فصل پنجم

# اندازه گیری سطح سیال

level measurement

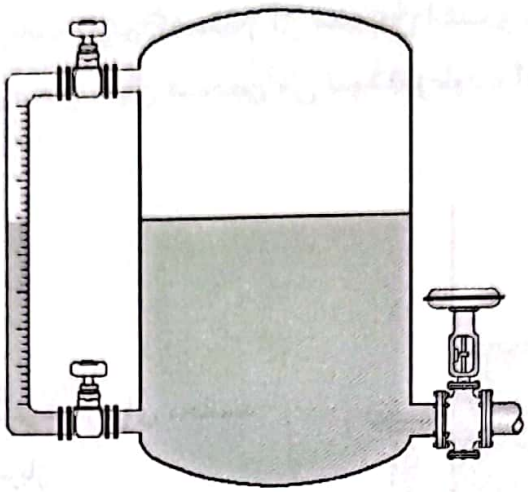
در عملیات صنعتی اطلاع از وضعیت سطح مواد درون مخازن مخصوصاًهنگامی که کنترل آن نیز مطرح است ضروری می باشد. در عمل به طور مستقیم نمی‌توان سطح مواد درون مخازن را اندازه‌گیری کرد، زیرا معمولاً جدارهٔ مخازن فلزی بوده، وضع داخلی آن‌ها از بیرون قابل رؤیت نیست. دراین فصل باروشهای اندازه گیری سطح مواد درون مخازن آشنا می شوید. به این تجهیزات ارتفاع سنج یا عمق سنج نیز گفته می شود.

قدیمی ترین روش اندازه گیری سطح، استفاده از میله یا چوب خط (deep stick) است که میله با فروشدن در مخزن تر می شود و می توان ارتفاع را اندازه گیری کرد. مانند میله ای که برای اندازه گیری سطح روغن خودرو استفاده می شود. سطح مایعات غلیظ را می توان با نصب شیرهایی در ارتفاعات مختلف و باز کردن آنها از بالا به طرف پایین به دست آورد. این دو روش در مواردی که اندازه گیری لحظه به لحظه و همچنین سیگنال الکتریکی مورد نیاز نیست استفاده می شود.

## نشان‌دهندهٔ شیشه‌ای یاآبنما Sight Glass Tube

در مخازن غیر شفاف برای تشخیص ارتفاع سطح مایع، قسمت پایین و بالای مخزن را با یک لولهٔ شیشه‌ای یاپلاستیکی شفاف و محکم، به هم مرتبط می‌کنند. هنگامی که سطح سیال در مخزن جابجا شود این تغییرات در لوله جانبی هم دیده می شود. معمولاً این لوله‌ها دارای شیر تخلیه و شیر مانع هستند، تا در صورت نیاز بتوان آن‌ها را برای تعمیر یا تمیز کردن از مسیر کار خارج کرد. این روش یک روش دیداری و بدون سیگنال است. با قرار دادن یک خط کش در کنار لوله شفاف می توان سطح سیال را اندازه گیری کرد.

روش فوق در حقیقت استفاده از یک مانومتر برای اندازه گیری سطح سیال می باشد. چون فشار بالای لوله ی شیشه ای و مخزن یکی است سیال در هر دو طرف در یک ارتفاع قرار می گیرد.



**شکل ۱-۵** نشان دهنده شیشه ای

## استفاده از فشار ستون مایعات(فشارهیدرواستاتیک) Hydro static pressure

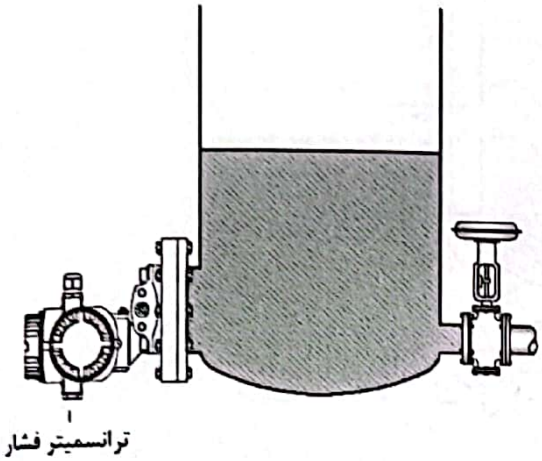
در این روش فشار ستون مایع اندازه‌گیری می‌شود و با توجه به رابطه ی ($h = \frac{P}{\rho g}$)ومعلوم بودن چگالی، ارتفاع مایع مشخص می‌شود. از مزایای این روش پیوسته بودن اندازه‌گیری و در دسترس بودن آن است. در مخازن سربازچون فشاربالای مخزن ثابت ومعادل فشار اتمسفر است از یک فشارسنج و در مخازن سربسته بدلیل متغیر بودن فشاربالای مخزن از DPT(ترانسمیتر اختلاف فشار) برای اندازه‌گیری و ارسال سیگنال استفاده می‌شود. DPT فشار بالای مخزن را از فشارپایین مخزن که شامل فشار ستون مایع وفشار بالای مخزن است کم می کند و در نتیجه فشار ستون مایع وارتفاع ستون مایع به دست می‌آید. این روش در هنگامی که مایع داخل مخزن متغیر باشد یا چند فازی(چند مایع که با هم مخلوط و ترکیب نمی شوند مانند آب و نفت) باشد و یا چگالی آن بسیار پایین باشد (رقیق باشد) مناسب نیست.

