NICO TECHNICAL LEARNING SERIES

مجموعه آموزش فنی ابزار دقیق

LEVEL 2 — PROFESSIONAL ENGINEERING

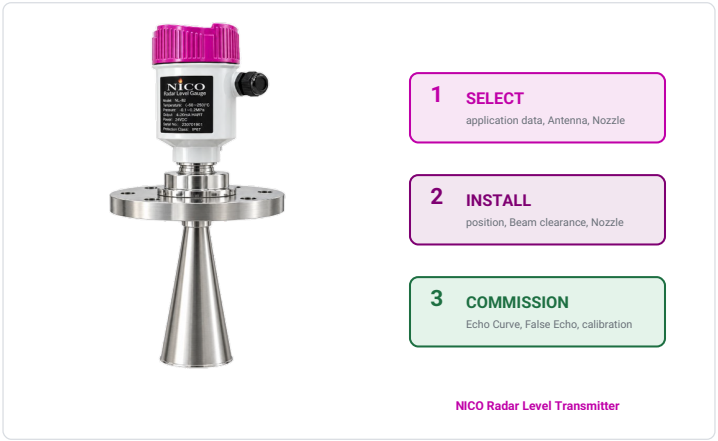
NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

راهنمای مهندسی انتخاب، نصب و راه‌اندازی سطح‌سنج راداری

از برگهٔ داده کاربردی تا Echo Curve، False Echo و کالیبراسیون

Radar Level Transmitter Selection, Installation and Commissioning Engineering Guide

راهنمای مهندسی سطح ۲ برای انتخاب، نصب و راه‌اندازی سطح‌سنج راداری (Radar Level Transmitter): برگهٔ داده کاربردی، فرکانس و Antenna، Beam Footprint، Nozzle، Dielectric Constant، Foam، همزن، False Echo، Echo Curve، کالیبراسیون Empty و Full، مناطق خطرناک، عیب‌یابی و چهار مطالعهٔ موردی.



شکل ۱ — ترانسمیتر سطح راداری NICO: مراحل انتخاب، نصب و راه‌اندازی

شماره سند	بازنگری	سطح محتوا	تاریخ انتشار
NICO-EDU-LVL-L2-005-FA	Rev00	LEVEL 2	November 2026 — **آبان ۱۴۰۵**

انتخاب سطح‌سنج راداری (Radar Level Transmitter) فقط انتخاب یک مدل نیست؛ تصمیمی است دربارهٔ مسیر عبور پرتو از Antenna تا سطح محصول. اگر این مسیر از یک Nozzle نامناسب، یک همزن، یک نردبان یا جریان ورودی عبور کند، بهترین ترانسمیتر هم Echo اشتباه می‌بیند؛ و اگر Echo محصول ضعیف باشد، محل نصب درست هم به‌تنهایی کافی نیست. این راهنمای سطح ۲ برای مهندس ابزار دقیق، مهندس راه‌اندازی، پیمانکار EPC و تکنسین باتجربه نوشته شده است و نشان می‌دهد چه داده‌ای باید جمع شود، چه چیزی باید انتخاب شود، چگونه باید نصب شود و چطور باید در محل راستی‌آزمایی شود.

پس از مطالعه این راهنما خواهید توانست:

1. برگهٔ داده کاربردی کامل برای استعلام و انتخاب سطح‌سنج راداری بنویسید.
2. مایع را از جامد و فرکانس و Antenna را بر پایهٔ کاربرد (نه اسم مدل) بسنجید.
3. Beam Footprint را حساب و با دیوار، همزن، نردبان و جریان ورودی مقایسه کنید.
4. Nozzle، Dielectric Constant، Foam، Condensation و Build-up را به‌عنوان ریسک سیگنال ارزیابی کنید.
5. Echo Curve را بخوانید و False Echo Mapping را درست و در جای درست به کار ببرید.
6. Empty Calibration و Full Calibration را به خروجی 4–20 mA نگاشت و کنترل کنید.
7. جدول عیب‌یابی را در چهار مطالعهٔ موردی (آب، هیدروکربن، مخزن همزن‌دار، سیلو) به کار ببرید.

دامنه و پیش‌فرض‌های سند. در این سند هر عدد مربوط به مخزن، محصول یا زاویهٔ Beam Angle یک فرض آموزشی (ASSUMPTION) است و مشخصهٔ هیچ محصول NICO نیست؛ حدود واقعی (مثل Blocking Distance، Beam Angle، حداقل طول بیرون‌زدگی Antenna از Nozzle و Dielectric Constant قابل‌قبول) فقط از برگهٔ فنی رسمی سازندهٔ همان مدل خوانده می‌شود. هیچ استاندارد واحدی عملکرد سطح‌سنج راداری را تعریف نمی‌کند؛ بنابراین توصیه‌ها با برچسب مبنا مشخص شده‌اند: ENGINEERING RECOMMENDATION برای رویهٔ مهندسی، ASSUMPTION برای فرض و REQUIRES VERIFICATION برای آنچه باید از سازنده یا سند رسمی تأیید شود.

1 برگهٔ داده کاربردی (Application Datasheet)

هیچ انتخاب مهندسی بدون داده درست نیست. جدول ۱ حداقل داده‌ای است که پیش از ارسال استعلام یا انتخاب مدل باید جمع شود. داده‌ای که معلوم نیست به‌جای حدس با وضعیت Not Provided یا Required for Final Selection ثبت شود و به سازنده گفته شود نامعلوم است؛ زیرا Dielectric Constant، Foam و Build-up از مهم‌ترین عوامل ریسک‌اند و معمولاً حدس‌بردار نیستند.

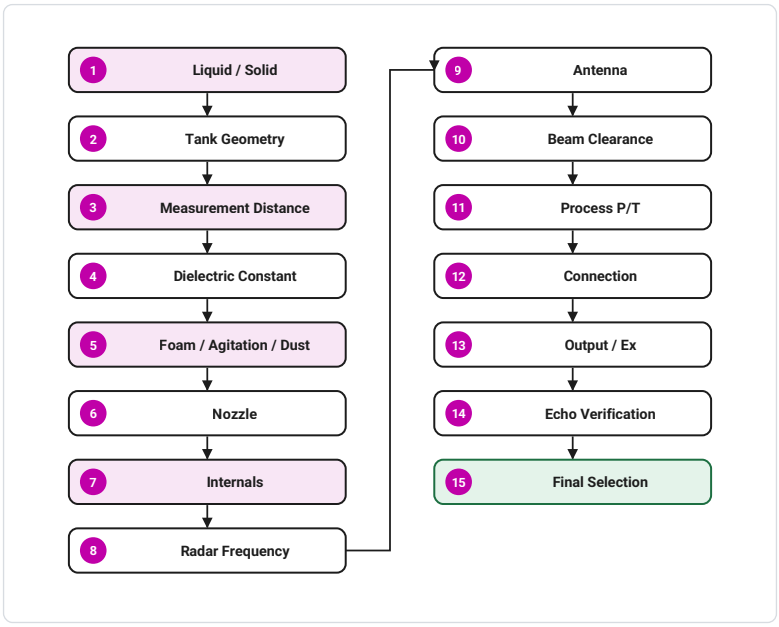
جدول ۱ — برگهٔ حداقل داده‌های کاربردی برای انتخاب سطح‌سنج راداری

دسته	داده	چرا لازم است؟
محصول	نام و ترکیب، حالت (مایع، جامد، دوفازی، دوغاب)	رفتار سطح و بازتاب؛ سازگاری جنس قطعات تماس‌دار (Wetted Parts)
	Dielectric Constant **در دمای کاری و بازهٔ تغییر آن**	تعیین قدرت Echo محصول و حاشیهٔ سیگنال
	چگالی، گرانروی و میل به چسبندگی	خطر Build-up روی Antenna؛ رفتار موج و Foam

دسته	داده	چرا لازم است؟
	تمایل به Foam، بخار، مه و Condensation	تضعیف یا بازتاب ناخواسته؛ انتخاب فرکانس و Antenna
	گرد و غبار و اندازهٔ دانه (برای جامد)	تضعیف، پراکندگی و آلودگی Antenna
مخزن	نوع: ذخیره، فرایندی، سیلو، Stilling Well، Bypass Chamber	مسیر انتشار و روش نصب
	ارتفاع، قطر و شکل سقف و کف (تخت، مخروطی، کلاهکی)	Tank Height، Beam Footprint، رفتار در سطح پایین
	محدودهٔ سطح: کمینه، بیشینه و سرعت پر و خالی شدن	Empty Distance، Full Distance، Blocking Distance و میرایی
	جنس و وضعیت دیوارهٔ داخلی (پوشش، زبری)	بازتاب از دیواره و False Echo
اتصال و داخل مخزن	قطر و طول Nozzle، نوع و استاندارد فلنج، زاویهٔ محور	بازتاب‌های نزدیک Antenna و انتخاب Antenna
	همزن (Agitator)**، نردبان، کویل** (Heating Coil)**، لوله و تیر: ابعاد و مکان**	بررسی تداخل با Beam Footprint
	محل ورودی و خروجی جریان	موج، حباب و پاشش در مسیر پرتو
شرایط	فشار و دمای کاری و طراحی، خلأ، بخار، CIP	حدود مکانیکی اتصال و Antenna؛ اثر روی انتشار
	دمای محیط و تابش خورشید	محدودهٔ الکترونیک و نمایشگر
	ناحیهٔ خطرناک: Zone**، گروه گاز، کلاس دما** (Temperature Class)	انتخاب نوع حفاظت و گواهی؛ نباید حدس زده شود
خروجی	سیگنال 4–20 mA، HART، تغذیه، رفتار خطا	سازگاری با PLC یا DCS و تنظیم Failure Signal
	دقت لازم و کاربرد: کنترل، موجودی، انتقال تحویل (Custody Transfer) **یا حفاظتی**	تعیین سطح اطمینان و ممیزی مورد نیاز

2 مسیر کلی انتخاب

شکل ۲ ترتیب منطقی تصمیم‌ها را نشان می‌دهد: ابتدا ماهیت محصول و هندسهٔ مخزن، بعد سیگنال (Dielectric Constant، Foam، همزن)، بعد مسیر پرتو (Nozzle و سازه‌ها)، و در پایان فرکانس، Antenna، اتصال، خروجی و راستی‌آزمایی Echo. ترتیب مهم است، چون هر گام حدود گام بعد را می‌بندد: انتخاب Antenna بدون دانستن Nozzle یا انتخاب فرکانس بدون دانستن Dielectric Constant و مخزن، به بازگشت و تکرار ختم می‌شود.



