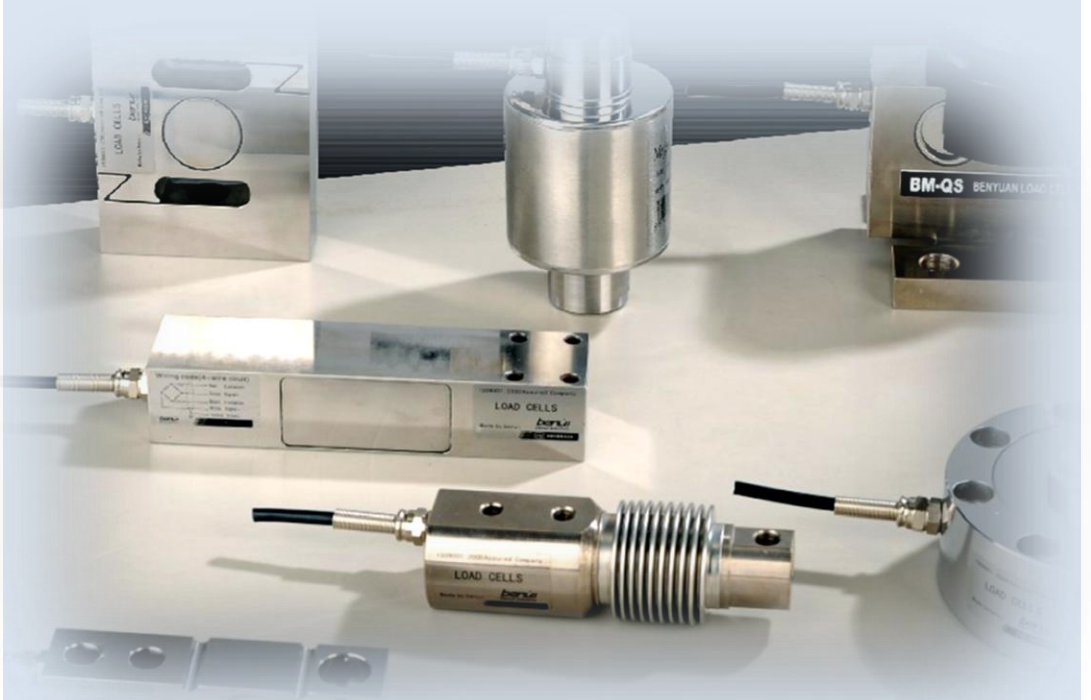


# لودسل

شناخت ، ساختمان ، کاربرد



مهندس سید مهدی انوار





## به نام خدا

با توجه به اینکه اطلاعات فنی مورد نیاز متخصصین مرتبط با تجهیزات نیروسنجی بر پایه لودسل ، کمتر به زبان فارسی جمع آوری شده و تولیدکنندگان در محیط رقابت ملزم به طراحی و تکمیل پروژه های جاری در کمترین زمان ممکن می باشند ، اغلب فرصت کافی برای مطالعه و بررسی اسناد متعدد و پراکنده به زبان های دیگر را نداشته و بیشتر اطلاعات خود را از منابع شرکت های مختلف با اهداف تجاری کسب می کنند که موجب محدودیت اطلاعات فنی و عدم وجود فرهنگ تخصصی واحد در این حوزه تخصصی گردیده و این بر طراحی مهندسی تولیدات داخلی تاثیر منفی گذاشته و اتلاف هزینه و وقت برای تولید تجهیزات با کیفیت بالا از نتایج آن می باشد.

این مجموعه شامل اطلاعات مفیدی جهت آشنایی با مشخصات فنی انواع لودسل و روش های صحیح انتخاب ، به کارگیری و کالیبراسون آنها برای کاربرد های مختلف صنعتی و پژوهشی می باشد و مجموعه ای از گزیده های فنی تولیدکنندگان ، ترجمه های اسناد فنی ، استاندارد های مطرح و تکمیل و نگارش تجربیات فنی است که به مرور جمع آوری و به روز رسانی شده اند و اضافه بر آن شامل مجموعه نسبتاً کاملی از اصطلاحات فنی مرتبط و شرح آنها به زبان فارسی می باشد که برای درک راحت و سریع عبارات مصطلح در جزوات فنی بسیار مفید است.

این خدمت ناچیز که با هدف حفظ منابع طبیعی و راحتی استفاده در محیط مجازی ارائه شده است امید است برای محققان ، طراحان ، تولید کنندگان و خریداران تجهیزات نیروسنجی مجهز به لودسل مفید واقع شود و بتوانند با دید فنی گسترده تر کیفیت کارهای خود را ارتقاء بخشند و همچنین نویسنده را در تصحیح خطا ها و تکمیل تجربیات با ارائه نظریات بسیار سودمند خود یاری و دعای خیر نمایند.

با تشکر سید مهدی انوار تابستان ۹۴

Anvar\_mehdi@hotmail.com

صفحه ۴	پیش گفتار
۸	<b>فصل اول - ساختمان و عملکرد لودسل</b>
۱۶	۱-۱ ساختمان لود سل های بر پایه استرین گیج
۱۷	۱-۱-۱ المان حساسه یا المان فنری sensing element
۱۸	۲-۱-۱ استرین گیج یا کرنش سنج Strain Gage
۲۲	۳-۱-۱ استرین گیج در مدار الکتریکی پل وتستون
۲۸	<b>فصل دوم انواع لودسل</b>
۲۹	۱-۲ انواع لود سل از لحاظ نوع بار منتقل شده به حساسه
۳۰	۱-۱-۲ لودسل های با ترکیب خمشی Bending Configuration
۳۳	۱-۱-۱-۲ تیر پایه ای خمشی ارتقاء داده شده cantilever beam
۳۴	۲-۱-۱-۲ اساس تیر های خمشی دوبل Double bending beam
۳۶	۴-۱-۱-۲ تیر خمشی دو سر Double ended bending beam
۳۶	۵-۱-۱-۲ بار گذاری مرکز تیر Central beam
۳۷	۶-۱-۱-۲ ترکیب چرخشی Wheel configuration
۳۸	۷-۱-۱-۲ Single point load cell
۳۸	۸-۱-۱-۲ لودسل های خمشی حلقوی
۳۹	۲-۱-۲ لود سل های با ترکیب تیر برشی Shear Loading
۴۱	۱-۲-۱-۲ تیر برشی یک و دو سر Single\ double -Ended shear Beam
۴۲	۳-۱-۲ لود سل های محوری (ستونی) Direct (Axial) Loading
۴۵	۴-۱-۲ لودسل های حلقه پیچشی Ring torsion load cells
۴۶	۲-۲ دسته بندی انواع لود سل ها بر اساس شکل المان فنری
۴۶	۱-۲-۲ لودسل های با المان تیری شکل فشاری / کششی
۴۷	۲-۲-۲ لودسل های با المان S یا Z شکل S beam/z beam
۴۷	۳-۲-۲ لودسل فشاری با المان دکمه ای شکل Compression load button
۴۷	۴-۲-۲ Donut load cell
۴۷	۵-۲-۲ Pancake load cell
۴۸	۳-۲ دسته بندی لودسل ها بر اساس کاربری
۴۸	۱-۴-۲ لودسل میان خطی IN LINE load cell
۴۹	۲-۴-۲ لودسل پینی اندازه گیری بار Load/force pin

۴۹	Force Measuring Bearing	لودسل بلبرینگی اندازه گیری نیرو	۳-۴-۲
۴۹	Load/force washers	لودسل واشری اندازه گیری نیرو	۴-۴-۲
۴۹	Axial load cell	لودسل های محوری	۵-۴-۲
۴۹	Miniature load cells	لودسل های مینیاتوری	۶-۴-۲
۵۰	Dual Range	لودسل های دو رنجی	۷-۴-۲
۵۰	Calibration Grade	لودسل های کالیبراسیون	۸-۴-۲
۵۰	Torque meter	ترک متر ها	۹-۴-۲
۵۰	static torque meter(reaction)	استاتیک ترک متر	۱-۹-۴-۲
۵۱	rotary torque meter (dynamic)	روتاری ترک متر	۲-۹-۴-۲
۵۳		لود سل های چند محوره	۱۰-۴-۲
۵۵	<b>فصل سوم کالیبراسیون</b>		
۵۹		کالیبراسیون استاتیکی	۱-۳
۶۰		کالیبراسیون دینامیکی	۲-۳
۶۱		کالیبراسیون دینامیکی با روش مقایسه با میدل مرجع	۱-۲-۳
۶۳		کالیبراسیون دینامیکی با روش اندازه گیری جابجایی	۲-۲-۳
۶۴		تعریف متداول کالیبراسیون	۳-۳
۶۸	Digital calibration	کالیبراسیون دیجیتالی	۱-۳-۳
۶۸	SPAN constant calibration	کالیبراسیون ظرفیت ثابت	۲-۳-۳
۷۰		کالیبراسیون استرین گیج با روش مقاومت موازی	۱-۲-۳-۳
۷۱		کالیبراسیون خروجی لودسل باروش مقاومت موازی	۲-۲-۳-۳
۷۱	Actual load calibration	کالیبراسیون با بار حقیقی	۳-۳-۳
۷۴	<b>فصل چهارم مشخصات فنی لودسل</b>		
۸۳		آشنایی با مشخصات فنی لودسل ها	۱-۴
۸۷	ACCURACY CLASS	کلاس دقت لودسل	۱-۴
۹۰	Accuracy of Measurement	محاسبه دقت	۱-۱-۴
۹۳	Minimum verification interval ( $v_{min}$ )	کمترین محدوده تایید شده	۲-۴
۹۴		ملزومات سامانه های اندازه گیری بار تایید شده	۳-۴
۹۵		بیشترین تعداد محدوده تایید شده	۴-۴
۹۵		تغییر شکل (خمش) لودسل	۵-۴

۹۶	۶-۴	مشخصات مبدل های نیرو بر اساس پیزوالکتریک و استرین گیج
۹۹	۷-۴	کیفیت و استانداردهای خاص لودسل
۱۰۲	۸-۴	جنس المان فنری
۱۰۲	۹-۴	حفاظت محیطی
۱۰۷		<b>فصل پنجم انتخاب و به کارگیری لودسل</b>
۱۱۰	۱-۵	تاثیر بار های جانبی و غیر محوری بر لودسل
۱۱۴	۲-۵	انواع بارهای غیر محوری
۱۱۵	۱-۲-۵	Concentric inclined Loading بار شیب دار مرکزی
۱۱۵	۲-۲-۵	Eccentric Loading بار غیر مرکزی
۱۱۵	۳-۲-۵	Side Loading بار جانبی
۱۱۶	۴-۲-۵	Eccentric inclined Loading بار غیر مرکزی شیب دار
۱۱۶	۵-۲-۵	Twisting Loads بار پیچشی
۱۱۷	۶-۲-۵	Concentric inclined Loading محاسبه خطای
۱۱۸	۷-۲-۵	Eccentric Loading محاسبه خطای
۱۱۹	۳-۵	انتخاب و استفاده صحیح لودسل و سامانه نمایشگر
۱۱۹	۱-۳-۵	نکات عمومی
۱۱۹	۲-۳-۵	انتخاب بر اساس ظرفیت
۱۲۳	۳-۳-۵	تفاوت بین بار اضافی معمولی یا استاتیکی و بار اضافی شوکی
۱۲۳	۴-۳-۵	تصحیح ظرفیت لودسل
۱۲۵	۵-۳-۵	تاثیر کابل لودسل
۱۲۶	۴-۵	تاثیر حرارت بر صفر و خروجی
۱۲۸	۵-۵	مراحل انتخاب ترک متر
۱۳۱	۱-۵-۵	بیشترین ترک قابل انتظار برای ترک متر
۱۳۲	۲-۵-۵	اتصالات مکانیکی در ترک متر ها
۱۳۵	۳-۵-۵	ملاحظات محیطی در ترک متر ها
۱۳۶	۴-۵-۵	محدودیت ترک چرخشی
۱۳۸		<b>پیوست اصطلاحات</b>

### پیش گفتار :

در دهه های قبل نیرو سنج های حلقوی (Proving Ring) از دقیق ترین ابزار اندازه گیری بار و به عنوان سامانه کالیبراسیون گیج های رقمی<sup>۱</sup> اندازه گیری نیرو شناخته می شدند. این شامل یک حلقه فولادی می باشد و میکرومتر نصب شده بر روی آن از طریق مفره های متصل شده به بالا و پایین ، خمش عمودی را در هنگام اعمال بار اندازه گیری می کند.



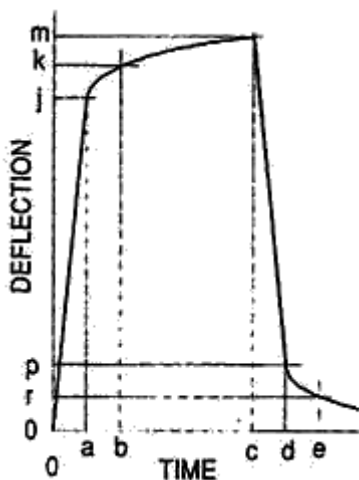
شکل ۱- Proving Ring

البته نیروسنج های حلقوی مشخصات نا مطلوب زیر را نیز همراه داشتند:

#### خزش (Creep) و بازیافت خزش (Creep recovery)

تمام مواد جامد یک افزایش طول کوچک لحظه ای در صورت اعمال نیروی کششی از خود نشان می دهند و برای نیروی فشاری ماده کمی کوتاه تر می شود. اما اگر همان نیرو را نگه داریم و به اندازه گیری طول ادامه دهیم خواهیم دید که طول آرام به تغییر اندازه ادامه می دهد. اگر تغییر طول را نسبت به زمان رسم کنیم شکل زیر را خواهیم داشت که خزش و همچنین بازیافت خزش که هنگام برداشتن نیرو می باشد را نشان می دهد.

<sup>1</sup> dial gages



شکل ۲ - خزش بر حسب زمان

ابزاری با حلقه فولادی مانند نیروسنج حلقوی دارای مقدار خزش حدود 0.25% نیروی اعمالی در فاصله بیست دقیقه اول بعد از اعمال نیرو می باشد. در منحنی نشان داده شده، نیرو از زمان صفر اعمال شده و در فاصله زمانی  $a$  تغییر طول خیلی زیاد می باشد. پس از زمان  $b$  تغییر طول به آهستگی صورت می گیرد اگر برای زمان طولانی حتی هفته ها به اعمال نیرو ادامه دهیم همچنان تغییر طول خواهیم داشت ولی مقدار خزش بسیار کم می شود البته برای نشان دادن فرایند تغییر طول در مقیاس شکل اغراق شده است. در ادامه با قطع نیروی اعمالی شبیه منحنی خزش ولی به صورت معکوس منحنی باز یافت خزش دیده می شود.

#### اندازه گیری خمش (Deflection Measurement)

وقتی نیرو بر یک نیروسنج حلقوی عمل کند از حالت دایره ای خارج شده و کمی تخم مرغی شکل می شود. تعیین خمش نیروسنج حلقوی بستگی به تفاضل دو عدد بزرگ، قطر داخلی نیروسنج حلقوی و



طول تجهیزات اندازه گیری میکرو متر دارد. از آنجا که این تفاضل خیلی کوچک است کمترین خطای اندازه گیری باعث ایجاد درصدی از خطا در عدد نشان دهنده خمش می شود. هر سامانه اندازه گیری خمش مکانیکی دارای خطایی است که کنترل و یا غلبه بر آن دشوار است. عمده ترین اشکال قابل مشاهده، دقت می باشد که به وسیله حساسیت اتصالات و ظرفیت نمایشگر میکرومتر محدود می شود. خطای تکرار ناپذیری<sup>۱</sup> اندازه گیری مجدد نیرو در یک جهت، اساسا بستگی به بزرگی نیروی اعمالی به شیارهای پیچ میکرومتر دارد درحالیکه هیستریزیس<sup>۲</sup> اندازه گیری نیرو در یک مقدار ولی از جهت های معکوس، بستگی به بارمانده، اصطکاک و لقی شیارها دارد.

#### تاثیر دما (Temperature Effects)

تغییر در درجه حرارت در حلقه فولادی و همچنین در تجهیزات میکرو متر باعث انبساط و انقباض و در نتیجه خطا در قرائت مقدار انحنا می گردد. برای تصحیح در درجه اول لازم است تمام قطعات از یک ماده انتخاب شوند تا اثر حرارتی همه یکسان و یکدیگر را خنثی کنند. نیروسنج حلقوی بسیار مستعد پذیرش اختلاف دما در مکانیزم خود می باشد و یک تابش مختصر در یک طرف حلقه و یا یک جریان هوای گرم از یک تنور ایجاد اختلاف دما می کند. همچنین ضریب ثابت مواد حلقه با دما تغییر می کند و باعث تغییر کالیبراسیون می شود.

#### پاسخ به نیروهای غیر متداول (Response to Extraneous Force)

ساختمان نیروسنج حلقوی به گونه ای نیست که به خودی خود نیروهای غیر متعارف مانند بار جانبی، ترک و ممان را حذف کند. هر باری غیر از نیروی خالص از طریق محور متعارف می تواند باعث خروجی نا درست گردد.

<sup>1</sup> Nonrepeatability

<sup>2</sup> hysteresis

با این اوصاف و به دلیل امکان خطاهای ایجاد شده به وسیله creep ، دما و نیروهای غیر متعارف ، روشن است که برای صحت اندازه گیری با نیروسنج حلقوی نیاز به افراد باتجربه می باشد. برای رفع مشکلات مذکور المان اندازه گیری خمش لازم است به صورتی تغییر یابد تا مشخصات یک لودسل مطلوب را داشته باشد. المان باید کوچکتر و با تغییرات حرارت سازگار شود و لازم است جمع و جور شود و برای استفاده ساده باشد. دقت نیز باید بهتر شود. این نیاز ها موجب شده است که از فن آوری های نوین در ابزار های اندازه گیری نیرو به کار برده شود و لودسل های جدید الکترونیکی با استفاده از خواص فیزیکی حساسه های مختلف برای کاربرد های متفاوت طراحی و ساخته شوند که متداول ترین آنها لودسل های بر پایه استرین گیج می باشد و در قسمت های بعدی تا حد ممکن این حساسه پر کاربرد شرح داده خواهد شد.

## فصل اول - ساختمان و عملکرد لودسل

**مقدمه :**

لودسل حساسه و یا مبدل نیرو به سیگنال الکتریکی است. لود سل ها <sup>۱</sup> پر کاربرد ترین مبدل های اندازه گیری نیرو و بار ( وزن ) می باشند. اینها در ترازوهای دیجیتالی ، باسکول ها ، سامانه های کنترلی ، صنعت ، آزمایش های تحقیقاتی ، حمل و نقل و غیره به کار گرفته می شوند. از لودسل ها معمولاً برای اندازه گیری نیروهای ثابت یا با تغییرات بسیار کم استفاده می شود و نیرو های متغیر را با دینامومتر <sup>۲</sup> اندازه گیری می کنند. در واقع دینامومتر ها لودسل هایی هستند که توانایی اندازه گیری نیروهای متغیر را دارند. در عمل مرز مشخصی بین لودسل و دینامومتر وجود ندارد و برای استفاده بهینه از لودسل باید به مشخصات فنی آن مراجعه کرد و البته هر لودسل یا دینامومتر قابلیت اندازه گیری نیروهای متغیر تا فرکانس معین را دارد که به طراحی و فن آوری ساخت آن بستگی دارد. لودسل های مختلف می توانند رنج وسیعی از نیرو ، چند نیوتن تا چند ده میلیون نیوتن را اندازه گیری کنند و از دقت خوب تا ۰/۰۱ درصد ظرفیت نهایی برخوردار می باشند. اینها با داشتن استحکام کافی برای اندازه گیری تمام محدوده ظرفیت خود تنها تغییر شکل و جابجایی ناچیزی پیدا می کنند که ویژگی بسیار با اهمیتی است. تکنولوژی پیشرفته ، بهبود تکنیک های ساخت و مواد باعث افزایش دقت و ارتقاء طراحی اتصال استرین گیج <sup>۳</sup> لود سل ها از حدود ۳۰ سال پیش تاکنون شده است. اکنون میکروپروسور ها در دسترس می باشند و بنابراین اخیراً یک ارتقاء طراحی مضاعف در این تجهیزات دیده شده است.