مشکلی که ممکن است برای مخزن سربسته پیش آید این است که مایع داخل آن بخار شود و در طرف دیگر DPT میعان شود؛ در این صورت چون بخارات میعان شده فشاری علاوه بر فشار بالای مخازن به DPTوارد می کنند، DPT دچارخطاشده وفشار صحیح ستون سیال را نشان نمی‌دهد.

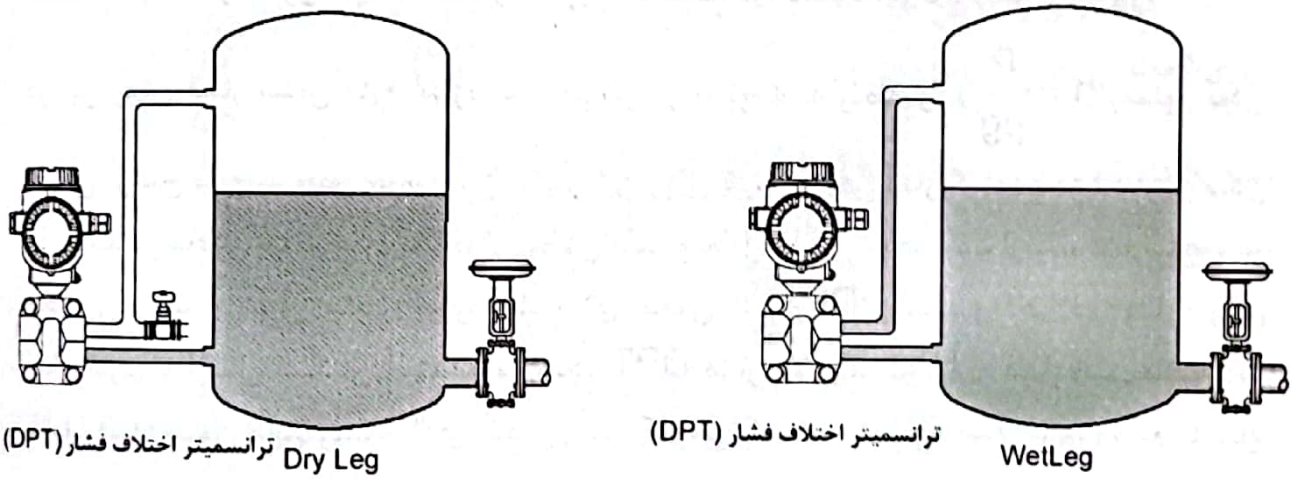
**برای برطرف کردن این خطا دو راه حل وجود دارد:**

Dry Leg : در قسمت پایین لولهٔ فشارِبالای مخزن یک شیر تخلیه (Drain) قرار می‌دهیم و به صورت ادواری آن را باز می‌کنیم تا مایع تخلیه شود.(خشک=Dry)

Wet Leg : لولهٔ فشارِ بالای مخزن را از یک مایع چگال یا همان مایع پر می کنیم. در این صورت در طرف دیگر یک فشار ثابت داریم که مقدار آن مشخص است و با کم کردن آن از مقدار اندازه گیری شده، همواره مقدار واقعی سطح سیال مشخص می شود.(مرطوب=Wet)




**شکل ۲-۵** استفاده از ترانسمیتر فشار برای محاسبه سطح در مخزن سرباز

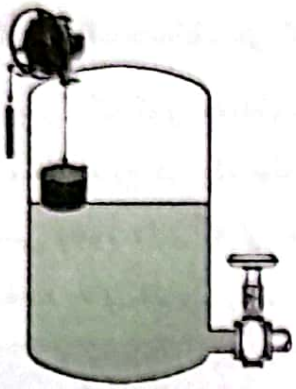



**شکل ۳-۵** اندازه گیری اختلاف فشار به دو روش Dry Leg و Wet Leg در مخازن سر بسته‌ی تحت فشار

## سطح سنج شناوری floater

در مخازن رو باز ومخازنی که تحت فشار نیستند یک جسم شناور را بر روی سطح مایع قرار می دهیم که این جسم باتغییرات سطح جابجامی شود. این جابجایی رامی توان به روش های متفاوت به سیگنال الکتریکی تبدیل کرد.

۱) شناور راتوسط قرقره و نخ به یک وزنه متصل کرده وبه وسیله‌ی یک مبدل موقعیت دورانی میزان جابجایی را مشخص نمود.

