

Tank Gauging Techniques

نویسنده: محمد سپهری نیا
کارشناس ابزار دقیق و کنترل
ماشین سازی اراک
April 2009 / Farvardin 1388



مقدمه

اندازه گیری مقدار دقیق و مداوم ارتفاع ، جرم و حجم سیالات (مایعات و یا گازهایی که تحت فشار بصورت مایع درآمدند) موجود در مخازن ذخیره ، مخازن صادراتی واقع در پایانه های صادراتی مواد نفتی، کشتی ها و تانکرهایی که مواد نفتی حمل می کنند و هم چنین مخازن موجود در پالایشگاهها، نیروگاهها و واحدهای پتروشیمی با توجه به ارزش مالی بالای اینگونه مایعات، بسیار پر اهمیت است. لذا لازمه اصلی تجهیزاتی که جهت اندازه گیری کمیت های فوق به کار می روند؛ دقت بالا و خطای کم خواهد بود.

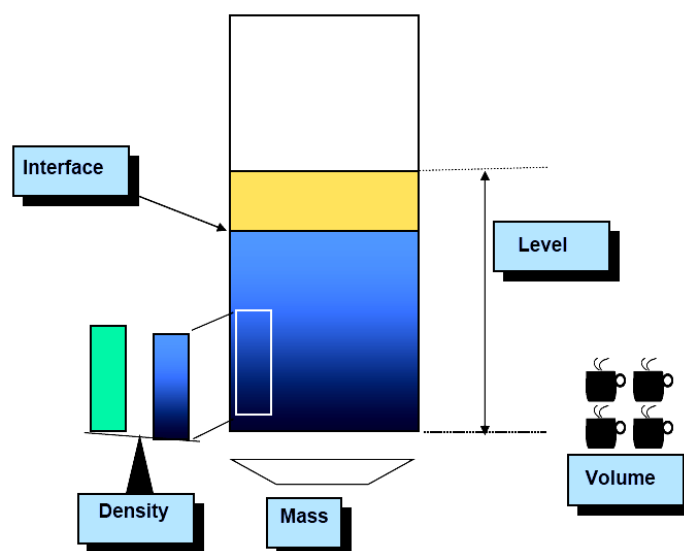
اصولاً اندازه گیری سطح سیال درون یک مخزن به سه منظور صورت می گیرد:

1. Custody Transfer (انتقال حفاظت شده) جهت تخلیه و بارگیری در پایانه ها

2. Inventory Control (کنترل موجودی) جهت جمع آوری اطلاعات مخازن ذخیره و مدیریت ذخایر

3. Process Level Control & Monitoring (کنترل و نمایش سطح مخازن)

در مخازنی که اندازه گیری سطح سیال به منظور Custody Transfer & Inventory Control انجام می شود؛ معمولاً علاوه بر سطح مایع درون مخزن، حجمی که این مایع اشغال کرده، و هم چنین جرم آن نیز اندازه گیری می شود. درون مخازنی که حاوی مواد نفتی می باشند گاهی مقداری آب به همراه سیال وجود دارد که اطلاع از میزان آن نیز ضروری است. (این سطح معروف به Water Interface ، و در حقیقت یک سطح کاذب می باشد)

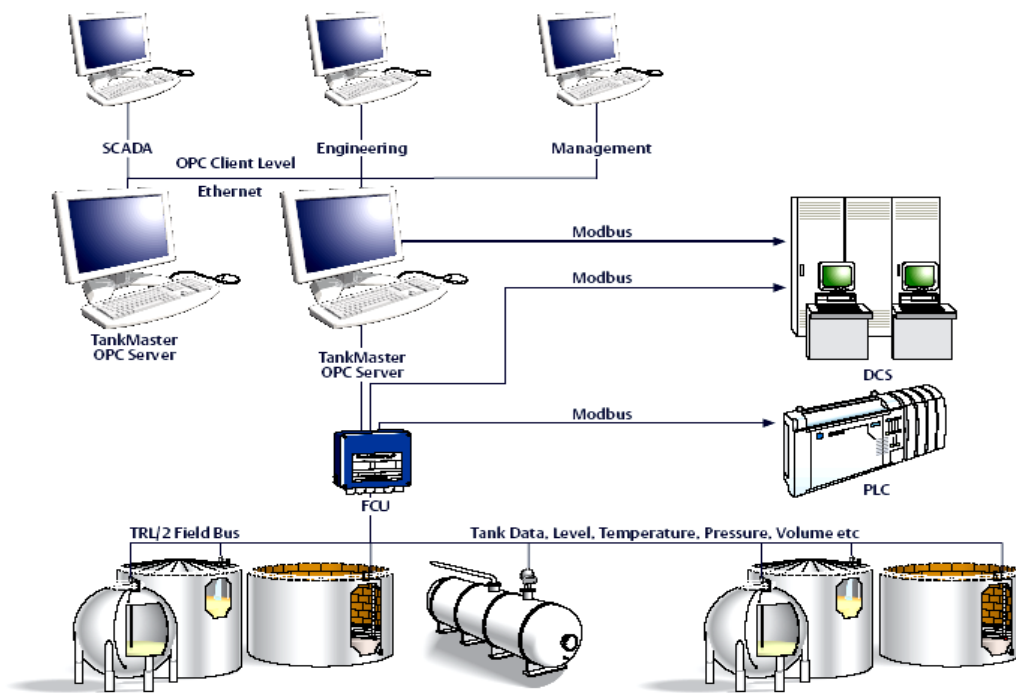


Level Parameters

تجهیزاتی بدین منظور ارایه شده اند، که علاوه بر اندازه گیری و محاسبه کمیت های فوق در یک مخزن، به کمک نرم افزارهایی که ارائه می کنند، نمودارهای پیوسته ارتفاع سیال درون مخزن (Trend) ، و جداول مقادیر روزانه یا شبانه جرم و حجم (Report) سیال درون آنرا در اختیار بهره برداران قرار می دهند. هم چنین توانایی انجام محاسبات مربوط به Custody Transfer & Inventory Control، را دارند. امکان محاسبه حجم دقیق مخازن با اشکال هندسی

مختلف (Cylindrical & Spherical) در این نرم افزارها وجود دارد. این تجهیزات به همراه نرم افزارهای مربوطه بصورت یک مجموعه (Package) ارائه می شوند و توانایی جمع آوری و ارسال ، اطلاعات کلیه مخازن موجود در سایت را - که به کمک شبکه ای از سنسورهای مختلف (دما ، سطح ، فشار، چگالی) اندازه گیری می شوند- به اتاق کنترل دارا می باشند. قابلیت نمایش و به کار گیری این اطلاعات بر روی یک کامپیوتر و یا سیستمهای کنترل محلی (DCS , PLC) موجود در سایت، وجود دارد. اندازه گیری، جمع آوری ، دسته بندی و نمایش این اطلاعات به Tank Gauging معروف است.