شکل ۲ — مسیر تصمیم برای انتخاب سطح‌سنج راداری، از ماهیت محصول تا راستی‌آزمایی Echo و انتخاب نهایی

3 مایع یا جامد؟

سطح مایع آرام معمولاً صاف و مانند آینه است: بیشتر انرژی در جهت سطح بازمی‌تابد و در صورتی که پرتو تقریباً عمود بر سطح باشد، بخش بزرگی از آن به Antenna برمی‌گردد. سطح جامد دانه‌ای ناهموار است، زاویهٔ آن به شکل پرشدن و تخلیه بستگی دارد و Dielectric Constant بسیاری از جامدات خشک پایین است؛ نتیجه این که Echo کوچک‌تر، پهن‌تر و پراکنده‌تر است و گرد و غبار هم تضعیف و آلودگی می‌افزاید. به همین دلیل کاربرد جامد، بدون داده از سازنده و بدون دانستن زاویهٔ شیب سطح (Angle of Repose)، با کاربرد مایع هم‌ارز دیده نمی‌شود؛ مورد ت در پایان همین راهنما این تفاوت را عددی می‌کند.

4 انتخاب فرکانس

فرکانس رادار طول موج را تعیین می‌کند (Wavelength برابر سرعت نور تقسیم بر فرکانس). برای Antenna هم‌اندازه، فرکانس بالاتر Beam باریک‌تر می‌دهد؛ پس در Nozzle باریک یا مخزن شلوغ ممکن است برتری داشته باشد. از طرف دیگر، فرکانس بالاتر روی Condensation و Build-up سطح Antenna و Foam متراکم حساس‌تر گزارش می‌شود. پلتفرم RLT40 بر پایهٔ فناوری 80 GHz تعریف شده است؛ اما این به معنای «برتری مطلق ۸۰ گیگاهرتز» نیست و انتخاب باید بر پایهٔ همان کاربرد و برگهٔ فنی انجام شود. باندهای مجاز و حدود تابش به مقررات رادیویی (ETSI EN 302 372 در اروپا و 47 CFR § 15.256 در ایالات متحده) وابسته‌اند، نه به عملکرد اندازه‌گیری.

جدول ۲ — مقایسهٔ فرکانس‌های رایج در سطح‌سنج راداری (ENGINEERING RECOMMENDATION؛ تأیید با سازنده برای کاربرد واقعی)

باند نمونه	Wavelength	اثر بر Beam برای Antenna هم‌اندازه	ملاحظه‌های متداول
~6 GHz	50.0 mm	Beam بازتر؛ برای Beam باریک به Antenna بزرگ‌تر نیاز است	معمولاً به Foam، بخار و Condensation کمتر حساس گزارش می‌شود؛ حساس‌تر به Nozzle باریک و سازه‌های نزدیک

باند نمونه	Wavelength	اثر بر Beam برای Antenna هم‌اندازه	ملاحظه‌های متداول
~26 GHz	11.5 mm	حد وسط	انتخاب میانه برای بسیاری از مخازن؛ جزئیات به مدل بستگی دارد
~80 GHz	3.75 mm	Beam باریک‌تر با Antenna کوچک‌تر	مناسب Nozzle باریک و مخزن شلوغ؛ حساس‌تر به Build-up روی Antenna و Foam متراکم

Wavelength از رابطهٔ lambda = c / f با c = 299 792 458 m/s به‌دست آمده است. باندهای ستون اول نمونه‌اند و جایگزین محدودهٔ فرکانسی دقیق سازنده یا مقررات محلی نمی‌شوند REQUIRES VERIFICATION.

5 Beam Angle و Beam Footprint

پرتو راداری نقطه‌ای نیست؛ مانند مخروط باز می‌شود و در فاصلهٔ L از Antenna سطحی دایره‌ای را روشن می‌کند. قطر این ناحیه (Beam Footprint) در تقریب مخروط ساده از رابطهٔ زیر می‌آید:

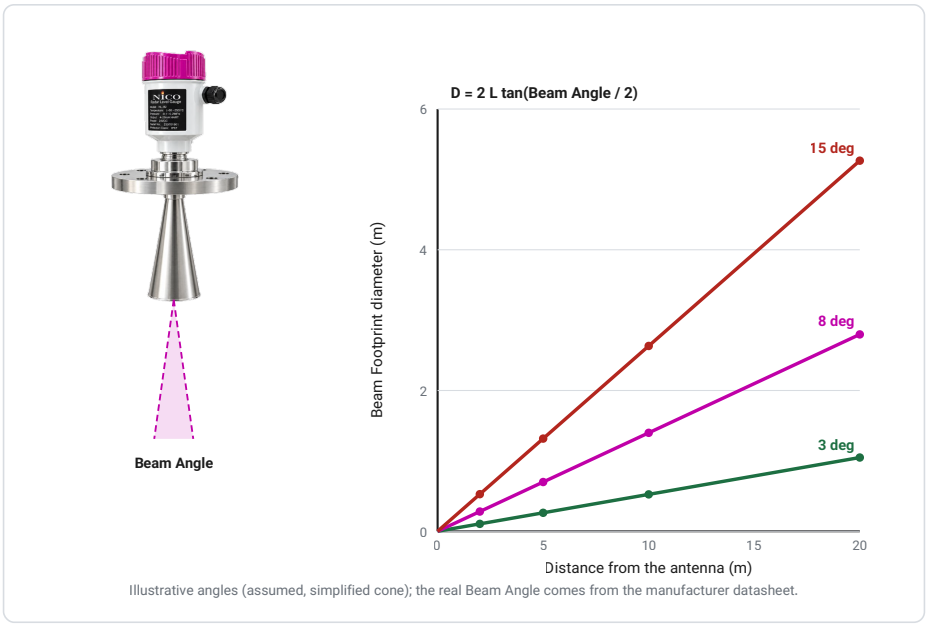
$$D = 2 \times L \times \tan(\text{alpha} / 2)$$

D	قطر Beam Footprint روی سطح	m
L	فاصلهٔ Antenna تا سطح	m
alpha	زاویهٔ کامل Beam Angle (نیمهٔ آن در تانژانت می‌آید)	deg

رابطه یک تقریب هندسی است و تعریف Beam Angle (مثلاً زاویهٔ نیم‌توان) و لبهٔ مؤثر پرتو در برگهٔ سازنده آمده است REQUIRES VERIFICATION. جدول ۳ قطر Beam Footprint را برای سه زاویهٔ **فرضی** نشان می‌دهد؛ شکل ۳ همان داده را به‌صورت نمودار نمایش می‌دهد. مهم‌ترین نتیجه این است که Beam Footprint با فاصله خطی بزرگ می‌شود: در مخزن بلند و Beam باز، پرتو در سطح پایین‌تر بخش بزرگی از مخزن را می‌بیند.

جدول ۳ — قطر Beam Footprint (m) برای زاویه‌ها و فاصله‌های فرضی (ASSUMPTION)

Beam Angle	2 m	5 m	10 m	20 m
3 deg	0.10	0.26	0.52	1.05
8 deg	0.28	0.70	1.40	2.80
15 deg	0.53	1.32	2.63	5.27

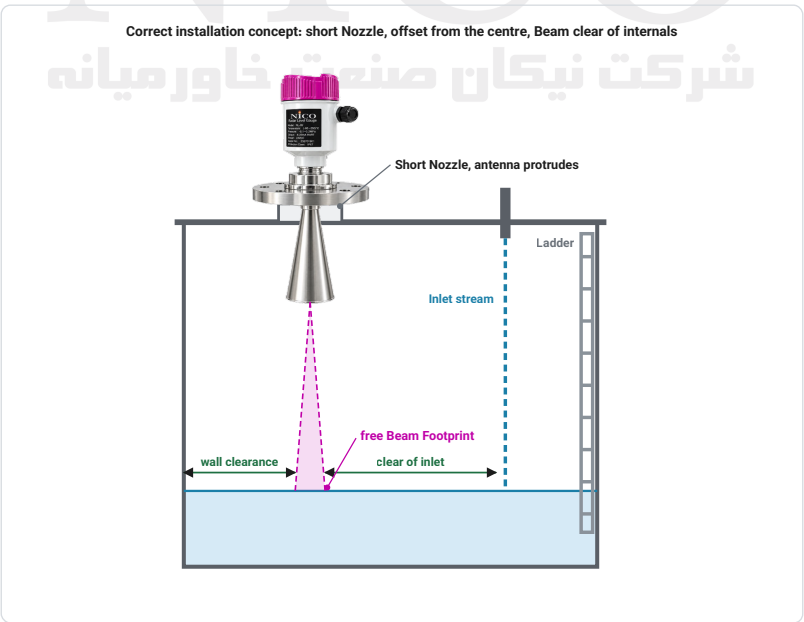


Illustrative angles (assumed, simplified cone); the real Beam Angle comes from the manufacturer datasheet.

شکل ۳ — قطر Beam Footprint بر حسب فاصله برای سه Beam Angle فرضی؛ Beam Angle واقعی از برگهٔ فنی سازنده گرفته می‌شود

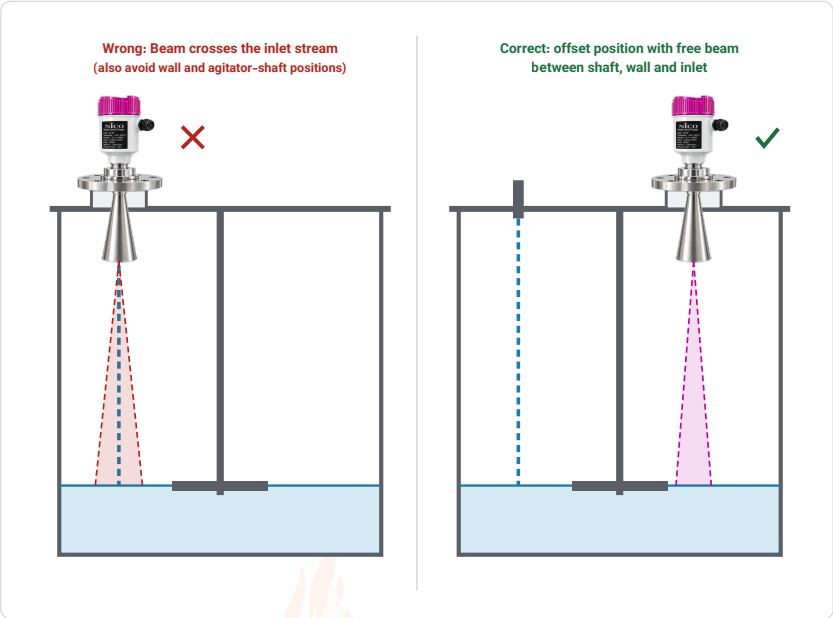
6 محل نصب روی مخزن

محل نصب باید پرتو را از موانع دور و در عین حال تا حد ممکن عمود بر سطح نگه دارد. در عمل سه محدودیت با هم کار می‌کنند: فاصله از دیواره (Beam Footprint نباید به دیواره بخورد)، فاصله از جریان ورودی (پاشش و حباب مسیر پرتو را به‌هم می‌ریزد) و فاصله از سازه‌های داخلی. فاصلهٔ حداقل از دیواره را نمی‌توان با یک عدد جهانی گفت؛ باید Beam Footprint در بیشینهٔ فاصله، حاشیهٔ ایمنی و توصیهٔ سازنده با هم بررسی شود ENGINEERING RECOMMENDATION. شکل ۴ این ایده را نشان می‌دهد: Nozzle کوتاه، موقعیت خارج از مرکز و پرتو آزاد بین دیواره، نردبان و جریان ورودی.