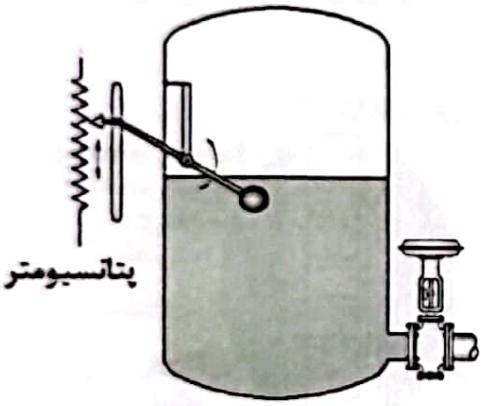


شکل۴-۵ سطح سنج شناوری

**۲) استفاده از پتانسیومتر**

در این روش جابه‌جایی شناور به پتانسیومتر منتقل شده وباعث تغییر مقاومت می گردد.

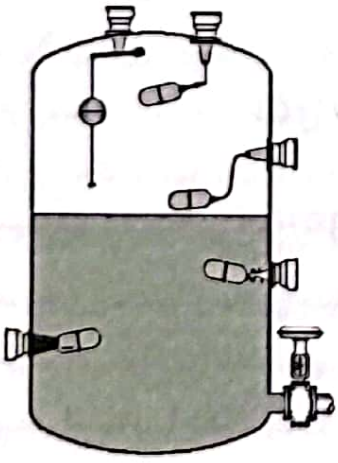
این تغییرات با مقدار سطح متناسب است.




شکل ۵-۵ آشکار سازی سطح به وسیله پتانسیومتر

**۳) سوئیچ شناوری**

دراین حالت شناوربه یک میکرو سوئیچ متصل است و با جابه‌جایی، کنتاکت آنرا باز یا بسته می کند. این روش برای مخازنی که مایع درون آن متلاطم است، مناسب نیست. این روش برای مواد قابل اشتعال که نباید با بیرون ارتباط داشته باشند مناسب است.

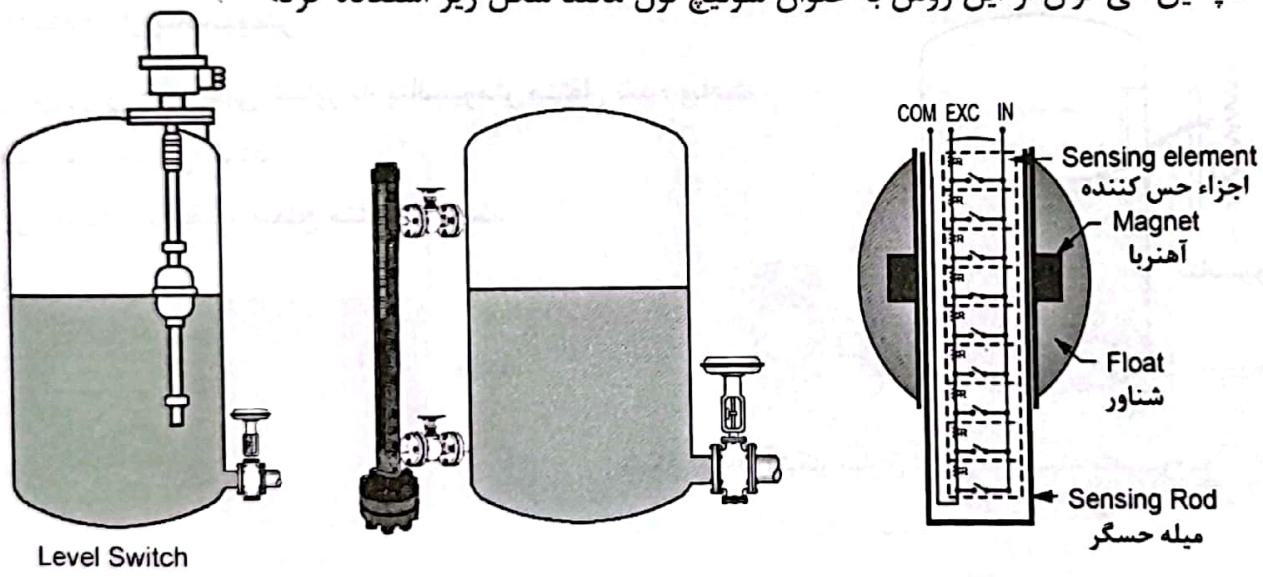


شکل۶-۵ سوئیچ شناوری لِوِل

## روش کوپلینگ مغناطیسی Magnetic floater Liquid Level sensor

در این روش یک گوی مغناطیسی(یک گوی که داخل آن عنصر مغناطیسی قرار دارد) به صورت شناور بر روی سطح مایع در یک لولهٔ جانبی متصل به مخزن قرار دارد.یک شاخص(scale) روبه‌روی گوی مغناطیسی وجود دارد که از تعدادی صفحهٔ فلزی لولا شده به محورهایی افقی تشکیل شده است. دو روی صفحه های فلزی، رنگ متفاوت دارند. با رد شدن گوی مغناطیسی از جلوی شاخص، صفحهٔ روبروی آن چرخیده و طرف دیگر صفحهٔ لولایی رو می‌شود که با توجه به متفاوت بودن رنگ آن با بقیهٔ صفحات ارتفاع مشخص می‌شود. می‌توان از تعدادی رله مغناطیسی هم استفاده کرد و آن‌ها را از پایین تا بالا چید. با این کار علاوه بر مشاهده سطح (Level Indicator) قادر خواهیم بود سیگنال الکتریکی هم داشته باشیم. (در واقع Level Transmitter هم خواهیم داشت.)