لودسل مبدلی است که نیرو را به سیگنال الکتریکی تبدیل می کند و این تبدیل به روش های مختلف انجام می شود که هر کدام مشخصه های فنی متفاوتی برای کاربرد های مختلف به لودسل می دهد. توجه شود که این روش ها انواع لود سل نیستند بلکه فناوری های مختلف در تولید آن می باشند. گرچه بعضی

---

<sup>1</sup> load cell

<sup>2</sup> Dynamometer

<sup>3</sup> Strain gauge

از لود سل ها با فن آوری های خاص بسیار کم در بازار تجاری دیده می شوند ولیکن آشنایی مختصر با انواع این فنآوری ها برای انتخاب بهینه لودسل مورد نیاز ، مفید می باشد و عمده آنها عبارتند از :

- Strain gauge load cells
- piezoelectric load cells
- capacitive load cells
- hydraulic (or hydrostatic) load cell
- Pneumatic load cells
- vibrating wire load cells

استرین گیج لودسل ها بیشترین نوع متداول لودسل می باشند و تقریباً تمام لودسل های تجاری که در بازار دیده می شوند با این فنآوری در مدل ها و شکل های مختلف ساخته شده اند. قلب این لودسل قطعه بسیار حساس bonded-foil strain gauge است که مقاومت الکتریکی آن مستقیماً با تغییر طول آن عوض می شود . با استفاده از یک روش مکانیکی مناسب نیروی وارد شده به لودسل موجب تغییر شکل محل اتصال استرین گیج درون آن می شود و استرین گیج متصل شده به دلیل تغییر شکل و تغییر مقاومت کلی سیم هایش ، تغییر کرنش<sup>۱</sup> را به صورت سیگنال الکتریکی ، اندازه گیری می کند. این گروه لودسل ها معمولاً دارای چهار استرین گیج به صورت پل و تستون<sup>۲</sup> می باشند و البته با یک استرین گیج<sup>۳</sup> یا دو استرین گیج<sup>۴</sup> نیز ساخته می شوند و گفته می شود در تولید بعضی از لود سل های بزرگ از ۱۶ یا ۳۲ استرین گیج نیز استفاده شده است . سیگنال الکتریکی خروجی لودسل حدود چند میلی ولت است و قبل از استفاده باید به وسیله تقویت کننده تجهیزاتی<sup>۵</sup> تقویت شود . استرین گیج لودسل ها بیشترین لود سل های

<sup>1</sup> strain

<sup>2</sup> Wheatstone bridge

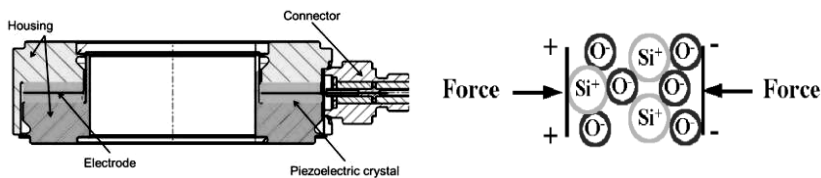
<sup>3</sup> quarter bridge

<sup>4</sup> half bridge

<sup>5</sup> instrumentation amplifier

موجود می باشند و در بسیاری از مواقع با قیمت مناسب از دقت و کارایی خوبی برخوردار می باشند و در اغلب سامانه های وزن کشی و نیروسنجی تجاری یا تحقیقاتی به کار گرفته می شوند از این رو در ادامه این نوع لودسل به طور مفصل تشریح خواهند شد .

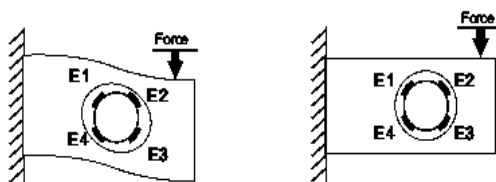
– piezoelectric load cells که برای اندازه گیری نیروی های دینامیکی مفید هستند و نیروی وارد از طریق بدنه لودسل به قطعه پیزوالکتریک ، باعث تغییر سیگنال الکتریکی در خروجی آن می شود. وقتی قطعه پیزوالکتریک به وسیله نیروی خارجی فشرده می شود شارژهای الکتریکی جابجا شده و بر روی صفحه های متضاد انباشته می شوند . در شکل ( ۱-۱ ) پیزو الکتریک کریستال طبیعی کوارتز نشان داده شده که از اتم های سیلیکون و اکسیژن تشکیل شده است . ساختمان محکم ، اینها را برای کاربرد در فرکانس های زیاد مناسب می کند ولیکن نسبت به تغییر درجه حرارت حساس می باشند و در اندازه گیری نیروهای استاتیکی کاربرد ندارند . اندازه خروجی زیاد نسبت به تنش کم ، سنسور های پیزوالکتریک را به مبدل های اصطلاحاً solid-state devices تبدیل کرده که انعطاف بسیار کم دارند و در محدوده وسیعی خطی عمل می کنند و اغلب کاربرد تحقیقاتی و آزمایشگاهی دارند.



شکل ۱-۱ سنسور پیزو الکتریک

در شکل (۱-۱) سنسور پیزوالکتریک به کار گرفته شده در یک لودسل از نوع کف<sup>۱</sup>، دو دیسک کریستالی را به یک ورقه الکتروود در وسط می فشارند و با اعمال نیرو، در خروجی تغییر الکتریکی قابل اندازه گیری به وسیله آمپلی فایر شارژ(بار)، متناسب با جابجایی تولید می شود.

capacitive load cells - که در آنها خاصیت خازنی یک خازن با اعمال نیرو بر روی دوصفه نزدیک به هم خازن تغییر می کند. اساس کار لودسل های خازنی تغییر مقدار خازن به دلیل تغییر فاصله هوایی (گپ) با اعمال نیرو به لودسل می باشد. تکنولوژی خازنی استحکام خیلی بیشتری نسبت به استرین گیج به لودسل می دهد و می توانند دارای فرکانس کارکرد بالا باشند ولی برای اندازه گیری مقدار خازن و تغییرات آن به مدار الکتریکی خاص نیاز است از این جهت معمولاً با مدار الکتریکی مشخص و کالیبره شده با آن عرضه می شوند و به کارگیری آنها به صورت یک مبدل جدا مانند لودسل های استرین گیجی دشوار است. در صنعت و مکان های سخت و نیاز به دقت بالا و اندازه گیری سریع نیرو از این لودسل ها استفاده می شود و نسبت به لودسل های استرین گیجی گران قیمت تر می باشند.

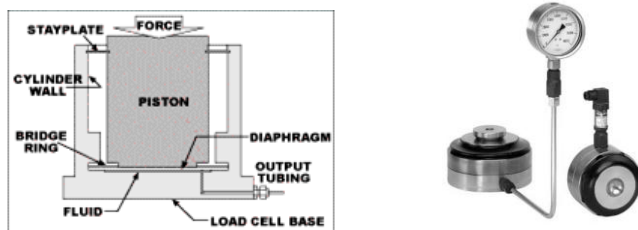


شکل ۱-۲ اساس ساختمان لودسل خازنی

یکی از روش های ایجاد خازن در لودسل ها استفاده از یک سنسور دقیق سرامیکی بدون تماس است که تغییر شکل المان لودسل باعث تغییر مقدار خازن مربوطه می شود. این فناوری لودسل را در برابر اضافه بار و نیروهای غیر محوری به خوبی مقاوم می سازد.

<sup>1</sup> Bottom

– hydraulic (or hydrostatic) load cell مبدل های مکانیکی می باشند که اکثرا خروجی الکتریکی ندارند و وزن و یا نیرو بر روی گیج عقربه ای نمایش داده می شود و نوع hydraulic electric آنها خروجی الکتریکی نیز دارد. چون نوعا نیاز به تغذیه الکتریکی ندارند برای موارد بیرونی مناسبند و در این فضاها مشکلات لود سل های استرین گیجی را ندارند و بسیار پایدار هستند ولیکن سریع نیستند. در ساخت اینها یک پیستون روی یک دیافراگم نازک الاستیکی قرار می گیرد و لودسل کاملا از روغن پر می شود و وقتی بار به پیستون وارد می شود جابجایی دیافراگم باعث افزایش فشار روغن شده و در نتیجه فشار روغن درون لوله مرتبط به لودسل افزایش پیدا می کند. در عمل پیستون مستقیما به لودسل در تماس نیست و یک محدود کننده مکانیکی از جابجایی بیش از حد دیافراگم جلوگیری می کند. کاربرد اینها در مصارف خاص و می باشد و می توانند ظرفیت های بالایی داشته باشند.

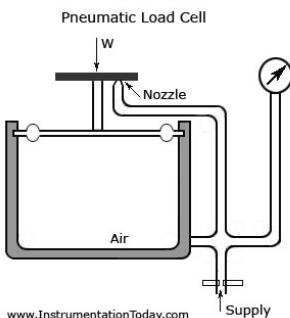


شکل ۱-۳ لودسل هیدرولیکی

– Pneumatic load cells یک مبدل مکانیکی است که دقیق و سریع است و برای مکان های تمیز مناسب می باشد ولیکن لازم است مرتب با هوای خشک تمیز شود. برای اندازه گیری نیرو فشار هوا به یک سر دیافراگم وارد شده و از نازل کف لودسل خارج می شود و لود سل به گونه ای طراحی شده که به طور اتوماتیک بالانس فشار را همواره تنظیم می کند و تغییر شکل دیافراگم به دلیل اعمال بار بر روی



جریان هوای نازل و در نتیجه بر روی فشار درون تاثیر می گذارد . یک نمایشگر فشار به لود سل وصل است که فشار داخل را اندازه گیری می کند و به این صورت تغییر نیرو اندازه گیری می شود .



شکل ۱-۴ لودسل پنیوماتیکی

همواره تکنیک های نوین برای ساخت مبدل ها ابداع و در حال گسترشند و تحقیقات تعدادی از آنها به خوبی تکمیل و در تولیدات تجاری نیز استفاده شده اند که بعضی عبارتند از :

gyroscopic force transducers,  
 fiber optics,  
 microwave cavity resonator,  
 thin-film transducing techniques



روش جدید thin-film transducing techniques مستند و اطلاع رسانی شده است و مناسب

vacuum-deposited thin-film رنج پایین نیرو می باشد . مبدل های فشار که بر اساس

gauges تولید شده اند به صورت تجاری در دسترس می باشند و انتظار می رود در لود سل ها نیز به

کار گرفته شوند . مزیت های این تکنیک عبارتند از :

- گیج بسیار کوچک و مقاومت بالای پل .

- اتصال شایسته بین المان و گیج

- محدوده حرارتی وسیع ( $-200^{\circ}\text{C}$  to  $+200^{\circ}\text{C}$ ) .

- پایداری بسیار عالی پل

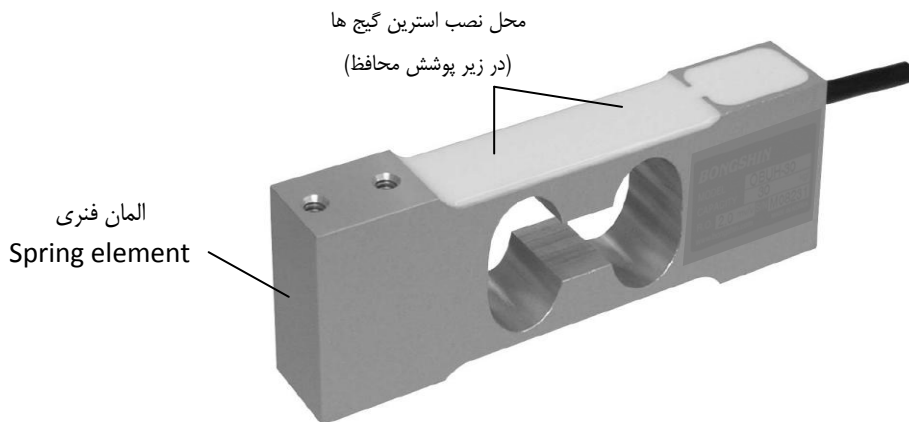
- قابلیت برای تولید انبوه

لود سل های تجاری بسیار متنوع می باشند و در ظرفیت های متفاوت ، اشکال گوناگون و با فن آوری های مختلف عرضه می شوند . تعدد بسیار زیاد محصولات و بعضا با قیمت های کاملا متفاوت ( برای تجهیزات با مشخصات فنی مشابه ) انتخاب درست را برای مصرف کننده دشوار می کند . آنچه که قطعی است برای داشتن یک اندازه گیری درست و دقیق لازم است لودسل را کاملا مناسب کاربرد تعیین شده انتخاب و تمهیدات لازم در نصب آن را نیز به خوبی رعایت کرد . برای این منظور بسیار موثر است که ضمن آشنایی با فن آوری ساخت و مشخصات فنی لودسل ها ، دسته بندی نسبتا روشنی از انواع آنها داشته باشیم .

## ۱-۱ ساختمان لود سل های بر پایه استرین گیج

در مقدمه فنآوری ساخت معروف ترین لودسل ها به صورت مختصر بیان شد از آنجا که عمومی ترین و متداول ترین لود سل ها بر اساس استرین گیج طراحی و تولید می شوند و پر مصرف ترین نیز می باشند در این قسمت ساختمان فنی آنها بیشتر توضیح داده می شود و البته قسمت هایی از این مطالب در مورد فنآوری های دیگر نیز صادق است.

استرین گیج ها قلب لود سل های مدرن می باشند و لودسل های بر پایه استرین گیج اساساً از دو قسمت جسم فنی<sup>۱</sup> (المان فنی ویا المان حساسه و یا المان) و کرنش سنج یا استرین گیج<sup>۲</sup> تشکیل شده اند.

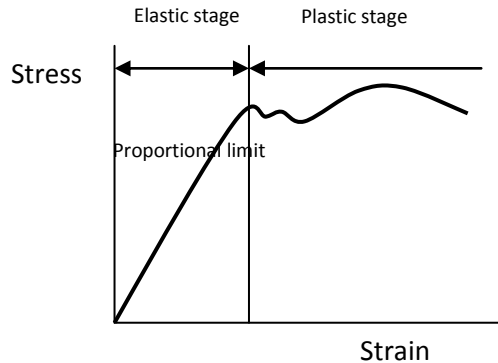


شکل ۱-۵ لودسل از نوع single point

<sup>1</sup> Spring Material

<sup>2</sup> strain gage

جسم فنری همان سازه و بدنه می باشد که بار یا نیرو به آن اعمال می شود و متناسب با بار اعمال شده در آن ایجاد تنش شده و متعاقبا کرنش قسمتی که به آن استرین گیج وصل شده تغییر می کند و در نتیجه مقاومت الکتریکی استرین گیج با تغییر کرنش عوض می شود. از آنجا که لود سل از نصب استرین گیج به المان فنری درست می شود برای داشتن کرنش موثر لازم است استرین گیج به پر تنش ترین قسمت المان نصب شود. وقتی که تنش ایجاد شده در جسم به وسیله نیرویی زیر حد معین باشد کرنش متناسب با تنش تغییر می کند و لذا مقاومت استرین گیج با تغییر طول به صورت خطی تغییر می کند (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶ منحنی تغییر کرنش با تنش

### ۱-۱-۱ المان حساسه یا المان فنری sensing or spring element :

سازه اصلی لود سل است که برای کاربرد های مختلف و مشخصات فنی متفاوت به شکل های گوناگون طراحی و ساخته می شود. المان خمشی و یا به طور ساده المان و یا فنر، جسم انعطاف پذیر و یا قسمتی انعطاف پذیر از جسم است که معمولاً برای تشخیص کرنش در اثر اعمال نیرو بر جسم، استرین گیج به

آن قسمت متصل می شود و اغلب المان گفته می شود. وقتی بار خارجی به لود سل اعمال می شود بین مولکولهای تشکیل دهنده جسم ، نیروی مولکولی ایجاد شده که موجب تشکیل یک نیروی درونی برای مقابله با تغییر شکل می شود. وقتی که نیروی خارجی با نیروی درونی ایجاد شده بالانس باشد تغییر شکل جسم متوقف می شود . در این هنگام نیروی درونی بر واحد سطح که بر روی مقطع جسم ایجاد شده تنش<sup>۱</sup> نامیده می شود و تغییر در اندازه بر واحد کرنش<sup>۲</sup> گفته می شود . المان فنی متناسب با بار اعمالی ایجاد کرنش می کند .

برای ارتقاء کارایی لود سل مشخصات فنی المان فنی بسیار مهم هستند و طوری طراحی شده است که متناسب با بار اعمال شده در یک ناحیه معین که محل نصب استرین گیج ها می باشد کرنش قابل ملاحظه ای ایجاد شود. المان لودسل معمولاً از آلیاژ فولاد با مقاومت بالا (فلز نیکل برای محافظت محیطی) ، فولاد ضد زنگ سخت شده ، آلیاژ آلومینیوم<sup>۳</sup> و یا آلیاژ بریلیوم<sup>۴</sup> مس ساخته می شود. برای ساخت المان Nickel-chrome-molybdenum steel, stainless steel, and aluminum مشخصات مکانیکی لازم را دارند .

انواع المان های لودسل ها و مشخصات فنی آنها در قسمت های معرفی لودسل ها نشان داده خواهد شد.

### ۲-۱-۱ استرین گیج یا کرنش سنج: Strain Gage

از خاصیت تغییر مقاومت الکتریکی فلز با افزایش و یا کاهش طول آن استفاده می کند و لذا با تغییر کرنش جسم و تغییر طول استرین گیج متصل به آن ، مقاومت استرین گیج تغییر می کند . اساساً مقاومت طولی سیم با کشیدن آن زیاد می شود. مانند شکل ۱-۷ وقتی سیم کشیده می شود طول آن زیاد شده و قطر آن کم می شود تا اینکه حجمش ثابت بماند و با کم شدن قطر سطح مقطع نیز کم می

<sup>1</sup> stress

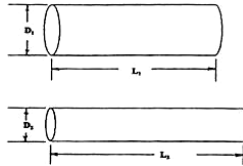
<sup>2</sup> strain

<sup>3</sup> heat treated aluminum alloys

<sup>4</sup> beryllium

شود. لذا بر اساس رابطه  $R = \rho \frac{L}{S}$  وقتی سیم کشیده می شود مقاومت الکتریکی بر واحد طول افزایش

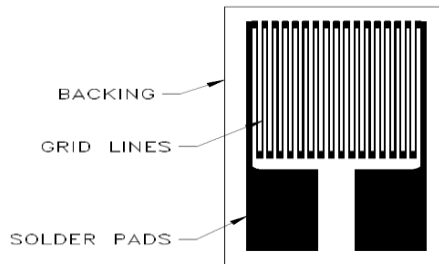
می یابد.



شکل ۷-۱ کاهش قطر سیم در اثر کشیدن آن

اگر به طریقی بتوانیم یک قطعه از سیم نازک را بر روی یک جسم انعطاف پذیر بچسبانیم، از این تغییر در مقاومت، در اندازه گیری تغییر در طول قسمت خمشی حساسه اندازه گیری بار (لودسل<sup>۱</sup>)، وقتی نیرویی به آن وارد می شود می توان استفاده کرد. کرنش سنج های تجاری مقاومت الکتریکی ۳۰ تا ۳۰۰۰۰ اهم دارند و مقاومت های ۱۲۰ و ۳۵۰ و ۱۰۰۰ عمومی ترین آنها می باشند.

طراحی عملی برای یک مقاومت حساس به خمش در شکل (۸-۱) چندین برابر بزرگتر نشان داده شده است. خطوط عمودی شبکه سیم های مقاومتی هستند و در راستای بیشترین خطوط کرنش در المان انعطاف پذیر تحت خمش قرار می گیرند.