شکل ۴ — مفهوم نصب درست: Nozzle کوتاه، موقعیت خارج از مرکز و Beam Footprint آزاد از دیواره، نردبان و جریان ورودی

دو خطای بسیار رایج، نصب بالای جریان ورودی و نصب بالای محور همزن یا کنار دیواره است؛ شکل ۵ آن‌ها را کنار آرایش درست می‌گذارد. در مخزن با سقف گنبدی یا کلاهکی، نصب دقیقاً در مرکز سقف نیز ممکن است Echoهای ناخواستهٔ تقویت‌شده بسازد، چون سقف منحنی انرژی را به سمت Antenna متمرکز می‌کند؛ این موضوع را باید با سازنده هم تأیید کرد REQUIRES VERIFICATION.



شکل ۵ — نصب نادرست (بالای جریان ورودی) در برابر نصب درست در مخزن همزن‌دار

COMMON MISTAKE — «وسط مخزن بهترین جاست»

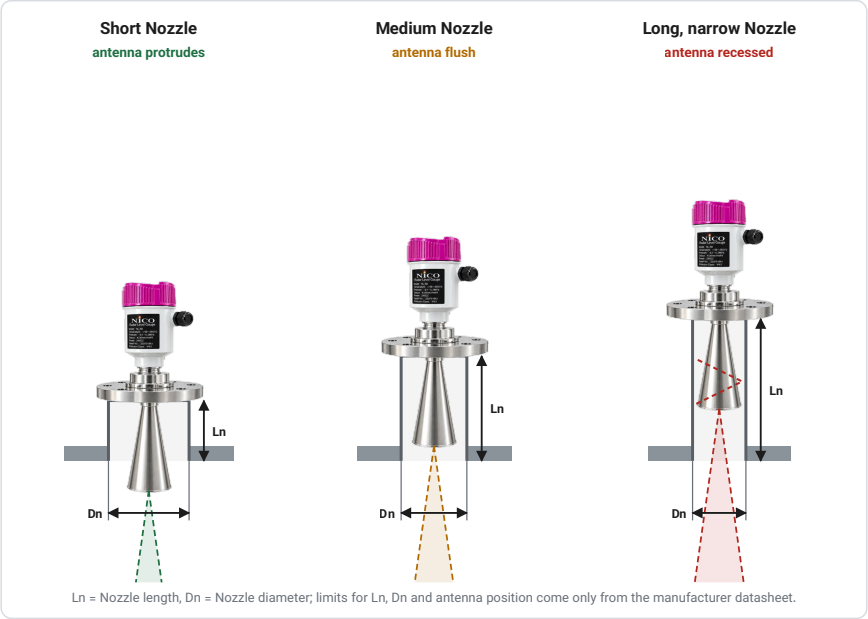
در مخزن همزن‌دار، مرکز مخزن محل شفت همزن است و در مخزن گنبدی ممکن است محل تمرکز Echo باشد. مرکز سقف فقط وقتی انتخاب می‌شود که هندسه، موانع و داده سازنده آن را تأیید کنند، نه به‌طور پیش‌فرض.

شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

7 Nozzle: مهم‌ترین عامل نصب

Nozzle لولهٔ کوتاهی است که روی سقف مخزن جوش یا فلنج می‌شود و ترانسمیتر روی آن قرار می‌گیرد. دیوارهٔ Nozzle بخشی از انرژی را که در نزدیکی Antenna پخش می‌شود برمی‌گرداند و Echoهایی در فاصلهٔ بسیار کم ایجاد می‌کند؛ این Echoها اگر با Blocking Distance و سیگنال سطح بالا هم‌پوشانی داشته باشند، اندازه‌گیری سطح بالا را مختل می‌کنند. اگر Antenna داخل Nozzle فرو رفته باشد، پرتو پیش از رسیدن به مخزن با دیواره تعامل می‌کند، Beam Angle مؤثر تغییر می‌کند و ریسک False Echo بالا می‌رود.

پارامترهای مهندسی Nozzle عبارت‌اند از طول Ln، قطر داخلی Dn، موقعیت دهانهٔ Antenna نسبت به انتهای Nozzle، صافی دیوارهٔ داخلی (درز جوش، لبه‌های تیز)، نوع فلنج و زاویهٔ محور Nozzle نسبت به سطح. قاعدهٔ کلی این است که Nozzle کوتاه و گشاد و Antenna بیرون‌زده بهتر از Nozzle بلند و باریک با Antenna فرورفته است (ENGINEERING RECOMMENDATION)؛ اما حد مجاز Ln، Dn و حداقل بیرون‌زدگی برای هر Antenna فقط از برگهٔ فنی سازنده می‌آید MANUFACTURER-SPECIFIC DATA.



شکل ۶ — Nozzle کوتاه با Antenna بیرون‌زده، متوسط با Antenna هم‌سطح و بلند و باریک با Antenna فرورفته؛ Ln طول و Dn قطر Nozzle است

> **CAUTION — چرخاندن محفظه محور را درست نمی‌کند**
>
> چرخاندن محفظهٔ الکترونیک (برای جهت‌دادن نمایشگر یا ورودی کابل) محور Antenna و پرتو را عوض نمی‌کند. اگر محور Nozzle نسبت به عمود بر سطح کج باشد، بخش بزرگی از انرژی از Antenna دور می‌شود و فقط اصلاح هندسهٔ نصب یا ابزار جهت‌دهی تأییدشدهٔ سازنده آن را رفع می‌کند.

8 انتخاب Antenna

دو خانوادهٔ متداول Antenna در سطح‌سنج راداری Horn Antenna و Lens Antenna است. نام این‌ها در این سند به‌عنوان دسته‌بندی عمومی آمده است؛ این که NICO کدام یک را با چه اندازه، جنس و رتبهٔ فشار و دما ارائه می‌کند، فقط از برگهٔ فنی رسمی تعیین می‌شود و در این سند ادعا نشده است. انتخاب Antenna با معیارهای جدول ۴ انجام می‌شود، نه با ترجیح یک شکل.

جدول ۴ — معیارهای انتخاب Antenna و منبع تصمیم

معیار	اثر بر انتخاب	منبع تصمیم
Beam Angle **و بهره**	Antenna بزرگ‌تر معمولاً Beam باریک‌تر می‌دهد؛ برای مخزن شلوغ یا بلند اهمیت دارد	برگهٔ فنی
قطر و طول Nozzle	Antenna باید در Nozzle جا شود و در محل لازم بیرون‌زده بماند	برگهٔ فنی و نقشهٔ مخزن
جنس قطعات تماس‌دار	سازگاری شیمیایی با بخار و محصول؛ در ماهیت پلیمری یا فلزی بودن Antenna تفاوت دارد	برگهٔ فنی و جدول سازگاری
Condensation **و** Build-up	شکل و جنس سطح Antenna تعیین می‌کند چه‌قدر قطره یا لایه روی آن می‌نشیند	تجربهٔ کاربرد و سازنده
فشار و دمای فرایند	رتبهٔ مکانیکی اتصال و آب‌بندی و حد دمایی Antenna	برگهٔ فنی

معیار	اثر بر انتخاب	منبع تصمیم
ناحیهٔ خطرناک	مجموعهٔ Antenna و محفظه باید گواهی لازم را داشته باشند	گواهی رسمی

9 Dielectric Constant و محصولات با بازتاب ضعیف

قدرت Echo سطح محصول به Dielectric Constant آن (eps_r) بستگی دارد. در تقریب ساده (سطح صاف، فرود عمود، بدون تضعیف)، کسر توان بازتابیده از رابطهٔ زیر می‌آید:

$$Gamma^2 = ((1 - sqrt(eps_r)) / (1 + sqrt(eps_r)))^2$$

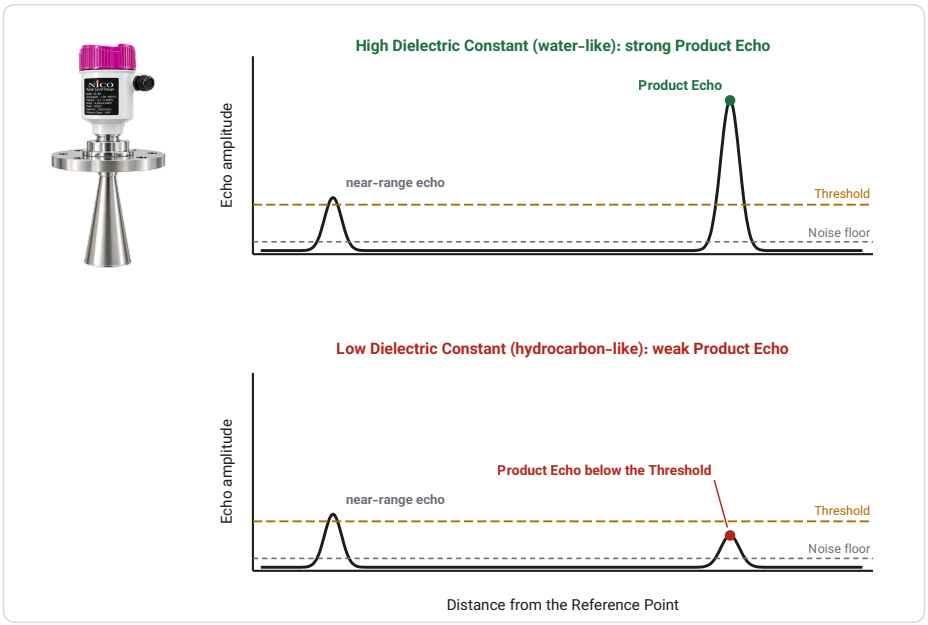
$Gamma^2$	کسر توان بازتابیده از سطح (بدون بُعد؛ در جدول به درصد)	–
eps_r	Dielectric Constant نسبی محصول در دما و فرکانس کاری (بدون بُعد)	–

جدول ۵ نشان می‌دهد بازتاب با کاهش eps_r سریع کم می‌شود: محصولی با $eps_r = 2$ حدود چهارده دسی‌بل ضعیف‌تر از آب بازمی‌تاباند. این مقادیر فقط برای مقایسهٔ مرتبهٔ بزرگی‌اند؛ eps_r واقعی با دما، ترکیب و فرکانس تغییر می‌کند و برای آب در فرکانس رادار با مقدار ساکن ۸۰ یکی نیست REQUIRES VERIFICATION.