همچنین می توان از این روش به عنوان سوئیچ لول مانند شکل زیر استفاده کرد.

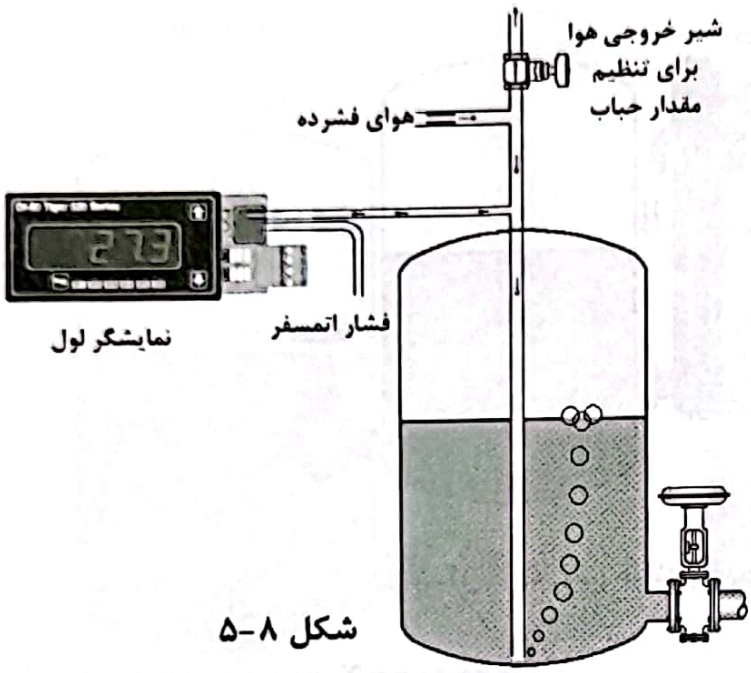



**شکل ۷-۵** لول سنج به روش کوپلینگ مغناطیسی

## روش سیستم دمنده ی هوا Air bubbler (Purge)

فشار کف مخزن ناشی از ستون سیال است. اگر یک لوله را مطابق شکل ۸-۵ نزدیکی کف، درون مخزن فرو ببریم داخل لوله نیز از سیال پر می شود. حال فشار هوای مورد نیاز برای بیرون راندن سیال از داخل لوله برابر با فشار هیدرواستاتیکی ناشی از ستون سیال در کف مخزن است . اگر توسط سیستمی هوای فشرده را درون لوله بدمیم تا حباب های هوا دیده شود فشار هوای دمیده شده در این لحظه با فشار ستون سیال برابر است. و در نتیجه ارتفاع ستون سیال به دست خواهد آمد. این روش برای

مخازنی که مایع شیمیایی (مثلاً اسید) دارند و مایع در اثر تماس با گیج می‌تواند به آن آسیب برساندوهمچنین مایعات غلیظ مناسب است.

