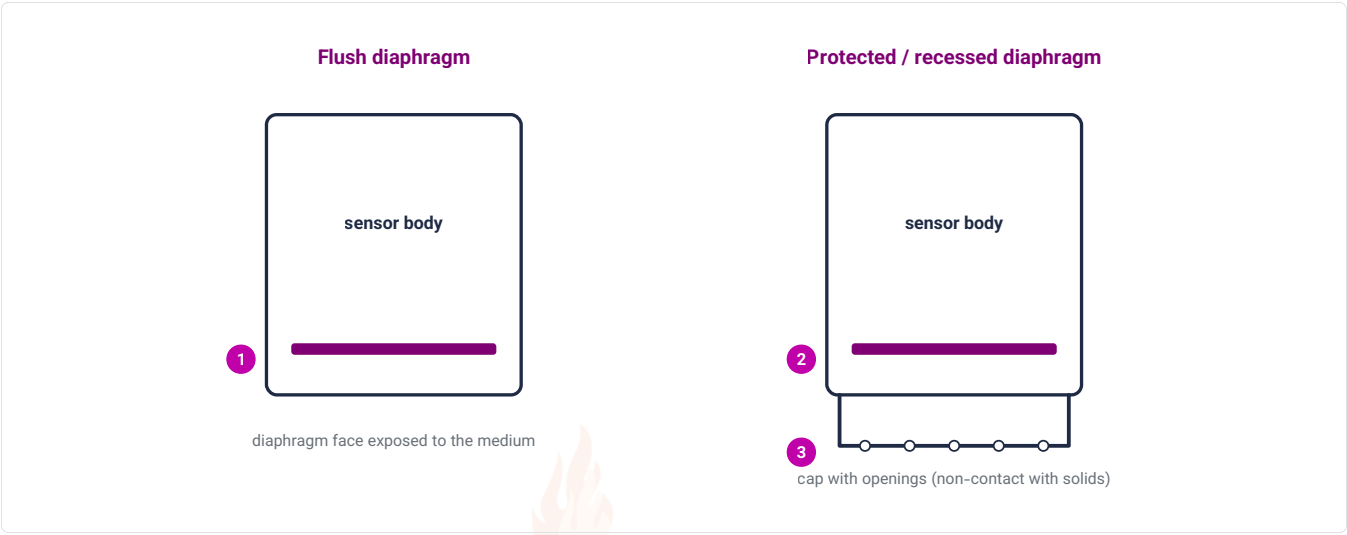
1 پروب بالاتر از بستر لجن 2 دیافراگم محافظت‌شده 3 روکش کابل مقاوم در برابر گرفتگی و سایش

16 مایع شیمیایی

در مایعات شیمیایی، سازگاری مواد بخش‌های خیس تعیین‌کننده است و هیچ‌گاه نباید بدون منبع تأییدشده ادعا شود. خانواده‌هایی که ممکن است در چنین کاربردهایی به‌کار روند — مثلاً فولاد زنگ‌نزن SS316L، Hastelloy، تیتانیوم، المان حسگر سرامیکی و روکش‌های کابل پلیمری — فقط وقتی قابل انتخاب‌اند که برای همان مایع، غلظت و دما در مدرک رسمی سازنده یا جدول خوردگی معتبر تأیید شده باشد. فرایند پیشنهادی: ثبت نام و غلظت مایع، دمای کاری و بیشینه، وجود کلرید یا اکسیدکننده؛ تعیین اجزای خیس (دیافراگم، بدنه، آب‌بند، روکش کابل)؛ استعلام سازگاری از سازنده؛ و بازبینی با جدول‌های خوردگی مستقل. یک ماده ممکن است برای یک غلظت مناسب و برای غلظت دیگر نامناسب باشد.

17 طراحی دیافراگم

دیافراگم هم‌سطح (Flush Diaphragm) سطح تخت دارد که مستقیماً در معرض سیال است؛ برای سیال‌های تمیز و برای کاربردهایی که انباشت جامد نباید در حفره ایجاد شود (حوضچه‌هایی که تمیزکاری سطح لازم است) مناسب است. **دیافراگم محافظت‌شده یا** Recessed با کلاهک یا محفظه‌ای دارای سوراخ، از ضربهٔ ذرات و تماس مستقیم با جامدات جلوگیری می‌کند اما می‌تواند در سیال‌های لجن‌دار و ویسکوز مسدود شود (شکل ۱۰). انتخاب بر پایهٔ نوع رسانه، ذرات جامد، لزوم تمیزکاری و ضربهٔ مکانیکی انجام می‌شود، نه عادت.



شکل ۱۰ — دیافراگم هم‌سطح در برابر دیافراگم محافظت‌شده با کلاهک روزنه‌دار

1 دیافراگم هم‌سطح 2 دیافراگم محافظت‌شده 3 کلاهک با روزنه

18 جنس کابل

جنس روکش کابل (Jacket) سه ویژگی را تعیین می‌کند: مقاومت شیمیایی، دوام مکانیکی و جلوگیری از نفوذ آب. خانواده‌های رایج عبارت‌اند از PU (پلی‌اورتان)، PE (پلی‌اتیلن) و فلوروپلیمرها مانند PTFE یا FEP؛ جدول زیر فقط مقایسهٔ کیفی عمومی است و موجودی یا مشخصهٔ هیچ محصول NICO را بیان نمی‌کند.