جدول ۵ — کسر توان بازتابیده برای eps_r فرضی (ASSUMPTION؛ سطح صاف، فرود عمود، بدون تضعیف)

eps_r	$Gamma^2$ (%)	نسبت به $eps_r = 80$ (dB)
1.5	1.02	-18.0
2	2.94	-13.4
3	7.18	-9.5
5	14.59	-6.4
10	26.99	-3.7
20	40.26	-2.0
80	63.82	0.0

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

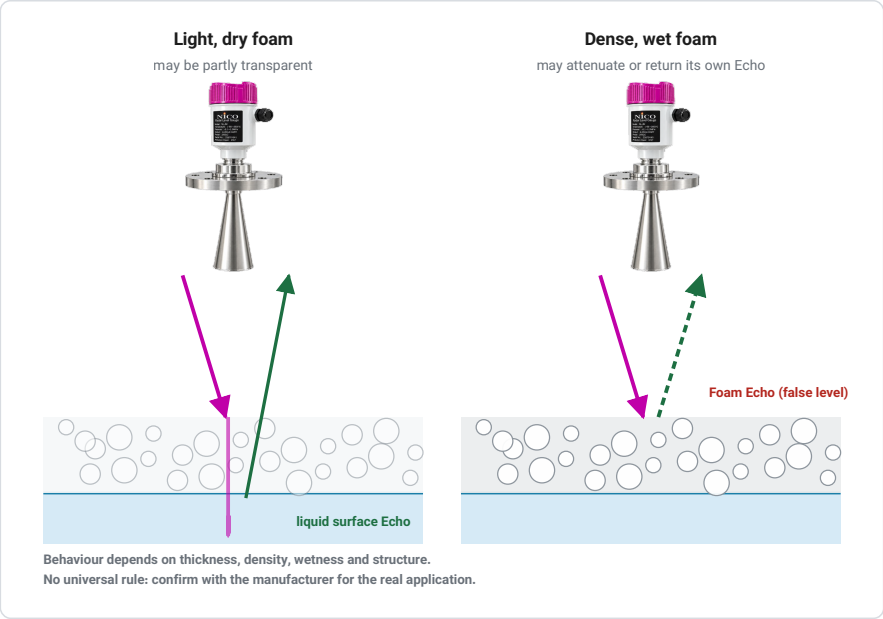


شکل ۷ — Echo Curve محصول با Dielectric Constant بالا (قله بلند) در برابر محصول با Dielectric Constant پایین (قله زیر Threshold)

برای محصول کم‌eps_r (مثل بسیاری از هیدروکربن‌ها و جامدات خشک) سه راهکار مهندسی وجود دارد: Beam باریک‌تر و Antenna با بهرهٔ بیشتر برای بالابردن انرژی بازگشتی، حذف موانع نزدیک تا Noise Floor و False Echo ها بالا نبرند، و تنظیم Threshold بر پایهٔ Echo Curve واقعی؛ در موارد دشوار Stilling Well یا Bypass Chamber گزینهٔ دیگر است. حاشیهٔ سیگنال (Signal Margin) باید در برگهٔ راه‌اندازی ثبت شود، نه فقط «کار می‌کند» اعلام شود.

Foam 10

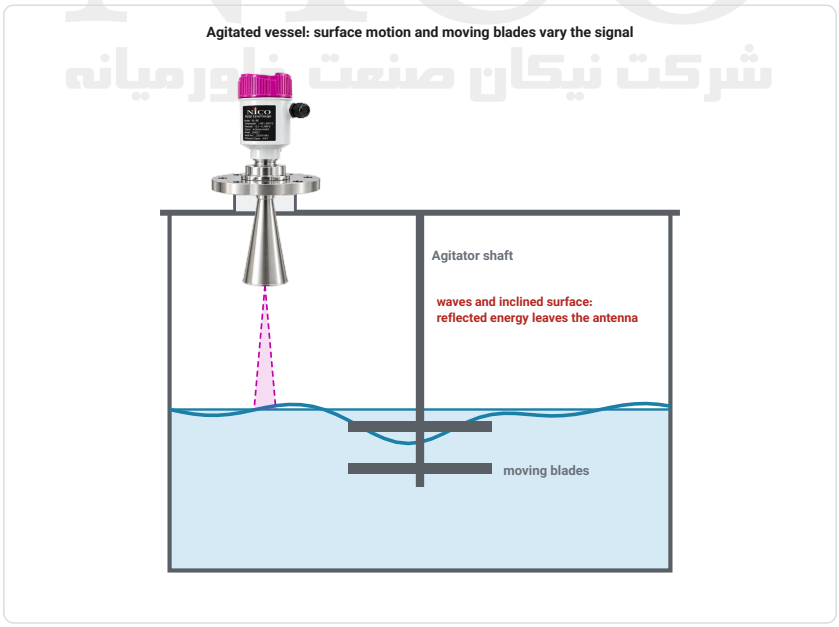
Foam یک لایهٔ هوا و مایع است که ساختارش با ضخامت، چگالی، رطوبت و اندازهٔ حباب تغییر می‌کند. Foam سبک و خشک ممکن است تا حدی شفاف باشد و پرتو به مایع زیر برسد؛ Foam متراکم و مرطوب می‌تواند پرتو را تضعیف کند یا Echo خودش را بسازد و به‌عنوان «سطح کاذب» دیده شود. هیچ قاعدهٔ جهانی برای پیش‌بینی وجود ندارد: باید نوع Foam، ضخامت و پایداری آن در برگهٔ داده کاربردی بیاید و سازنده برای همان کاربرد نظر بدهد REQUIRES VERIFICATION. اگر Foam مستمر و ضخیم است، Stilling Well یا Bypass Chamber یا یک اصل اندازه‌گیری دیگر باید در کنار رادار بررسی شود.



شکل ۸ — Foam سبک (نیمه‌شفاف) در برابر Foam متراکم (تضعیف یا Echo ناخواسته)؛ رفتار واقعی به ضخامت، چگالی و رطوبت بستگی دارد

11 همزن، موج و جریان ورودی

سطح مخزن همزن‌دار ثابت نیست: موج، گردابهٔ مرکزی و پاشش، سطح را شیب‌دار می‌کنند و انرژی بازتابی از جهت Antenna خارج می‌شود؛ پره‌های همزن و شفت هم در حال حرکت‌اند و Echo ی می‌سازند که با زاویهٔ پره عوض می‌شود. برای همین، Agitator هم یک مانع داخلی است و هم عامل ناپایداری سطح. دو اقدام مهندسی کمک می‌کنند: قرار دادن Antenna در جایی که Beam Footprint از شفت و پره دور بماند (شکل ۱۰ و مورد پ) و تنظیم میرایی (Damping) خروجی به‌گونه‌ای که نوسان موج حذف شود، بی‌آن که پاسخ به تغییر واقعی سطح بیش از حد کند شود.



شکل ۹ — مخزن همزن‌دار: شفت و پره‌های متحرک، موج و سطح شیب‌دار که انرژی را از Antenna دور می‌کنند

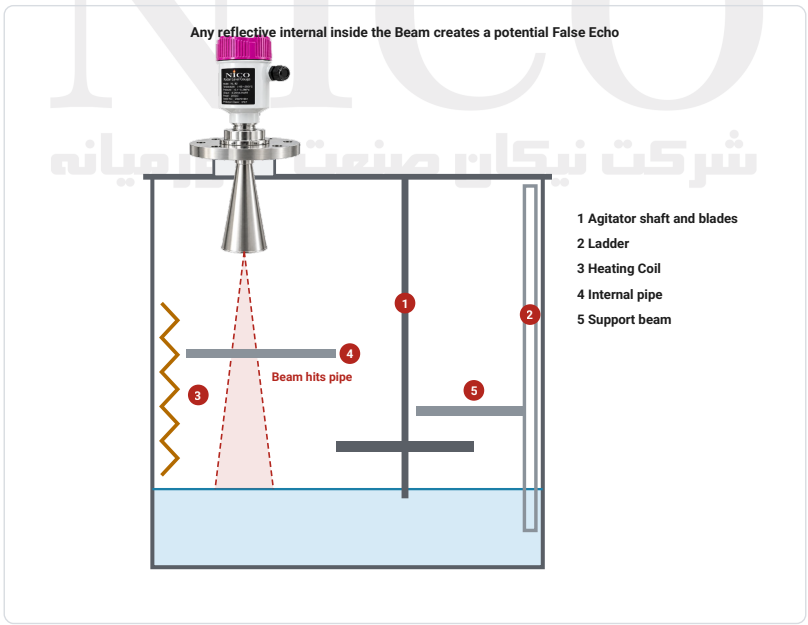
جریان ورودی هم دو مشکل دارد: پاشش و حباب در مسیر پرتو که Echo ناپایدار تولید می‌کنند و جابه‌جایی لحظه‌ای سطح در نزدیکی نقطهٔ ورود. بنابراین Antenna نباید بالای جریان ورودی باشد و Beam Footprint باید با فاصله از آن قرار گیرد (شکل ۴ و ۵).

12 Condensation و Build-up

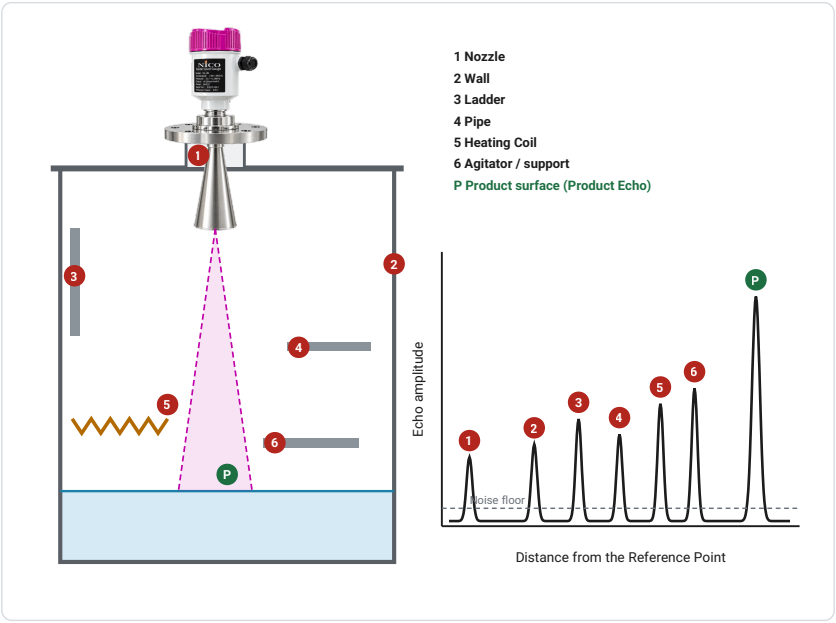
قطره‌های کندانس‌شده یا لایهٔ چسبیده روی Antenna مثل مانعی روی دهانهٔ تابش عمل می‌کنند: بخشی از انرژی را جذب یا پراکنده می‌کنند و Echo نزدیک Antenna می‌سازند که ممکن است با Blocking Distance یا سیگنال سطح بالا اشتباه شود. Build-up به چگالی و چسبندگی محصول، دمای سطح Antenna نسبت به بخار و جنس و شکل سطح Antenna بستگی دارد. اقدام‌های پیشگیرانه عبارت‌اند از انتخاب جنس و شکل Antenna مناسب، پرهیز از محل‌های همیشه پوشیده از بخار، و برنامهٔ دوره‌ای بازرسی و پاک‌سازی؛ هر گزینهٔ تکمیلی (مثل تمیزکاری) فقط وقتی دیده می‌شود که سازنده آن را ارائه کرده باشد. نشانهٔ هشداردهنده، کاهش تدریجی Signal Margin یا افزایش دامنهٔ Echo نزدیک Antenna در Echo Curve است.