شکل ۸-۱ استرین گیج از نوع metal foil

<sup>1</sup> load cell

تصویر شبکه مقاومتی به صورت نوری بر روی لایه نازک Myler ایجاد می شود که سپس می توان آن را بر روی المان خمشی هر قسمت و بر هر امتدادی که نسبت به اعمال نیرو بر لودسل حساس است نصب کرد. هریک از خطوط شبکه با یک انتهای نسبتاً ضخیم با هم متصل شده اند تا اینکه اگر تغییر طول ناخواسته در ۹۰ درجه نسبت به راستای اصلی ایجاد شود، شبکه حساسیت زیادی به آن نشان ندهد و تغییر مقاومت چندانی نخواهیم داشت. در آخر دو سطح پهن برای اتصال سیم در نظر گرفته شده است که سیگنال مقاومتی را به تجهیزات اندازه گیری خارجی انتقال می دهد.

محدودیت های فنی استرین گیج ها:

### Thermal Tracking

از آنجا که استرین گیج ها بر روی المان به وسیله لایه نازکی از اپاکسی<sup>۱</sup> نصب می شوند، استرین گیج گرمای المان را دنبال می کند و با سرعت به هر تغییراتی پاسخ می دهد.

### Temperature Compensation جبران سازی حرارتی

می توان آلیاژ گیج را طوری ایجاد کرد که دارای جبران سازی حرارتی برای تغییر ضریب قابلیت ارتجاعی<sup>۲</sup> المان با حرارت باشد. لذا ثابت کالیبراسیون لودسل بر روی محدوده جبران سازی حرارتی ثابت تر خواهد بود.

### Creep Compensation جبران سازی خزش

همچنین امکان این وجود دارد که خزش<sup>۳</sup> استرین گیج با خزش ماده المان جور شود و لذا حداقل به طور جزئی خزش حذف می شود. در بعضی از تولیدات مقدار خزش به  $\pm 0.025\%$  نیرو در ۲۰ دقیقه می

<sup>1</sup> epoxy

<sup>2</sup> elasticity (spring constant)

<sup>۳</sup> Creep در بخش های بعدی تعریف شده است

باشد که ده برابر بهتر از حالتی است که جبران سازی نشده باشد و بعضا تا مقدار  $\pm 0.015\%$  نیز اصلاح شده است.

مسئله مورد توجه در جبران سازی خزش این است که در تولید انبوه ، جبران سازی خزش هر لودسل می تواند مثبت ، منفی و یا صفر باشد . به این دلیل که خزش گیج کمی کمتر ، کمی بیشتر و یا درست مساوی خزش المان ، در محدوده عملکرد لودسل باشد.

#### پاسخ فرکانسی Frequency Response

از آنجا که وزن استرین گیج عملا صفر می باشد ، پاسخ فرکانسی لودسل به پاسخ المان ، وزن مقره های استفاده کننده و پهنای باند تقویت کننده خارجی محدود می شود.

#### تکرار ناپذیری Non-Repeatability

اساسا استرین گیج عنصری تکرار پذیر است به دلیل اتصال به المان کل مجموعه عنصری یک پارچه می شود. علت اصلی تکرار ناپذیری لودسل رفتار مکانیکی مقره های متصل به آن می باشد.

#### دقت Resolution

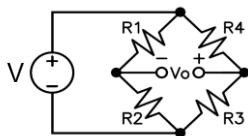
مهمترین مزیت استرین گیج نامحدود بودن دقت آن در اندازه گیری کرنش می باشد. به این معنی که هر چقدر خمش کوچک باشد می توان آن را به صورت تغییر در مقاومت استرین گیج اندازه گیری کرد و تنها به مشخصات تجهیزات الکترونیکی که برای آن استفاده می شود محدود می گردد. در حقیقت به دلیل دقت بالا خروجی لودسل به صورت متغیر و یا نادرست به نظر می رسد مانند زمانیکه کسی همراه یک سامانه متحرک آزمایش به راه بیافتد و در اثر نیروی جریان هوا مقدار قرائت شده تغییر می کند . دقت زیاد بعضی مواقع اشتباه است تا اینکه ناکافی ، خصوصا در اندازه گیری بارهایی که تغییرات زیاد و دگرگونی دارند مانند سامانه های هیدرولیکی .



لودسل ها تنها تجهیزاتی نیستند که از استرین گیج برای تشخیص کرنش و اندازه گیری نیروی وارده بر آنه استفاده می کنند. ده ها سال است که از استرین گیج برای اندازه گیری تنش در قطعات مکانیکی هواپیما و دیگر سازه های فعال و غیر فعال برای بررسی استرس استفاده می شود.

### ۱-۱-۳ استرین گیج در مدار الکتریکی پل وتستون

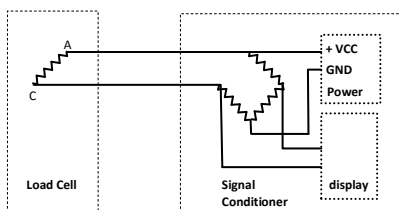
بعضی مواقع یک گیج تنها اطلاعات مورد نیاز را می دهد در حالیکه برای تست های بزرگ شاید از صد ها و یا هزاران گیج استفاده شود. برای تشخیص تغییر اندازه مقاومت الکتریکی استرین گیج معمولا از یک مدار الکتریکی معروف به پل وتستون<sup>۱</sup> (شکل ۷-۱) استفاده می شود که در مبحث اندازه گیری کاربرد فراوان دارد. پل وتستون از چهار شاخه تشکیل شده است که به صورت چهار ضلعی به هم وصل شده اند و دو گوشه آن به منبع تغذیه الکتریکی وصل می شود درحالیکه خروجی از دو گوشه دیگر گرفته می شود. المان ویا المان های الکتریکی که لازم است تغییرات آنها اندازه گیری شود در چهار بازوی پل قرار می گیرند و با تغییر مقدار فیزیکی آنها مقدار خروجی تغییر می کند که به وسیله سامانه های مختلف از جمله تقویت کننده های عملیاتی قابل اندازه گیری است.



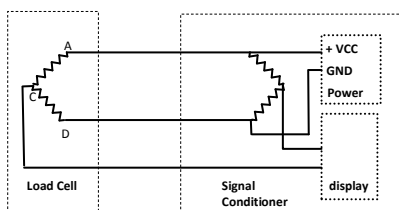
شکل ۷-۱ مدار الکتریکی چهار شاخه مقاومتی در پل وتستون

<sup>1</sup> Wheatstone Bridge

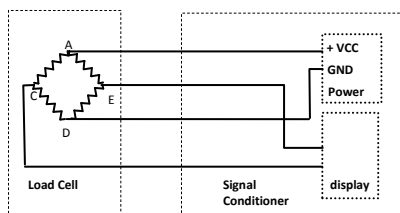
استرین گیج می تواند در مدار پل و تستون به صورت یک چهارم پل ، نیم پل و پل کامل قرار گیرد. حالت های مختلف قرار گیری استرین گیج ها در مدار الکتریکی پل و اتصال لودسل مربوطه به نمایشگر در شکل ۸-۱ نشان داده شده است.



الف) یک چهارم پل Quarter bridge connection



ب) یک دوم پل Half bridge connection



ج) پل کامل Full bridge connection

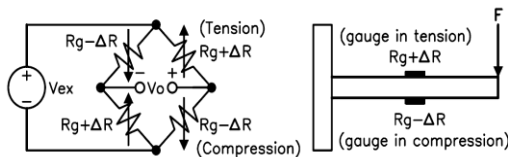
شکل ۸-۱ حالت های مختلف اتصال استرین گیج در پل و تستون به مدار نشانگر

برای اندازه گیری تغییرات مقاومت الکتریکی استفاده از مدار الکتریکی یک چهارم پل و تستون نشان داده در شکل ۸-۱ الف کم هزینه می باشد. در این حالت تنها بازوی فعال پل ، یک استرین گیج است ( قسمت AC ) و دیگر بازوها برای تشکیل یک پل کامل از مقاومت ساده می باشند. پس تنها یک استرین گیج به

لودسل وصل شده است و برای تکمیل مدار پل ، بقیه مدار پل در قسمت سامانه نمایشگر و از مقاومت های ثابت تشکیل می شود. در موارد خاص که جبران سازی حرارتی و جبران سازی ممان ضروری نمی باشد امکان استفاده از یک چهارم پل حتی در لودسل نیز وجود دارد مانند ترازوهای ارزان حمام. اتصالات نیم پل معمولا در لودسل های ارزان که برای کاربرد های خاص طراحی می شوند استفاده می شوند که مصرف کننده میتواند طراحی معین برای استفاده از یک لودسل با مشخصات خاص انجام دهد. پل کامل بازوهای فعال کافی جهت ایجاد جبران سازی آسان ضریب حرارت برای هر دو مورد صفر و span (ظرفیت نهایی) و همچنین امکان تنظیم حساسیت ممان را دارد.

دیگر مشخصات آنها یکسان و خروجی پل کامل دو برابر نیم پل و چهار برابر یک چهارم پل است. با نصب استرین گیج ها معمولا به صورت چهارتایی یا ضریبی از چهار که بازوهای یک پل وتستن می باشند به قسمتی از المان که به دقت ماشین کاری شده کرنش اعمال شده به صورت تغییر در مقاومت آنها ظاهر می شود و با کمک پل وتستن با تغییر کم مقاومت سیگنال الکتریکی مناسب ایجاد می شود . اضافه بر این برای جبران سازی و کالیبره سیگنال خروجی مقاومت یا سیم های گرمایی به پل اضافه می شود.

شکل ۹-۱ الف اتصال دو زوج استرین گیج را به یک المان تیغه ای نشان می دهد. با اعمال نیرو به تیغه با توجه به رفتار مکانیکی ، دوعدد از استرین گیج ها در کشش و دوعدد در فشار قرار می گیرند بنابراین مقدار تغییر مقاومت به صورت  $\pm \Delta R$  ایجاد می شود که مدار معادل آن در شکل ۹-۱ ب دیده می شود.



(ب)

شکل ۹-۱ الف)

رابطه بین ولتاژ تحریک پل  $V_{ex}$  و ولتاژ خروجی  $V_o$  به صورت زیر می باشد که در آن مقاومت های  $R_1$  تا  $R_4$  استرین گیج های متصل شده به لودسل می باشند. در صورتی که مشخصات چهار استرین گیج به کار گرفته شده مشابه باشد در حالتی که نیرویی به لودسل وارد نمی شود مقدار چهار مقاومت مساوی  $R_g$  می باشد و در نتیجه پل بالانس بوده و ولتاژ خروجی صفر می شود.

$$V_o = V_{R1} - V_{R4} = [R_1/(R_1+R_2) - R_4/(R_3+R_4)] \times V_{ex}$$

$$\text{If } R_g = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \rightarrow V_o = 0$$

وقتی که لودسل به دلیل اعمال نیرو تغییر شکل می دهد مقدار مقاومت استرین گیج ها متناسب با نقطه اتصالشان به اندازه  $\Delta R$  کم و یا زیاد می شود و چنانچه تغییرات در کلیه استرین گیج ها یکسان باشد با توجه به موقعیت درست استرین گیج ها در بازوهای مدار پل خواهیم داشت :

$$V_o = [(R_g - \Delta R) / ((R_g - \Delta R) + (R_g + \Delta R)) - (R_g + \Delta R) / ((R_g - \Delta R) + (R_g + \Delta R))] \times V_{ex}$$

$$V_o = - (\Delta R / R) \times V_{ex} \quad \text{علامت منفی متناسب با جهت اعمال نیرو می باشد}$$

رابطه تغییر کرنش و تغییر مقاومت با گیج فکتور **Gage factor** مشخص می شود و برای یک استرین گیج خاص عددی معین است و برای استرین گیج های فلزی تقریباً بین ۱/۵ تا ۲/۵ و معمولاً ۲ می باشد.

$$\text{Gage Factor} = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}, \quad \text{Strain} \equiv \epsilon = \Delta L / L$$

$$\text{Gage Factor} = \frac{\Delta R / R}{\text{Strain}} = \frac{V_o / V_{ex}}{\epsilon}$$

$$\text{Strain} = V_o / \text{Gage Factor} \times V_{ex} \quad \text{به این ترتیب خواهیم داشت :}$$

بنابراین با اندازه گیری مقدار خروجی مقدار کرنش وارد شده بر جسم در محل نصب استرین گیج مشخص می شود که این خود به نوعی متناسب با نیروی اعمال شده به جسم می باشد. معمولاً از این رابطه در به کارگیری لودسل ها استفاده نمی شود و کالیبراسیون لود سل ها در قسمت های بعدی ذکر خواهد شد.

استرین گیج ها با روش خاص محکم به المان فنری نصب می شوند و برای اتصال می توان از چسب های زیر استفاده کرد :

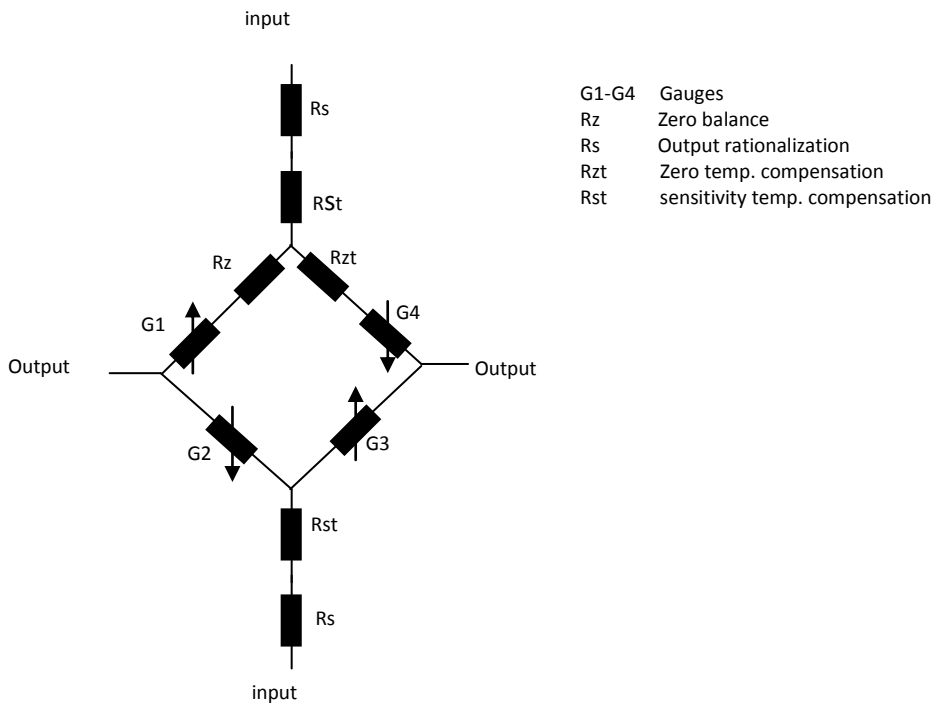
1. Solvent-vaporization adhesives (such as K-4): These harden at room temperature, and paper gauges, porous base gauges, etc. can easily be attached.
2. Contact-curing adhesives (Alpha-cyanoacrylate adhesives such as CY-10 and Eastman 910 which bonds in a few minutes)
3. Epoxy adhesives
4. Phenol adhesives (Phenol "Bakelite" adhesive requires relatively high adhesive pressure and a long curing time)

بعد از متناژ ، المان تحت یک سری دوره عملیات گسترده حرارتی و بار قرار می گیرد و به این ترتیب مجموعه پایداری صفر عالی ارائه می دهد .

در ساختمان لودسل مدار پل شامل مقاومت های جبران سازی برای مشخصه های: تعادل صفر<sup>۱</sup> ، جابجایی صفر و حساسیت با درجه حرارت می باشد که مدار کامل آن در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده است. برای عملی شدن قابلیت بالای پایداری و حداقل کردن ضخامت محل چسب ، گیج ها معمولاً روی یک قسمت المان با سطح ماشین کاری شده نصب می شوند .



<sup>1</sup>Zero balance



شکل ۱-۱۰ پل مقاومتی لود سل با مقاومت های جبران سازی

## فصل دوم انواع لودسل

با توجه به گوناگونی زیاد لودسل ها ، دسته بندی آنها کمک قابل ملاحظه ای به شناخت و در نتیجه انتخاب صحیح آنها می کند . در اسناد فنی تجاری و کاتالوگ های تولید کنندگان ، لودسل ها بر اساس ملاک های متفاوتی دسته بندی می شوند . ولیکن دو روش روشن تر از بقیه انواع لودسل را از هم متمایز می سازد:

- دسته بندی بر اساس نوع بار منتقل شده به حساسه لودسل

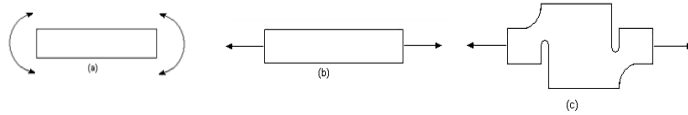
- دسته بندی بر اساس شکل المان فنری (ویا شکل ظاهری)

حتی در این دو روش نیز همیشه مرز کاملاً مجزا بین مشخصات فنی لودسل های مرتب شده در هر گروه مشاهده نمی شود و در بعضی موارد نمی توان دقیقاً جایگاه یک لودسل را در یک گروه مشخص کرد و گاهی نام گذاری یک لودسل در یک گروه سلیقه ای است و تولید کننده های مختلف عناوین مختلف به یک نوع لود سل مشخص می دهند.

## ۲-۱ انواع لود سل از لحاظ نوع بار منتقل شده به حساسه

کاربردی ترین دسته بندی که معیار روشن برای تفکیک لود سل ها را از هم بیان می کند و مرز نسبتاً مشخصی بین انواع لودسل ایجاد می کند تقسیم بندی بر اساس نحوه اعمال تنش به حساسه و استرین گیج لودسل می باشد . بطور کلی لود سل ها بر اساس طرح و ساختار مکانیکی ، از طریق سه مکانیزم تنشی ، کرنش را به گیج وارد می کنند که عبارتند از : خمشی **bending** ، محوری **axial** ، برشی **shear** . هرلودسل جدا از شکل المان می تواند یکی از این سه نوع مذکور باشد . شماتیک ظاهری این دسته بندی در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



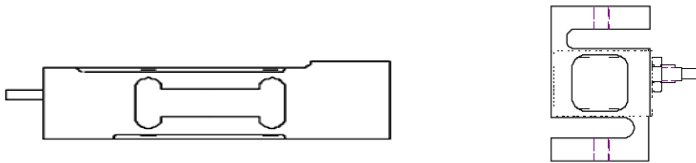


شکل ۱-۲ bending, (b) axial stress, (c) shear

### ۱-۱-۲ لودسل های با ترکیب خمشی Bending Configuration :

لود سل های خمشی یکی از ساده ترین و عمومی ترین نوع لود سل ها و برای بیشتر کاربرد های اندازه گیری مناسب هستند . در این نوع اساسا سیگنال به ممان خمشی<sup>۱</sup> بستگی دارد . در لود سل خمشی<sup>۲</sup> المان حساسه (المان فنری که تحت ممان خمشی قرار می گیرد) در اشکال مختلف طراحی و ساخته می شود و بسیاری از لود سل های تجاری از این نوع می باشند .

در شکل ۲-۲ دو نوع از متداول ترین شکل های المان فنری لود سل های خمشی نشان داده شده است.



b) bending beam تیر خمشی

a) S type شکل S

شکل ۲-۲ نمای ظاهری دو مدل از لود سل های خمشی

همانطور که در شکل ۲-۲ دیده می شود شکل المان در دو مدل متفاوت طراحی شده است ولیکن هر دو از نوع خمشی می باشند و استرین گیج به قسمتی از المان متصل شده است که پس از اعمال نیرو به لودسل ، آن قسمت خم شده و استرین گیج نیز به صورت خمش سطحی تغییر شکل می دهد.