جدول ۷ — مقایسهٔ کیفی خانواده‌های جنس روکش کابل (عمومی)

خانواده	مقاومت شیمیایی	دوام مکانیکی	نفوذ آب
PU	برای بسیاری از آب‌ها و فاضلاب‌ها رایج؛ در برابر برخی حلال‌ها و اسیدها ممکن است ضعیف باشد	معمولاً انعطاف و مقاومت سایشی خوب	وابسته به ساختار؛ باید از سازنده تأیید شود
PE	برای آب و برخی مواد شیمیایی؛ بسته به نوع	انعطاف کمتر و سایش متوسط	مقاومت در برابر رطوبت معمولاً خوب
PTFE / FEP **(و مشابه)**	طیف وسیع‌تر مقاومت شیمیایی	مقاومت مکانیکی و انعطاف باید بررسی شود	باید بر پایهٔ ساختار کابل از سازنده تأیید شود

جنس کابل فقط با مدرک سازنده و برای همان مایع و دمای کاری انتخاب شود؛ گزینهٔ «کابل مخصوص مواد شیمیایی» بدون مشخصات مستند قابل پذیرش نیست.

19 طول کابل

طول کابل بخشی از پیکربندی خریداری‌شده است و بعداً با کوتاه یا بلند کردن در محل تغییر نمی‌کند (به‌ویژه در Vented Cable که لولهٔ تنفس دارد)، پس باید پیش از سفارش درست تعیین شود. محاسبهٔ طول: عمق نصب پروب + مسیر افقی و عمودی تا جعبهٔ اتصال + طول رزرو برای سرویس (Service Loop) + حاشیهٔ بازرسی. برای چاه 80 m نصب پروب، 5 m مسیر تا جعبه و 3 m رزرو، طول کابل حدود 88 m می‌شود و 100 m انتخاب منطقی است؛ در این مثال تفاوت 12 m برای تغییر عمق نصب باقی می‌ماند. تکیه‌گاه کابل (Strain Relief) باید وزن کابل را از ترانسمیتر دور کند، و محل جعبهٔ خاتمه باید در جایی باشد که از آب، تقطیر و ضربه محافظت شود.

20 خروجی و تغذیه

ترانسمیتر دوسیمه (2-Wire) 4–20 mA هم تغذیه و هم سیگنال را روی یک جفت سیم حمل می‌کند. تغذیهٔ مرسوم حلقه 24 VDC است و ترانسمیتر ولتاژ حداقلی لازم دارد (از برگهٔ فنی رسمی). در مدل‌های دارای HART، ارتباط دیجیتال روی همان حلقه قرار می‌گیرد و بر حداقل مقاومت حلقه شرایط ویژه تحمیل می‌کند؛ این شرایط باید از مدرک سازنده بررسی شود.

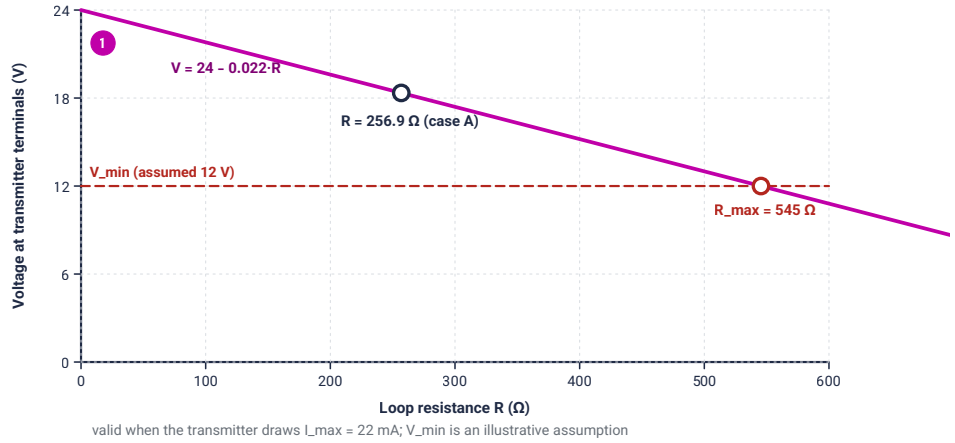
21 مقاومت حلقه (Loop Resistance)

حلقهٔ 4–20 mA وقتی به‌درستی کار می‌کند که ولتاژ در ترمینال ترانسمیتر در بدترین حالت (جریان بیشینه) از حداقل ولتاژ لازم پایین‌تر نیاید:

$$R_{max} = (V_{supply} - V_{min}) / I_{max} \quad (4)$$

R_{max}	حداکثر مقاومت کل حلقه (کابل + ورودی آنالوگ + مقاومت HART)	Ω
V_{supply}	ولتاژ تغذیهٔ حلقه	V
V_{min}	حداقل ولتاژ ترمینال ترانسمیتر (از برگهٔ فنی)	V
I_{max}	بیشینهٔ جریان حلقه (در اشباع بالا یا آلارم)	A

مثال با فرض‌های مشخص‌شده: V_{supply} = 24 V، V_{min} = 12 V (فرض آموزشی؛ مقدار واقعی از برگهٔ فنی)، I_{max} = 22 mA (فرض): R_{max} = (24 - 12) / 0.022 = 545 Ω. اگر کابل 6.9 Ω و ورودی آنالوگ 250 Ω باشد، مقاومت کل 256.9 Ω است و حاشیه 289 Ω می‌ماند (شکل ۱۱). مقاومت کابل حلقه با $R = \rho_{Cu} \cdot L/A$ و برای 0.5 mm² مس (ρ_{Cu} = 0.0172 Ω·mm²/m، فرض) و 100 m رفت‌وبرگشت 6.88 Ω است. برای HART حداقل مقاومت حلقه‌ای (معمولاً ۲۳۰ Ω و بیشتر) لازم است که باید از مستندات سازنده تأیید شود.