13 سازه‌های داخلی و False Echo

هر جسم فلزی یا بازتابنده در Beam Footprint یا نزدیک آن می‌تواند False Echo بسازد. فهرست متداول: نردبان، Heating Coil، لولهٔ داخلی، تیر نگه‌دارنده، شفت و پرهٔ Agitator، دیواره و درز جوش. شکل ۱۰ این موانع را در یک مخزن و شکل ۱۱ تأثیر هرکدام را در Echo Curve نشان می‌دهد: Echoهای ثابت در فاصله‌های ثابت ظاهر می‌شوند و فقط Echo محصول با تغییر سطح حرکت می‌کند. همین رفتار مبنای تشخیص است: قله‌ای که با تغییر سطح جابه‌جا نمی‌شود، Echo ثابت است.



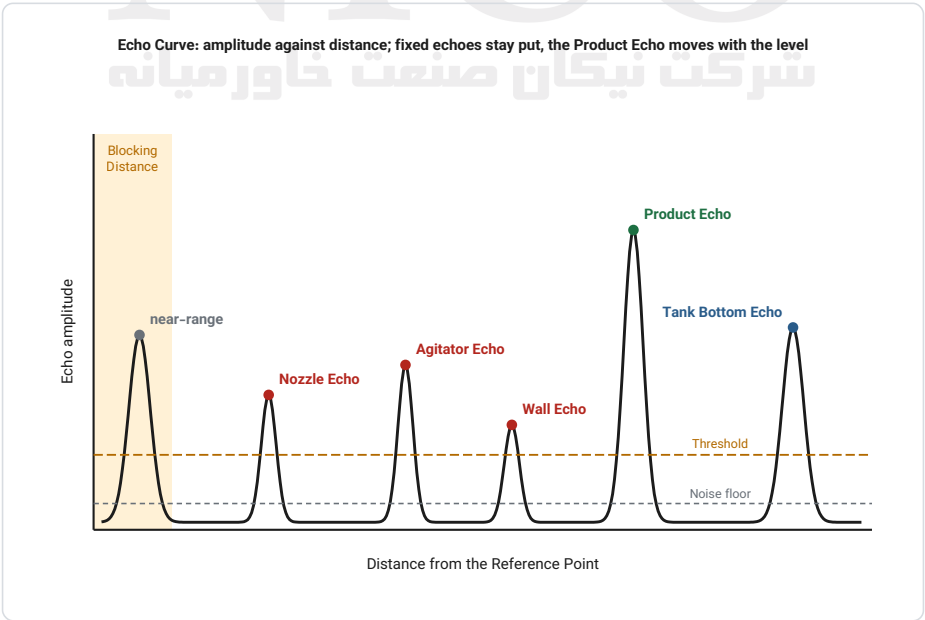
شکل ۱۰ — موانع داخلی در مسیر Beam: شفت همزن، نردبان، Heating Coil، لوله و تیر؛ مانعی که پرتو را قطع کند False Echo می‌سازد



شکل ۱۱ — منابع False Echo در مخزن و نشانهٔ هرکدام در Echo Curve؛ Product Echo با P مشخص شده است

14 Echo Curve، Threshold و False Echo Mapping

Echo Curve نمودار دامنهٔ سیگنال برگشتی بر حسب فاصله است (شکل ۱۲). ترانسمیتر قله‌هایی را که از Threshold بالاترند به‌عنوان Echo در نظر می‌گیرد و با الگوریتم داخلی، یکی را Product Echo تشخیص می‌دهد؛ جزئیات الگوریتم اختصاصی سازنده است و در این سند توضیح داده نمی‌شود. False Echo Mapping (در بعضی مدل‌ها «Suppression») یعنی ثبت Echoهای ثابت وقتی سطح محصول در جای شناخته‌شده است و بالابردن Threshold در همان فاصله‌ها تا ترانسمیتر آن‌ها را نادیده بگیرد.



شکل ۱۲ — Echo Curve با Echoهای ثابت (Nozzle، همزن، دیواره)، Product Echo، Tank Bottom Echo، Noise Floor و Threshold؛ ناحیهٔ زردرنگ Blocking Distance است

ENGINEERING TIP — شرایط ثبت درست Mapping

Mapping را فقط وقتی انجام دهید که سطح واقعی با ابزار مستقل شناخته شده باشد و Foam یا موج وجود نداشته باشد؛ بهتر است در پایین‌ترین سطح ممکن که Echoهای ثابت بیش‌ترین دید را دارند انجام شود و ناحیه‌ای بعد از Echo واقعی محصول را نپوشاند. نتیجه (منحنی قبل و بعد) باید در سند راه‌اندازی ثبت شود.

COMMON MISTAKE — Mapping جایگزین نصب بد نیست

False Echo Mapping تنها وقتی کار می‌کند که Echo ثابت و Echo محصول از هم جدا باشند؛ اگر Echo ناخواسته بزرگ‌تر از Echo محصول یا هم‌فاصله با آن باشد، Mapping محصول را هم پنهان می‌کند. اصلاح موقعیت، Nozzle یا Antenna همیشه بر تنظیم نرم‌افزاری مقدم است.

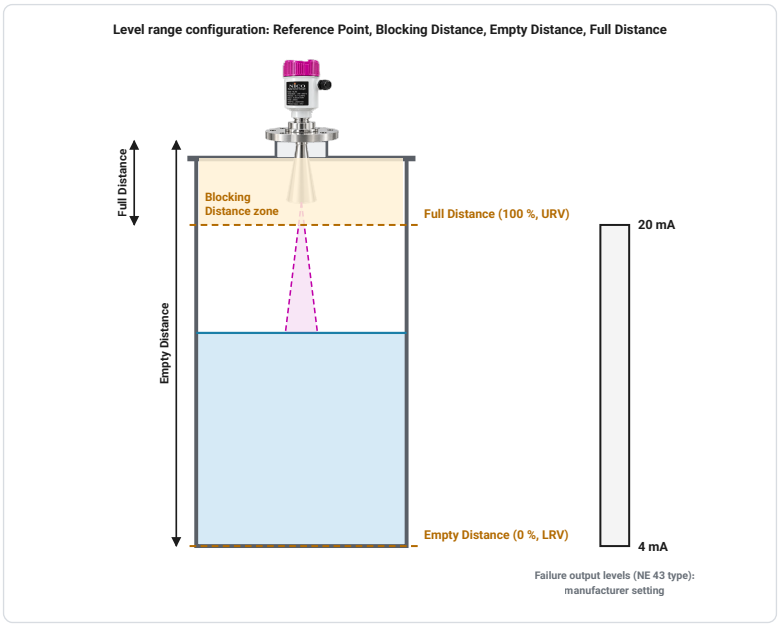
15 Blocking Distance و کالیبراسیون Empty Calibration و Full Calibration

Blocking Distance (در بعضی مدارک Dead Zone) ناحیهٔ نزدیک Antenna است که ترانسمیتر در آن اندازه‌گیری مطمئن ندارد؛ مقدار آن مدل‌به‌مدل متفاوت است و فقط از برگهٔ سازنده می‌آید. Full Distance (Full Calibration، متناظر با 20 mA یا ۱۰۰ درصد) باید بزرگ‌تر از Blocking Distance باشد، وگرنه سطح پر در ناحیهٔ نامطمئن قرار می‌گیرد. Empty Distance (Empty Calibration، متناظر با 4 mA یا صفر درصد) فاصله از Reference Point تا نقطه‌ای است که سطح صفر تعریف شده است؛ معمولاً کف مخزن، اما ممکن است بالای کف باشد.

$$P = (E - d) / (E - F) \times 100,\ I = 4 + 16 \times P / 100$$

E	Empty Distance (فاصلهٔ Reference Point تا سطح صفر درصد)	m
F	Full Distance (فاصلهٔ Reference Point تا سطح صددرصد)	m
d	فاصلهٔ اندازه‌گیری‌شده تا سطح	m
P	درصد سطح بر پایهٔ بازهٔ کالیبره‌شده	%
I	جریان خروجی	mA

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

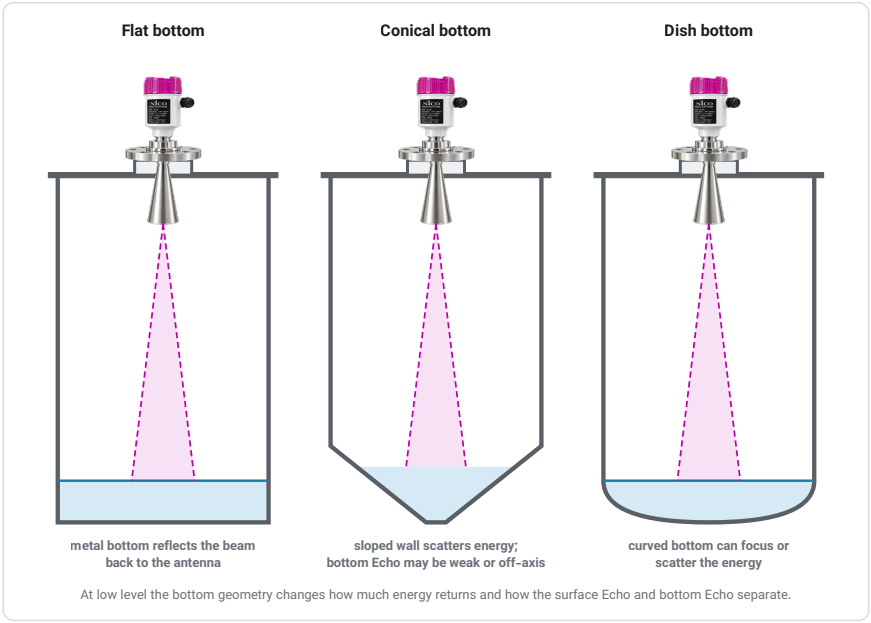


شکل ۱۳ — پیکربندی بازه: Reference Point، ناحیهٔ Blocking Distance، Full Distance و Empty Distance و نگاشت به 4–20 mA

در فرایند واقعی Empty Distance و Full Distance را از ابعاد مخزن از Reference Point و نه از یک «سطح» وارد کنید؛ ورود Level به‌جای Distance، جابه‌جایی ثابتی در خروجی می‌سازد. اگر ترانسمیتر پارامتر «ارتفاع مخزن» را هم می‌خواهد، آن را با همان مبدأ و همان Reference Point وارد کنید REQUIRES VERIFICATION (تعریف مبدأ در دفترچهٔ هر مدل می‌آید).