<sup>1</sup> bending moment

<sup>2</sup> Bending load cells

لود سل های تیری<sup>۱</sup> شکل انواع مختلف دارند که در بسیاری از آنها اندازه گیری بار بر اساس خمش المان است. تیر خمیده کرنش زیادی نسبت به نیروی اعمالی کم ایجاد می کند که این برای لودسل های با ظرفیت کم ایده آل است. در حالت تشابه مقطع عرضی، پیرامون محور خمش دوصفحه وجود دارد که کرنش های مساوی و با علامت مختلف (یک طرف کشیده و طرف دیگر فشرده) در آنها بوجود می آید که این یک فرصت خوب برای استفاده در پل مقاومتی وتسون (که جبران سازی حرارتی آسان دارد) می باشد. بیشتر المان هایی که از اصول خمشی استفاده می کنند از نوع متوازی الاضلاع، خمش دوتایی یا دوبل<sup>۲</sup> می باشند.

لود سل های تیر خمشی پرکاربردترینند. آنها می توانند نیرو، جابجایی و یا فشار را اندازه گیری کنند و برای اندازه گیری های کوچک که در آنها خروجی متغیر نباشد، بسیار مناسب و در اندازه گیری بین یک کیلوگرم تا یک تن بکار می روند و معمولاً برای نیروهای کوچک تا رنج ۲۵۰ کیلو گرم طراحی می شوند. مقاومت مکانیکی کوچک مجاز منصوب به مکانیزم تیر خمشی این لود سل ها، آنها را نسبتاً ضعیف کرده و اگر استحکام مد نظر نباشد آنها به دلیل قیمتشان بسیار مطلوب هستند. کاربرد خمش در اندازه گیری، کیفیت خطی عالی ارائه می دهد. تیر خمشی اندازه کشش نسبتاً زیاد با انحناء بیشتر نسبت به طرح های دیگر دارد. به این ترتیب لود سل می تواند در برابر مقدار بیشتر بار بیش از حد ایستا<sup>۳</sup> قرار گیرد و ایجاد متوقف کننده مکانیکی اجرایی تر است (شکل ۲-۳) و برای بار بیش از حد دینامیکی<sup>۴</sup> به علت خمش ذاتی زیاد، عالی است.

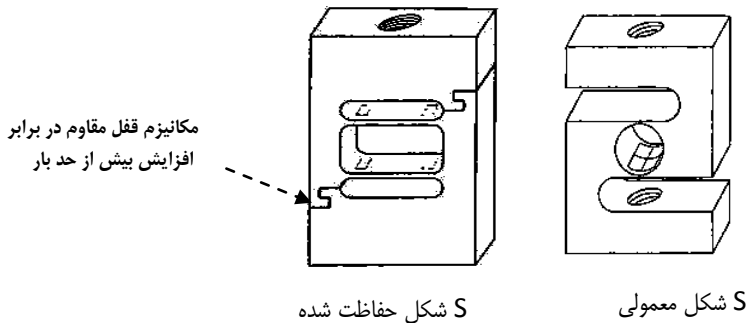
<sup>1</sup> bending beam

<sup>2</sup> double bending type

<sup>3</sup> static overload

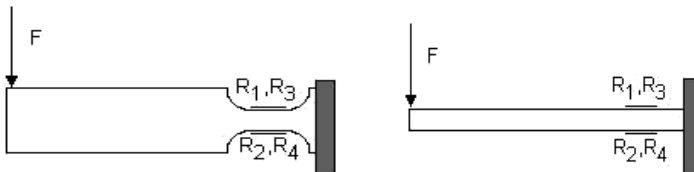
<sup>4</sup> Dynamic overload

در شکل ۲-۳ لود سل S شکل خمشی با مکانیزم قفل مقاوم در برابر بار بیش از حد نشان داده شده است . به وسیله حذف فضای بزرگ خالی در سر و ته ( در نمونه های S شکل معمولی) و تعویض آن به یک گپ کوچک قابل مشاهده و دندانان های قفل شونده می توان لود سل را به یک مجموعه یک پارچه تبدیل کرد که در برابر فشار و کشش خارج از حد مقاومت کند . با این روش ممکن است تا دهها برابر گذر بیش از حد قابل تحمل لود سل را افزایش داد. باید توجه داشت ورود خاک در گپ امکان دارد مشخصات فنی، از جمله خطی بودن را خراب کند . برای عملی شدن این بازدارنده ها لازم است در اثر اعمال بار تغییر شکل حداقل و قابل ملاحظه در سازه ایجاد شود که در لودسل های خمشی مطرح است.



شکل ۲-۳ لودسل خمشی S شکل معمولی و حفاظت شده بار اضافی

ساده ترین مثال از لود سل های تیر خمشی حالت کلاسیک تیر پایه ای شکل ( cantilever ) می باشد که در یک سر به خوبی محکم شده و نیرو به سر دیگر وارد می شود . شکل ۲-۴

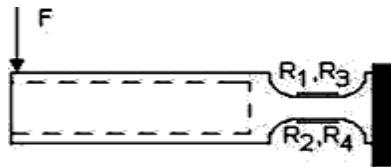


شکل ۲-۴ لودسل های خمشی Basic cantilever beam loading

جاذبه این نوع در سادگی و ساخت آسان می باشد و مطالعه آنها شروع خوبی برای درک بهتر ساختمان لودسل ها می باشد. مانند شکل ۲-۴ با نازک کردن نقطه تنش نسبت به بقیه قسمت ها مشخصات آنرا می توان بهتر کرد. این باعث می شود که کرنش در منطقه اتصال استرین گیج ها متمرکز شود و بقیه قسمت ضخیم تیغه در برابر اعمال بار تغییر شکل ندهد. در این ناحیه استرین گیج های  $R1, R3$  کشیده و  $R2, R4$  فشرده می شوند.

### ۱-۱-۲ Modified cantilever beam loading

تیر پایه ای خمشی ارتقاء داده شده در ترکیب اصلاح شده قبلی به دلیل جرم اضافه شده در قسمت ضخیم تیر، فرکانس طبیعی زیاد می شود و پاسخ فرکانسی لودسل را کاهش می دهد. برای ارتقاء طرح، سر ضخیم را خالی کرده و وزن المان فنری کاهش می یابد. ولیکن هنوز دو اشکال دارد اول اینکه لازم است در لود سل ها کرنش بر روی استرین گیج به طور یک نواخت وارد شود در حالیکه کرنش با دور شدن از سر ثابت کم می شود و دیگر اینکه وقتی در اثر اعمال بار تیر خم می شود نیرو تنها در یک نقطه ثابت وارد نمی شود و این ایجاد غیر خطی در خروجی می کند و لذا برای کار برد های خطی این ترکیب کانتیلیور تصحیح شده نیز چندان مناسب نمی باشد. شکل ۲-۵

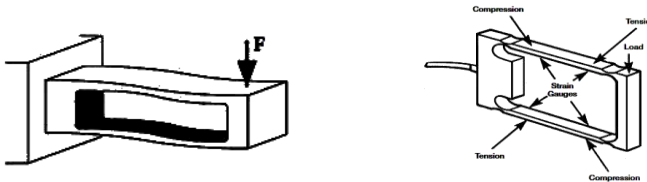


شکل ۲-۵ طرح ارتقاء یافته تیر پایه ای خمشی



## ۲-۱-۱-۲ Double bending beam principle اساس تیر های خمشی دوبل

وقتی که نقطه اعمال بار<sup>۱</sup> در راستای طول تیر خمش جابجا شود (با مقدار بار ثابت) به دلیل تغییر بازوی اهرم مقادیر مختلف در خروجی استرین گیج تولید می شود و لذا جهت صحت اندازه گیری لازم است تمهیدات خاصی برای اطمینان از عدم تغییر نقطه اعمال بار انجام شود به این دلیل در ساخت لود سل کمتر از تیر خمشی یگانه<sup>۲</sup> استفاده می شود و به جای آن از چند تیری<sup>۳</sup> استفاده می شود که برای ساخت المان فنری لود سل تا پنج تن به کار می رود. معمولا از دو یا سه تیر استفاده می شود و انتهای آنها در نقطه اتصال و در قسمتی که نیرو اعمال می شود با یک جنس سخت به هم متصل می شوند و این اتصال سخت سبب تغییر ساختار متوازی الاضلاعی شکل شبکه تیرها و در نتیجه جابجایی عمودی نقطه اعمال نیرو می شود. تغییر S شکل مانند، ایجاد منطقه های کرنش منفی و مثبت روی سطح میکند که نزدیک به هم می باشند. این ترکیب به طور موثر نسبت به جابجایی نقطه اعمال بار بی تفاوت است شکل ۲-۶.



شکل ۲-۶

## ۲-۱-۱-۳ Binocular load cell لودسل های دوچشمی

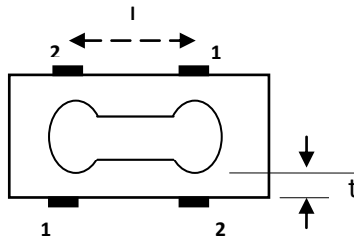
تیر های باریکی که استرین گیج ها بر روی آن نصب می شوند این طرح را از لحاظ استحکام خیلی ضعیف می کنند و احتمال تغییر شکل لودسل بعد از محدوده خطی استرین گیج ها وجود دارد. باز هم راه حل

<sup>1</sup> load application point

<sup>2</sup> single bending beam

<sup>3</sup> multi bending beams

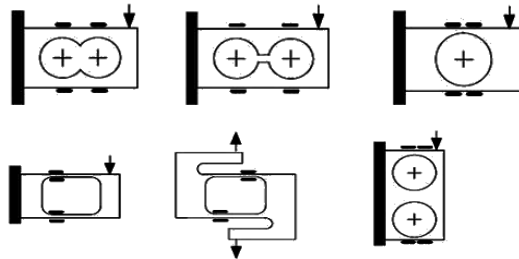
ضخیم کردن این تیر ها در ناحیه اعمال بار که کرنش اندازه گیری نمی شود ، می باشد. یک مثال این طرح ترکیب کلاسیک عینک مانند Binocular load cell است شکل ۲-۷. این ضخیم کردن به طور کلی بدون اینکه دقت را کم کند استحکام لودسل را بالا می برد چونکه همچنان کرنش در محل نصب استرین گیج ها متمرکز می باشد .



شکل ۲-۷

اساس تشخیص در تیری شکل یا تیر های موازی اندازه گیری خمش است . در شکل ۲-۷ با ایجاد نیروی استرین گیج های شماره ۱ فشرده و شماره های ۲ کش می آیند . مقدار کرنش به  $L, t$  و ضخامت تیر بستگی دارد . این سازه برای لود سل های با دقت بالا مناسب است .

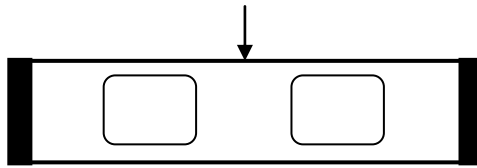
در شکل ۲-۸ انواع double bending beam در اشکال ظاهری متفاوت نشان داده شده است .



شکل ۲-۸

### ۴-۱-۱-۲ Double ended bending beam تیر خمشی دو سر

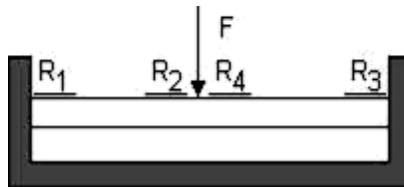
اگر دو لودسل bending beam را در یک لودسل طراحی کنیم باعث می شود که محل مربوط به فیکسچر اعمال نیرو در وسط بیم قرار گیرد و محورهای حساس تنها از یک خط عامل در لودسل عبورکنند و مشخصات فنی بهبود قابل ملاحظه ای می یابد. شکل ۸-۲



شکل ۸-۲

### ۵-۱-۱-۲ Central beam loading بار گذاری مرکز تیر

یک روش حذف بعضی مشکلات فوق الذکر با حفظ سادگی این است که دو سر تیر را ثابت کرده ( double ended bending ) و نیرو به مرکز وارد شود که دیافراگمی نیز گفته می شوند. این باعث می شود که نیرو همواره به یک نقطه وارد شود و همچنین انعطاف تیر کاهش موثری پیدا کرده و فرکانس طبیعی افزایش یابد. علاوه بر این در این روش استرین گیج های که فشرده یا کشیده می شوند می توانند در بالای تیر قرار گیرند شکل ۹-۲.

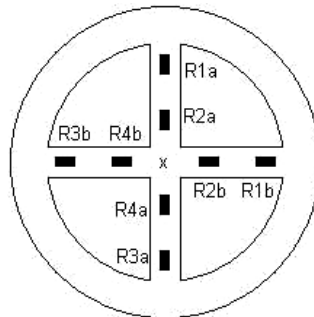


شکل ۹-۲

این طرح به دلیل ناتوانی در حذف کرنش جهشی ذاتی تیر، در خروجی کمی ایجاد غیر خطی می کند. اینها در برابر نیروهای متقاطع مقام هستند و ضخامت کم دارند. به طور کلی این ترکیب به دلیل کاهش ارتفاع عمودی و طراحی فشرده خیلی برای کاربر راحت تر است.

### ۱-۱-۲-۶ ترکیب چرخي Wheel configuration

اصول double bending را می توان به راحتی در ترکیب لودسل چرخي<sup>۱</sup> به کار گرفت. مزیت این ترکیب داشتن ضخامت کم و استحکام بسیار زیاد است. روشن است که برای استحکام بیشتر می توان تعداد پره ها را زیاد تر کرد. در شکل ۱۰-۲ هشت استرین گیج وجود دارد و لذا بر روی هر بازوی پل و تستون دو تا استرین گیج قرار می گیرد.



شکل ۱۰-۲

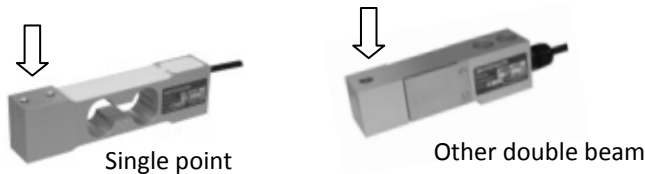
اکثر لودسل های خمشی بر اساس همین قاعده طراحی می شوند طوری که ناحیه اتصال استرین گیج ها برای تمرکز بیشتر کرنش نازک و بقیه قسمت ها برای استحکام بیشتر لود سل ضخیم باشد. حد این لودسل ها نازکی قسمت اتصال کرنش سنج ها می باشد که ذاتا در آن نقطه ها ضعیف می شوند.

<sup>1</sup> Wheel configuration



## ۲-۱-۱- Single point load cell

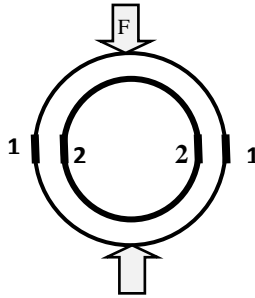
اینها از لودسل های خمشی با تیر دویل هستند که گاهی **platform** نیز نامیده می شوند و اغلب از آلومینیم ساخته و در ترازوهای سبک میزی استفاده می شوند و کمترین حساسیت را نسبت به تغییر نقطه اعمال نیرو دارند. وقتی یک سر لودسل ثابت است نیروی اعمال شده به سر دیگر اگر جابجا شود مقدار خروجی لود سل تغییر نمی کند که برجسته ترین مزیت آنها است و اصطلاحاً **off center load** گفته می شود و لذا می توانند به تنهایی مستقیماً به مرکز صفحه ترازو پیچ شوند و در هر نقطه از صفحه که بار اعمال شود اندازه گیری با دقت انجام می گردد و البته حداکثر بزرگی سطح صفحه به ظرفیت لودسل بستگی دارد. رنج ظرفیت این ها از کم تا متوسط می باشد. تفاوت ظاهری اینها با انواع دیگر لودسل های تیر دویل این است که در بقیه اغلب نقطه اعمال نیرو یک سوراخ است و معمولاً نیرو به بوش یا دکمه درون آن وارد می شود در حالیکه در مدل **Single point** محل اعمال نیرو بیشتر با چند پیچ به لودسل متصل می شود که در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۱

## ۲-۱-۱-۸ لودسل های خمشی حلقوی

لود سل های خمشی را به صورت حلقوی نیز طراحی می کنند. اینها بسیار دقیق هستند و ظرفیت بین ۵۰۰ کیلو گرم تا ۲۰ تن دارند. در شکل ۲-۱۲ استرین گیج های شماره ۲ فشرده و شماره یک کشیده می شوند.



شکل ۲-۱۲

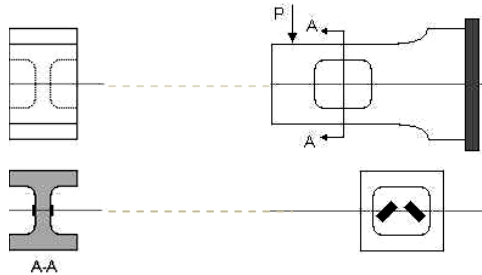
### ۲-۱-۲ لود سل های با ترکیب تیر برشی Shear Loading

از لود سل های برشی Shear (beam) load cells در انواع مدل برای ظرفیت متوسط و زیاد ، فراوان استفاده می شود . برش به عنوان اصل اندازه گیری برای یک ظرفیت داده شده دارای ویژگی های زیر است :

- مقاومت خوب علیه بار جانبی .
- حساسیت نسبتا کم در جابجایی نقطه اعمال بار .
- نیروی وارد شده با کمترین خمشی اندازه گیری می شود .
- لود سل های تیر برشی می توانند با ظرفیت برابر در ابعاد کوچکتر از خمشی ساخته شوند . آنها شدیداً در مقابل نیروهای عرضی (مقاطع و عمود بر محور طبیعی اعمال بار ) مقاومند و بنابراین می توانند بسیار دقیق باشند . رنج اندازه گیری آنها بین صد کیلو گرم تا ۲۰ تن می باشد . لود سل های تیر برشی دارای مقاومت بالا در برابر بار های غیر مرکزی<sup>۱</sup> هستند و در جاهایی که ضمانتی برای اعمال بار درست مرکزی وجود ندارد مفید می باشند .

<sup>1</sup> eccentric loads

اساس لود سل با شبکه برشی، تیر پایه یا کانتیلور<sup>۱</sup> می باشد که مقطع آن ماشین کاری شده است و ایجاد یک لود سل با تیر I شکل می کند.



شکل ۲-۱۳ نمای جلو و مقطع لود سل با تیر برشی

اینها دارای مقطع به اندازه کافی پهن می باشند تا خمش کوچک شود و آنقدر کم است که در خروجی استرین گیج های متصل شده به سطح، سیگنال قابل ملاحظه ای ایجاد نمی شود در نتیجه نسبت به نیروهای جانبی حساسیت کمتری دارند. استرین گیج ها با زاویه ۴۵ درجه روی محور خشی متصل می شوند و آنجا تحت نیروهای برشی تغییر شکل می دهند. با این روش خمش و ارتعاش کاهش پیدا می کند. در دوطرف تیر در مقطع A-A، فرو رفتگی ماشین کاری شده است و یک تیغه<sup>۲</sup> نسبتاً نازک در وسط باقی می ماند. مانند ساختار تیر بیشترین نیروی برشی تحمیلی بار به وسیله تیغه حمل می شود در حالیکه ممان خمشی اساساً به وسیله لبه بیرون آمده دفع می گردد. در محور خشی، آنجا که اثر تنش خمشی ناچیز است، حالت فشار روی تیغه از نوع برشی محض می باشد که به امتداد عمودی و افقی وارد می شود. در

<sup>1</sup> cantilever

<sup>2</sup> web

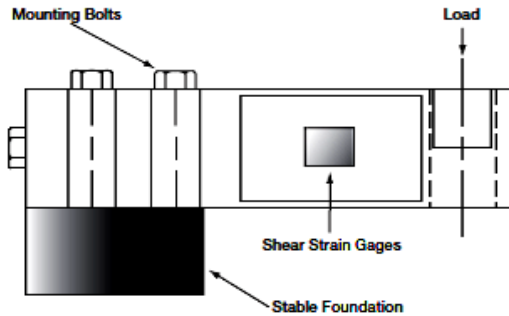
نتیجه محور های اصلی در زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور افقی تیر بوده و کرنش های اصلی مربوطه دارای بزرگی هم اندازه و جهت مخالف می باشند . زوجی از استرین گیج ها به دو طرف تیغه نصب و به منظور اندازه گیری بار ، در شاخه های مدار الکتریکی پل کامل و تستون<sup>۱</sup> قرار می گیرند . گرچه نصب استرین گیج ها در این فرورفتگی دشوار است در مقابل می توان آن ها را در برابر تاثیرات محیطی آب بندی و محافظت کرد . المان فنری در ترکیب برشی به شکل و قواره تیری محدود نمی شود و می تواند از ترکیب پیچیده ای برخوردار باشد . برای تولید لود سل های برشی ظرفیت کم نیاز به تیغه بسیار نازک است تا کرنش را به اندازه کافی کسب کنند . معمولاً لودسل های برشی ظرفیت بالا را بر اساس تیغه برشی دوبل در ترکیب تیر می سازند و تیر یک سر<sup>۲</sup> گران تمام می شود و سخت نصب می شود. لودسل های با تیر برشی به نقطه اعمال بار حساسیت نسبتاً کمتری دارند و مقاومت خوبی به بار های جانبی نشان می دهند و این استفاده آنها را برای خیلی از کاربرد ها آسان می کند . توانایی تحمل بار اضافی نسبت به ترکیب بیم خمشی معمولاً کمی بهتر است در حالیکه اجرای باز دارنده مکانیکی به دلیل انحراف کمتر ، دشوارتر می باشد .