معروفترین شرکتهایی که در این زمینه فعالیت می کنند و محصولات آنها نیز، در کشور ما نصب و راه اندازی شده اند؛ عبارتند از: Fisher Rosemount , Enraf , Endress + Hauser . شکل زیر یک نمونه از این سیستمها ساخت شرکت Fisher Rosemount را نشان می دهد.



Saab Tank Gauging from Fisher Rosemount

روشهای مختلفی جهت اندازه گیری کمیتهای فوق وجود دارد، در این نوشته تلاش داریم تا به معرفی این روشها و ذکر مزایا و معایب هر یک بپردازیم.

اندازه گیری ارتفاع سیال درون مخزن

همانطور که گفته شد اندازه گیری ارتفاع سیال درون یک مخزن به سه منظور انجام می شود:

1. Custody Transfer

2. Inventory Control

3. Process Level Control & Monitoring

در ادامه به توضیح هر یک می پردازیم:

• Custody Transfer

انتقال مواد میان واحدهای صنعتی و در پایانه های صادرات مواد نفتی یکی از فرایندهای مهم صنعتی و تجاری است؛ که آگاهی یافتن از مقدار دقیق ماده ای که از جایی به جای دیگر منتقل می شود، با توجه به ارزش بالای آن، هم برای خریدار و هم برای فروشنده بسیار حایز اهمیت می باشد. این فرایند در پایانه های صادراتی، تخلیه و بارگیری، کشتی های حامل مواد نفتی و هم چنین در مخازن ورودی و خروجی مجتمعهای بزرگ بسیار اتفاق می افتد. و به Custody Transfer معروف است.

یک روش معمول برای اندازه گیری مقدار ماده انتقال یافته، این است که از فلومیتراهایی که از دقت بالا و خطای کمی برخوردارند و به منظور Metering (کنتور) ساخته شده اند؛ (مانند Mass Flowmeter ها) استفاده کنیم، و مقدار ماده ای را که بین خریدار و فروشنده جابجا می شود اندازه گیری کنیم. در روش دوم با توجه به اینکه، این مواد معمولاً از یک مخزن به مخزن دیگر منتقل می شوند و پس از انتقال درون مخازن موجود ذخیره می شوند؛ می توان با اندازه گیری ارتفاع سیال درون دو مخزن قبل و بعد از انتقال، و محاسبه حجم و جرم سیال درون هر مخزن، مقدار ماده جابجا شده را مشخص نمود. تجهیزاتی که جهت اندازه گیری ارتفاع و یا جرم اینگونه مخازن، مورد استفاده قرار می گیرند مستلزم دقت بالایی هستند و باید تاییدیة Custody Transfer را که بدین منظور صادر می شود، اخذ نمایند.

• Inventory Control

گاهی می خواهیم از میزان مصرف و ذخیره یک مخزن، اطلاعات کامل و دقیقی داشته باشیم تا بر اساس آن برنامه ریزی کنیم؛ این وضعیت بیشتر در مورد مخازن ذخیره نفت، بنزین، گازوییل، LPG, LNG و مخازن ذخیره خوراک مجتمعهای بزرگ پیش می آید. هر چند در این حالت مصارف بیشتر داخلی اند و هزینه ها چندان مهم نیست، اما این اطلاعات استراتژیک را، باید بطور پیوسته و بسیار دقیق در اختیار داشته باشیم، تا بر اساس آن ذخایر خود را مدیریت نماییم. با اندازه گیری ارتفاع سیال درون مخزن و محاسبه جرم و حجم آن می توانیم اطلاعات کاملی از ذخایر

خود در اختیار داشته باشیم. این کار همچون کنترل موجودی یک انبار است و به Inventory Control معروف است. تجهیزاتی که بدین منظور مورد بهره برداری قرار می گیرند باید دارای تاییدیه های Inventory Control باشند.

• Process Level Control & Monitoring

در صنایع مختلف از جمله نیروگاهها، صنایع دارویی و غذایی ، پتروشیمی، آب و فاضلاب و پالایشگاهی، به منظور کنترل فرایندهای مربوطه لزوم اندازه گیری و نمایش سطح در مخازن، برجهای خنک کننده، بویلرها و تجهیزات دیگری که مورد استفاده قرار می گیرند به شدت احساس می شود. در این حالت بسته به شرایط پروسه می توانیم از سطح سنجهای متفاوتی، که نیازهای کنترلی ما را برآورده می کنند، استفاده نماییم.

اساس کار Tank Gauging بر اندازه گیری جرم و حجم استوار است و مابقی کمیت‌های مورد نظر از آن دو نتیجه می شوند. نظر به اینکه هر سیستم ابتدا کدام یک از متغیرهای جرم و حجم را اندازه گیری می کند و آنرا مبنای محاسبه کمیت‌های دیگر قرار می دهد؛ دو روش طرح می گردد که در ادامه به توضیح هر یک و مزایا و معایب آنها خواهیم پرداخت.

1. اندازه گیری حجم

این روش بر اندازه گیری مستقیم ارتفاع و دمای سیال درون مخزن و سپس محاسبه حجم بر اساس ارتفاع و دمای اندازه گیری شده، استوار است. دما توسط سنسورهای RTD یا TC اندازه گیری می شود، برای اندازه گیری ارتفاع نیز روشهای گوناگونی وجود دارد که سه روش زیر در سیستمهای Tank Gauging بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند:

• سطح سنجهای شناوری Float & Displacer

• سطح سنجهای موتوری Servo Tank Gauging

• سطح سنجهای راداری Radar Tank Gauging (RTG)