16 کف مخزن

وقتی سطح به کف نزدیک است، Echo کف مخزن (Tank Bottom Echo) هم‌زمان با Echo سطح دیده می‌شود. شکل کف تعیین می‌کند چه می‌افتد: کف تخت فلزی پرتو را به Antenna برمی‌گرداند؛ کف مخروطی انرژی را پراکنده یا خارج از محور بازمی‌تاباند؛ کف کلاهکی می‌تواند انرژی را متمرکز یا پراکنده کند (شکل ۱۴). برای محصول کم‌بازتاب، Echo کف ممکن است از Echo سطح قوی‌تر شود و سیگنال سطح پایین را مبهم کند؛ در مورد ب این اثر عددی شده است. سرعت انتشار موج در مایع کمتر از هواست، بنابراین Echo کف وقتی از میان مایع می‌گذرد در فاصلهٔ ظاهری بیش از واقعی دیده می‌شود. Empty Distance را نباید با فاصلهٔ ظاهری کف تعیین کرد؛ از ابعاد مکانیکی و تأیید در محل استفاده کنید.



شکل ۱۴ — کف تخت، مخروطی و کلاهکی و اثر هر کدام بر انرژی بازگشتی و جداشدن Echo سطح از Tank Bottom Echo در سطح پایین

17 Stilling Well و Bypass Chamber

وقتی نصب آزاد با Beam تمیز ممکن نیست (Foam مستمر، موانع غیرقابل‌حذف، سطح بسیار متلاطم، محصول کم‌بازتاب)، پرتو داخل یک لوله هدایت می‌شود: Stilling Well داخل مخزن یا Bypass Chamber کنار مخزن. این راه‌حل مسیر پرتو را از سازه‌های بیرونی جدا می‌کند، اما قید دارد: قطر و صافی داخلی لوله، درز جوش و سوراخ‌ها، رسوب و Build-up داخل لوله و سرعت موج در لوله (که با حالت آزاد فرق دارد و باید طبق دفترچه تنظیم یا جبران شود) MANUFACTURER-SPECIFIC DATA. Antenna باید با قطر لوله سازگار باشد و سازنده بگوید برای کدام قطرها مجاز است؛ لولهٔ نامناسب مشکل را از بیرون به داخل منتقل می‌کند.

18 فشار و دما: فیزیک در برابر حد مکانیکی

فشار و دما در دو لایهٔ متفاوت اثر دارند و نباید با هم یکی شوند. لایهٔ اول حد مکانیکی است: رتبهٔ فشار و دمای اتصال فرایندی، آب‌بندی و Antenna که فقط از برگهٔ فنی سازنده و رتبهٔ فلنج (طبق استاندارد فلنج مربوط) به‌دست می‌آید. لایهٔ دوم فیزیک انتشار است: بخار یا گاز پرفشار با Dielectric Constant بزرگ‌تر از هوا سرعت موج را کمی کم می‌کند و Distance را ظاهراً بیشتر نشان می‌دهد؛ در فشار جوی ناچیز است، اما در فشار بالا یا بخار سنگین باید بررسی شود (جبران را فقط با داده سازنده انجام دهید) REQUIRES VERIFICATION. Condensation و تغییر Dielectric Constant محصول با دما لایهٔ سوم‌اند و در بخش‌های مربوط آمده‌اند.

19 مناطق خطرناک

انتخاب سطح‌سنج برای ناحیهٔ خطرناک با نام مدل یا یک برچسب عمومی انجام نمی‌شود. باید Zone، گروه گاز (IIA، IIB یا IIC)، کلاس دما (T4، T6 و مانند آن)، سطح حفاظت تجهیز (EPL) و نوع حفاظت (مثل Ex ia، Ex d) از **گواهی رسمی همان مدل** خوانده شود. برای حلقهٔ ایمنی ذاتی (Ex i) پارامترهای موجودیت (entity) باید با سد ایمنی یا منبع تغذیه تطبیق داده شود؛ برای محفظهٔ ضدشعله (Ex d) کابل‌گلند و درپوش گواهی‌دار لازم است. IP Rating (مطابق IEC 60529) به محافظت در برابر

گرد و آب مربوط است و هیچ ربطی به حفاظت انفجاری ندارد. هیچ نشانهٔ Ex یا گواهی برای محصول NICO در این سند ادعا نشده است؛ معیار فقط گواهی رسمی است. استانداردهای عمومی تجهیز در محیط انفجاری (IEC 60079-0، IEC 60079-1 و IEC 60079-11) برای تعیین الزام‌ها ذکر می‌شوند، نه برای ادعای انطباق.

20 خروجی 4–20 mA و HART

خروجی آنالوگ 4–20 mA مقدار فرایند را با جریان نمایش می‌دهد و بیشتر ترانسمیترها HART را هم روی همان سیم‌ها ارائه می‌کنند. در طراحی حلقه این‌ها کنترل می‌شوند: ولتاژ تغذیه و مقاومت بار (باید با مدل سازگار باشد)، مقاومت لازم برای ارتباط HART طبق مشخصهٔ HART، زمین و شیلد، و تنظیم دامنه (LRV و URV) در ترانسمیتر و DCS یا PLC یکسان. رفتار خطا (Failure Signal) باید در ترانسمیتر و سیستم کنترل هماهنگ باشد: سطح جریان خطا از مقررات NAMUR (NAMUR NE 43) الهام می‌گیرد، اما مقادیر دقیق تنظیم از دفترچهٔ سازنده می‌آید و ویرایش جاری استاندارد باید تأیید شود REQUIRES VERIFICATION. تشخیص‌های دستگاه با رویکرد NAMUR NE 107 قابل نمایش‌اند؛ هر مدل مجموعهٔ خودش را دارد. Damping خروجی تعادلی است بین حذف نوسان و کند شدن پاسخ: در مخزنی با نرخ پر شدن سریع، میرایی زیاد ممکن است تأخیر خطرناک بسازد.

21 راه‌اندازی (Commissioning)

راه‌اندازی یک رویهٔ ثبت‌شده است، نه فقط روشن‌کردن دستگاه. ترتیب پیشنهادی (ENGINEERING RECOMMENDATION) این است:

1. بازرسی نصب: محور عمود، Nozzle بدون مانع، Antenna تمیز، آب‌بندی و کابل‌گلند، اتصال زمین و شیلد.
2. تأیید ابعاد: Reference Point، ارتفاع مخزن و اندازه‌گیری‌های Nozzle با نقشه و اندازه‌گیری میدانی.
3. ورود Empty Distance و Full Distance به‌صورت فاصله از Reference Point و تنظیم نوع کاربرد (مایع یا جامد، همزن، Foam) در حد مدل.
4. مشاهدهٔ Echo Curve در سطح شناخته‌شده و شناسایی Product Echo و Echoهای ثابت؛ ثبت منحنی پایه.
5. ثبت False Echo Mapping در شرایط درست (بخش پیشین) و ثبت منحنی پس از Mapping.
6. راستی‌آزمایی حداقل در دو یا سه سطح با مرجع مستقل (متر دستی، شیشهٔ سطح یا ابزار دیگر) و ثبت As Found و As Left.
7. کنترل خروجی 4–20 mA با کالیبراتور حلقه و مقایسه با عدد نمایشگر ترانسمیتر و مقیاس DCS.
8. آزمون رفتار هنگام خطا یا از دست رفتن Echo و ثبت واکنش خروجی.
9. مستندسازی و تأیید: منحنی پایه، Signal Margin، تنظیمات و امضای مسئول.

کالیبراسیون یا راستی‌آزمایی به معنای «تنظیم» نیست؛ فقط وقتی بگویید دستگاه تنظیم شده که تنظیم واقعاً انجام شده باشد. مقدار As Found پیش از هر تنظیم ثبت می‌شود.

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

22 عیب‌یابی

جدول ۶ مهم‌ترین نشانه‌های میدانی را به علت محتمل، بررسی و اقدام اصلاحی وصل می‌کند. ابتدا Echo Curve و سپس خروجی بررسی می‌شود؛ بیشتر خطاها از همان منحنی قابل تشخیص‌اند.

جدول ۶ — ماتریس عیب‌یابی سطح‌سنج راداری

نشانه	علت محتمل	بررسی	اقدام اصلاحی
سطح ثابت و بدون تغییر	Echo ثابت (Nozzle، مانع) قوی‌تر از Echo محصول و قفل روی آن	Echo Curve را ببینید: قله‌ای که با سطح جابه‌جا نمی‌شود	اصلاح نصب یا Nozzle؛ سپس False Echo Mapping در سطح معلوم
پرش‌های ناگهانی بین دو مقدار	دو Echo رقابت می‌کنند (سطح و مانع) یا موج و پاشش	منحنی را در بازهٔ زمانی ثبت کنید؛ وضعیت همزن و جریان ورودی	جابه‌جایی Antenna؛ تنظیم Damping؛ اصلاح Mapping
سطح بالاتر از واقعیت در حالت پر	Nozzle Echo، Condensation یا ورود به Blocking Distance	Full Distance در برابر Blocking Distance؛ Echoهای نزدیک Antenna	تمیزکاری Antenna؛ تصحیح Nozzle؛ کاهش Full Distance برای دور ماندن از ناحیهٔ نامطمئن
سطح در حالت خالی یا کم نامعتبر	Tank Bottom Echo یا بازتاب کف مخروطی و کلاهکی	جدا شدن قلهٔ کف از قلهٔ سطح در Echo Curve	بازنگری Empty Distance؛ Beam باریک‌تر؛ در صورت لزوم روش دیگر در محدودهٔ پایین
محصول با Foam: سطح بسیار بالاتر	Foam متراکم Echo می‌دهد یا سیگنال را تضعیف می‌کند	مقایسه با مرجع مستقل؛ شکل قله و پایداری	Stilling Well یا روش دیگر؛ مشورت با سازنده برای همان کاربرد
سیگنال ضعیف یا از دست رفتن Echo	Dielectric Constant پایین؛ فاصله زیاد؛ Build-up	Signal Margin؛ وضعیت Antenna؛ فاصلهٔ اندازه‌گیری	Antenna با بهرهٔ بیشتر؛ تمیزکاری؛ Stilling Well؛ تأیید سازنده
اختلاف ثابت (Offset) با مرجع	Empty Distance یا Reference Point اشتباه؛ جابه‌جایی مبدأ	اندازه‌گیری دوبارهٔ ابعاد و مقایسه با مقدار واردشده	اصلاح Empty Distance؛ ثبت As Left
خروجی 4–20 mA با نمایشگر نمی‌خواند	مقیاس متفاوت در ترانسمیتر و DCS؛ خطای حلقه	تزریق با کالیبراتور؛ مقایسهٔ LRV و URV	هماهنگ‌سازی مقیاس؛ اصلاح حلقه
رانش تدریجی پس از هفته‌ها	Build-up یا Condensation روی Antenna	روند Signal Margin؛ بازرسی چشمی	پاک‌سازی؛ برنامهٔ نگهداری؛ بازنگری جنس یا محل
خطا فقط هنگام پر شدن یا همزن	موج، پاشش، حباب؛ شیب سطح	مقایسه در حالت ساکن و متحرک	جابه‌جایی Antenna؛ Damping؛ Stilling Well یا Bypass Chamber
False Echo پس از تغییر فرایند	مانع جدید، تغییر رسوب یا Mapping قدیمی	مقایسهٔ Echo Curve با منحنی پایه	رفع مانع؛ Mapping مجدد با ثبت

23 مورد الف: مخزن آب — محاسبهٔ کامل تنظیم

مثال محاسباتی — مخزن ذخیرهٔ آب WORKED EXAMPLE

داده‌ها (ASSUMPTION): مخزن استوانه‌ای با شعاع 1.5 m، ارتفاع از سقف تا کف 8.0 m و Nozzle به طول 0.15 m. Reference Point سطح آب‌بندی فلنج است. بازهٔ بهره‌برداری سطح از 0.5 m تا 7.0 m. زاویهٔ Beam Angle فرضی 8 deg و Blocking Distance فرضی 0.35 m. محل نصب 0.9 m از دیواره.