### ۱-۲-۱- تیر برشی یک و دوسر Single \ double -Ended shear Beam :

حفره گیج لود سل Single Ended شامل یک فلز نازک است که روی آن استرین گیج نصب شده است . معمولاً این مدل از حدود ۵۰۰ کیلو تا ۴۰ تن می باشند . یک سر لود سل برای نصب و سر دیگر آن محل بار گذاری است . لود سل باید بر روی سطح صاف و هموار و به وسیله پیچ هایی با مقاومت بالا نصب شود . . معمولاً اضافه بار تا ۱۵۰٪ بار نهایی را تحمل می کنند و بیشتر از آن آسیب ماندگار بر لود سل می گذارد .

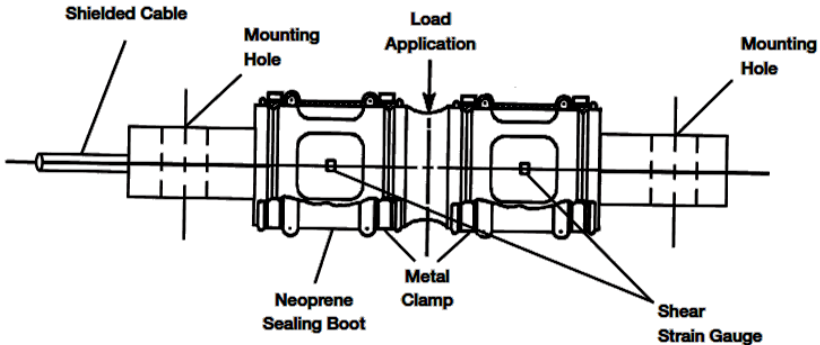
<sup>1</sup> Wheatstone full-bridge circuit

<sup>2</sup> single ended beams



شکل ۲-۱۴ single ended shear beam load cell

double ended shear beam دارای دوسر است که بر تکیه گاه قرار می گیرد و نیرو به وسط لودسل وارد می شود و مانند حالت خمشی در این حالت نیز مشخصات فنی بهبود می یابد.

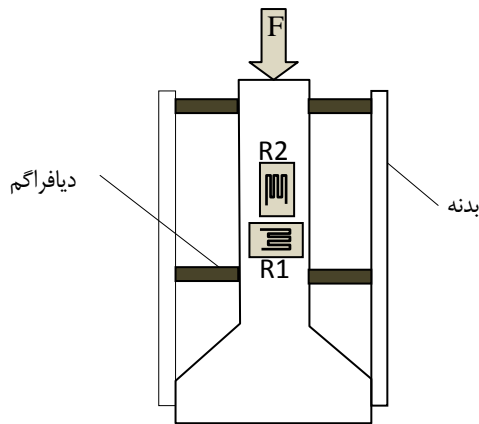


شکل ۲-۱۵ double ended shear beam load cell

### ۲-۱-۳ لود سل های محوری (ستونی) Direct (Axial) Loading

همانطور که از اسم اینها مشخص است نیرو در راستای محور به گیج ها وارد می شود که این مشخص کننده جایگاه آنها در تقسیمات لود سل ها بر اساس نوع بار اعمالی می باشد.

این ها یک سازه ساده دارند و از دو استرین گیج استفاده می کنند یکی در طول و دیگری جهت عمود بر آن . بر اساس قانون Poisson در مورد رابطه بین کرنش در محور طولی و عرضی ، روشن است که اگر ستون تحت فشار قرار گیرد استرین گیج هایی که عمود به بار هستند R1 کشیده می شوند و استرین گیج هایی که در امتداد هستند R2 فشرده می شوند .



شکل ۲-۱۶ لود سل ستونی

لود سل های ستونی از لحاظ ظاهر ساده می باشند از و می توانند برای اندازه گیری فشار و همچنین کشش استفاده شوند و معمولاً استحکام بیشتری نسبت به لودسل های تیر خمشی دارند (خصوصاً در فشار). مکانیزم بار اودسل ستونی ایده آل نیست و المان ستون مشخصات خاصی دارد که طراحی و ساخت آن را دشوار می کند: اولاً کرنش روی محلی که استرین گیج نصب شده متمرکز نیست . ثانیاً استحکام ستون در کشش و فشار کمی فرق دارد و در نتیجه خروجی غیر خطی می شود . ثالثاً قانون نسبت پاسون نشان می دهد که تغییر مقاومت برای چهار گیج مشابه نیست و این غیر خطی بیشتری ایجاد می کند .<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> این غیرخطی بودن می تواند با گیج های نیمه هادی جبران سازی شود که به خط تحریک مثبت و منفی متصل می شوند . خروجی گیج های نیمه هادی به صورت بازخور برای تنظیم ولتاژ پل در جهت مخالف خطای غیر خطی به کار می رود .

تنش مستقیم بار محدودیت هایی برای ستون ایجاد می کند . خصوصا ستون لازم است به اندازه کافی بلند باشد تا یک میدان یکنواخت کرنش ، مستقل از اثر انتها مهیا کند که لازمه خروجی خطی لود سل می باشد . علاوه بر این نسبت طول مطلوب به سطح باعث می شود که ستون در برابر بار های غیر محوری متاثر از اثر مرتبه دوم مولفه های بار *of-axis* یا *of-center* آسیب پذیر شود . لذا جبران سازی برای این پدیده لازم می شود . یکی از راه حل های این مشکل نگه داشتن ستون با دو دیافراگم در سر بالای ستون است .

راه های متفاوتی برای استحکام لود سل های ستونی وجود دارد . آنها می توانند به طور موازی جمع شوند یا توخالی شده که موجب افزایش مقاومت برای نیروهای غیر محوری شوند در حالیکه مشخصات بار محوری را حفظ کنند . این ترکیب ها موجب ایجاد استحکام خاص لود سل محوری ولیکن بدون معایب غیر خطی (مربوط به اعمال نیروی مستقیم بار) می باشد.

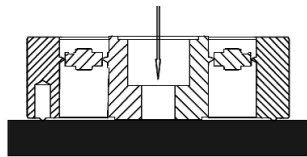
یک نمونه از لود سل های ستونی *Canister* (قوطی شکل) می باشد که یکی از اولین لود سل ها است و به دلیل اینکه قیمت آن دو تا سه برابر *bending beam cell* می باشد کمتر عمومی شده است . از لحاظ ساخت دو نوع *canister* موجود می باشد تک ستونی و چند ستونی *single column* و *multiple column* . نوع تک ستونی معمولا نمی تواند بار جانبی بیشتر از ۱۵٪ بار نهایی را تحمل کند . کانیستر چند ستونی چندین برابر بیشتر از یک ستونی بار جانبی را تحمل می کند. رنج لود سل های کانیستر از پنجاه کیلو تا ۲۵۰ تن می باشد . اضافه بار مطمئن قابل تحمل ۱۵۰٪ بار نهایی (*FS full scale*) و در بعضی از انواع تا ۳۰۰٪ می باشد . راه شناسایی چشمی یا علامت گذاری برای تشخیص نوع یک ستونی و چند ستونی از هم وجود ندارد .

لازم به ذکر است که لودسل های فشاری دیگر با شکل ستونی وجود دارند ولیکن بر اساس برش، خمش ، حلقه بار پیچشی<sup>۱</sup> و یا اندازه گیری ستونی<sup>۲</sup> طراحی و ساخته شده اند.

لود سل تک ستونی وقتی برای بار های سنگین طراحی می شود بلند شده و سنگین می شود. برای ساختن لود سل هایی با شمای کوچکتر می تواند بار توسط سه یا چند ستون حمل شود که هرستون با مجموعه گیج های خود می باشد . گیج های مربوط به تمام ستون ها به صورت سری در شاخه خاص خود در پل و تستون قرار می گیرند . حاصل عمل نه تنها موجب نمای کوچکتر بلکه بهبود کارایی در حالتی که لود سل خارج از محور<sup>۳</sup> بار گذاری می شود می گردد. لودسل های نوع فشاری از ممتهم<sup>۴</sup> صدمه نمی بینند که معمولا منصوب به انواع مدل تیر ها<sup>۵</sup> می باشد . لذا مشخصه حد اکثر بار اضافی بسیار خوب است . اما خمش<sup>۶</sup> نسبتا کوچک ، این نوع لود سل ها را نسبت به شوک بار حساس تر می کند .

## ۲-۱-۴ لودسل های حلقه پیچشی Ring torsion load cells

مکانیزم کار اینها با سه گروهی که قبلا تشریح شد فرق دارد و نسبتا جدید هستند و برای رنج های ظرفیتی که معمولا از نوع خمشی و برشی استفاده می کنند به طور ایده آل مناسب می باشند .



شکل ۲-۱۷ لودسل های حلقه پیچشی

<sup>1</sup> ring torsion

<sup>2</sup> column measurement

<sup>3</sup> off-centre or off-axis

<sup>4</sup> momentum

<sup>5</sup> beams

<sup>6</sup> deflection



اینها بر اساس مدار کامل پل شامل چهار استرین گیج دایره ای می باشند . استرین گیج ها به یک قسمت دایره ای شکل از المان نصب می شوند که با اعمال بار خم می شوند . این عمل باعث کم شدن قطر رینگ در بالا و زیاد شدن قطر در پایین می شود . لذا با اعمال بار دو گیج فشرده و دو گیج کشیده می شوند .

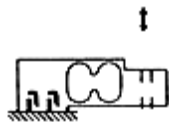
طراحی هندسی المان باعث بهبود مشخصات creep و hysteresis نسبت به آنهایی که بر اساس برش و خمش طراحی شده اند می گردد .

با توجه به نوع بار گزاری فشاری ، بر خلاف تیر ها این ترکیب از ممتنم صدمه نمی بیند و بنابراین در حالیکه ضخامت بسیار کوچکی دارند ذاتا قطعه قابل اطمینانی می باشند . حفاظت مکانیکی در برابر بار اضافی به وسیله فاصله میان رینگ اعمال بار و صفحه کف ایجاد می شود . این لود سل ها خمش بسیار کمی دارند که باعث می شود برای وزن کشی سریع ایده آل باشند ولیکن به شوک اضافه بار بسیار حساس هستند .

## ۲-۲ دسته بندی انواع لود سل ها بر اساس شکل المان فئری

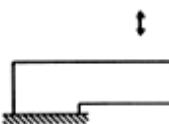
اسامی انواع این مبدل ها متناسب با شکل المان فئری آنها می باشد و معروف ترین آنها ها عبارتند از :

### ۱-۲-۲ لوسل های با المان تیری شکل فشاری / کششی Beam - compression, tension



لودسل های تیری شکل می توانند بر اساس برش و یا خمش کارکنند و

المان آنها به اشکال مختلف تیر یک سر و یا دوسر می باشد و در کشش و

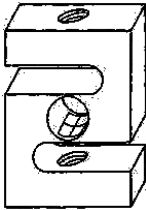


فشار به کار می روند. نوعی از اینها به نام single point بسیار پر کاربرد

است که قبلا توضیح داده شد.



### ۲-۲-۲ لودسل های با المان S یا Z شکل S beam/z beam

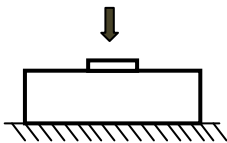


مانند اسمشان به شکلی S یا Z می باشند و می توانند برای اندازه گیری کشش و فشار به کار روند و لیکن بیشتر برای کشش مناسب می باشند و در این حالت لودسل مستقیماً در مسیر بار قرار می گیرد و نیروها کاملاً محوری می باشند و اثر منفی نیروهای جانبی اعمال نمی شود. با وجود اینکه نیروی وارد شده به گیج ها در این لودسل مانند حالت تیر خمشی

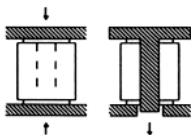
است ولیکن تئوری کارکرد آن کمی متفاوت است چرا که دو سر S روی مرکز خم می شود و نیرو از میان مرکز سطح گیج به پایین اعمال می شود.

در مورد کارکرد این نوع لودسل در حالت فشار باید با دقت عمل کرد تا اینکه اطمینان حاصل گردد که بار اعمال شده نیروی جانبی وارد نمی کند. برای مواردی که احتمال نیروی جانبی به لودسل وجود دارد به کارگیری مدل با ساختار لاغرتر مناسب تر است. ایجاد متوقف کننده مکانیکی که قبلاً توضیح داده شد در این لود سل قابل اجرا می باشد.

### ۳-۲-۲ لودسل فشاری با المان دکمه ای شکل Compression load button



لود سل های دکمه ای شکل برای اندازه گیری نیروهای فشاری در محدوده وسیع تا رنج ۵۰ تن طراحی شده اند. به دلیل طراحی فشرده آنها مناسب جاهایی می باشند که محدودیت فضا دارند و از معایب آنها این که نیروهای کششی را اندازه گیری نمی کنند.

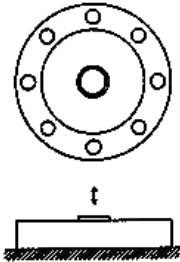


### ۴-۲-۲ Donut load cell

لودسل های حلقوی در اندازه گیری کشش و فشار تا رنج ۲۰ تن می باشند

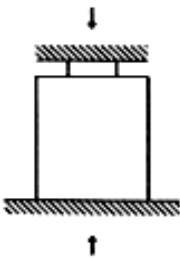
و اساسا برای اندازه گیری نیروی استحکام بست ها در فضاهای محدود طراحی شده اند .

### ۵-۲-۲ Pancake load cell



یا Low profile می تواند فشار و کشش را تا رنج ۱۰۰ تن اندازه گیری کند و مانند Donut load cell از ساختار فشرده و محکم برخوردار می باشند . آنها دقیق و نسبت به نیروهایی غیر محوری<sup>۱</sup> بسیار غیر حساس می باشند .

### ۶-۲-۲ Column / Rod End load cells

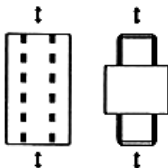


لود سل های ستونی از یک ستون برای نصب استرین گیج ها استفاده می کنند تا بهترین ساختار برای اندازه گیری فشار تا رنج صد تن حاصل شود . این ها بسیار محکم و لرزش سامانه را حذف می کنند . قابلیت اندازه گیری بار زیاد و در نتیجه دقت کم اینها را برای اندازه گیری نیروهای کوچک ناتوان می کند .

### ۳-۲ دسته بندی لودسل ها بر اساس کاربری

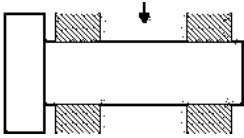
لود سل ها برای استفاده در کشش ، فشار و یا هر دو در شکل و نوع های مختلف ساخته می شوند و بعضا با عنوان کاربریشان دسته بندی شده و معرفی می شوند که کلی ترین تعریف برای یک گروه می باشد .

### ۱-۴-۲ IN LINE load cell



لودسل های میان خطی دارای دوسر رزوه شده می باشند که برای اندازه گیری نیروی کششی و یا فشاری در راستای محور نیرو یا بار به کار می روند.

<sup>۱</sup> off-axis loads



### ۲-۴-۲ لودسل پینی اندازه گیری بار Load/force pin

برای اندازه گیری فشار بر روی پین نگهدارنده به کار گرفته می شوند

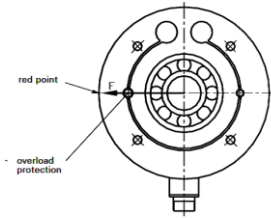
### ۳-۴-۲ لودسل بلبرینگی اندازه گیری نیرو Force Measuring Bearing

لود سل های بالبرینگی می توانند نیروی عمودی وارد شده به شافت

دورانی را اندازه گیری کنند. به اینها web tension load

cell نیز گفته می شود و معمولا در مکان نگهدارنده شافت برای

اندازه گیری باری که بر شافت وارد می شود به کار می روند.



### ۴-۴-۲ لودسل واشری اندازه گیری نیرو Load/force washers

لود سل های واشری معمولا برای اندازه گیری نیروی سفت شدن بست

ها تا رنج صد تن به صورت واشر در وسط قرار می گیرند.



### ۵-۴-۲ لودسل های محوری Axial load cell

به لود سل هایی گفته می شود که در برابر نیروهای نامطلوب غیر محوری نسبت به لود سل های دیگر

حساسیت کمتری دارند و خطای کمتری می دهند و در مواقعی که احتمال وجود نیروی غیر از نیروی

در راستای محور اصلی باشد از این ها استفاده می شود و در انواع و اشکال مختلف برای کشش، فشار و

یا هر دو ساخته می شوند.

### ۶-۴-۲ لودسل های مینیاتوری Miniature load cells

لود سل های مینیاتوری از ساختار متمرکز و کوچک برخوردارند و شکل

های متنوعی برای اندازه گیری نیرو تا چند ده تن دارند. آنها در فضا

های کوچک قابلیت اندازه گیری فشار و کشش را دارند.





### ۲-۴-۷ لودسل های دو رنجی Dual Range

لودسل هایی هستند که به طور مجزا شامل مبدل هایی با ظرفیت بالا و پایین می باشند و برای جلوگیری از صدمه دیدن واحد ظرفیت پایین مجهز به محدود کننده بار اضافی بوده و لذا دارای دقت در هردو ظرفیت بالا و پایین می باشند و بیشتر کاربرد آزمایشگاهی دارد .

### ۲-۴-۸ لودسل های کالیبراسیون Calibration Grade Low Profile Load Cells

لودسل های بسیار دقیقی هستند که برای کالیبره کردن لود سل های دیگر به کار می روند .

### ۲-۴-۹ ترک متر ها Torque meter

کاربرد دیگر لودسل ها برای اندازه گیری ترک می باشد . یک مبدل ترک مانند لودسل دارای المان فنری فلزی یا اصطلاحاً flexure می باشد . استرین گیج ها به صورت پل و تستون بر روی این المان نصب شده اند . ترک اعمال شده به سنسور ایجاد کرنش خمشی و یا برشی در محیط گیج ها کرده و ایجاد سیگنال خروجی متناسب با ترک اعمالی می کند .  
به طور کلی دو نوع ترک متر وجود دارد :

### ۲-۴-۹-۱ استاتیک ترک متر (reaction) static torque meter

ترک متر استاتیکی دارای دو فلنج است که در میان یک شافت ثابت و مشابه آن که لازم است ترک وارد شده بر محور اندازه گیری شود ، قرار می گیرد . از آنجا که دو فلنج از دو طرف به شافت متصل می شوند چنانچه شافت ثابت نباشد و بچرخد بدنه ترک متر و کابل مربوطه با آن نیز می چرخد و لذا برای



اتصال الکتریکی و جلوگیری از قطع شدن کابل لازم است از یک اسلیپ رینگ<sup>۱</sup> استفاده شود که کابل در حال چرخش را به کابل ثابت تبدیل کند البته این کار مشکلات خاص خود را دارد و در مواردی که شافت ثابت نیست از رتاری ترک متر استفاده می شود .