شکل ۱۱ — خط بار حلقه؛ ولتاژ ترمینال بر حسب مقاومت حلقه در I = 22 mA

1 خط بار حلقه با تغذیهٔ ۲۴ V

22 صاعقه و Surge

در چاه‌ها و تأسیسات آب بیرونی، خط‌های بلند سیگنال و مسیر زمین‌شده در معرض ولتاژ القایی ناشی از صاعقه قرار دارند. کابل چاه می‌تواند مانند یک آنتن بلند عمل کند. ملاحظات مفهومی: محافظ Surge (SPD) در سر چاه یا جعبهٔ اتصال، اتصال زمین مناسب، ایزوله‌سازی و جداسازی مسیر کابل از خطوط برق و مسیرهای صاعقه. ایمنی خود تجهیز در برابر Surge با آزمون‌هایی مانند IEC 61000-4-5 توصیف می‌شود و سطح مقاومت باید فقط از مدرک رسمی سازنده گرفته شود؛ سازندگان گاهی به رده‌های سطح آزمون اشاره می‌کنند که نباید بدون سند به محصول نسبت داده شود. این بخش طراحی حفاظت الکتریکی نیست؛ طراحی SPD و زمین‌کردن وظیفهٔ مهندس برق با توجه به استانداردها و شرایط سایت است.

23 خطاهای نصب

فهرست زیر رایج‌ترین خطاهای میدانی را همراه با اثر و راه پیشگیری ارائه می‌دهد.

جدول ۸ — خطاهای رایج نصب، اثر و پیشگیری

خطا	اثر	پیشگیری
Vent **مسدود**	مرجع اتمسفر نادرست؛ خروجی با هوا تغییر می‌کند یا ثابت می‌ماند	فیلتر سالم، خم نکردن کابل، بازرسی انتهای کابل
لولهٔ تنفس خیس	ستون آب در لوله؛ خطای صفر و احتمال آسیب حسگر	خاتمه در جعبهٔ محافظت‌شده، Desiccant مطابق دستور
چگالی نادرست	Level به همان نسبت جابه‌جا می‌شود	ثبت چگالی در برگهٔ داده و بازبینی هنگام تغییر محصول
پروب در لجن	Level بیش‌نمایی‌شده	نصب بالاتر از بستر لجن، لولهٔ راهنما

خطا	اثر	پیشگیری
پروب بالاتر از مبنای صفر واقعی	صفر Level جابه‌جا	تعریف Datum و ثبت ارتفاع دیافراگم
کابل آسیب‌دیده	خروجی ناپایدار یا قطع؛ نفوذ آب	بازرسی، تکیه‌گاه، حفاظت مکانیکی
محدودهٔ نادرست	اشباع یا رزولوشن ضعیف	محاسبهٔ P_{max} با چگالی بیشینه و Overfill
مخزن بسته بدون جبران فشار	تغییر فشار فضای بخار به‌عنوان تغییر Level	DP یا جبران فشار مستقل
حباب هوا در Impulse Line	Level کمتر از واقعیت	شیب لوله، تخلیه / تهویه، پر کردن مناسب
مقیاس‌دهی اشتباه در DCS	Level نمایش‌داده‌شده با مقدار واقعی نمی‌خواند	تطبیق LRV، URV، چگالی و مقیاس DCS با برگهٔ داده

24 مثال کاربردی A — مخزن آب ۱۰ متری

مثال A **مخزن باز آب با Level حداکثر 10 m در 20 °C**

داده‌ها: مخزن باز؛ دیافراگم در تراز کف؛ $\rho = 998.21\ kg/m^3$ (IAPWS-95، آب 20 °C)؛ $h_{max} = 10\ m$؛ حاشیهٔ Overfill 10.2 m.

حداکثر ارتفاع و فشار:

$$P_{max} = \rho \cdot g \cdot h = 998.21 \times 9.80665 \times 10 = 97\,891\ Pa = 97.89\ kPa = 0.9789\ bar$$

تعیین محدوده: $P_{max} = 97.89\ kPa$ برابر $9.982\ mH_2O$ قراردادی است. محدودهٔ 0–1 bar بهره‌برداری 97.9 % دارد و حاشیه ندارد؛ 0–1.6 bar بهره‌برداری 61.2 % دارد. بسته به برگهٔ فنی سازنده، ممکن است ترانسمیتر روی 0–1.6 bar ساخته و برای Span کاربردی 0–97.89 kPa پیکربندی (Re-range) شود.

مقادیر LRV، URV و Span:

$$LRV = 0\ kPa\ (0\ m \rightarrow 4\ mA)\ \mid\ URV = 97.89\ kPa\ (10\ m \rightarrow 20\ mA)\ \mid\ Span = 97.89\ kPa$$

نگاشت 4–20 mA در Levelهای میانی و در حالت Overfill:

$$2.5\ m \rightarrow 24.47\ kPa \rightarrow 8.00\ mA$$
$$5\ m \rightarrow 48.95\ kPa \rightarrow 12.00\ mA$$
$$7.5\ m \rightarrow 73.42\ kPa \rightarrow 16.00\ mA$$
$$10.2\ m\ (Overfill) \rightarrow 99.85\ kPa \rightarrow 20.32\ mA$$

بررسی حساسیت: اگر DCS به‌جای $998.21\ kg/m^3$ چگالی $1000\ kg/m^3$ را فرض کند، 0.180 % Level با خطا (کم‌نمایی) نشان می‌دهد؛ این مقدار برای آب کوچک است اما برای مایع دیگر ممکن است بزرگ باشد.

نتیجه: P_{max} = 97.89 kPa؛ **محدودهٔ نمونهٔ** 0–1.6 bar **با** LRV = 0 **و** URV = 97.89 kPa؛ **نگاشت** 0 m = 4 mA **تا** 10 m = 20 mA.