در این روش ارتفاع سیال درون مخزن مستقیماً و بطور پیوسته توسط سنسورهای نصب شده اندازه گیری می شود، مقادیر به دست آمده به همراه دمای اندازه گیری شده، به سیستم کنترل ارسال می شوند. به کمک این اطلاعات، حجم اشغال شده توسط سیال در دمای به دست آمده، محاسبه می شود. حجم محاسبه شده ، به حجم استاندارد – حجم در فشار و دمای معین، که معمولاً 1 اتمسفر و 25 درجه سانتیگراد می باشد - تبدیل می گردد. با وارد نمودن چگالی مفروض سیال، بصورت دستی در محاسبات ، جرم سیال درون مخزن از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود. سنسورهای راداری به دلیل دقت بالا بیشتر از دو مدل دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. لذا این روش به Radar Tank Gauging (RTG) معروف است.

$$M \text{ (Mass)} = V \text{ (Volume)} \times \rho \text{ (Density)}$$

2. اندازه گیری جرم

در این روش، توسط ترانسمیتر فشاری که در پایین ترین نقطه مخزن نصب شده، فشار هیدرواستاتیک سیال اندازه گیری می شود و با توجه به اینکه این فشار ارتباط مستقیم با جرم سیال دارد؛ جرم سیال مستقیماً و بدون اندازه گیری حجم و چگالی آن، محاسبه می شود. این روش معروف به **HTG (Hydrostatic Tank Gauging)** می باشد. با وارد نمودن مقدار چگالی مفروض سیال، بصورت دستی در محاسبات، حجم و ارتفاع آن نیز محاسبه می گردند. در صورتی که تنها از یک ترانسمیتر فشار استفاده نماییم، خطای این روش نسبت به روش قبلی بیشتر خواهد بود؛ با نصب دو ترانسمیتر فشار دیگر و یک ترانسمیتر دما به منظور اندازه گیری چگالی و دمای لحظه ای سیال می توانیم این خطا را کاهش دهیم.

3. اندازه گیری هم زمان حجم و جرم

در حالت سوم جرم و حجم سیال به طور همزمان اندازه گیری می شوند. در روشهای قبلی بعضی از کمیتها مفروض بودند (مانند چگالی) و برخی هم به کمک روابط محاسبه می شدند، که این امر منجر به افزایش خطای محاسبات می گردید. (در ادامه به توضیح آن خواهیم پرداخت) جهت کاهش خطای محاسبات در این روش، از سطح سنجهای راداری به منظور اندازه گیری مستقیم ارتفاع سیال درون مخزن، و از ترانسمیترهای فشار هیدرواستاتیک جهت اندازه گیری جرم سیال، به طور هم زمان استفاده می شود؛ حجم سیال نیز بر اساس جرم و ارتفاع اندازه گیری شده محاسبه خواهد شد. با اندازه گیری دمای سیال درون مخزن مقادیر به دست آمده، به مقادیر استاندارد تبدیل می شوند. این سیستم اندازه گیری به **Hybrid Tank Gauging** معروف است. در ادامه به تفسیر هر روش و مزایا و معایب آن می پردازیم:

روش محاسبه حجم

در این روش از سنسورهای متفاوتی جهت اندازه گیری ارتفاع مایع استفاده می شود که در این میان سنسورهای راداری به علت اینکه بدون تماس با مایع درون مخزن، ارتفاع آن را با دقت بالا اندازه گیری می کنند، و هم چنین به دلیل نداشتن قطعات متحرک هزینه تعمیر و نگهداری کمتری دارند، بیشتر از سنسورهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. تنها عیب این سنسورها قیمت بالای آنها می باشد که با کاهش درصد خطای اندازه گیری در فرایندهای حساس همچون Custody Transfer هزینه های آنها نیز جبران خواهد شد.

سطح سنجهای راداری (RADAR)

RADAR در حقیقت مخفف **Radio Detection And Ranging** می باشد که از سال 1930 در بخش هوایی صنایع نظامی مورد استفاده بوده، در حال حاضر استفاده از رادار بسیار فراگیرتر شده است. سیستمهای ناوبری کشتی و هواپیما، هواشناسی، وسایل خانگی (مایکروفرها) و... از تکنولوژی رادار، که در حقیقت امواج تقویت شده الکترومغناطیسی است، به راحتی استفاده می کنند. در حدود 50 سال است که سنسورهای راداری، جهت اندازه گیری ارتفاع سیال درون مخازن به کار می روند.