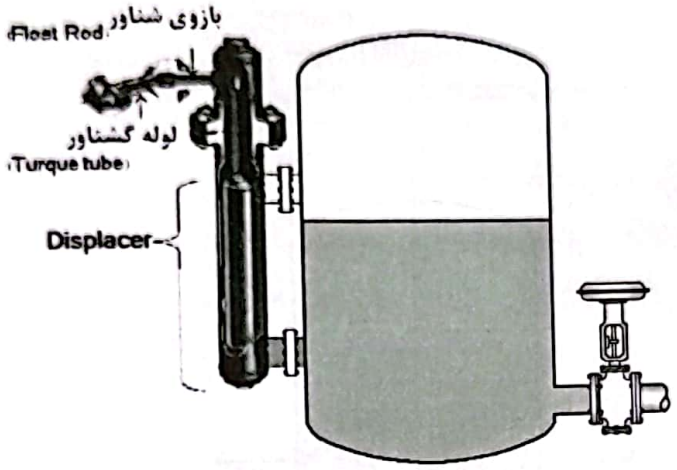



شکل ۸-۵

## روش غوطه‌وری Displacer

طبق قانون ارشمیدس وقتی جسمی در مایعی فرو می‌رود به اندازهٔ وزن مایع هم‌حجم با قسمت فرورفته از وزن آن کاسته می‌شود. شناوری از جنس فولاد زنگ‌نزن و به شکل استوانه درون مخزن یا داخل محفظه‌ای که خارج از مخزن قرار گرفته و به مخزن متصل است، توسط یک لوله گشتاور به صورت معلق نگاه داشته می‌شود. استوانه‌ی جابجا شونده که سطح مقطع آن ثابت است باید سنگین تر از مایع جابجا شده بوده و کمی طویل تر از حداکثر تغییرات سطح مایع مورد اندازه گیری انتخاب شود. با بالا آمدن سطح مایع در مخزن یا محفظه و فرو رفتن قسمتی از شناور در مایع، وزن آن کم شده، گشتاوری برابر با کاهش وزن شناور ضرب در طول بازوی شناور (Float Rod) به لولهٔ پیچش یا لولهٔ گشتاور(Torque Tube) وارد می‌شود و از میزان پیچش لولهٔ گشتاور کاسته خواهد شد. در داخل لولهٔ گشتاور یک میله وجود دارد که یک سر آن به لولهٔ گشتاور و سر دیگرش به عقربهٔ نشان‌دهنده وصل است. با بالا آمدن سطح مایع، عقربه مقدار پیچش انتهای لولهٔ گشتاور و در نتیجه ارتفاع سطح مایع را نشان می‌دهد. حداکثر پیچش لولهٔ گشتاور هنگامی است که سطح مایع پایین‌تر از ته استوانهٔ شناور باشد، در این حالت حداکثر وزن استوانه از طریق اهرم به لولهٔ گشتاور منتقل می‌شود. مهم‌ترین امتیاز لولهٔ گشتاور این است که فشار داخل مخزن بر لولهٔ گشتاور و سایر قسمت‌های اندازه‌گیری اثر

ندارد، بنابراین برای اندازه‌گیری سطح مایع در جاهایی که فشار زیاد است بسیار مناسب خواهد بود. این روش در اندازه گیری سطح مخازن پر تلاطم نیز مورد استفاده قرار می گیرد.




شکل۹-۵ روش غوطه وری

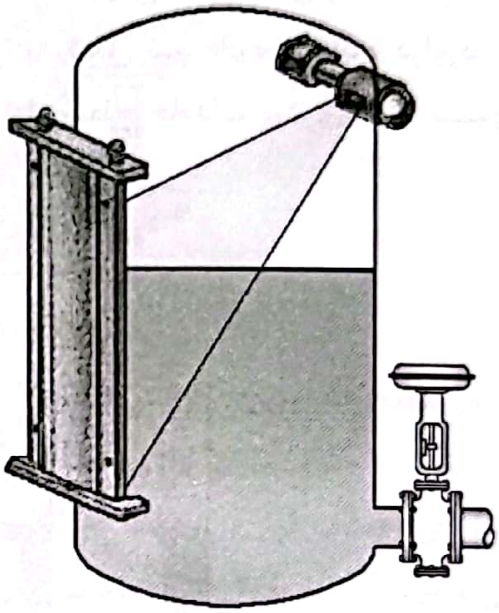
## روش آشکارساز نورانی Detector Type

این روش برای اندازه‌گیری سطح مایعات شفاف می‌تواند به کار می‌رود. اگر نوری بر مایع شفافی تابانده شود، مقدار کمی از آن هنگام برخورد با مایع منعکس می‌شود و مقداری از آن هم جذب مایع می‌شود، ولی بیشتر آن از مایع عبور می‌کند. هرچه ضخامت مایع بیشتر باشد مقدار نور جذب شده افزایش می‌یابد و نور خارج شده کم می‌شود. بنابراین با اندازه گیری میزان نور خارج شده می‌توان ضخامت یا ارتفاع مایع را تعیین کرد. مطابق شکل عامل جذب نور در بالای مخزن با مقدار نوری که جذب می‌کند ارتفاع سطح مایع را مشخص می‌کند. هر چه مقدار نور جذب شده بیشتر باشد ارتفاع مایع کمتر خواهد بود.

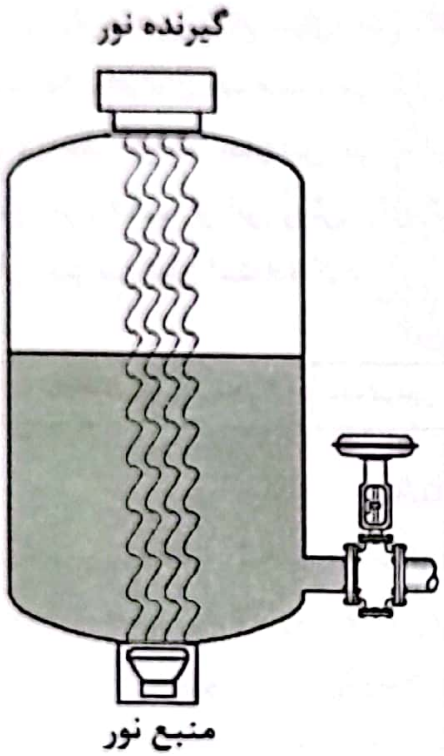
## روش اشعه‌ای یا رادیومتری Radiation Type

اساس کار این روش مانند روش نورانی است، با این تفاوت که به جای نور از اشعهٔ X یا γ (گاما)استفاده می‌شود. از این روش می‌توان برای مایعات تیره و غلیظ نیز استفاده کرد. یک منبع که رادیواکتیویتهٔ خفیفی دارد، امواجی را به طرف یک صفحهٔ حساس ارسال می‌کند. مقدار اشعه‌ای که توسط جاذب اشعه جذب می‌شود ارتفاع مایع را مشخص می‌کند. امواجی که از درون مایع گذشته و انرژی آن گرفته شده، تأثیر کم‌تری بر صفحهٔ حساس می‌گذارند. با توجه به روشن‌تر بودن یک قسمت

از صفحه ارتفاع سطح مایع مشخص می‌شود. چون برخورد اشعه با بدن خطرناک است، منبع تولید و جذب اشعه در محفظه‌های مقاوم قرار دارند. عیب این روش هزینه بسیار زیاد آن است.