25 مثال کاربردی B — چاه عمیق

مثال B **چاه با کابل 100 m؛ طول کابل ≠ محدودهٔ اندازه‌گیری**

داده‌ها (نمونه): طول کابل 100 m؛ عمق نصب پروب 80 m زیر سطح زمین؛ Level ایستای آب 25 m زیر زمین؛ پایین‌ترین Level کاری 60 m زیر زمین؛ آب 15 °C با ρ = 999.10 kg/m³.

ستون آب بالای دیافراگم: h_{static} = 80 - 25 = 55 m؛ در پایین‌ترین Level: h_{low} = 80 - 60 = 20 m؛ حداکثر ارتفاع طراحی با حاشیه 60 m.

$$P_{static} = 999.10 \times 9.80665 \times 55 = 538.9\ kPa\ ;\ P_{low} = 196.0\ kPa\ ;\ P_{max} = 587.9\ kPa$$

انتخاب محدوده: P_{max} = 587.9 kPa = 587.9/100 bar ≈ 5.88 bar؛ محدودهٔ نمونهٔ 0–6 bar با بهره‌برداری 89.8 %.

طول کابل: کابل 100 m از ۸۰ m عمق پروب بلندتر است و 20 m اضافه برای مسیر تا جعبه و رزرو دارد. این طول به محدودهٔ فشار ربطی ندارد: همان پروب با کابل 50 m یا 150 m اگر در همان عمق باشد، همان فشار را می‌بیند.

نتیجه: محدودهٔ نمونه 0–6 bar **برای** 60 m **ستون آب؛ کابل** 100 m **فقط یک پارامتر آرایش نصب است. اگر پروب** 10 m **پایین‌تر آویخته شود،** P_{max} ≈ 98 kPa 1000 / 999.1 × 9.80665 × 10 m **بیشتر می‌شود؛ طول کابل تغییر نمی‌کند.**

26 مثال کاربردی C — مایع با چگالی بالا

مثال C **آب‌نمک ۲۰٪ در 8 m؛ ترانسمیتر فقط بر پایهٔ ارتفاع متر انتخاب شده است**

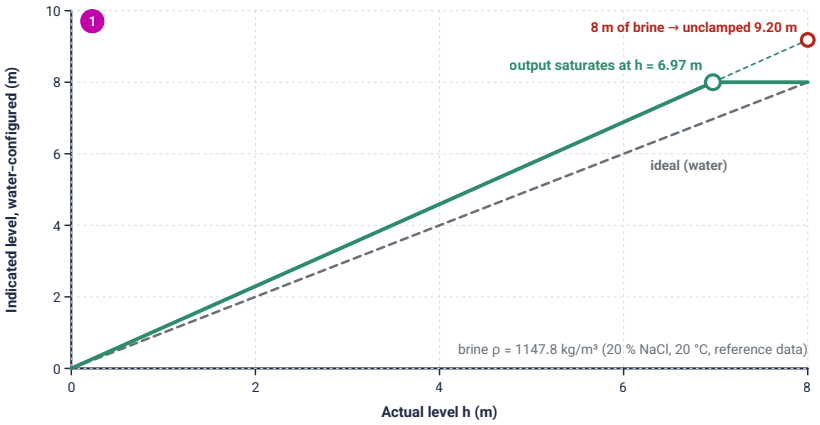
داده‌ها: ترانسمیتر برای مخزن 8 m و آب انتخاب شده: محدودهٔ پیکربندی‌شده 0–78.45 kPa (معادل 8 m آب با ρ = 1000 kg/m³ قراردادی؛ آب واقعی 20 °C: 78.31 kPa). مایع واقعی NaCl ۲۰٪ با ρ = 1147.8 kg/m³ (داده مرجع، 20 °C ؛ نیازمند تطبیق با منبع CRC).

$$P_{brine}(8\ m) = 1147.8 \times 9.80665 \times 8 = 90.05\ kPa$$

این فشار برابر 114.8 % محدودهٔ پیکربندی‌شده است.

پیامد: خروجی در 6.97 m Level به بالای محدوده می‌رسد (اشباع). اگر خروجی اشباع نمی‌شد، Level استنتاج‌شده با فرض آب در 8 m واقعی برابر 9.20 m می‌شد (بیش‌نمایی 14.99 %)؛ اما چون خروجی از 6.97 m به بعد محدود می‌شود، اپراتور حداکثر Level محدودشده می‌بیند و اضافه‌پر شدن را تشخیص نمی‌دهد (شکل ۱۲).

نتیجه: محدوده باید از ρ_{max} = 1147.8 kg/m³ محاسبه شود: P_{max} = 90.05 kPa (≈ 0.9005 bar)، و چگالی باید در پیکربندی ثبت شود. انتخاب فقط بر پایهٔ «۸ متر» ناکافی است.