## ۲-۴-۹-۲ روتاری ترک متر (dynamic) rotary torque meter

یک ترک متر استاتیکی ، ترک محور بدون چرخش را اندازه گیری می کند در حالیکه مبدل دینامیکی مانند یک جزء سامانه می چرخد. حساسه چرخشی در واقع یک حساسه استاتیکی است که برای چرخش آزاد است.



معمولا یک حساسه نوع استاتیکی کابلی دارد که برای تغذیه ولتاژ به استرین گیج ها و همچنین دریافت خروجی سیگنال

به آن وصل است . کابل متصل به حساسه مانع چرخیدن آن می شود و برای برقراری خدمات این کابل در حساسه های چرخشی راه های متفاوتی وجود دارد . بعضی از روش ها عبارتند از :

- Slip rings
- Rotary transformers
- Rotating electronics
- rotating digital electronics
- Radio telemetry.

در رتاری ترک متر شافت ترک متر می چرخد و لیکن کابل آن ثابت است و مانند این است که ترک متر و اسلیپ رینگ با هم ترکیب شده اند و می تواند ترک وارد بر محور شافت چرخنده و مشابه آن را اندازه

<sup>1</sup> Sleep ring

گیری کند. اسلیپ رینگ از تجهیزات اصلی استفاده در تغذیه و انتقال داده در سامانه های چرخان می باشد. مبدل های چرخشی دارای مجموعه حلقه های فلزی می باشد که در شافت آن پرس شده اند. هر یک از گوشه های پل استرین گیج به حلقه ای وصل شده است. جاروبک های کربن نقره ای روی حلقه ها می لغزند و تغذیه و سیگنال را انتقال می دهند. حساسه های اسلیپ رینگی معمولاً برای کاربرد های ممتد و با سرعت چرخش زیاد توصیه نمی شوند چونکه جاروبک سائیده شده و ایجاد غبار می کند که موجب تولید نویز در سیگنال می شود. حساسه های اسلیپ رینگی نیاز به تمیز کاری دوره ای و تعویض جاروبک دارند. یکی از مزیت های مبدل های اسلیپ رینگی این است که هنوز می توان آنها را با تجهیزات سنتی  $mv/v$  استفاده کرد. اسلیپ رینگ ها انواع متفاوت برای کاربرد های مختلف دارند که معرفی و توضیح آنها در اینجا نمی گنجد.

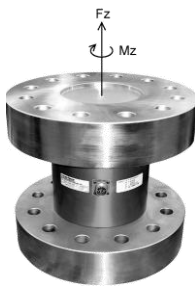
روش عمومی دیگر استفاده از **rotary transformer** می باشد. در این روش از مجموعه ترانسفورماتور ها استفاده می شود. یکی برای انتقال توان به سنسور و دیگری برای انتقال داده ها. به آنها **rotary transformers** گفته می شود چونکه یکی از سیم پیچ ها نسبت به دیگری می چرخد. مزیت اینها کمی نویز و عدم اصطحلاک تمام اجزاء می باشد. به دلیل طبیعت **AC** ترانسفورماتور، سیگنال نیاز به تقویت کننده های انتقال دهنده **AC** دارد. بعضی از **rotary transformer torque transducers** شامل مدارهای مناسب کنده سیگنال به صورت داخلی جهت تغذیه ولتاژ **DC** و خروجی سیگنال بزرگ می باشند.

نوع دیگر **rotary torque transducer** اضافه کردن تجهیزات الکترونیک به شافت چرخان می باشد. برخلاف حساسه های چرخنده ترانسفورماتوری این دسته دارای آمپلی فایر برای استرین گیج ها و مبدل سیگنال مستقیمان بر روی شافت چرخنده می باشند.

تغذیه همچنان به صورت القایی انتقال داده می شود ولیکن برخلاف حساسه های چرخنده ترانسفورماتوری مدارات الکترونیکی ولتاژ تغذیه را یک سو و مناسب ، سیگنال خروجی پل را تقویت ، و سیگنال را برای انتقال القایی به استاتور (قسمتی که نمی چرخد) مناسب می کنند. در حالت های ساده سیگنال تبدیل و به صورت فرکانس فرستاده و سپس در مدار های الکترونیکی استاتور از فرکانس به ولتاژ DC خروجی تبدیل می شود. یک مزیت این روش هزینه کم ساخت به دلیل عدم نیاز به ترانسفورماتور با سیم پیچی دقیق می باشد.

روش خیلی پیچیده تر دیجیتالی کردن سیگنال ترک بر روی رتور (قسمت چرخنده ) می باشد. در این روش از مبدل آنالوگ به دیجیتال A/D ، انتقال دهنده سیگنال دیجیتالی از طریق جفت القایی ، و مبدل دیجیتال به آنالوگ D/A در استاتور استفاده می شود. مزیت این روش امکان اتصال مقاومت موازی مستقیماً به پل استرین گیج می باشد.

۲-۴-۱۰ لود سل های چند محوره



اینها بیشتر کاربرد علمی و تحقیقاتی دارند و می توانند ضمن اندازه گیری نیرو در چند محور ترک را نیز اندازه گیری کنند . تولید کنندگان اغلب این مدل لود سل ها را در دو گروه عرضه می کنند :

Multi-Axis و Axial Torsion Force Transducer

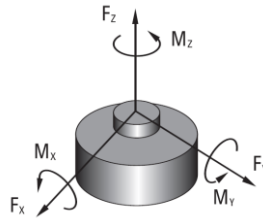
Load Cell

- لودسل های Axial Torsion Force تنها در امتداد یک محور می توانند ترک وارد شده را

همزمان با نیروی اعمال شده در آن راستا اندازه گیری نمایند .



- لود سل هایی که با نام **Multi-Axis** معرفی می شوند معمولاً در امتداد چندین محور نیرو ، ترک و یا هردو را اندازه گیری میکنند و مدل های بسیار متفاوتی دارند که یک نمونه در شکل نشان داده شده است .



شکل ۲-۱۸ یک لودسل چند محوره

این لودسل قادر است همزمان در هر سه محور جداگانه ترک و نیرو را اندازه گیری کند. از مشخصات بسیار قابل توجه این نوع لودسل ها تاثیر نامطلوب اعمال بار بر محورها روی خطای اندازه گیری محوره‌های دیگر می باشد که باید به آن توجه کرد.

## فصل سوم کالیبراسیون

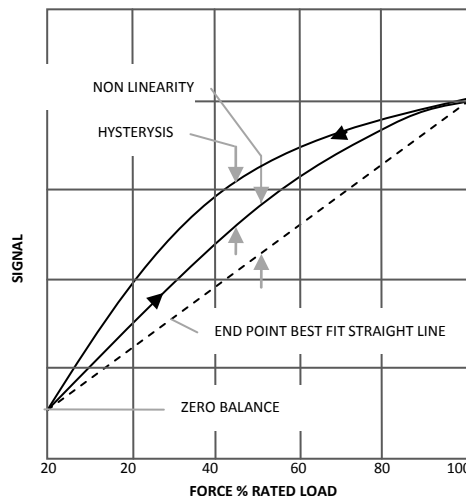
**مقدمه:** کالیبراسیون استاتیکی و دینامیکی لودسل

عموما اصطلاح کالیبراسیون به فرایند تصحیح و تنظیم تجهیزات به منظور افزایش دقت و صحت عملکرد آنها گفته می شود. در مورد لودسل ها اصطلاح کالیبراسیون منحصرا برای "تعیین مشخصه های فنی لودسل" به کار برده می شود. با این تعریف کالیبراسیون عملا یعنی فرایند ثبت بسیار دقیق خروجی های لودسل برای ورودی های کاملا مشخص، که مستقیما در محیط و شرایط تعریف شده بر لود سل اعمال می شوند. به این ترتیب برای یک لود سل مشخص از طریق کالیبراسیون یک سری داده متناظر ورودی و خروجی، که ورودی ها نیروهای اعمال شده به لود سل در محدوده ظرفیت آن و خروجی ها ولتاژ الکتریکی معادل نیروی اندازه گیری شده توسط لودسل می باشند و به این وسیله منحنی مشخصه ورودی خروجی لودسل ترسیم می شود. به کمک جدول و یا منحنی مشخصه ورودی و خروجی یک لودسل مشخص می توان رفتار لودسل را با آنچه از تئوری انتظار می رود مقایسه کرد و یا اینکه این مشخصه برای استفاده کاربردی و تصحیح نتایج در عمل استفاده شود. برای این منظور خروجی لود سل تحت استاندارد های معین گرفته می شود. در ملزومات استاندارد اولیه استفاده از ماشین بار مرده با محدوده نیروی تا تقریبا 500 kN و بیشتر از آن ماشین های هیدرولیکی یا تقویت کننده مکانیکی توصیه می شوند. در دیگر استاندارد ها از لودسل با دقت بالا و یا تجهیزات<sup>۱</sup> proving rings بر اساس استاندارد های کالیبراسیون هر کشوری استفاده می شود. همچنین آئین نامه ها بعضی از روش های اندازه گیری نیرو را نشان می دهند مابقی زیاد و متفاوتند و راهی برای رعایت همه روش ها وجود ندارد. وقتی لودسل برای اولین بار کالیبره می شود برای سه بار حداقل تا ظرفیت نهایی خود بار می شود تا اینکه سابقه دوره حرارتی و تنش های مکانیکی آن پاک شوند. تست متداول برای لودسل شامل پنج نقطه در بار

---

<sup>۱</sup> ابزار مکانیکی بسیار دقیق برای اندازه گیری نیرو

گذاری صعودی و یک نقطه در بارگذاری نزولی، جهت انعکاس مشخصه هیستریزیز<sup>۱</sup> لودسل، می باشد. مشخصه هیستریزیز توسط اندازه گیری تفاوت بین خروجی در حالت صعود و نقطه متناظر در نزول مانند شکل ۳-۱ تعیین می شود. هیستریزیز معمولاً در ۴۰ تا ۵۰ درصدی بار کامل آزمایش می شود. مناسب ترین خط راست<sup>۲</sup> که بتوان منحنی خروجی لودسل را با آن مقایسه کرد تعریف های مختلف دارد و بستگی به هدفی دارد که برای آن یک ارائه خطی از منحنی خروجی مورد نیاز است. در این میان خط نقطه پایان<sup>۳</sup> کاملاً به حدی می باشد که وضعیت غیر خطی ( بدترین حالت انحراف منحنی خروجی از خط راست که صفر را به نقطه خروجی ظرفیت نهایی وصل می کند) مشخصه را معین کند. (شکل زیر)



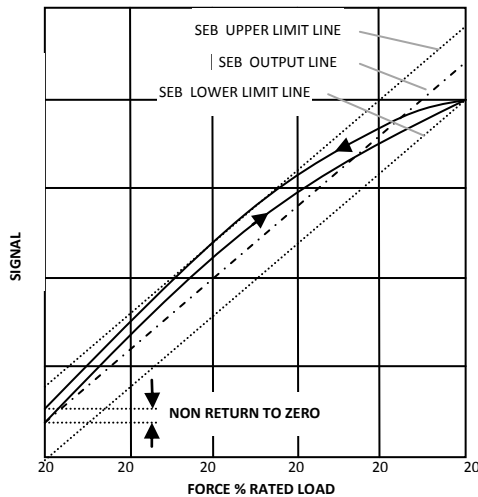
شکل ۳-۱ منحنی مشخصه لودسل

<sup>1</sup> hysteresis

<sup>2</sup> best fit straight line

<sup>3</sup> end point line

یک خط صاف بسیار مفید خط خروجی باند خطای استاتیکی (SEB Static Error Band)<sup>۱</sup> می باشد. شکل ۲-۳ خطی بر پایه نقطه صفر که شیب آن برای معین کردن باند خطای استاتیکی SEB استفاده می شود. مانند شکل زیر باند خطای استاتیکی شامل تمام نقاط صعودی و نزولی دوره آزمایش می باشد. حد بالا و پایین SEB دو خط موازی می باشند که فاصله مساوی در بالا و پایین خط خروجی SEB دارند. برای بهتر نشان داده شدن در non-linearity, hysteresis, nonreturn to zero errors ترسیم اشکال مبالغه شده است و در ابعاد حقیقی عرض آنها حدود خطوط اشکال می باشد.



شکل ۲-۳

<sup>۱</sup> SEB OUTPUT LINE

### ۳-۱ کالیبراسیون استاتیکی

کالیبراسیون می تواند برای حالت استاتیکی و یا دینامیکی انجام شود. اکثر لود سل ها در کاربرد های استاتیکی و یا تقریباً استاتیکی<sup>۱</sup> استفاده می شوند یعنی اینکه در موقع اندازه گیری، بار برای مدت زمان معینی ثابت و یا اینکه بسیار آهسته تغییر می کند. در این موارد به وسیله اعمال بار مرده در اندازه های متفاوت و یا به وسیله ماشینهای اعمال نیرو بار های مختلف به لود سل اعمال می شود و خروجی متناظر آنها ثبت می شود. شکل ۳-۳ یکی از این ماشین ها را نشان میدهد. در این ماشین ها برای اطلاع از میزان بار ایجاد شده توسط ماشین از یک لود سل بسیار دقیق و نمایشگر مربوطه که با آن به دقت میزان شده است استفاده می شود. بار ایجاد شده به سامانه لود سل مینا و لودسل مورد آزمایش هر دو همزمان وارد می شود و لذا مقدار حقیقی بار ورودی همان بار نشان داده شده توسط سامانه مینا می باشد ( با احتساب خطای سامانه مینی ) و خروجی های متناظر از لودسل تحت کالیبراسیون از یک نمایشگر دیگر که با لودسل تنظیم شده است گرفته می شود.

لازم به ذکر است که با توجه به تغییر شکل بسیار کم لود سل ها ( حتی در اعمال ظرفیت نهایی آنها در حدود چند دهم میلیمتر ) در مواردی که از ماشین به جای بار مرده استفاده می شود لازم است تغییر شکل اعمال شده توسط محور ماشین بر روی لودسل به دقت و به اندازه مناسب باشد و ماشین به نوعی دارای محدود کننده و یا کنترل کننده نیرو باشد و در غیر این صورت ممکن است لود سل تحت بار اضافی بیش از حد قرار گرفته و صدمه ببیند.

تجهیزات کالیبراسیون استاتیکی نسبتاً ساده و ارزان می باشند و تصحیح کمیت اندازه گیری شده به وسیله یک جدول یا منحنی راحت و محاسبه عدم قطعیت آسان است.

<sup>1</sup> Quasi static



شکل ۳-۳ سامانه کالیبراسیون استاتیکی

### ۳-۲ کالیبراسیون دینامیکی

کالیبراسیون دینامیکی بسیار پیچیده تر از کالیبراسیون استاتیکی است. تجهیزات و مراحل کالیبراسیون پیچیده، دقیق و گران می باشند و برای سیگنال و فرکانس های معین انجام می شوند. تخمین نیروی دینامیکی وارد شده دشوار و محاسبه عدم قطعیت پیچیده و نیاز به روش های پیشرفته تحلیل سیگنال و آنالیز های محاسباتی می باشد.

گذشته از پیچیدگی ایجاد مکانیزم بار متغیر با دقت زیاد، اندازه گیری دقیق مقدار آن بار متغیر ایجاد شده نیز دشوار است که در کالیبراسیون دینامیکی مورد نیاز است. همچنین لازم است جابجایی بازوی عملی کنترل شده و محدود باشد.

بر اساس مستندات PTB آلمان در کنگره جهانی اندازه گیری IMEKO لود سل هایی که در اندازه گیری های دینامیکی کاربرد دارند لازم است به وسیله روش های استاتیکی کالیبره شوند اما خواص دینامیکی باید به وسیله روش های اندازه گیری دینامیکی به دست آیند. با کالیبراسیون استاتیکی رفتار استاتیکی سنسور و خیلی از مشخصات فیزیکی مانند *linearity, hysteresis, repeatability, creep, etc.* مشخص می شود. با روش های دینامیکی تفاوت مشخصات استاتیکی و دینامیکی معین می گردد.

به طور کلی کالیبراسیون دینامیکی مستقیماً کمکی به صحت اندازه گیری نمی کند و به منظور ایجاد صحت اندازه گیری نیروی دینامیکی بهتر است ابتدا مشخصات فنی موج ورودی و خطای قابل قبول اندازه گیری مشخص و سپس حساسه مناسب انتخاب می گردد. در آزمون صحت سنجی، حدود قابل قبول مشخصات فنی حساسه که توسط تولید کننده ارائه شده اند با مقادیر به دست آمده از کالیبراسیون دینامیکی در فرکانس مورد نظر مقایسه می گردد.

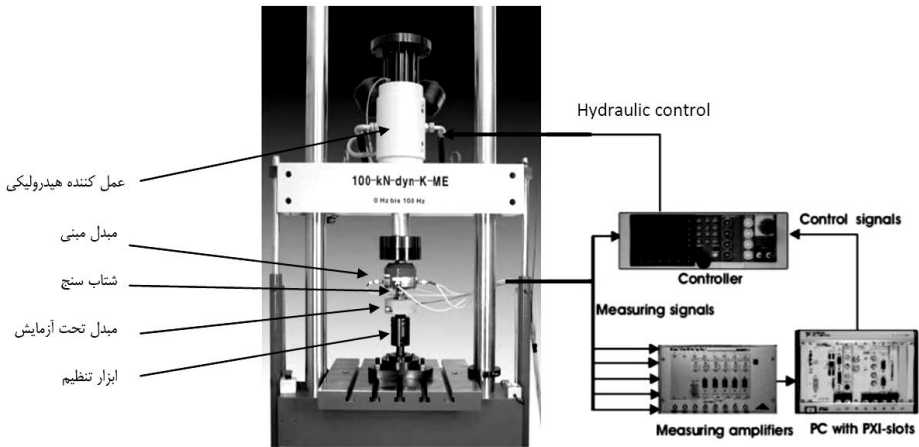
همانطوری که گفته شد کالیبراسیون دینامیکی پیچیده و تحلیل نتایج آن نیز دشوار است و تنها در موارد بسیار خاص انجام می شود و برای آشنایی دو روش به صورت کلی بیان شده است.