شکل۱۰-۵روش اشعه ای




شکل ۱۱-۵ روش آشکارساز نورانی

## روش خازنی Capacitive

خازن از دو صفحه هادی که بین آنها عایقی به نام دی الکتریک قرار دارد تشکیل شده است. ظرفیت خازن از رابطه زیر محاسبه می شود. که با سطح مقطع و ضریب دی الکتریک رابطه مستقیم و با فاصله صفحات از یکدیگر رابطه عکس دارد.

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

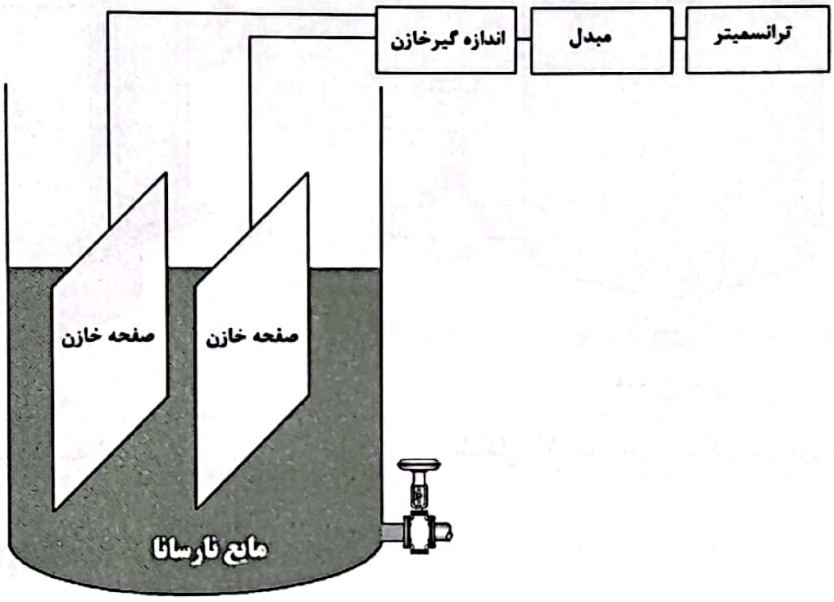
C: ظرفیت خازن

A: سطح مقطع صفحات

d: فاصله صفحات

$\varepsilon_0$: ضریب دی الکتریک

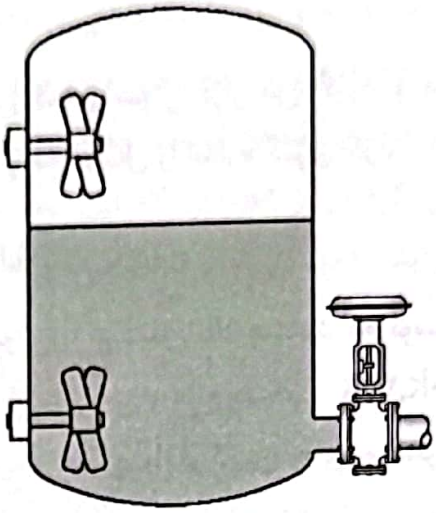
دو صفحه یا میله را درداخل مخزن قرار می دهیم و سیال غیر هادی نقش دی الکتریک را خواهد داشت. با کم یا زیاد شدن ارتفاع سیال، بین صفحات، ثابت دی الکتریک تغییر کرده و ظرفیت خازن تغییر می کند. برای افزایش حساسیت می توان تعداد صفحات را افزایش داد و خازن را به صورت دو خازن موازی در نظر گرفت. همچنین می توانیم صفحات را به شکل نیم دایره یا دایره درآورده و دورتادور مخزن قرار دهیم. از این روش برای اندازه گیری ارتفاع سطح جامدات پودری(مانند سیلوی گندم و سیمان) نیز می توان استفاده کرد.