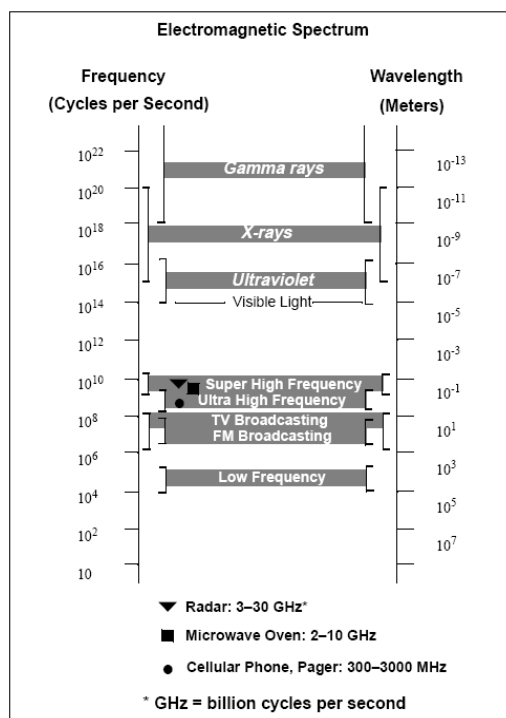


Level Transmitter with RADAR Sensor

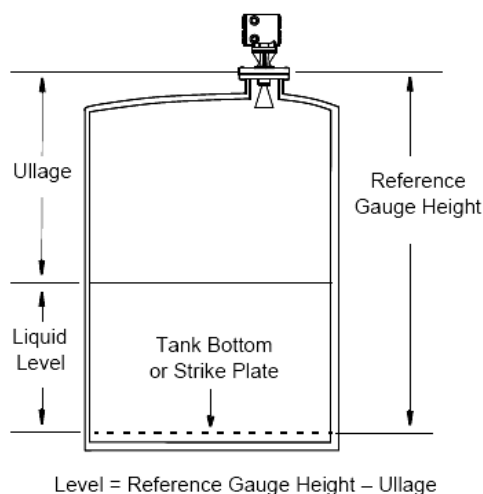
امواج الکترومغناطیسی طیف وسیعی را در بر می گیرند، از امواج ایمن رادیویی و تلویزیونی تا امواج خطرناک X و Gamma در این محدوده قرار دارند. امواج راداری که در سنسورهای سطح سنج به کار می روند در طیف میانی امواج الکترومغناطیسی قرار می گیرند. اگر به منحنی اسپکتروم امواج الکترومغناطیسی که بر اساس فرکانس و طول موج رسم شده است نگاهی بیاندازیم مشخص می گردد امواجی که برای اندازه گیری سطح در سنسورهای راداری استفاده می شوند در محدوده فرکانسی 3 تا 30 گیگا هرتز که برای انسان بی خطر است قرار می گیرند. اکثر ترانسمیترهای راداری در محدوده 5 تا 10 گیگا هرتز ساخته می شوند، اخیرا ترانسمیترهایی با فرکانس کاری 24 گیگاهرتز نیز ساخته شده اند. طول موج امواج ارسالی ارتباط عکس با فرکانس دارد، هر چه فرکانس بالاتر باشد طول موج کوتاهتر خواهد بود؛ و بر عکس. افزایش فرکانس موجب کاهش طول آنتن و در نتیجه طول موج، امواج ارسالی آن میگردد. در نتیجه نصب سنسورهایی که با فرکانس بالا کار می کنند به سبب کوتاه بودن طول آنتن نسبت به سنسورهای فرکانس پایین آسانتر خواهد بود.

همانگونه که در منحنی فرکانسی دیده می شود امواج خطرناک الکترومغناطیسی مانند Gamma ray & X-ray در محدوده بالاتری نسبت به امواج راداری قرار دارند. امواج راداری در محدوده امواج

تلویزیونی ، رادیویی و امواج موبایل که به طور عادی در اطراف ما وجود دارند، قرار می گیرند. فاکتور دیگری که در امواج الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار می گیرد، میزان انرژی لازم جهت ارسال امواج با یک فرکانس مشخص می باشد، که در این مقوله نیز امواج رادار در یک محدوده ایمن قرار می گیرند؛ و از امواج ارسالی مایکروویوهای خانگی نیز ایمن تر می باشند. انرژی ارسالی از اکثر ترانسسمیترهای راداری در حدود 3 درصد انرژی نشتی مجازی است، که از وسایل خانگی نشت می کند.



در سطح سنجهای راداری با ارسال امواج رادار، در حقیقت فضای خالی مخزن اندازه گیری می شود و با کسر ارتفاع خالی مخزن از مقدار ارتفاع واقعی آن، که به عنوان مقدار اولیه به سنسور داده شده است، ارتفاع مایع محاسبه می شود.



از ویژگیهای مهم امواج رادار این است که در برخورد با سطح جسم بازتاب می شوند، میزان این بازتاب با اندازه ثابت دی الکتریک اجسام مرتبط است. هر ماده ای که دارای ثابت بزرگتر از 1.8 باشد این امواج را از خود عبور نمی دهد.

خلا دارای ثابت دی الکتریک 1 است، این بدین معنی است که امواج الکترومغناطیسی از خلا عبور می کنند و بازتاب نمی شوند؛ این اساس کار سنسورهای راداری می باشد، موادی مانند آب ، نفت خام و محلول آمونیاک دارای ثابت دی الکتریک بزرگتر از 1.8 می باشند و به راحتی این امواج را برگشت می دهند. مقدار ثابت دی الکتریک (ϵ_r) برای سیالات مختلف در جدول زیر مشخص شده است.

| | |
|------------------------|---|
| $1.9 < \epsilon_r < 4$ | Oil, petrochemicals ,gasoline and other hydrocarbons |
| $4 < \epsilon_r < 10$ | Alcohols, concentrated acids, organic solvents, oil/water mixtures and acetone. |
| $\epsilon_r > 10$ | Conductive liquids e.g. water based solutions, dilute acids and alkalis |

هر چه ثابت دی الکتریک سیال بزرگتر باشد امواج بیشتری از سطح آن بازتاب می شوند و اندازه گیری سطح با دقت بالاتری انجام می شود. هوا ، بخارات و کفهای موجود روی سطح سیال درون مخازن، دارای ثابت دی الکتریک کوچکتر از 1.8 می باشند که امواج رادار به راحتی از آنها عبور می کنند و بازتاب نمی شوند. این مواد در فضای خالی بالای مخازن همیشه وجود دارند اما در این روش کمترین تاثیر را بر اندازه گیری سطح سیال می گذارند. این دقیقا همان دلیلی است که سطح سنجهای راداری به عنوان بهترین گزینه جهت اندازه گیری سطح مخازن در سالهای اخیر مطرح شده اند. سنسورهای راداری هیچ قطعه متحرک مکانیکی ندارند که در حین کار گیر کند و باعث توقف اندازه گیری شود؛ و یا نیاز به سرکشی و تعمیرات مداوم داشته باشد. لذا تعمیرات کم مزیت دوم سنسورهای راداری است. سطح سنجهای راداری بدون آنکه تماسی با مواد درون مخزن برقرار کنند، (تنها آنتن با بخارات درون مخزن در تماس است) ارتفاع مایع درون آنرا اندازه گیری می کنند. این ویژگی از خوردگی قطعات سنسور جلوگیری می کند و این مزیت سوم سطح سنجهای راداری است که استفاده از آنها را در مکانهایی که خوردگی سیال بالا است با کمترین هزینه ممکن می سازد.

سنسورهای راداری

سنسورهای راداری به منظور اندازه گیری سطح مایعات از دو روش استفاده می کنند:

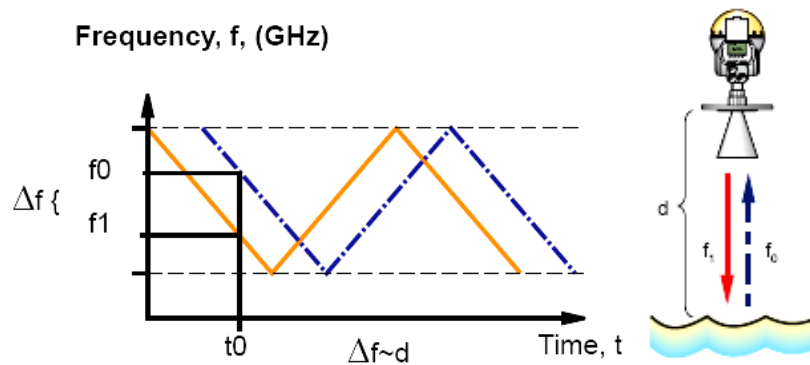
Pulse Radar Gauges (1)