شکل ۱۲ — مثال C؛ Level نشان‌داده‌شده با پیکربندی آب در برابر Level واقعی آب‌نمک و اشباع خروجی

1 Level نشان‌داده‌شده نسبت به Level واقعی

27 مثال کاربردی D — مخزن بسته و تحت فشار

مثال D **چرا فشار کف تنها Level را یکتا تعیین نمی‌کند**

داده‌ها: مایع با ρ = 800 kg/m³؛ Level حداکثر 6 m (ρgh = 47.07 kPa)؛ فشار کف اندازه‌گیری‌شده 150 kPa (در یک مبنا با P_V).

$$h = (P_{bottom} - P_v) / (\rho \cdot g)$$

محاسبه برای سه مقدار فشار فضای بخار (شکل ۱۳):

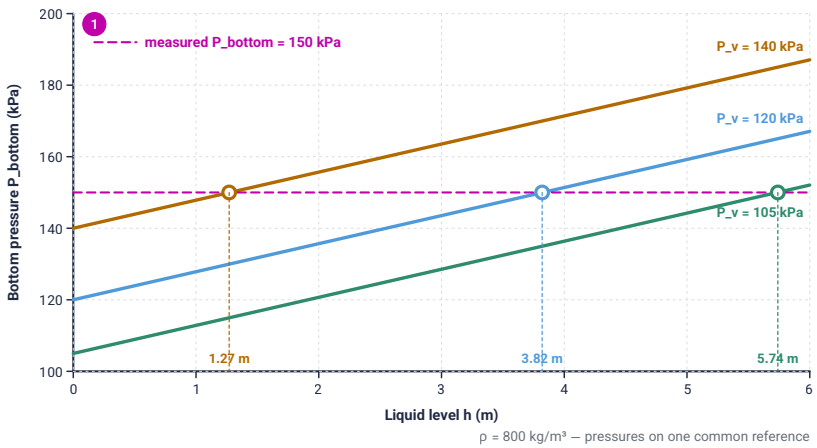
$$P_v = 105\ kPa \rightarrow h = (150 - 105) / (800 \times 9.80665 / 1000) = 5.74\ m$$

$$P_v = 120\ kPa \rightarrow h = (150 - 120) / 7.845 = 3.82\ m$$

$$P_v = 140\ kPa \rightarrow h = (150 - 140) / 7.845 = 1.27\ m$$

حساسیت: هر 1 kPa تغییر P_V معادل 127.5 mm Level است؛ تغییر 35 kPa در فشار بخار، 4.46 m Level ظاهری ایجاد می‌کند.

نتیجه: یک فشار کف یکسان (150 kPa) به Levelهای 5.74 m، 3.82 m یا 1.27 m مربوط است. بدون DP یا جبران مستقل P_V، Level یکتا نیست.



شکل ۱۳ — مثال D؛ فشار کف در برابر Level برای سه فشار فضای بخار؛ یک فشار کف، سه Level

1 نمودار فشار کف بر حسب Level برای سه P_V

28 ماتریس عیب‌یابی (Troubleshooting Matrix)

جدول ۹ — ماتریس عیب‌یابی سطح‌سنج هیدرواستاتیک

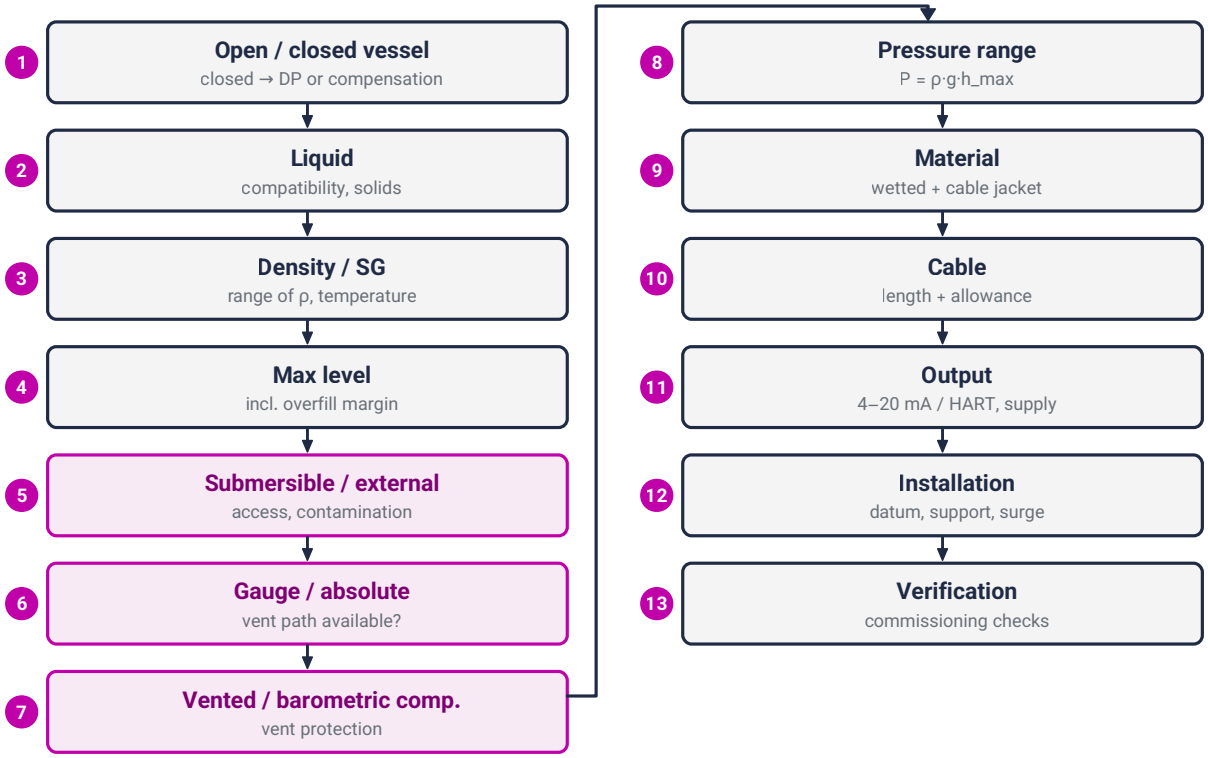
Symptom	Possible Cause	Engineering Check	Corrective Action
خروجی همیشه بالا	چگالی واقعی بیشتر از مقدار پیکربندی؛ پروب در لجن؛ مرجع اتمسفر بسته با فشار بالا	مقایسهٔ Level واقعی با مرجع دستی؛ بررسی چگالی و ارتفاع دیافراگم	اصلاح چگالی / مقیاس؛ بالا بردن پروب؛ بازرسی Vent
خروجی همیشه پایین	چگالی کمتر؛ حباب در Impulse Line؛ محدوده یا LRV نادرست	بررسی URV / LRV؛ تخلیه و پر کردن لوله؛ مقایسه با تراز مرجع	اصلاح مقیاس؛ پاک‌سازی لوله؛ اصلاح صفر
تغییر خروجی با هوا (وضع جوی)	Vent مسدود یا حسگر مطلق بدون جبران بارومتریک	مقایسهٔ روند خروجی با فشار بارومتریک؛ بازرسی فیلتر و انتهای کابل	رفع انسداد؛ افزودن جبران بارومتریک یا تعویض به حسگر نسبی مناسب
رانش آهسته (Slow Drift)	رطوبت در لولهٔ تنفس؛ رسوب روی دیافراگم؛ تغییر دما / چگالی	مقایسهٔ صفر در Level مرجع؛ بازرسی دیافراگم؛ بررسی دما	تمیزکاری؛ تعویض فیلتر؛ جبران دما
خروجی ناپایدار	موج و گرداب؛ حرکت پروب؛ کابل آسیب‌دیده؛ نویز در حلقه	بررسی محل نصب؛ آزمون کابل و ارت؛ بررسی میرایی در ترانسمیتر	نصب لولهٔ راهنما؛ تکیه‌گاه کابل؛ اصلاح اتصال و شیلد
صفر نادرست	ارتفاع نصب؛ Datum نادرست؛ اثر ارتفاع لولهٔ ارتباطی	اندازه‌گیری ارتفاع دیافراگم؛ بررسی z	Zero Trim در تراز مرجع؛ اصلاح LRV