**شکل ۱۲-۵** لِوِل سنج خازنی

## چرخ پروانه ای

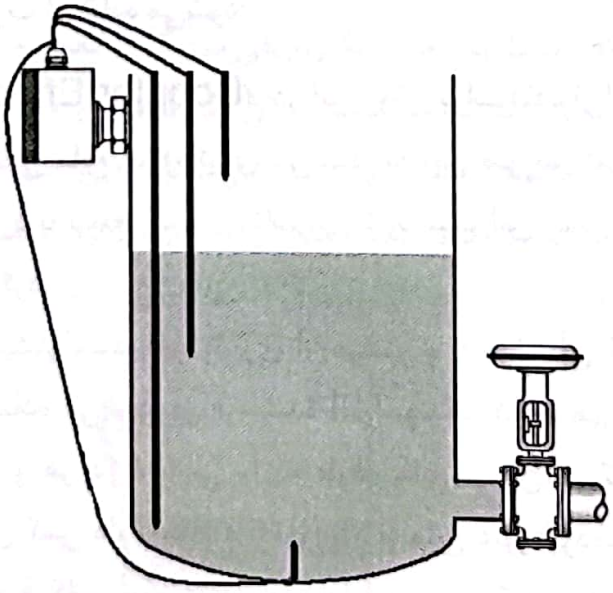
یک پروانه درون مخزن توسط یک موتور در حال چرخش است. هنگامی که سطح سیال به پروانه می رسد مانع چرخش آن می شود. این مقاومت در برابر چرخش باعث افزایش جریان موتور و از طریق اندازه گیری جریان می توان پی برد که سطح سیال به پروانه رسیده است. این روش به عنوان سوئیچ سطح (Level switch )برای اندازه گیری سطح جامدات پودری استفاده می شود و معمولا در چند ارتفاع از مخزن نصب می شود.



**شکل ۱۳-۵** سطح سنج چرخ پروانه ای

## سنسور سطح هدایتی(مقاومتی)Admittance type

در مخازنی که حاوی سیال هادی هستند یک میله فلزی را در کف مخزن و تعدادی میله دیگر را در ارتفاع های مختلف قرار می دهند. هنگامی که سطح سیال در مخزن بالا می آید بین میله‌ی انتهای مخزن و میله ای که سیال به آن رسیده است یک جریان الکتریکی برقرار می شود. با آشکارسازی این جریان ها می توان تشخیص داد سطح سیال در چه وضعیتی قرار دارد.



**شکل۱۴-۵** سطح سنج هدایتی

## سنسورهای لِوِل ترمیستوری

ترمیستورها دارای حساسیت بالایی هستند. یعنی برای تغییرات کم دما تغییرات مقاومت آنها زیاد است. اگر تعدادی ترمیستور را در ارتفاع های مختلف مخزن قرار دهیم هنگامی که سطح سیال در

مخزن بالا می آید، ترمیستور در معرض دمای سیال قرار می گیرد و مقاومتش تغییر می کند. با آشکارسازی این مقاومت می توان میزان ارتفاع سیال را اندازه گیری کرد.

### روش آلتراسونیک Ultrasonic : UT

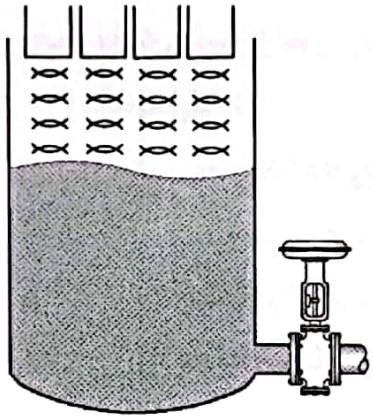
امواج مافوق صوت (آلتراسونیک)امواج صوتی با فرکانس بالا هستند که توسط گوش انسان قابل شنیدن نیستند. فرکانس این امواج برای مصارف فاصله یابی و مانع سنجی ۲۰۰k,۱۵۰k,۴۰k,۲۵k هرتز است و در کاربردهای پزشکی مانند سونوگرافی از امواج با فرکانس های مگاهرتز استفاده می شود. امواج آلتراسونیک برای انتشار نیاز به محیط هادی دارند و در خلاءمنتشر نمی شوند.
سنسورهای آلتراسونیک امواج صوتی با فرکانس های بالا رامی فرستند و امواج بازگشتی را دریافت می کنندواز تاخیر زمانی و سرعت صوت در هوا برای محاسبه ی فاصله از هدف استفاده می کنند، همچنین می توان از آنها برای تشخیص وجود یا عدم وجود مانع استفاده کرد.

در اندازه گیری سطح سیال یک فرستندهٔ آلتراسونیک که فاصلهٔ آن تا پایین مخزن ثابت است، امواج آلتراسونیک را به طرف سطح مایع می‌فرستد که پس از برخورد به سطح مایع به فرستنده برمی‌گردد. از روش آلتراسونیک به دو صورت استفاده می‌شود:

الف) با استفاده از اثر داپلر (Doppler Effect): در این روش با استفاده از اختلاف فرکانس یا طول موج رفت و برگشت ارتفاع سطح مایع اندازه‌گیری می‌شود. به این صورت که موجی توسط فرستنده ارسال می شود و پس از برخورد با سطح سیال بازتاب می شود.عیب این روش این است که دستگاه را باید در یک ارتفاع ثابت نصب کرد.