در این حالت امواج بصورت ناپیوسته توسط آنتن ارسال ، و پس از برخورد با سطح مورد نظر بازتاب می شوند. سطح مایع متناسب با زمان رفت و برگشت امواج می باشد. ترانسمیتر با اندازه گیری مدت زمان سپری شده در رفت و برگشت امواج، ارتفاع مایع درون مخزن را اندازه گیری می کند. چون امواج الکترومغناطیسی با سرعت نور حرکت می کنند. زمان اندازه گیری شده در مخازن ذخیره ای که ارتفاع کمی دارند (مانند مخازن ذخیره نفت خام) بسیار کوچک و در حدود چند پیکو ثانیه خواهد بود. اندازه گیری دقیق این

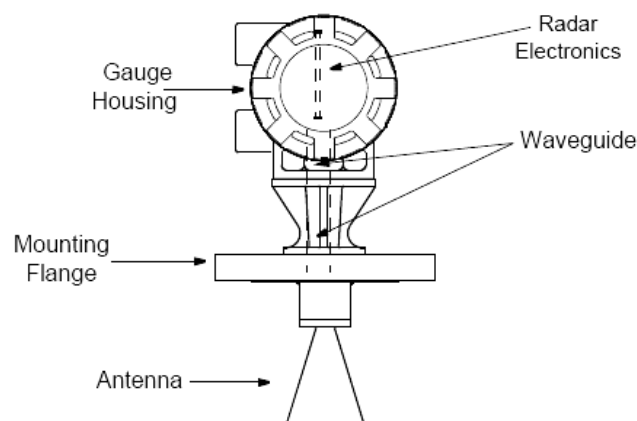
زمان کوچک، بسیار مشکل است؛ این مساله موجب کاهش دقت اندازه گیری سنسورهایی خواهد شد که از این روش جهت محاسبه ارتفاع سیال استفاده می کنند.

Frequency Modulated Continues Waves (FMCW) (2)

در این حالت امواج رادار بطور پیوسته ارسال می شوند. فرکانس امواج پس از برخورد با سطح سیال تغییر می کند، که این تغییر متناسب با فاصله پیموده شده (که همان فضای خالی مخزن است) و مدت زمان طی این فاصله می باشد. ترانسمیتر بجای اندازه گیری مدت زمان رفت و برگشت، اختلاف فرکانس ایجاد شده را اندازه گیری می کند. و با سنجش این اختلاف فرکانس مدت زمان طی شده را محاسبه و ارتفاع سیال درون مخزن را تعیین می کند. اندازه گیری اختلاف فرکانس امواج برگشتی با امواج ارسالی بسیار دقیق تر می باشد لذا دقت این روش از روش قبل بیشتر خواهد بود.

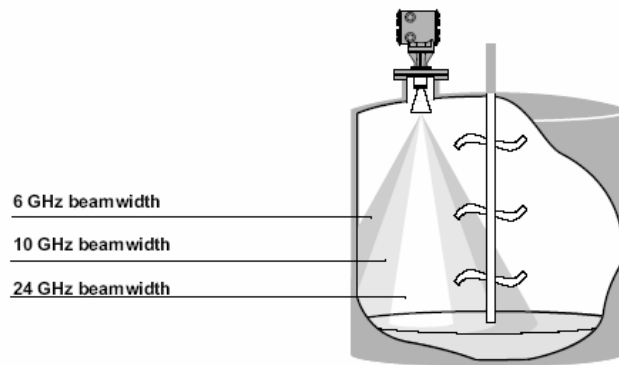


در شکل زیر قسمت‌های مختلف یک ترانسمیتر راداری نشان داده شده است. بخش الکترونیک در حقیقت قلب این سنسور می باشد که تغذیه الکتریکی را به کمک یک نوسان ساز به امواج الکترومغناطیسی تبدیل می کند. این امواج از طریق Waveguide به آنتن ارسال می شوند.



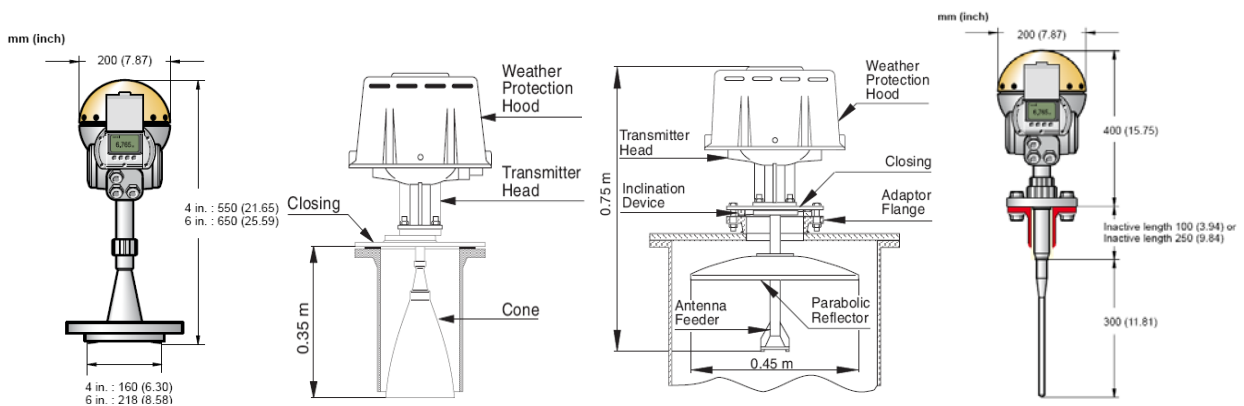
آنتن معمولا از جنس فولاد زنگ نزن ، که در برابر خوردگی مقاوم است ساخته می شود. آنتن از پخش امواج در کل فضای مخزن جلوگیری می کند و باعث می شود امواجی که پس از برخورد با سطح مایع و نه قطعات مونتاژ شده داخل آن، بازگشت می شوند ، در محاسبه سطح مایع به کار روند. هر چه قطر آنتن کوچکتر باشد امواج در عرض کوچکتری

درون مخزن منتشر خواهند شد و از برخورد با تجهیزات دیگر که درون مخزن نصب شده اند (هم زنها، طبقات و سینی های درون مخزن، گرم کنها و ترموولها) جلوگیری می شود؛ در نتیجه امواج برگشتی پس از برخورد با سطح واقعی مایع به آنتن می رسند. اندازه آنتن با اندازه فرکانس امواج ارسالی مرتبط است، سنسورهایی که با فرکانسهای بالا کار می کنند دارای آنتن هایی با اندازه کوچکتری هستند؛ و طول موج، امواج ارسالی آنها نیز کوتاهتر است. رنج اندازه گیری سنسور به عواملی همچون شکل و مدل آنتن، ثابت دی الکتریک مایع مورد سنجش و شرایط فرایندی بستگی خواهد داشت.