### ۳-۲-۱ کالیبراسیون دینامیکی با روش مقایسه با مبذل مرجع

یکی از مشکلات کالیبراسیون دینامیکی تولید نیروی متغیری می باشد که لازم است برای انجام آزمایش ایجاد و به لودسل در حال تست اعمال گردد. این نیروی متغیر باید به دقت تولید شود و اطلاع از



مشخصات فیزیکی آن و یا به عبارتی اندازه گیری دقیق مقدار این نیروی اعمالی دشوار است چونکه هر مبدل اندازه گیری حتی بسیار دقیق دارای خطا و تاخیر در خروجی می باشد و برای به کارگیری آن در کالیبراسیون دینامیکی لازم است با تمهیدات اضافی دیگری دقت و صحت آزمایش را افزایش و خطا را تا حد ممکن کم کرد. در این روش از یک لودسل بسیار دقیق برای مبدل مبنی و همچنین یک شتاب سنج برای اندازه گیری و مقایسه استفاده می شود. با توجه به رابطه شتاب و نیرو شتاب سنج می تواند مبدل مناسبی برای اندازه گیری بار متغیر باشد. بار متغیر به وسیله یک جک متغیر هیدرولیکی و قابل کنترل ایجاد می شود و فرامین را از سیستم کنترل که بخشی از سامانه اندازه گیری است دریافت می کند. در



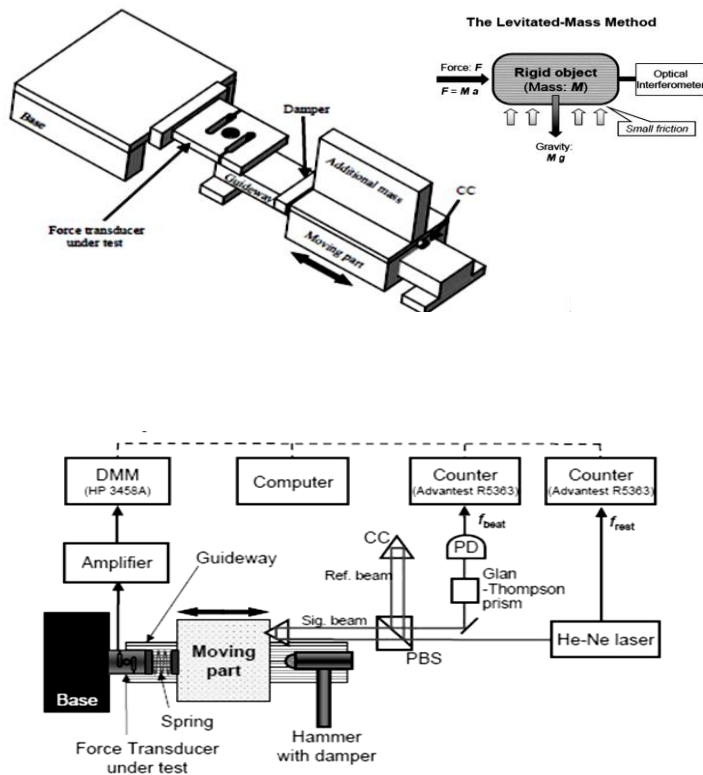
شکل ۳-۴ سامانه کالیبراسیون دینامیکی لود سل با استفاده از لود سل مرجع

نهایت بار متغیر اعمالی که ورودی سامانه محسوب می شود به وسیله تحلیل سیگنال های مبدل مبنی و شتاب سنج در رایانه سامانه کالیبراسیون محاسبه می گردد و به طور همزمان با خروجی مبدل مورد

کالیبراسیون در طول زمان به صورت داده های ورودی و خروجی ثبت می گردند . به این وسیله رفتار لودسل مورد آزمایش مشخص شده و کالیبراسیون انجام می شود .

### ۳-۲-۲ کالیبراسیون دینامیکی با روش اندازه گیری جابجایی

راه دیگر اندازه بار متغیرانجام اندازه گیری دقیق جابجایی جرمی است که با جابجایی خود نیرو به لود سل تحت آزمایش وارد می کند .



شکل ۳-۵ سامانه کالیبراسیون با روش اندازه گیری جابجایی برای آزمایش تناوبی

در حقیقت نیرو متناسب با شتاب است و شتاب مشتق دوم جابجایی می باشد و لذا با اندازه گیری جابجایی و آگاهی از مقدار جرم در حال حرکت می توان نیروی وارد شده بر لودسل را محاسبه کرد. در این روش جابجایی جرم با دقت به وسیله شعاع لیزری اندازه گیری و در رایانه سامانه تحلیل و ثبت می شود. در عمل روش های اجرایی مختلف برای تحقق این تئوری وجود دارد که در شکل یک سامانه انتخاب شده دیده می شود. در این سامانه برای کم کردن خطا اصطکاک جرم شتاب داده شده به وسیله لایه ای از هوا حذف می شود و برای ورودی های ضربه ای، متناوب و پالسی ترکیب سامانه کالیبراسیون فرق می کند در شکل ۳-۵ برای مثال شماتیک مربوط به ورودی متناوب نشان داده شده است و برای ورودی های دیگر چیدمان دیگری لازم است.

### ۳-۳ تعریف متداول کالیبراسیون :

تعبیر عامی کالیبراسیون به معنی تنظیم برای درست و یا بهتر کار کردن یک سامانه و یا دستگاه، برای لودسل ها هیچ مصداقی ندارد و معمولا مربوط به تجهیزاتی می شود که مجهز به پیچ یا دکمه ای برای تنظیم صحت عملکرد شان می باشند درحالیکه خروجی لودسل ها مطلقا به این گونه قابل تغییر و یا تصحیح نمی باشد. اما تعریف متداول دیگری برای لودسل ها در اغلب موارد تجاری و جزوات فنی تولیدات از کالیبراسیون بیان می شود که به معنی متصل و تنظیم کردن یک لودسل با تجهیزات نمایشگر می باشد و این با بحث کالیبراسیون لودسل ها که قبلا ذکر شد کاملا فرق دارد و زیاد به کار برده می شود.

برای استفاده از هر نوع حساسه فیزیکی پس از اتصال آن به نمایشگر مناسب، لازم است که با مدارات نمایشگر یا ثبت کننده اطلاعات مورد نظر تنظیم شود. اکثر حساسه های فیزیکی متناسب با اندازه کمیت فیزیکی وارد شده یک مقدار پتانسیل الکتریکی در خروجی ایجاد می کنند. در حالت ایده آل این پتانسیل

کاملاً متناسب و با کمیت فیزیکی وارد شده به صورت خطی تغییر می کند. البته در عمل خطاهایی وجود دارد که از طرف سازندگان مشخص و پخش می شود. رابطه بین کمیت فیزیکی ورودی و مثلاً پتانسیل خروجی حساسه یک مقدار معین است که اغلب (مانند لودسل ها) قابل تنظیم نمی باشد و از ویژگی های فیزیکی حساسه است. مشخصات لودسل های مختلف می توانند متفاوت باشند و برای نشان دادن صحیح مقدار نیروی وارد شده بر آنها لازم است به طریقی نمایشگر و لود سل با هم تنظیم و یا به اصطلاح متداول کالیبره شوند. پس در این بخش تعریف کاربردی کالیبراسیون لودسل این است که رابطه بین کمیت ورودی و مقدار نمایش آن چگونه باشد و نه تنظیم خود حساسه که اکثراً در روند تولید سنسور انجام می شود و بعضاً اگر حساسه ای از تنظیم و یا اصطلاحاً کالیبره خارج شود به این معنی است که آسیب دیده و مشخصات فنی آن تغییر کرده است. شاید بعضی از مشکلات حساسه ها را بتوان با کالیبره کردن نمایشگر بر طرف کرد ولیکن هدف اصلی از کالیبراسیون این دو مورد است :

- ارزیابی صحت مشخصات فنی لودسل

- مناسب سازی سامانه نمایشگر برای یک لودسل خاص

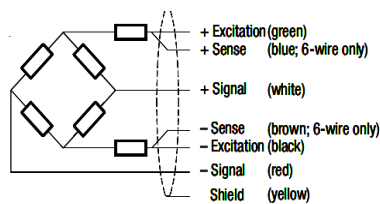
تکنولوژی ساخت حساسه ها با هم تفاوت دارد و در متداول ترین آنها از عنصر مقاومت کششی<sup>۱</sup> استفاده می شود که مدار معادل آن در شکل ۳-۶ آورده شده است. گنج مقاومتی متصل به المان حساسه متناسب با تغییر فرم المان که متناسب با بار اعمالی است به طور خطی تغییر مقاومت داده و در خروجی سیگنالی متناسب با بار به وجود می آید.

---

1 Strin gage

مقاومت های متصل به حساسه به صورت پل وتستون<sup>۱</sup> قرار گرفته اند و به سبب آن ضمن عمل جبران سازی<sup>۲</sup> حرارتی، حذف سیگنال های تولید شده در اثر نیروهایی که مستقیماً به محور اصلی بار وارد نمی شوند<sup>۳</sup> انجام پذیر است. لودسل ها معمولاً دو زوج سیم دارند که یک زوج مربوط به تحریک الکتریکی می باشد و معمولاً با ولتاژ بین ۵ تا ۲۰ ولت DC تغذیه می شوند و البته مقدار مناسب آن توسط سازنده اعلام می گردد و زوج دیگر مربوط به خروجی می باشد. پل مقامتی در حالت عادی متعادل است و در صورتی که بار به بدنه حساسه وارد شود و تغییر شکل دهد پل غیر متعادل شده و یک ولتاژی متناسب با نیروی اعمالی بر روی زوج سیم خروجی تولید می شود که متناسب با کشش و یا فشار منفی یا مثبت است. اغلب علامت گذاری ها مانند<sup>۴</sup> شکل ۳-۶ است.

در شکل ۳-۶ ورودی با +EX, -EX و خروجی با +SIG, -SIG مشخص شده اند. لودسل ها با شش سیم نیز تولید می شوند که یک زوج مربوط به جبران سازی حرارتی است و با SENSE نشان داده می شود و به ورودی SENSE در نمایشگر هایی که دارای این توانایی می باشند وصل می شود. کابل حساسه می تواند شامل سیم شیلد نیز باشد.



شکل ۳-۶ مدار الکتریکی لود سل

- 1 Wheatstone bridge
- 2 Ternal compensation
- 3 influence of non-axial load

۴ منطبق با Western Regional Strain Gage committee



طرف تولید کننده نمایشگر ارائه می گردد. اصولاً چند روش برای کالیبره کردن نمایشگر وجود دارد :

### ۳-۳-۱ کالیبراسیون دیجیتالی Digital calibration

این کالیبراسیون به وسیله مقدار خروجی سنسور<sup>۱</sup> است. نهایت ظرفیت لودسل<sup>۲</sup> و نهایت خروجی<sup>۳</sup> متناسب با آن در جزوات مشخصات فنی لودسل داده می شود که از آن برای کالیبراسیون ساده می توان استفاده کرد و کافی است تنها این دو مقدار را به نمایشگر وارد کنیم و البته لازم است نمایشگر امکانات برنامه ریزی برای این منظور را داشته باشد. با این روش برای کالیبراسیون سامانه نیازی به اعمال بار واقعی استاندارد به لودسل نمی باشد.

### ۳-۳-۲ کالیبراسیون ظرفیت ثابت SPAN constant calibration

شبهه سازی الکتریکی خروجی به وسیله نصب مقاومت موازی مشخص به نقطه معین مدار<sup>۴</sup> است که کالیبراسیون موازی نیز گفته می شود. در این روش کالیبراسیون نیز نیاز به وزن استاندارد نمی باشد ولیکن باید از یک مقاومت معین و دقیق استفاده کرد و بدانیم که با اتصال این مقاومت، در خروجی نمایشگر چه مقداری نشان داده می شود. گاهی خود نمایشگر برای کالیبراسیون موازی دارای این مقاومت و اتصالات مربوطه همراه با دستورالعمل خاص می باشد.

در مبحث کالیبراسیون موازی مشخصه Shunt-To-Load Correlation تعریف می شود که اختلاف در دو قرائت خروجی است به طوری که یکی از شبهه سازی الکترونیکی و دیگری از اعمال بار فیزیکی گرفته شود،

<sup>1</sup> calibration by sensor output value

<sup>2</sup> rated capacity R.C

<sup>3</sup> rated output R.O

<sup>4</sup> calibration by shunt CAL value

کالیبراسیون موازی عمومی ترین روش سریع کالیبراسیون است. مراحل کالیبراسیون موازی در نمایشگرها متفاوت است که در جزوات فنی آنها روش تنظیم کاملاً بیان شده است. معمولاً یک مقاومت دقیق معین به یک بازوی پل وتستون مبدل وصل می شود که مانند شبیه سازی اعمال بار محرک فیزیکی به مبدل می باشد. با نصب این مقاومت خروجی مبدل دقیقاً طوری تغییر می کند که یک بار یا فشار<sup>۱</sup> معین اعمال شده باشد. برای کالیبراسیون موازی مبدل تحت هیچ فشار و یا باری نباید باشد لذا از ابتدا در حالت صفر (بدون اعمال بار) می باشد. سپس کنترل صفر داده دستگاه می تواند خروجی صفر در نمایشگر و یا ولتاژ صفر را در ترمینال های خروجی ایجاد کند ( در حالت خروجی ۴ تا ۲۰ میلی آمپر ، این مقدار ۴ میلی آمپر است). بعد از این می توان مدار کالیبراسیون موازی را به وسیله کلید SHUNT CAL فعال کرد. در این حالت یک تغییر پله ای در خروجی تقویت کننده و یا پانل نمایشگر دیده می شود. اگر مقدار تغییر مطابق مقدار مورد انتظار که به وسیله مشخصات کالیبراسیون موازی مبدل ذکر شده است نباشد ، با کنترل GAIN یا SPAN این کار انجام می شود. این عمل تضمین می کند که تقویت ایجاد شده صحیح است و یک تحریک واقعی نمایش صحیح را ایجاد خواهد کرد. وقتی مقاومت کالیبراسیون موازی بزرگ است بهتر است صفر را دوباره چک کرد چراکه اگر تنظیم کنترل GAIN یا SPAN بزرگ باشند ممکن است اثرات متقابلی وجود داشته باشد. مبدل های استرین گیجی که خود دارای تقویت کننده داخلی می باشند معمولاً مقاومت موازی کالیبراسیون در آنها نصب شده است و با اتصال دو ترمینال در کانکتور ، این مقاومت فعال می شود. برای مبدل هایی که خروجی جریان دارند (4 mA to 20 mA) لازم است چند بار دوره کامل تنظیم کنترل صفر و مقدار ظرفیت کامل تکرار شود زیرا این تنظیمات اثر متقابل زیادی با آن کمیت ها دارند.

<sup>۱</sup> کالیبراسیون موازی برای حساسه های دیگر مانند فشار نیز به کار برده می شود.

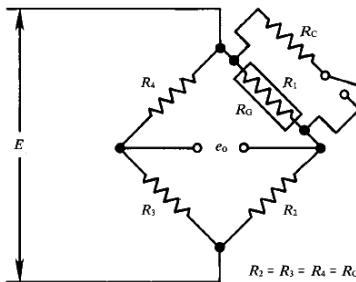


تنظیم گین نمایشگر در کالیبراسیون موازی با روش های متفاوت انجام می شود و الگوریتم مربوطه در جزوات فنی آنها آورده شده است . معمولا کالیبراسیون موازی برای دو مورد انجام می شود. یک مورد کالیبراسون موازی برای به کارگیری استرین گیج است. مورد دیگر در آزمایش و یا کالیبراسیون خروجی لودسل است.

۱-۲-۳-۳ کالیبراسیون استرین گیج با روش مقاومت موازی

در کالیبراسیون استرین گیج نیاز است کرنش<sup>۱</sup> شبیه سازی شده ، یعنی زمانی که مقاومت  $R_C$  به استرین گیج موازی می شود محاسبه گرد و به وسیله آن سامانه نمایشگر کرنش سنج کالیبره شود . با توجه به شکل ۳-۸ در شاخه ای که مقاومت موازی  $R_C$  وصل شده است می توان روابط زیر را نوشت :

$$\Delta R = \frac{R_1 R_C}{R_1 + R_C} - R_1 \quad \frac{\Delta R}{R_1} = \frac{-R_C}{R_1 + R_C}$$



$R_g$  : Gauge resistor =  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$

$R_C$  : Shunt cal resistor

$K$  : Gauge factor =  $(\Delta R/R) / \epsilon$

$\epsilon$  : strain =  $\Delta L/L$

شکل ۳-۸

و با توجه به تعاریف  $K$  و  $\epsilon$  مقدار کرنش برای تنظیم سامانه پس از وصل مقاومت موازی  $R_C$  ، بر حسب

$$\epsilon = \frac{R_g}{(R_C + R_g) \cdot K} \quad \text{پارامتر های } R_g \text{ و } K \text{ که در جزوات فنی مشخص هستند ، به دست می آید.}$$

<sup>1</sup> strain

۳-۲-۲ کالیبراسیون خروجی لودسل باروش مقاومت موازی

برای کالیبراسیون نمایشگر با لودسل لازم است بدانیم خروجی لودسل بعد از اتصال مقاومت موازی  $R_C$  چه مقدار می شود. با توجه به شکل ۳-۸ روابط زیر برقرار است.

$$e_O = E_A - E_B = E \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right), \quad R_1 = R_G \parallel R_C, \quad R_2 = R_3 = R_4 = R_G$$

$$e_0 = E \left( \frac{1}{1 + \frac{R_G + R_C}{R_G R_C}} - \frac{1}{2} \right) = E \times \text{Shunt Cal Factor}$$

از رابطه بالا ولتاژ خروجی لودسل بر حسب ولتاژ تحریک و مقاومت موازی به دست می آید. با توجه به اینکه برای بیشترین خروجی لودسل ( $e_{Omax}$  Full-Scale Output) باید در نمایشگر بیشترین مقدار ظرفیت (Full Scale Display Value) نمایش داده شود، لازم است مقدار عددی نمایشگر متناظر ولتاژ به دست آمده  $e_0$  حساب شود ( $Shunt Cal Display Value$ ) و چنانچه این مقدار در نمایشگر تنظیم شود سامانه برای تمام محدوده ظرفیتی لودسل کالیبره می شود.  $e_{Omax}$  از حاصل ضرب ولتاژ تحریک  $E$  در فاکتور  $[mv/v]$  که از مشخصه لودسل است به دست می آید:

$$\text{Full Scale Output} = e_{Omax} = E \times [mV/V]$$

$$\text{Shunt Cal Display Value} = e_0 \frac{\text{Full Scale Display Value}}{\text{Full Scale Output}} = e_0 \frac{\text{Full Scale Display Value}}{E \times [mV/V]}$$

$$\text{Shunt Cal Display Value} = \text{Shunt Cal Factor} \times \text{full scale display value} / [mV/v]$$

در سامانه هایی که گزینه کالیبراسیون موازی مجهز به مقاومت کالیبراسیون داخلی می باشد، مشخصه  $Shunt Cal Factor$  ارائه می گردد و نیازی به محاسبه  $e_0$  نمی باشد. معمولاً مراحل تنظیم کالیبراسیون

موازی به صورت قدم به قدم زیر می باشد:

- ۱ - انجام تمام اتصالات لازم بین مبدل و تجهیزات.
- ۲ - اعمال تغذیه و مجال ۱۰ تا ۲۰ دقیقه برای برقراری تثبیت.
- ۳ - اعمال تنظیم صفر در حالت بی باری که موجب صفر شدن نمایشگر می شود.
- ۴ - فعال کردن حالت SHUNT CAL و تغییر تنظیم SPAN یا GAIN برای داشتن مقدار *Shunt Cal Display Value* بر روی نمایشگر .

### ۳-۳-۳ کالیبراسیون با بار حقیقی Actual load calibration

این متداول ترین نوع کالیبراسیون نمایشگر و لودسل می باشد که با کمک اعمال وزنه استاندارد دقیق به لودسل انجام می شود. اغلب نمایشگرها به گونه ای طراحی شده اند که وقتی به لودسل زیر بار معین متصل اند چنانچه مقدار آن بار به نمایشگر وارد شود برای کلیه محدوده نیروسنجی لودسل ، نمایشگر تنظیم می گردد . در واقع نمایشگر با داشتن دونقطه از تابع خطی ورودی خروجی لودسل ، رابطه ولتاژ خروجی و نیروی وارد شده را محاسبه می کند . دونقطه مناسب یکی نیروی معین وارد شده و دیگری نقطه صفر(بی باری) می باشد . هرچقدر بار معین به کارگرفته شده برای کالیبراسیون بیشتر باشد دقت سامانه بیشتر می شود . توصیه می شود که وزن یا نیروی وارد شده برای کالیبراسیون بیشتر از 80% بار نهایی باشد . البته در ظرفیت های بالا اعمال این نیرو گاهی دشوار است و لازم است از ابزاری که قبلا در کالیبراسیون استاتیکی توضیح داده شد استفاده گردد .

لذا برای تنظیم نمایشگر و یا ثبت کننده اطلاعات با خروجی سنسور به منظور نشان دادن مقدار صحیح کمیت اندازه گیری شده یا اصطلاحا برای کالیبراسیون می توان از اعمال یک وزن استاندارد و یا فشار مشخص ماشین اعمال نیرو بر روی سنسور استفاده کرد و نمایشگر را برای آن بار تنظیم کرد و پس از آن نمایشگر برای تمام دامنه اندازه گیری نیرو کالیبره می شود . درحالت استفاده از ماشین اعمال نیرو نیاز به

یک سامانه استاندارد شامل لود سل و نمایشگر بسیار دقیق می باشد که قبلا به دقت با هم کالیبره شده باشند و لودسل استاندارد را با لودسل مورد آزمایش با هم در معرض فشار قرار می دهند بنابراین هر مقدار نیرو که سامانه استاندارد نمایش دهد درست برابر نیرویی است که به لودسل مورد آزمایش وارد می شود البته برای انجام کالیبراسیون باید سعی شود نیروی اعمالی ثابت باشد و به جهت تغییر شکل مکانیکی المانهای ماشین ، مرتبا کم نشود . برای اعمال نیروهای زیاد به ماشین های بزرگ نیاز است. در شکل ۳-۹ ماشین های بزرگ و کوچک هیدرولیکی که در کالیبراسیون لودسل ها کاربرد دارند دیده می شوند .