گام ۱ — فاصله‌های مرجع:

Empty Distance: $E = H + Ln = 8.0 + 0.15 = 8.15$ m

فاصله در کمینهٔ سطح: $d_{max} = E - 0.5 = 7.65$ m

فاصله در بیشینهٔ سطح (Full Distance): $F = d_{min} = E - 7.0 = 1.15$ m

گام ۲ — Blocking Distance: $F - Blocking = 1.15 - 0.35 = 0.80$ m؛ مثبت است، پس Full Distance خارج از ناحیهٔ نامطمئن قرار دارد. این نتیجه فقط با عدد فرضی است و با مقدار واقعی سازنده باید تکرار شود REQUIRES VERIFICATION.

گام ۳ — Beam Footprint: $D = 2 \times 7.65 \times \tan(8/2) = 1.07$ m در کمینهٔ سطح (بیشترین فاصله) و 0.16 m در بیشینهٔ سطح.

گام ۴ — فاصله از دیواره: شعاع Beam Footprint برابر 1.07 / 2 است؛ فاصلهٔ آزاد تا دیواره $0.9 - 1.07 / 2 = 0.37$ m (نصب در شعاع 0.6 m از محور). نردبان و جریان ورودی هم باید از این Beam Footprint فاصله داشته باشند (شکل ۴).

گام ۵ — کالیبراسیون و خروجی:

$span = E - F = 7.00$ m

برای سطح آزمون 5.0 m: $d = 8.15 - 5.0 = 3.15$ m

$P = (8.15 - 3.15) / (8.15 - 1.15) \times 100 = 71.43$ %

$I = 4 + 16 \times 71.43 / 100 = 15.43$ mA

> **با داده‌های فرضی: Empty Distance برابر 8.15 m، Full Distance برابر 1.15 m، Beam Footprint بیشینه 1.07 m، فاصلهٔ آزاد از دیواره 0.37 m و در سطح 5.0 m خروجی 71.43 % و 15.43 mA است. آب بازتاب قوی دارد؛ ریسک اصلی در این مخزن نه سیگنال، بلکه Nozzle، نردبان و Echo ثابت است.**

24 مورد ب: مخزن هیدروکربن با Dielectric Constant پایین

FIELD CASE B **مخزن بلند با محصول کم‌بازتاب**

«مخزن ذخیرهٔ هیدروکربن، ارتفاع 15 m، قطر 6 m، eps_r حدود 2.0 (ASSUMPTION)؛ کاربر می‌خواهد سطح را تا 0.5 m از کف بخواند.»

تحلیل مهندسی: کسر توان بازتابیده با eps_r = 2.0 برابر 2.94 % است و برای مرجع آب (eps_r = 80 ، مقدار فرضی ساده) 63.8 %؛ یعنی 13.4 dB ضعیف‌تر. فاصلهٔ بیشینه 14.65 m است و در تقریب سطح صاف، توان بازگشتی تقریباً با مربع فاصله افت می‌کند؛ نسبت به فاصلهٔ مرجع 5 m این 9.3 dB دیگر است. مجموع: حدود 22.7 dB ضعیف‌تر از آبی در 5 m (مرتبهٔ بزرگی، نه پیش‌بینی دقیق). Beam Footprint در بیشینهٔ فاصله برای 8 deg برابر 2.05 m و برای 4 deg برابر 1.02 m است؛ در مخزن بلند با Beam Footprint باز، بیشتر سطوح داخل مخزن دیده می‌شوند. در سطح پایین Echo کف: اگر سطح در 0.5 m باشد، Echo کف فلزی (فرض بازتاب کامل) در فاصلهٔ ظاهری 15.36 m ظاهر می‌شود (واقعی 15.15 m)، یعنی 0.21 m جابه‌جا به‌خاطر سرعت کمتر موج در مایع؛ فاصلهٔ آن تا Echo سطح فقط 0.71 m و حدود 15.1 dB قوی‌تر از آن است. **گزینه‌ها:** Antenna با Beam باریک‌تر و بهرهٔ بیشتر، نصب بدون مانع، تأیید سازنده برای Dielectric Constant پایین، Stilling Well، و تعریف صفر درصد در بالاتر از کف اگر خواندن در سطح بسیار پایین ضروری نیست. **موارد باز:** Dielectric Constant واقعی در دمای کاری، حداقل Dielectric Constant مجاز مدل، حد کمینهٔ فاصله از کف، وجود Foam یا بخار.

25 مورد پ: مخزن همزن‌دار — جایابی Antenna

FIELD CASE C **مخزن با همزن، کویل گرمایشی و جریان ورودی**

«مخزن شعاع 1.5 m و ارتفاع 4.0 m؛ پره‌های همزن تا شعاع 0.80 m، Heating Coil در شعاع 1.25 m و ورودی جریان در شعاع 1.2 m؛ حداقل فاصله تا سطح 0.6 m.»

تحلیل مهندسی: بیشینهٔ فاصله برای محاسبهٔ Beam Footprint (محافظه‌کارانه، در تمام ارتفاع) d = 3.55 m است. پهنای آزاد بین پره و کویل 0.45 m = 0.80 - 1.25. قطر Beam Footprint برای 8 deg برابر 0.50 m است و در این پهنا جا نمی‌شود؛ برای 4 deg برابر 0.25 m و با 0.10 m حاشیه از هر طرف جا می‌شود. جدول ۷ پنج موقعیت نامزد را بررسی می‌کند.

جدول ۷ — فاصلهٔ آزاد Beam Footprint از موانع در موقعیت‌های نامزد، مورد پ (ASSUMPTION؛ فاصلهٔ آزاد منفی یعنی برخورد)

موقعیت	شعاع (m)	کمینهٔ فاصلهٔ آزاد در 8 deg (m)	کمینهٔ فاصلهٔ آزاد در 4 deg (m)	نتیجه
P1	0.000	-1.048 (همزن)	-0.924 (همزن)	رد در هر دو
P2	0.550	-0.498 (همزن)	-0.374 (همزن)	رد در هر دو
P3	1.025	-0.023 (همزن)	0.101 (همزن)	فقط با زاویهٔ ۴ درجه
P4	1.025	-0.023 (همزن)	0.101 (همزن)	فقط با زاویهٔ ۴ درجه
P5	1.400	-0.148 (دیواره)	-0.024 (دیواره)	رد در هر دو

FIELD CASE C — DECISION

نتیجهٔ جایابی

تصمیم: فقط موقعیت‌های P3 و P4 در شعاع 1.025 m با 4 deg Antenna هیچ برخوردی ندارند؛ P4 به‌دلیل بیشترین فاصله از جریان ورودی ترجیح داده می‌شود. اگر فقط 8 deg Antenna در دسترس باشد، هیچ موقعیتی بدون برخورد وجود ندارد و باید جابه‌جایی کویل، Stilling Well یا Bypass Chamber بررسی شود. موج و همزن به‌جای جایابی با Damping کنترل می‌شود. False Echo Mapping برای شفت و پره فقط پس از ثابت‌شدن هندسه انجام شود. **موارد باز:** ارتفاع واقعی پره‌ها و کویل در بازهٔ Beam Footprint، Beam Angle واقعی مدل، وجود Foam.

26 مورد ت: سیلو و ماده دانه‌ای

FIELD CASE D

سیلو با سطح شیب‌دار و غبار

«سیلو قطر 4 m، ارتفاع 12 m، ماده دانه‌ای با زاویهٔ شیب حدود 35 deg (ASSUMPTION)؛ Antenna در 1.0 m از محور و فاصلهٔ 10.0 m تا سطح.»

تحلیل مهندسی: Beam Footprint برای 8 deg در 10.0 m برابر 1.40 m است. سطح شیب‌دار انرژی را به‌سوی دیگری منعکس می‌کند: انحراف پرتو بازتابیده از جهت فرود حدود 70 deg = 35 × 2 است که از نیم‌پهنای Beam (4 deg) بسیار بزرگ‌تر است؛ پس فقط بخشی از سطح که تقریباً عمود بر محور باشد انرژی را به Antenna برمی‌گرداند. اختلاف ارتفاع سطح در عرض Beam Footprint برابر 0.98 m = tan(35) × 1.40 است و ارتفاع قلهٔ مخروط مادهٔ پرشده در سیلو 1.40 m = tan(35) × 2 / 4؛ بنابراین «سطح» تعریفی می‌خواهد (قله، میانگین یا نقطهٔ برخورد پرتو) و برای حسابداری موجودی باید با روش حجمی تطبیق داده شود. **اقدام:** جهت‌دهی Antenna به‌سمت عمود بر سطح محلی با ابزار تأییدشدهٔ سازنده (مانند اتصال جهت‌پذیر در صورت وجود)، انتخاب Antenna با Beam مناسب، بررسی Build-up ناشی از غبار و پرهیز از محل ورود ماده. **موارد باز:** Dielectric Constant ماده، اندازهٔ دانه، غبار، فاصلهٔ مجاز از دیواره و روش حسابداری موجودی.

27 تولید کننده سطح سنج راداری و انتخاب لول ترانسمیتر صنعتی

شرکت نیکان صنعت خاورمیانه (NICO) تولیدکنندهٔ ابزار دقیق صنعتی است و ترانسمیتر سطح راداری را در خانوادهٔ RLT40 با پلتفرم 80 GHz در سبد سطح‌سنجی خود دارد؛ در کنار آن سطح‌سنج هیدرواستاتیک، التراسونیک، مغناطیسی و دیسپلیسر موجود است. انتخاب بین این فناوری‌ها بسته به محصول، مخزن و شرایط فرایند است و هیچ‌کدام به‌طور جهانی بهتر نیست.