بسته به شرایط مخزن و مواد داخل آن آنتنهای مختلفی طراحی و ساخته شده اند که هر یک کاربرد خاصی دارند، معروف ترین آنتن هایی که تا به حال ساخته شده اند عبارتند از:

- آنتنهای مخروطی یا شیپوری شکل (Cone or Horn Antenna)، مناسب جهت اندازه گیری سطح مایعات مانند نفت و مشتقات نفتی بجز قیر و آسفالت
- آنتنهای سهمی وار (Parabolic Antenna)، مناسب جهت اندازه گیری سطح مایعات و مواد جامد مانند سیمان و سیلوهای گندم و هم چنین آسفالت و گوگرد.
- آنتن های میله ای (Rod Antenna)، برای مخازن کوچک و مکانی که نازل ورودی آنتن کوچک انتخاب شده، مناسب می باشد.
- آنتن های تخت (Planner Antenna)، این آنتن برای سیالات خورنده و مخازنی که سطح متلاطم دارند مناسب است.



ملاحظات سیستمهای مبتنی بر اندازه گیری حجم

سنسورهای راداری تنها ارتفاع مایع درون مخزن را اندازه گیری می کنند، و به کمک این ارتفاع اندازه گیری شده حجم مخزن محاسبه می شود. این محاسبه با توجه به شکل ظاهری مخزن صورت می گیرد. رابطه بین ارتفاع اندازه گیری شده و حجم مخزن در مخازن استوانه ای عمودی (Vertical) یک رابطه خطی می باشد اما در مخازن استوانه ای افقی (Horizontal) و مخازن کروی (Spherical) این رابطه غیر خطی است. که در این محاسبه مقداری خطا خواهیم داشت. با توجه به تغییر حجم سیال درون مخزن با تغییرات دما، و فشار (در مخازن تحت فشار) لازم است که از دما و فشار مایع درون مخزن، در زمان اندازه گیری ارتفاع آن اطلاع داشته باشیم؛ و حجم استاندارد (معمولا حجم در دمای 25 درجه سانتیگراد و فشار 1 اتمسفر) را محاسبه نماییم. همانطور که پیشتر گفته شد از یک سنسور دما جهت مانیتور کردن دمای سیال درون مخزن استفاده می شود. جرم مایع نیز از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$M(\text{Mass}) = V(\text{Volume}) \times \rho (\text{Density})$$

اما فشار در این روش اندازه گیری نمی شود. در رابطه فوق مقدار چگالی مفروض سیال به صورت دستی در محاسبات وارد می شود. با توجه به اینکه چگالی سیال با تغییرات دما و فشار مخزن تغییر می کند این اندازه گیری با مقداری خطا همراه خواهد بود و لازم است چگالی لحظه ای سیال در محاسبات وارد شود. با اندازه گیری فشار و محاسبه چگالی لحظه ای سیال می توانیم این خطا را کاهش دهیم که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

روش محاسبه جرم

در این روش با سنجش فشار هیدرواستاتیک ستون مایع درون مخزن، جرم مایع محاسبه می شود؛ حالتهای مختلفی در این روش وجود دارد که هریک را توضیح می دهیم.

- حالتی که سقف مخزن باز باشد، در این حالت یک ترانسمیتر فشار که بدین منظور طراحی شده است را در پایین ترین نقطه ممکن مخزن نصب و فشار هیدرواستاتیک ستون مایع را اندازه گیری می کنیم؛ جرم سیال متناسب خواهد بود با ضرب فشار محاسبه شده در مساحت کف مخزن.

$$\text{Mass} \approx (P - P_{\text{Atmos}}) \times A$$

P: فشار مایع اندازه گیری شده توسط ترانسمیتر نصب شده در کف مخزن

P_{Atmos}: فشار جو که در محل اندازه گیری می شود. A: مساحت کف مخزن

واحد فشار و مساحت را باید به گونه ای انتخاب کنیم که تناظر یک به یک در معادله فوق برقرار شود در غیر اینصورت یک ضریب K جهت برقراری تساوی رابطه فوق لازم است در محاسبات وارد شود.

ارتفاع سیال درون مخزن ارتباط مستقیم با فشار اندازه گیری شده (P) دارد و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P = \rho g \times H$$

ρ : چگالی مایع که به عنوان مقدار اولیه موجود است. H : ارتفاع مایع اندازه گیری شده

g : شتاب گرانشی زمین در منطقه مورد نظر

• حالتی که سقف مخزن بسته باشد، که در برخی مواقع مخزن تحت فشار نیز خواهد بود. در این حالت اگر برای

اندازه گیری فشار تنها از یک ترانسسمیتر استفاده کنیم، فشار برابر خواهد بود با:

$$P = \rho g \times H + P (\text{Gas \& Vapor})$$

$P(\text{Gas \& Vapor})$ ، فشار گازها و بخارات بالای مخزن می باشد که عدد ثابتی نیست و لازم است آنرا اندازه گیری

نماییم ؛ بدین منظور یک ترانسسمیتر فشار دیگر در بالای مخزن نصب می کنیم. آنگاه داریم:

$$\text{Mass} \approx (P - P (\text{Gas \& Vapor})) \times A$$

$$H = (P - P (\text{Gas \& Vapor})) / (\rho g)$$

جهت اندازه گیری ارتفاع مایع در معادله بالا، مقدار چگالی مفروض سیال به صورت دستی وارد شده است. به دلیل

تغییر چگالی سیال با تغییرات دما و فشار ، این مقدار ثابت نخواهد بود و در محاسبات خطا خواهیم داشت. برای رفع این

مشکل یک ترانسسمیتر فشار دیگر در یک فاصله معین (D) از ترانسسمیتری که نزدیک کف مخزن نصب شده است، قرار

می دهند و با محاسبه فشار آن نقطه، چگالی لحظه ای سیال محاسبه می شود.