ب) هرچه فرکانس یک موج بیشتر باشد، نفوذپذیری آن بیشتر و بازتابش آن کمتر خواهد بود. در این روش از این خاصیت موج استفاده می‌شود. دو فرستندهٔ آلتراسونیک که به هم چسبیده‌اند، در ارتفاعی از سطح مایع نصب می‌شوند و هر دو امواجی را به طرف مایع ارسال می‌کنند؛ یکی از این امواج فرکانس زیاد و دیگری فرکانس کمی دارد. موج فرکانس بالا از مایع عبور کرده، به پایین مخزن برخورد می‌کند و برمی‌گردد، ولی موج فرکانس پایین به سطح مایع برخورد کرده، بازتاب می‌شود. با توجه به زمان رفت و برگشت این امواج ارتفاع مربوط به هر یک و از تفاضل این دو ارتفاع سطح مایع مشخص می‌شود. یکی از مزایای این روش این است که دستگاه را در هر ارتفاعی از سطح مایع می‌توان نصب کرد.

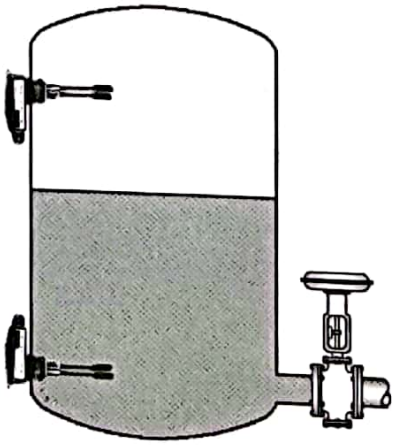
عیب روش آلتراسونیک این است که وجود ذرات معلق یا کف باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع می‌شود. در عین حال این روش بهترین روش برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح جامدات است، ولی چون سطح جامدات در مخزن مسطح نیست، به این منظور معمولاً از چند سنسور آلتراسونیک استفاده می‌شود. با میانگین گرفتن از اعدادی که این سنسورها نشان می‌دهند ارتفاع سطح جامد اندازه‌گیری می‌شود. برای افزایش دقت می‌توان تعداد سنسورها را بیشتر کرد.



**شکل ۱۵-۵** استفاده از چند سنسور آلتراسونیک برای اندازه گیری سطح جامدات پودری

## روش لرزاننده( دیاپازونی )Vibrating Fork

دیاپازون عنصری است که توسط یک مدار الکترونیکی در یک فرکانس خاص ارتعاش می کند. دیاپازون هارادر ارتفاعی از کف مخزن نصب می‌کنند. زمانی که سطح جامد به یک دیاپازون برسد، جلوی ارتعاشات آن را می‌گیرد (مقاومت الکتریکی ایجاد می‌کند). چون جامدات دارای سطح ناهمواری در مخازن هستند، بهتر است در ۴ طرف یک سطح از مخزن دیاپازون نصب شود. از دیاپازون به عنوان (level switch)در مخازن حاوی جامدات پودری استفاده می شود



**شکل۱۶-۵** روش لرزاننده

## سنسور خازنی ویبره

برای اندازه گیری ارتفاع در مخازنی که محتوی پودر، مانند شیرخشک یا سیمان و... است از سنسور مجاورتی خازنی استفاده می شود که در کنار آن یک وسیله لرزاننده مانند موتور یا جک پنومات قرار دارد که هر چند وقت ضربه ای به اطراف سنسور اعمال می کند. این عمل باعث می شود که اگر محصول در اطراف سنسور خازنی به صورت کلوخه چسبیده باشد از آن جدا شود. به این سنسورها، سنسور ویبره می گویند.

## سوالات فصل پنجم

**۱ـ از کدام روش برای اندازه گیری ارتفاع مواد جامد در یک مخزن نمی توان استفاده کرد؟**

۱) خازنی ۲) آلتراسونیک ۳) روش غوطه وری ۴) روش دیاپازونی (لرزاننده)

**۲ـ یک حسگر ارزان برای اندازه گیری ارتفاع جامدات در مخزن کدام است؟**

۱) لیزری ۲) نوری ۳) دیاپازونی (لرزاننده) ۴) مغناطیسی

**۳ـ کدام روش برای اندازه گیری ارتفاع سیال داخل مخزن بدون تماس صحیح است؟**

۱)شناوری ۲) غوطه وری ۳) آلتراسونیک ۴) دیافراگم

**۴- اساس کار سنسورهای سطح هدایتی چیست؟**

۱)اندازه گیری جریان الکتریکی بین دو الکترود

۲)اندازه گیری خاصیت عایقی مواد بین دو الکترود

۳)محاسبه‌ی سرعت امواج الکترومغناطیسی در سیال

۴)هیچکدام

**۵- کدام گزینه صحیح نیست؟**

۱)سرعت صوت در جسم چگالی تر بیشتر است. ۲)امواج صوتی از ارتعاشات الکتریکی ناشی می شوند.

۳)امواج صوتی در خلاء منتشر نمی شوند. ۴)سرعت صوت به چگالی و ثابت کشسانی آن بستگی دارد.

## پاسخنامه تست های فصل پنجم

۱- گزینه «۳» صحیح است. روش غوطه وری فقط برای اندازه گیری سطح مایعات استفاده می شود.

۲- گزینه «۳» صحیح است.

۳- گزینه «۳» صحیح است.

۴- گزینه «۱» صحیح است.

۵- گزینه «۱» صحیح است. هرچه چگالی جسم بیشتر باشد ، سرعت صوت در آن کاهش پیدا می کند.