Symptom	Possible Cause	Engineering Check	Corrective Action
بدون سیگنال 4–20 mA	قطع حلقه؛ تغذیه کم؛ ولتاژ ترمینال پایین؛ پلاریته معکوس	اندازه‌گیری ولتاژ ترمینال و جریان با مولتی‌متر؛ محاسبهٔ R_{max}	رفع قطعی؛ افزایش تغذیه؛ کاهش مقاومت حلقه
تغییر خروجی پس از خاتمهٔ کابل	Vent بسته یا رطوبت وارد لوله شده؛ اتصال شل	بازرسی انتهای کابل و جعبه؛ مقایسه با مقدار پیش از اتصال	باز کردن مسیر Vent طبق دستور سازنده؛ تعویض Desiccant / فیلتر
در کارگاه سالم، در چاه خراب	فشار و دمای واقعی؛ رسوب؛ مسیر Vent در چاه؛ Surge یا نویز	مقایسهٔ شرایط کارگاه و چاه؛ بازرسی پروب بیرون‌آمده؛ بررسی زمین	طراحی دوباره نصب؛ SPD؛ محافظت مسیر Vent
خطای Level پس از تغییر مایع	چگالی جدید تنظیم نشده	ثبت چگالی مایع جدید؛ مقایسه با مقدار پیکربندی	اصلاح چگالی یا مقیاس در ترانسمیتر / DCS

29 فلوچارت انتخاب

مراحل انتخاب را به ترتیب زیر دنبال کنید (شکل ۱۴). نخستین تصمیم، باز یا بسته بودن مخزن است؛ دو مرحلهٔ مهم (نسبی/مطلق و تهویه) با رنگ متمایز مشخص شده‌اند. هر مرحله خروجی مشخصی دارد که در برگهٔ داده ثبت می‌شود.

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه



شکل ۱۴ — فلوچارت انتخاب سطح‌سنج هیدرواستاتیک؛ از نوع مخزن تا راستی‌آزمایی

1 نوع مخزن 2 مایع 3 چگالی / SG 4 Level حداکثر 5 غوطه‌ور یا خارجی 6 نسبی یا مطلق 7 تهویه یا جبران بارومتریک
8 محدوده فشار 9 جنس 10 کابل 11 خروجی 12 نصب 13 راستی‌آزمایی

30 چک‌لیست راه‌اندازی (Commissioning Checklist)

- ☐ Tag و موقعیت نصب با نقشه و برگهٔ داده مطابقت دارد.
- ☐ نوع حسگر (نسبی / مطلق) و مرجع فشار (Vent یا جبران بارومتریک) تأیید شده است.
- ☐ محدودهٔ حسگر و URV / LRV با محاسبه (با چگالی بیشینه و Overfill) مطابق است.
- ☐ چگالی / SG پیکربندی‌شده با مقدار برگهٔ داده برابر است.
- ☐ مبنای Level (Datum) و ارتفاع دیافراگم یا نقطهٔ تپینگ ثبت و در صفر لحاظ شده است.
- ☐ طول کابل با پیکربندی خریداری‌شده و عمق نصب سازگار است؛ تکیه‌گاه کابل نصب شده است.
- ☐ مسیر Vent باز است؛ فیلتر یا Desiccant سالم؛ خاتمهٔ کابل طبق دستور سازنده انجام شده است.
- ☐ جنس بخش‌های خیس و روکش کابل با مایع بر پایهٔ مدرک تأییدشده مطابق است.
- ☐ خروجی و تغذیه: ولتاژ ترمینال و مقاومت حلقه از R_{max} بیشتر نیست.