$$\text{Density } (\rho) = (P - P_D) / (gD)$$

P : فشار مایع اندازه گیری شده توسط ترانسسمیتر نصب شده در کف مخزن

P_D : فشار اندازه گیری شده در ارتفاع مشخص D

این چگالی اندازه گیری شده، در محاسبه ارتفاع مایع در روابط فوق استفاده می شود. از رابطه زیر حجم مایع درون

مخزن نیز به دست خواهد آمد.

$$\text{Volume} = \text{Mass} / \text{Density}$$

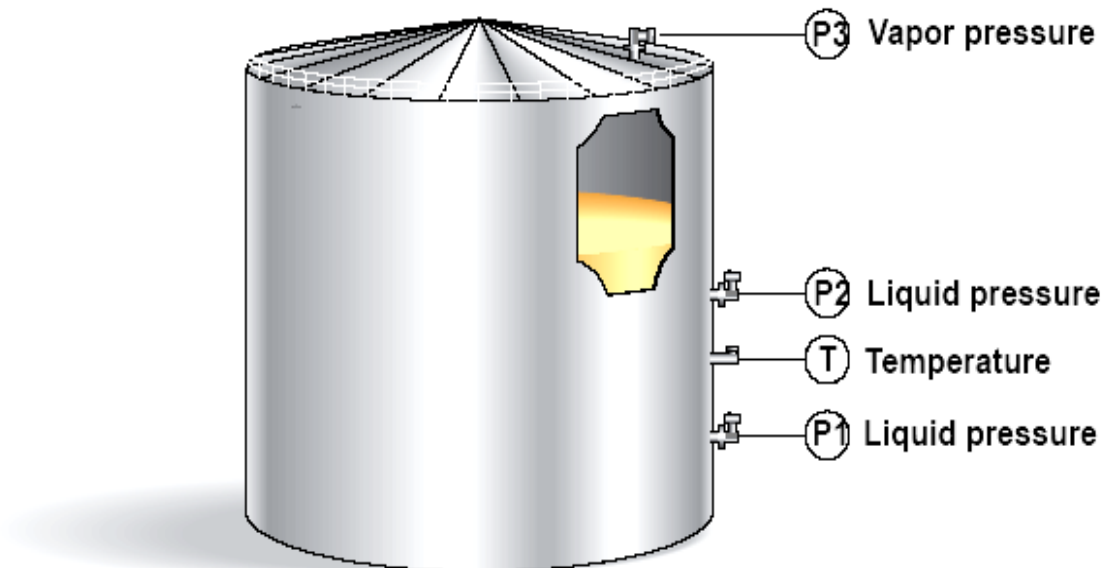
البته برای محاسبه حجم می توانیم از روابط محاسبه حجم مخزن به کمک ارتفاع محاسبه شده، نیز استفاده کنیم. با

توجه به وابستگی حجم و چگالی به تغییرات دما، باید دمای مایع در شرایط اندازه گیری شده مشخص باشد تا حجم و

چگالی مایع در شرایط استاندارد (دمای 25 درجه سانتیگراد) محاسبه شوند. لذا در این سیستم یک ترانسسمیتر دما نیز

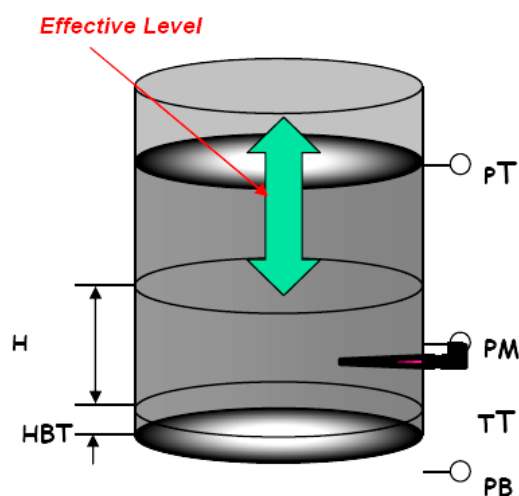
نصب می گردد. شکل صفحه بعد یک مخزن را نشان می دهد که در آن از روش HTG به منظور Tank Gauging

استفاده شده است.



ملاحظات روش هیدرو استاتیک (HTG)

مخزن شکل زیر را در نظر بگیرید که سه ترانسسمیتر فشار در نقاط B, M, T به همراه یک ترانسسمیتر دما بر روی آن نصب شده اند. HBT فاصله بین کف مخزن و ترانسسمیتر B می باشد. کمیت‌های مورد نظر چگالی، حجم، جرم و ارتفاع سیال از روابط زیر قابل محاسبه می باشند:



$$\text{Mass} \approx (P_B - P_T) \times \text{Area}$$

$$\text{Density} \approx (P_B - P_M) / H$$

$$\text{Level} \approx (P_B - P_T) / \text{Density} + \text{HBT}$$

$$\text{Volume} = \text{Mass} / \text{Density}$$

در این روش از اندازه گیری چگالی لحظه ای سیال جهت محاسبات ارتفاع و حجم مایع درون مخزن استفاده می شود، در مخازنی که مواد سنگینی همچون قیر ذخیره می کنند، و یا احتمال ته نشین شدن رسوبات در آنها بالاست؛ چگالی کف مخزن از دیگر نقاط بیشتر خواهد بود. و با توجه به اینکه اندازه گیری چگالی در این روش با نصب ترانسسمیتر PM در

نزدیکی کف مخزن انجام می شود، لذا مقدار اندازه گیری شده چگالی بزرگتر از مقدار واقعی خواهد بود؛ هم چنین اگر ارتفاع مایع کمتر از H (فاصله بین ترانسمیترهای PM و PB) باشد، در این وضعیت هم فشاری اندازه گیری نمی شود تا در محاسبه چگالی دخالت داده شود. لذا اندازه گیری ارتفاع و حجم با این روش دقت بالایی نخواهد داشت. هم چنین تعبیه نازلهایی بر روی مخازن کروی جهت اندازه گیری چگالی، به خاطر هزینه های بالا چندان مقرون به صرفه نیست. جهت بالا بردن دقت اندازه گیری حجم استاندارد بهتر است با نصب یک سنسور دمای دیگر در بالای مخزن دمای گازها و بخارات بالای مخزن را اندازه گیری کنیم و در محاسبات دخالت دهیم. هم چنین اگر در اندازه گیری فشار بالا و پایین مخزن از ترانسمیترهای سنجش اختلاف فشار (DP) استفاده کنیم، باید اثر دمایی Taping های ترانسمیتر DP را با افزودن یک ترانسمیتر دمای دیگر در محاسبات وارد نماییم.