برای دریافت پیشنهاد فنی یا استعلام قیمت سطح سنج راداری و خرید لول ترانسمیتر راداری، برگهٔ داده کاربردی جدول ۱ را همراه نقشهٔ مخزن و Nozzle ارسال کنید. قیمت و پیکربندی به مشخصات کاربرد، Antenna، اتصال فرایندی و گواهی‌های لازم بستگی دارد و بدون این داده‌ها قابل اعلام نیست. مشخصات رسمی، گواهی‌ها و حدود هر مدل فقط از برگهٔ فنی تأییدشدهٔ NICO گرفته می‌شود و در این راهنما ادعا نشده است.

28 چک‌لیست مهندسی انتخاب و راه‌اندازی

- ☐ برگهٔ داده کاربردی (جدول ۱) کامل است و موارد نامعلوم با وضعیت مشخص ثبت شده‌اند.
- ☐ Dielectric Constant محصول در دمای کاری و بازهٔ تغییر آن مشخص یا به‌صراحت «نامعلوم» ثبت شده است.
- ☐ Beam Footprint در بیشینهٔ فاصله با دیواره، نردبان، همزن، کویل و جریان ورودی مقایسه شده است.
- ☐ طول و قطر Nozzle و موقعیت دهانهٔ Antenna با داده سازنده مطابقت دارد.
- ☐ Foam، Condensation، Build-up و گرد و غبار ارزیابی و ثبت شده‌اند.
- ☐ Full Distance بیرون از Blocking Distance مدل واقعی است.
- ☐ Empty Distance و Full Distance از Reference Point اندازه‌گیری و وارد شده‌اند؛ نه سطح.
- ☐ حد مکانیکی فشار و دما و سازگاری Wetted Parts از برگهٔ فنی تأیید شده است.
- ☐ ناحیهٔ خطرناک و گواهی رسمی مدل و محفظه، کابل‌گلند و حلقه کنترل شده‌اند.
- ☐ Echo Curve پایه و Signal Margin ثبت شده است.
- ☐ False Echo Mapping پس از اصلاح نصب و در شرایط درست انجام و ثبت شده است.
- ☐ در حداقل دو سطح با مرجع مستقل راستی‌آزمایی و As Found و As Left ثبت شده است.
- ☐ خروجی 4–20 mA و مقیاس DCS و رفتار خطا (Failure Signal) آزمون شده است.
- ☐ برنامهٔ دوره‌ای بازرسی Antenna و مقایسهٔ منحنی با منحنی پایه تعریف شده است.

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

29 پرسش‌های متداول

› برای مخزن آب کدام فرکانس و Antenna مناسب است؟

آب Dielectric Constant بالا و بازتاب قوی دارد؛ بنابراین تعیین‌کننده معمولاً Nozzle، موانع داخلی و Condensation است، نه قدرت Echo. فرکانس و Antenna را از برگهٔ فنی و بر پایهٔ همان نصب انتخاب کنید.

› آیا رادار برای محصول با Dielectric Constant پایین مثل هیدروکربن مناسب است؟

ممکن است مناسب باشد، اما حاشیهٔ سیگنال کمتر است؛ باید حداقل Dielectric Constant مجاز مدل، Beam باریک، نصب بدون مانع و گاهی Stilling Well بررسی شود (جدول ۵ و مورد ب).

› حداکثر طول و حداقل قطر Nozzle چقدر است؟

عدد جهانی وجود ندارد. Nozzle کوتاه و گشاد بهتر است و حد Ln و Dn برای هر Antenna فقط از برگهٔ سازنده می‌آید.

› رادار را وسط مخزن نصب کنم؟

نه به‌صورت پیش‌فرض: مرکز در مخزن همزن‌دار محل شفت است و در سقف گنبدی ممکن است Echo ناخواسته تقویت شود. محل نصب با Beam Footprint و موانع تعیین می‌شود.

› آیا False Echo Mapping مشکل نصب نادرست را حل می‌کند؟

خیر. Mapping فقط Echoهای ثابت جداشده از Echo محصول را پنهان می‌کند و اگر مانع و محصول هم‌فاصله یا هم‌دامنه باشند، خود محصول را هم پنهان می‌کند. اصلاح نصب مقدم است.

› چرا در سطح پایین نزدیک کف اندازه‌گیری خطا می‌دهد؟

Tank Bottom Echo نزدیک Echo سطح است و به شکل کف و Dielectric Constant بستگی دارد؛ در محصول کم‌بازتاب ممکن است از Echo سطح قوی‌تر باشد. صفر درصد را بالاتر از کف تعریف کنید یا روش دیگری برای بخش پایین بررسی کنید.

› Blocking Distance چیست و اگر سطح به آن برسد چه می‌شود؟

ناحیه‌ای نزدیک Antenna است که اندازه‌گیری در آن مطمئن نیست. اگر سطح وارد آن شود، خروجی نامعتبر یا ثابت می‌شود؛ Full Distance باید بیرون از آن تنظیم شود.

› فرق Empty Calibration و تنظیم 4–20 mA چیست؟

Empty و Full فاصله‌ها را تعریف می‌کنند و نگاشت به جریان تابع آن‌هاست؛ LRV و URV در DCS هم باید مطابق باشد.

› با Foam چه کنیم؟

نوع و ضخامت Foam را ثبت کنید و با سازنده مشورت کنید؛ Foam متراکم ممکن است Echo کاذب بدهد. Stilling Well یا اصل دیگر گزینه‌اند.

› آیا فشار و دما دقت رادار را تغییر می‌دهند؟

فشار و دما اول حد مکانیکی هستند، بعد در فشار بالا یا بخار سنگین ممکن است سرعت موج را کمی عوض کنند؛ جبران فقط با داده سازنده انجام شود.

› آیا سطح‌سنج راداری در ناحیهٔ خطرناک استفاده می‌شود؟

فقط در صورتی که گواهی رسمی همان مدل با Zone، گروه گاز و کلاس دما سازگار باشد؛ IP Rating حفاظت انفجاری نیست.

‹ چه زمانی Stilling Well لازم است؟

وقتی نصب آزاد با Beam تمیز ممکن نیست (Foam مستمر، موانع حذف‌ناپذیر، محصول کم‌بازتاب)؛ اما قطر و صافی لوله و Build-up داخل آن باید کنترل شود.

جمع‌بندی نکات کلیدی

- انتخاب بدون برگهٔ داده کاربردی کامل نادرست است؛ Dielectric Constant، Foam و Build-up باید ثبت یا صراحتاً «نامعلوم» شوند.
- Beam Footprint در بیشینهٔ فاصله معیار فاصله از دیواره و موانع است؛ Beam Angle واقعی فقط از سازنده می‌آید.
- Nozzle مهم‌ترین عامل نصب است؛ کوتاه و گشاد با Antenna بیرون‌زده برتری دارد، ولی حدود مدل از برگهٔ فنی تعیین می‌شود.
- False Echo Mapping جایگزین اصلاح نصب نیست و فقط با سطح معلوم و شرایط پایدار انجام می‌شود.
- Empty و Full از Reference Point به‌صورت فاصله وارد می‌شوند و Full باید بیرون از Blocking Distance بماند.
- برای ناحیهٔ خطرناک فقط گواهی رسمی معتبر است و IP هیچ نقشی در حفاظت انفجاری ندارد.
- راه‌اندازی یک رویهٔ ثبت‌شده با Echo Curve پایه، راستی‌آزمایی چندسطحی و آزمون خروجی است.

30 استانداردها و منابع

1. ETSI EN 302 372 — Short Range Devices (SRD); Tank Level Probing Radar (TLPR) equipment operating in the frequency ranges 4,5 GHz to 7 GHz, 8,5 GHz to 10,6 GHz, 24,05 GHz to 27 GHz, 57 GHz to 64 GHz, 75 GHz to 85 GHz

   مقررات رادیویی؛ نه استاندارد عملکرد اندازه‌گیری. عنوان در پژوهش پیشین پروژه تأیید شده و متن کامل در این سند خوانده نشده است.

2. 47 CFR § 15.256 — Operation of level probing radars within the bands 5.925–7.250 GHz, 24.05–29.00 GHz, and 75–85 GHz

   مقررات FCC؛ فقط برای معرفی جنبهٔ رادیویی.

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

   برای درجهٔ حفاظت IP؛ ویرایش جاری باید تأیید شود REQUIRES VERIFICATION.

4. IEC 60079-0 — Explosive atmospheres — Part 0: Equipment — General requirements; IEC 60079-1 — Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures “d”; IEC 60079-11 — Part 11: Equipment protection by intrinsic safety “i”

   برای الزام‌های عمومی تجهیز در محیط انفجاری؛ هیچ ادعای انطباق محصول NICO نشده است و ویرایش‌ها باید تأیید شوند REQUIRES VERIFICATION.

5. IEC 61326-1 — Electrical equipment for measurement, control and laboratory use — EMC requirements — Part 1: General requirements

   الزام‌های سازگاری الکترومغناطیسی؛ ویرایش جاری باید تأیید شود REQUIRES VERIFICATION.

6. NAMUR NE 43 — Standardization of the Signal Level for the Failure Information of Digital Transmitters; NAMUR NE 107 — Self-monitoring and diagnosis of field devices

   برای سطح جریان خطا و تشخیص دستگاه؛ ویرایش جاری باید تأیید شود REQUIRES VERIFICATION.

هیچ استاندارد بین‌المللی واحدی عملکرد سطح‌سنج راداری را به‌عنوان یک دستهٔ فناوری تعریف نمی‌کند؛ توصیه‌های این سند بر پایهٔ اصول فیزیکی، رویهٔ مهندسی و داده سازنده‌اند و برچسب مبنا دارند. این سند سطح ۲ است و عمداً وارد استخراج ریاضی FMCW، معادلات Beat Frequency، بودجهٔ عدم‌قطعیت و FMEA نمی‌شود؛ این موضوعات در سطح ۳ آمده‌اند. تمام اعداد مخزن و محصول فرضی‌اند و هیچ مشخصهٔ عددی محصول NICO ادعا نشده است.

منابع مرتبط NICO

پیش‌نیاز و گام بعدی

- سطح‌سنج راداری چیست و چگونه کار می‌کند؟ — NICO-EDU-LVL-L1-004-FA
- مهندسی پیشرفتهٔ سطح‌سنج راداری FMCW — NICO-EDU-LVL-L3-006-FA

ابزارهای مرتبط NICO

- خانوادهٔ ترانسمیتر راداری سطح با پلتفرم 80 GHz — RLT40
- سطح‌سنج التراسونیک (برای مقایسه) — UFM20
- ترانسمیتر هیدرواستاتیک سطح — HLT40

نام مدل چاپ‌شده روی لیبل عکس مرجع با نام خانوادهٔ بالا مطابقت داده نشده است و باید از مدارک رسمی NICO تأیید شود؛ مشخصات، محدودهٔ کاربرد و تأییدیهٔ هر مدل فقط از برگهٔ فنی رسمی گرفته می‌شود.

NICO
شرکت نیکان صنعت خاورمیانه