- ☐ 4 mA در LRV و 20 mA در URV با سیمولاتور یا آزمون واقعی بررسی شده است.
- ☐ مقیاس DCS (واحد، چگالی، LRV، URV) با ترانسمیتر مطابق است.
- ☐ بررسی عقلانی Level واقعی (Sanity Check): مقایسهٔ نمایش با اندازه‌گیری دستی یا مرجع مستقل در یک یا دو Level.

31 پرسش‌های متداول

› سطح‌سنج چاه چگونه انتخاب می‌شود؟

ابتدا عمق نصب پروب، بالاترین و پایین‌ترین Level آب و دمای آب را مشخص کنید؛ سپس محدودهٔ فشار از ستون آب بالای دیافراگم محاسبه می‌شود. بعد حسگر نسبی با Vented Cable یا معماری جایگزین، طول کابل با حاشیه، جنس کابل، آب‌بندی و حفاظت Surge انتخاب می‌شود.

› Cable Length و Measurement Range چه تفاوتی دارند؟

طول کابل فاصلهٔ فیزیکی پروب تا نقطهٔ اتصال است؛ محدودهٔ اندازه‌گیری بازهٔ فشار حسگر (برحسب ستون مایع بالای دیافراگم) است. هم‌ارز نیستند: پروبی با کابل 100 m می‌تواند محدودهٔ 0–6 bar یا 0–1 bar داشته باشد.

› برای چاه ۱۰۰ متری چه لول ترانسمیتری لازم است؟

به عمق نصب پروب و Level آب بستگی دارد، نه به عمق چاه. اگر پروب در 80 m و بالاترین Level 60 m آب بالای آن باشد، محدودهٔ نمونه 0–6 bar و کابل حداقل چند متر بیش از عمق نصب انتخاب می‌شود؛ مثال B این راهنما.

› Vented Cable چه کاربردی دارد؟

لولهٔ تنفس داخل کابل پشت دیافراگم حسگر نسبی را به اتمسفر وصل می‌کند تا فشار اتمسفر از اندازه‌گیری حذف شود. این مسیر بخشی از زنجیرهٔ اندازه‌گیری است.

› چرا Level با تغییر Density خطا می‌کند؟

چون ترانسمیتر فشار را می‌بیند و با فرض چگالی ثابت آن را به Level تبدیل می‌کند: h = P/(ρg) . تغییر چگالی، فشار را بدون تغییر Level عوض می‌کند.

› آیا Hydrostatic Level برای فاضلاب مناسب است؟

در حوضچه‌های فاضلاب کاربرد دارد، اما لجن، ذرات معلق و چربی بر دیافراگم و کابل اثر می‌گذارند؛ نصب بالاتر از لجن، دیافراگم محافظت‌شده و تمیزکاری باید برنامه‌ریزی شود.

› آیا سنسور باید کف مخزن قرار بگیرد؟

لزوماً نه. دیافراگم هر جا باشد، Level نسبت به همان نقطه اندازه‌گیری می‌شود. باید پایین‌تر از کمترین Level مورد نیاز، بالاتر از رسوب و در ارتفاعی معلوم (Datum) مشخص) نصب شود.

› سطح‌سنج Gauge بهتر است یا Absolute؟

هیچ‌کدام در همه جا برتر نیست. Gauge با مسیر Vent اتمسفر را ساده حذف می‌کند ولی به سلامت Vent وابسته است؛ Absolute نیاز به Vent ندارد ولی جبران بارومتریک می‌خواهد. انتخاب به معماری سیستم و شرایط نصب بستگی دارد.

› برای مخزن تحت فشار چه باید کرد؟

اثر فشار فضای بخار باید حذف شود: اندازه‌گیری اختلاف فشار (DP) بین پایین مخزن و فضای بخار، یا جبران با ترانسمیتر مستقل فشار بخار. یک ترانسمیتر فشار تنها کافی نیست.

› قیمت سطح‌سنج هیدرواستاتیک به چه عواملی بستگی دارد؟

محدودهٔ فشار، طول کابل، جنس دیافراگم و بدنه و کابل، نوع خروجی (HART / 4–20 mA)، گواهی منطقهٔ خطرناک، حفاظت Surge، طراحی دیافراگم، دقت و تعداد. قیمت نهایی از برگهٔ استعلام همان پیکربندی به‌دست می‌آید.

› IP68 در Submersible Transmitter چه معنایی دارد؟

عدد دوم ۸ در کد IP (طبق IEC 60529) به غوطه‌وری مداوم تحت شرایطی اشاره دارد که باید میان سازنده و کاربر توافق شود و شدیدتر از شرایط ۷ است. عمق و مدت واقعی باید در مدرک سازنده مشخص شود؛ IP68 به‌تنهایی عمق مجاز را مشخص نمی‌کند.

› برای آب شور چه Material مناسب است؟

پاسخ عمومی وجود ندارد؛ آب شور حاوی کلرید است و برخی مواد (مثلاً SS316L) ممکن است در معرض خوردگی موضعی باشند. فقط ماده‌ای انتخاب شود که برای همان غلظت و دما در مدرک سازنده تأیید شده باشد؛ تیتانیوم یا آلیاژهای نیکل از گزینه‌های ممکن‌اند اما بدون تأیید قابل ادعا نیستند.