روش هایبرد (HIMS)

همانطور که در دو روش قبل توضیح دادیم، اندازه گیری ارتفاع به کمک روش راداری و محاسبه جرم از طریق اندازه گیری فشار هیدرو استاتیک با دقت و خطای کم میسر بود؛ اما در اندازه گیری کمیتهای دیگر مقداری خطا داشتیم. در مواقعی که نیاز به دقت بالاتری داشته باشیم (Custody Transfer) می توانیم با ترکیب دو روش قبل و اندازه گیری هم زمان حجم و جرم از مزایای آنها استفاده کنیم.

Mass Gauging + Volume & Level Gauging = Hybrid Gauging

در این روش ارتفاع مایع درون مخزن مستقیماً به کمک یک ترانسمیتر راداری اندازه گیری می شود که این اندازه گیری بسیار دقیق خواهد بود زیرا سنسورهای راداری نسبت به تغییر آیتمهای زیر کمترین حساسیت را دارند.

- تغییر در دمای پروسه
- تغییر در فشار پروسه
- وجود خلا در محل اندازه گیری
- وجود بخارات و گازها درون مخزن و بین سنسور و سطح سیال
- تغییرات در چگالی سیال
- تغییر هدایت الکتریکی سیال
- تغییر در ثابت دی الکتریک سیال

پس از اندازه گیری ارتفاع مایع درون مخزن حجم آن محاسبه می شود. البته همانطور که قبلاً نیز گفته شد لازم است که این حجم، به حجم استاندارد تبدیل شود لذا نیاز به اندازه گیری دمای سیال درون مخزن نیز احساس می شود. به

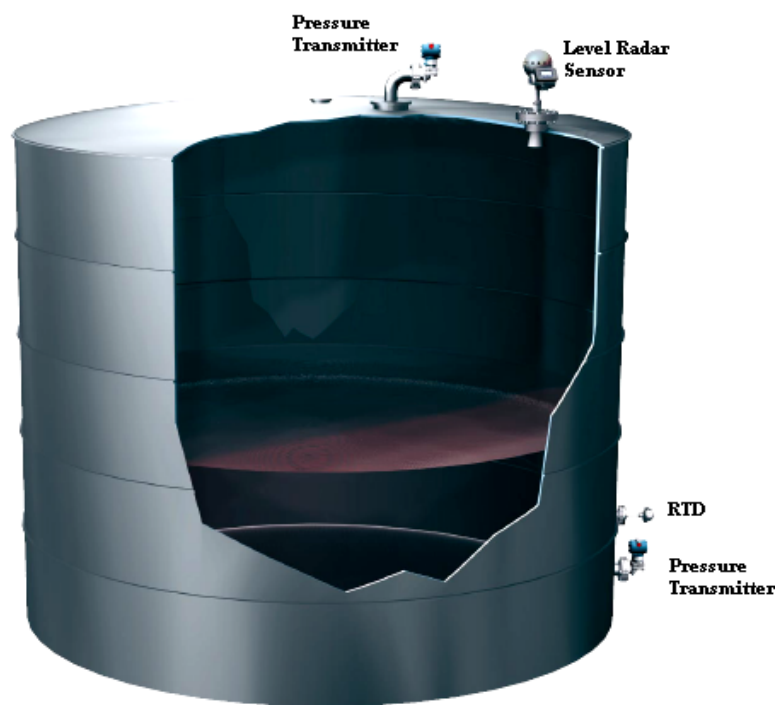
سبب برخی شرایط فرایندی و بزرگ بودن اینگونه مخازن، معمولاً دما در نقاط مختلف مخزن قدری متفاوت است، به منظور بالا بردن دقت محاسبات، با نصب ترانسمیترهای دما (multiple temperatures) در چند نقطه مخزن دمای میانگین سیال محاسبه می شود و در روابط وارد می شود.

اندازه گیری مستقیم جرم نیز به کمک یک ترانسمیتر فشار که در پایین ترین نقطه نزدیک به کف مخزن نصب می شود، میسر خواهد بود. البته اگر مخزن سقف داشته باشد لازم است که یک ترانسمیتر دیگر هم در بالای مخزن جهت اندازه گیری فشار بخارات و گازهای موجود در آن نصب شود.

در انتها از تقسیم این جرم که به طور مستقیم اندازه گیری شده است بر حجم سیال درون مخزن که از اندازه گیری مستقیم ارتفاع مایع، توسط ترانسمیتر راداری به دست آمده، می توانیم چگالی سیال را محاسبه کنیم.

$$\text{Density } (\rho) = \text{Mass } (M) / \text{Volume } (V)$$

در این حالت دقت محاسبات به مراتب بسیار بالاتر از دو روش قبل خواهد بود. در شکل زیر یک مخزن که در آن، از این سیستم جهت اندازه گیری کمیت‌های مورد نظر استفاده شده است را مشاهده می کنید.



References:

1. The art of Tank Gauging , from Enraf
2. Radar Level Gauging , from Enraf
3. Tank Gauging & Inventory Management Solutions , from www.varec.com
4. Level measurement technology: RADAR , Rev AA , from Fisher Rosemount
5. Hydrostatic Tank Gauging , from www.rosemount-tg.com
6. Saab Tank Master HTG , from www.saabrosemount.com
7. Hybrid upgrade with Rosemount TankRadar Pro , from www.rosemount-tg.com
8. The easy way to upgrade from Hydrostatic to Hybrid Tank Gauging , from www.rosemount-tg.com
9. Rosemoun TankRadar PRO Antenna Version
10. Density Measurement Technology: Pressure , From www.rosemount.com
11. Level Measurement Technology: Pressure , From www.rosemount.com
12. Liquid Level Measurement – Basics 101 , Part2 , from Endress + Hauser
13. A comparison of Tank Gauging Technologies and Other Methods , from www.gaugingsystemsinc.com
14. Level Measurement with Radar , from www.vega.com

در نهایت از آقای مهندس امیرحسین لک که در اصلاح و تکمیل این مقاله به اینجانب یاری رساندند کمال تشکر را می نمایم.

Tank Gauging Techniques
Author: Mohamad Sepehrinia
Instrument & Control Engineer
April 2009 / Farvardin 1388