32 تولیدکنندهٔ سطح‌سنج هیدرواستاتیک و انتخاب لول ترانسمیتر صنعتی

این بخش پایانی و جدا از راهنمای فنی است. شرکت نیکان صنعت خاورمیانه (NICO) سازندهٔ ابزار دقیق صنعتی در حوزهٔ فشار، دما، سطح و دبی است و ترانسمیتر سطح هیدرواستاتیک HLT40 در گروه سطح‌سنجی NICO تعریف شده است. کاربرانی که به‌دنبال تولیدکنندهٔ سطح‌سنج هیدرواستاتیک یا سازندهٔ لول ترانسمیتر ایرانی هستند و می‌خواهند لول ترانسمیتر برای چاه یا مخزن را خریداری کنند، پیش از درخواست قیمت سطح‌سنج چاه یا سطح‌سنج هیدرواستاتیک، برگهٔ داده کاربرد (بخش ۱) را کامل کنند تا پیکربندی دقیق (محدوده، طول کابل، جنس، خروجی) در یک استعلام مشخص شود. مشخصات، محدودهٔ اندازه‌گیری، مواد، گواهی‌ها و قیمت هر مدل فقط از برگهٔ فنی و پیشنهاد رسمی NICO قابل استناد است.

جمع‌بندی نکات کلیدی

- انتخاب از برگهٔ داده شروع می‌شود؛ ارتفاع مخزن به‌تنهایی محدوده را تعیین نمی‌کند.
- $P_{max} = \rho_{max} \cdot g \cdot h_{max}$ با حاشیهٔ Overfill و ارتفاع نصب؛ سپس محدودهٔ استاندارد بالاتر انتخاب می‌شود.
- Vented Cable و مسیر تهویه بخشی از زنجیرهٔ اندازه‌گیری‌اند؛ حسگر مطلق به جبران بارومتریک نیاز دارد.
- چگالی و دما Level استنتاج‌شده را جابه‌جا می‌کنند؛ تغییر محصول نیاز به بازبینی تنظیم دارد.
- در مخزن بسته یک ترانسمیتر فشار تنها کافی نیست؛ DP یا جبران مستقل لازم است.
- طول کابل ≠ محدودهٔ اندازه‌گیری؛ مقاومت حلقه، Surge و خطاهای نصب را در طراحی لحاظ کنید.

33 واژه‌نامه و منابع

اصطلاح	معنا
Span / URV / LRV	مقدار پایین / بالای محدودهٔ پیکربندی‌شده و اختلاف آن‌ها
Zero Suppression	پیکربندی LRV مثبت وقتی مبنای صفر Level بالاتر از دیافراگم است
Impulse Line	لولهٔ ارتباط فشار میان فرآیند و ترانسمیتر
Dry Leg / Wet Leg	خط LP پر از مایع / پر از گاز در اندازه‌گیری DP مخزن بسته
Turndown	نسبت محدودهٔ حسگر به Span کاربردی
Datum	مبنای ارتفاع Level (صفر Level)

1. NIST SP 811 — Guide for the Use of the International System of Units (SI)

مرجع $g_n = 9.80665\ m/s^2$ و تعریف mH_2O قراردادی؛ ویرایش جاری پیش از ارجاع رسمی راستی‌آزمایی شود.

2. IEC 62828 series — Reference conditions and procedures for testing industrial and process measurement transmitters

جایگزین IEC 60770-1 (ابطال‌شده در ۲۰۲۰)؛ ویرایش مرتبط با ترانسمیتر فشار در فروشگاه IEC بررسی شده ولی متن کامل بررسی نشده؛ هیچ حد یا روشی از آن نقل نشده است.

3. IEC 60529 — Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

مرجع مفهوم IP68؛ شرط آزمون غوطه‌وری باید از مدرک سازنده بیاید؛ متن رسمی پیش از ارجاع نهایی بازبینی شود.

4. IEC 61000-4-5 — Surge immunity test

فقط به‌عنوان نام آزمون Surge نام برده شده است؛ ویرایش جاری و سطح آزمون هر محصول باید از مدرک سازنده بیاید.

5. IAPWS-95 — Formulation for the thermodynamic properties of ordinary water substance

منبع چگالی آب در محاسبه‌ها؛ از کتابخانهٔ iapws استفاده شده است.

6. Siemens SITRANS LH100; AutomationDirect ProSense SLT; Dwyer / Omega FBLT — manufacturer documentation

منابع ثانویهٔ سازندگان برای مفهوم Vent، فیلتر، خم نکردن کابل و لولهٔ تنفس؛ ادعای محصول از آن‌ها نقل نشده است.

7. CRC Handbook of Chemistry and Physics — aqueous NaCl solution density

چگالی آب‌نمک ۲۰٪ در مثال C از جدول مرجع عمومی گرفته شده و با منبع CRC تطبیق نشده است (REFERENCE، نیازمند راستی‌آزمایی).

این راهنما سند سطح ۲ است. محدوده‌های ردیف‌شده در جدول‌ها، مقادیر V_{min}، I_{max}، مقاومت کابل و چگالی آب‌نمک نمونه یا فرض‌اند و جایگزین برگهٔ فنی و پیشنهاد رسمی سازنده نیستند. تحلیل خطای کمی، عدم‌قطعیت و FMEA در سطح ۳ آمده است.

منابع مرتبط NICO

پیش‌نیاز و گام بعدی

- سطح‌سنج هیدرواستاتیک چیست؟ (سطح ۱) — NICO-EDU-LVL-L1-007-FA
- مهندسی پیشرفته اندازه‌گیری سطح هیدرواستاتیک (سطح ۳) — NICO-EDU-LVL-L3-009-FA
- سیگنال 4–20 mA چیست؟ — NICO-EDU-SIG-L1-001-FA

تجهیزات مرتبط NICO

- HLT40 — ترانسمیتر سطح هیدرواستاتیک NICO
- DPT11 — ترانسمیتر اختلاف فشار NICO برای مخزن بسته

مشخصات و گواهی‌های هر محصول NICO را فقط از برگهٔ فنی رسمی همان محصول بگیرید؛ هیچ مشخصهٔ محصولی در این راهنما ادعا نشده است.