شکل ۳-۹ سامانه های کالیبراسیون لودسل

## فصل چهارم مشخصات فنی لودسل

مقدمه :

برای انتخاب و استفاده از انواع تجهیزات از جمله لودسل ها لازم است از مشخصات فنی آنها اطلاع داشته باشیم . در کاتالوگ ها و جزوات فنی ، مشخصات لودسل ها به صورت اصطلاحات فنی بیان شده اند که اغلب آنها تعاریف خاصی دارند و دانستن مفهوم آنها مورد نیاز کاربر می باشد . اصطلاحات فنی در مورد لودسل ها زیاد است در پیوست مجموعه کامل آنها از منابع مختلف گرد آوری و ذکر شده اند که به عنوان مرجع برای کاربران بسیار مفید می باشند . از آنجا که لودسل ها وسایل اندازه گیری می باشند آشنایی با تعاریف مبحث اندازه گیری در بعضی موارد ضروری می باشد . اگرچه نمی توان برای تشریح مشخصات فنی مبداها کلیه تعاریف متداول در مبحث اندازه گیری را بیان کرد ولیکن بیان مفاهیم سه واژه پر کاربرد *accuracy, precision, resolution* و معادل فارسی آنها، مورد نیاز می باشد .

همواره مقادیر اندازه گیری شده را نمی توان با اطمینان مطلق معین کرد . ابزار اندازه گیری و سامانه ها دارای تفرانس و نابسامانی هستند که موجب عدم اطمینان می گردند و لازم است با تعاریفی خاص مقدار توانمندی هر حساسه و یا دستگاه در مقابل این خطاها نشان داده شود اما اغلب مفهوم این ها با هم اشتباه می شود علاوه بر این در زبان فارسی معانی کاملا متمایزی برای آنها وجود ندارد و اکثرا برای هر سه واژه ترجمه " دقت " به کار برده می شود خصوصا برای دو مشخصه *accuracy, precision* . در حالیکه این دو مشخصه کاملا متفاوت می باشند و تولید کنندگان برای ارائه کیفیت محصول خود از تعبیر انحصاری آن ها کمک می گیرند.

ابتدا در این جزوه معانی این سه کلمه را به فارسی قرار می دهیم چونکه ممکن است در مستندات دیگر به صورت متفاوت تعریف شده باشند و چنانچه معادل فارسی بیان شده زیاد مناسب نباشند برای دوری از بحث های کلامی بهتر است به صورت یک اسم به آنها توجه شود :

<i>accuracy</i>	→	دقت
<i>precision</i>	→	صحت
<i>resolution</i>	→	تفکیک پذیری



دقت : خطای بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار واقعی.

صحت : توزیع تصادفی مقادیر اندازه گیری شده پیرامون متوسط مقادیر اندازه گیری شده.

تفکیک پذیری : کوچکترین اندازه قابل تشخیص مقادیر اندازه گیری شده.

تفاوت دقت (*accuracy*) و صحت (*precision*) در مثال هدف گیری سلاح شکل ۴-۱ به طور

ساده ای نشان داده شده است . وقتی یک سلاح دقیق باشد ولیکن در آن صحت کم باشد نقاط برخورد

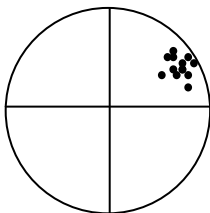
نزدیک به مرکز هدف پخش می شوند یعنی هدف گیری سلاح دقیق است اما همیشه به یک صورت

شلیک نمی کند و به بیان دیگر در فن آوری ساخت ضعف دارد ولی خوب کالیبره و تنظیم شده است . اگر

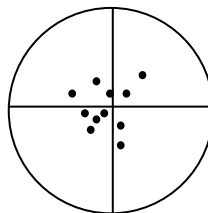
سلاحی خوب ساخته شده باشد همواره یک جور شلیک می کند و اگر شرایط شلیک یکسان باشند متناسب

با درجه صحت سلاح نقاط برخورد نزدیک به هم و در یک نقطه متمرکز می باشند و اگر این سلاح خوب

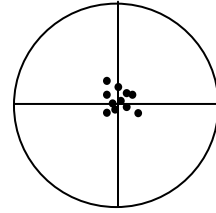
تنظیم و کالیبره نشده باشد نقاط برخورد در یک فاصله از مرکز هدف ، کنار هم تجمع می کنند .



صحت مناسب



دقت مناسب



دقت و صحت مناسب

شکل ۴-۱- تفاوت دقت *accuracy* و صحت *precision*

روشن است که در شرایط ایدال صحت % ۱۰۰ همه نقاط برخورد در یک نقطه جمع می شوند و اگر دقت نیز % ۱۰۰ باشد این تک نقطه درست در مرکز هدف قرار می گیرد.

**accuracy** (دقت) به کالیبراسیون و **precision** (صحت) به تکنولوژی ساخت بستگی دارد .  
دقت و صحت به صورت خطاهای قاعده دار و تصادفی تعریف می شوند . به صورت کلی دقت به خطای قاعده دار و صحت به خطاهای اتفاقی نسبت داده می شود.

موضوع تفکیک پذیری نیاز به توجه دارد چرا که به دقت کلی مرتبط می باشد. اغلب خلط بین این دو ، عدم درک صحیح در تعیین نیاز های سامانه می کند. با وجود اینکه دقت و تفکیک پذیری با هم مرتبط می باشند لیکن تفاوت فاحشی بین آن دو وجود دارد.

به طور کلی دقت معین می کند که چه مقدار خروجی یک حساسه با مقدار واقعی نزدیک می باشد. هر تفاوتی بین قرائت و مقدار واقعی معمولاً خطا محسوب می شود .

تفکیک پذیری یا **resolution** تعداد قسمت هایی است که خروجی و یا آنچه از خروجی حساسه اندازه گیری نمایش داده شده ، می تواند به آن تقسیم شود بدون آنکه ناپایداری در سیگنال یا قرائت ایجاد گردد. تفکیک پذیری به طریق های مختلف می تواند بیان گردد که دو روش معمول تر عبارتند از :

- مرتبه اعشار **Decimal Places dp**

این تعریف با واحد مهندسی<sup>۱</sup> مرتبط است و تعداد اعشار یک نمایشگر و یا مقدار خروجی ، را نشان می دهد.

- شمارش/تقسیمات **Parts/Divisions/Counts**

این مقدار ، تفکیک پذیری را مستقیماً به تعداد تقسیمات مجاز نشان می دهد و مطلق می باشد.

<sup>1</sup> engineering unit



دقت درجه درستی مطلق سامانه اندازه گیری ، در حالیکه تفکیک پذیری کوچکترین عددی که می تواند به وسیله تجهیزات اندازه گیری نشان داده شود ، می باشد.

لودسلی که دقت آن  $\pm 0.15\%$  تعیین شده ، بر اساس تعریف استاندارد " دقت " خروجی بین  $0.99985$  تا  $1.00015$  برابر مقدار حقیقی را دارد. پس خروجی آن تا پنج رقم اعشاری معنی دار است . پنجمین اعشار معرف ده میکرو ولت می باشد ، لذا این مبدل تفکیک پذیری ده میکرو ولت دارد. در این مثال ارتباط دقت و تفکیک پذیری دیده می شود. در حقیقت عدد  $0.15\%$  همان خطا است.

در مثال های بعد فرض می شود خطای پله ای ( حد اقل  $\pm 1$  بیت ) در کمترین رقم معنی دار نمایشگر دیجیتال صفر باشد.

مثال اول : یک منبع تغذیه مشخص شده دقیقاً ولتاژ  $5/643$  ولت تولید می کند. حال اگر از ولتمتری استفاده شود که صد در صد دقیق باشد ولی تنها دارای سه رقم نمایشگر باشد مقدار قرائت  $5/64$  خواهد بود. اینجا منبع تغذیه و همچنین ولت متر دقیق می باشند ولیکن خطا داریم و قرائت نشان دهنده ولتاژ واقعی نیست. مانند اینکه ولتمتر صد درصد دقیق دارای خطای قرائت معادل سه میلی ولت و یا  $0.532\%$  می باشد. در این مثال قرائت می تواند خطا در نظر گرفته شود مگر اینکه نیاز به سه رقم قرائت باشد. در جائیکه دقت منبع و تجهیزات صد در صد است ، تفکیک پذیری تجهیزات قرائت ، و پذیرش قرائت کننده مشخص می کند چه چیزی دقت را تشکیل می دهد.

مثال دوم : مجدداً یک منبع تغذیه مشخص شده دقیقاً ولتاژ  $5/643$  ولت تولید می کند . اما در اینجا نشانگر ولتمتر با سه رقم نمایشگر دارای  $\pm 0.15\%$  دقت می باشد (قرائت بین  $0.99985$  و  $1.00015$  برابر مقدار فعلی می باشد) . در این حالت ولتمتر دیجیتال هنوز  $5/64$  نشان می دهد. پس می توان گفت

این دستگاه با دقت  $\pm 0.15\%$  همچنان مانند مثال قبل همان  $0.532\%$  خطا را می دهد. یک بار دیگر تفکیک پذیری و قرائت کننده معین می کنند چه چیزی دقت را تشکیل می دهد. مهم است که تعادل بین دقت و تفکیک پذیری ایجاد گردد. مثلا دقت ده گرم باشد، تفکیک پذیری یک گرم مناسب است. در این مثال تفکیک پذیری یک گرم بدون ایجاد تاثیر نادرست بر دقت تضمین می کند که دقت ده گرم برقرار شود اما اگر تفکیک پذیری به یک دهم گرم ارتقاء یابد باعث می شود که به استفاده کننده تحمیل شود دقت بیشتری وجود دارد همچنین این افزایش تفکیک پذیری ممکن است باعث عدم پایداری نمایشگر شود.

### ❖ دقت سامانه هرگز نمی تواند از تفکیک پذیری بزرگتر شود.

#### خطاهای سیستمی System Errors

معمولا resolution, repeatability, and reproducibility از ویژگی های سیستم می باشند تا اینکه از پارامتر های لودسل وبستگی دارند به (۱) کاربرد ویژه لودسل (۲) سامانه مقرر مکانیکی اعمال نیرو (۳) تجهیزات الکتریکی که برای اندازه گیری خروجی لودسل به کار می روند. دقت لودسل عملا بی نهایت است. یعنی اینکه اگر کاربر راضی به پرداخت هزینه کافی برای ساخت محیط پایدار با دما و بدون نیروهای ناخواسته، و تهیه تجهیزات الکترونیکی کاملا پایدار و با ضریب تقویت زیاد باشد، لودسل می تواند تغییر بسیار کوچک نیرو را اندازه گیری نماید. مهم ترین مسئله حل مشکل تغییرات حرارت از سامانه های سرمایش / گرمایش، نیروهایی مانند جریان هوا و لرزش ساختمان، و عدم توانایی سامانه های نیروی هیدرولیکی در ثابت نگه داشتن نیرو در زمان می باشد. برای کاربران خیلی شایع است که هزینه زیادی کنند تا تجهیزات اندازه گیری بسیار دقیق داشته باشد. اما نتیجه این است که به علت عدم پایداری در کل سامانه، در نمایشگر هم نیز عدم پایداری وجود دارد و لذا قرائت دشوار می گردد.

برای مبدل های ترک دقت به صورت درصدی از ظرفیت بیان می شود و معمولاً مقدار  $0/1$  درصد خطای ترکیبی<sup>۱</sup> متداول است. در این صورت مثلاً مبدل  $1000 \text{ Nm}$  ، وقتی تا ظرفیت  $1000 \text{ Nm}$  به کار گرفته شود ، دارای خطای غیر خطی و هیستریزیز<sup>۲</sup> بیشتر از  $1 \text{ Nm} \pm$  نمی باشد. وقتی یک ترک متوسط متداول  $800 \text{ Nm}$  با این مبدل اندازه گیری می شود ، مقدار  $1 \text{ Nm} \pm$  می تواند دقیق باشد. اما اگر در کاربردی دارای اگر نسبت ترک متداول به حداکثر قله ترک خیلی کم است ، شاید لازم باشد این چنین مبدل برای اندازه گیری ترک متداول  $100 \text{ Nm}$  به کار گرفته شود ولی در این حالت  $1 \text{ Nm} \pm$  در  $100 \text{ Nm}$  خطای یک در صد می باشد. انتخاب مبدل با ظرفیت کافی برای فایق آمدن به اهداف کاربردی ، ممکن است آنرا برای داشتن دقت بالا مناسب قرار ندهد و مانند همیشه لازم است مصالحه انجام شود.

راه دیگر برای داشتن تحمل بار اضافی زیاد و در عین حال اندازه گیری دقیق مقدار ترک ، استفاده از مبدل های چند ظرفیتی می باشد. به عنوان مثال سامانه ای که دارای بار نسبتاً سنگین باشد ، ترک متداول و جاری کم است اما مقدار قله ترک زیاد می باشد. اگر میخواهیم هر دو ترک جاری و قله با دقت اندازه گیری شوند مبدل های دو ظرفیتی می تواند انتخاب خوبی باشد. در مبدل های ترک دو گانه نسبت ظرفیت از زیاد به کم معمولاً پنج به یک (۱:۵) و یا ده به یک (۱:۱۰) می باشد و معمولاً بار اضافی مطمئن حدود دو برابر مقدار حد بالایی می باشد.

بعضی از مبدل های جدید دارای خروجی قابل درجه بندی و خروجی های چندگانه از یک مبدل می باشند . برای مثال یک مبدل  $1000 \text{ Nm}$  می تواند روی  $300 \text{ Nm} \pm$  برای  $10 \text{ V} \pm$  خروجی ، درجه بندی شوند.

عامل دیگر قابل ملاحظه تفکیک پذیری سامانه اندازه گیری می باشد. تجهیزات آنالوگ مانند لغزش حلقه ها<sup>۳</sup> و مبدل های گردشی<sup>۴</sup> اساساً دارای تفکیک پذیری بی نهایت می باشند که به وسیله نسبت سیگنال به نوفه<sup>۵</sup>

<sup>1</sup> combined error

<sup>2</sup> nonlinearity and hysteresis error

<sup>3</sup> slip-ring

<sup>4</sup> rotary transformer

<sup>5</sup> signal to noise ratio

سامانه محدود می شود. از طرف دیگر مبدل های دیجیتالی ترک گردشی دارای تفکیک پذیری بیتی<sup>۱</sup> مربوط به قسمت مبدل آنالوگ به دیجیتال ، می باشند. معمولا مبدل های دیجیتالی ۱۲ یا ۱۶ بیتی یا بیشتر می باشند. یک مبدل ۱۲ بیتی دارای ۴۰۹۶ شمارش روی کل محدوده ظرفیت از نهایت منفی تا نهایت مثبت می باشد. یعنی اینکه روی یک جهت ۲۰۴۸ شمارش وجود دارد. بنابراین برای مبدل ۱۲ بیتی با ظرفیت ۱۰۰۰ Nm ، حدودا ۵/۰ Nm می باشد. اگر این کافی نباشد لازم است مبدل با تفکیک پذیری بالاتر انتخاب شود. مبدل ۱۶ بیتی ۱۰۰۰ Nm دارای ۰/۰۳ Nm و مبدل ۱۸ بیتی ۱۰۰۰ Nm دارای تفکیک پذیری ۰/۰۰۸ Nm می باشد.

---

<sup>1</sup> bit

## ۴-۱ آشنایی با مشخصات فنی لودسل ها

با توجه به تعدد زیاد تولید کنندگان لودسل و نیز تنوع فراوان خود لودسل ها ، برای انتخاب درست یک لودسل با هزینه مناسب ، آشنایی با مشخصات فنی ارائه شده در جزوات فنی ضروری است . برای این منظور ابتدا دو جدول نمونه مشخصات فنی از دو شرکت متفاوت در زیر نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- مشخصات فنی لودسل از یک شرکت نمونه

Type		AAAAA			
Accuracy class according to OIML R60		- C3			
Maximal numbers of load cell verification intervals (nLC)		3000		3000	
Maximal capacity (E <sub>max</sub> )	Kg	100	200	300	500
	kg	1	2	5	20
Deflection at max.load,(s <sub>nom</sub> )approx.(±20%)	mm	0.45	0.45	0.6	0.8
		1.0	1.1	1.4	1.8
Weight (G), approx.	kg	1	1.8	4.1	5.5
Minimum load cell verification interval (V <sub>min</sub> ) -% of C <sub>n</sub>		0.03			
Sensitivity (C <sub>n</sub> ) - mV/V		3±0.25%			
Zero balance - mV/V		0±2%			
Temperature effect on sensitivity (TKc) * - % of C <sub>n</sub> /K		< ±0.0012			
Temperature effect on zero balance (TKo) - % of C <sub>n</sub> /K		<±0.0040			
Non-linearity (d <sub>lin</sub> ) * - %		<±0.017			
Repeatability (d <sub>rep</sub> ) * - %		<±0.017			
Hysteresis error (d <sub>hy</sub> ) * - %		<±0.017			
Creep (d <sub>DR</sub> )in 30 min. - %		< ±0.023			
Input resistance (RLC) [Red(+)-white(-)] - Ω		400 ±25			
Output resistance (R <sub>o</sub> ) [blue(+)-green(-)] - Ω		350±3			
Reference excitation voltage (U <sub>ref</sub> ) - V(DC/AC)		0.5...12			
Maximal excitation voltage - V(DC/AC)		18			
Insulation resistance (R <sub>is</sub> ) - GΩ		>2 [50 VDC]			
Nominal temperature range - °C [°F]		-0...+40 [15...+105]			
Service temperature range - °C [°F]		-30...+70 [-0...+160]			
Storage temperature range - °C [°F]		-50...+85 [-0...+185]			
Safe load limit (EL) - % of C <sub>n</sub>		150			
Breaking load (Ed) - % of C <sub>n</sub>		300			
Protection class (IP) acc. to IEC529 - ]		IP66			

جدول ۲-۴ مشخصات فنی لود سل ارائه شده توسط شرکت نمونه دیگر

### Technical Data ::

Standard Capacity (Tonf)	10.15,20,30,45,75,100
Excitation Voltage	10 VDC-Maximum 15 VDC
Nominal Output	3.0 mV/V
Non Linearity	<# 0.025%FSO (Full Scale Output)
Hysteresis	<#0.02%FSO
Non Repeatability	<± 0.01%FSO
Creep(30 Minutes)	<± 0.03%Fso
Zero Balance	<± 1.0%FSO
Input Resistance	770 ± 20.Ohms
Output Resistance	700 ± 7.0 Ohms
Insulation Resistance	>1000Mega Ohms at 50 VDC
Safe Overload	150%of Rated Capacity
Ultimate Overload	300%of Rated Capacity
Allowable side load	50% of Rated Capacity
Side Load Discrimination	500:1
Temperature Compensated Range	0-60°C
Temperature Effect on Output	<0.0015%FSO/°C
Temperature Effect on Zero	<0.0020%FSO/°C
Deflection	<0.5mm at FSO
Finish & Construction	Electroless Nickel Plated Tool Steel
Environment Protection Class	

همانطور که دیده می شود لزوما تمامی مشخصات ارائه شده توسط دو شرکت به یک شکل نیستند و گاهی حتی از اصطلاحات یکسان استفاده نمی شود و این موضوع در بعضی موارد مقایسه لودسل ها را دشوار می کند. بنابراین در ادامه تعدادی از متداول ترین مشخصات فنی لود سل ها که در اغلب کاتالوگ های تولید کننده گان دیده می شوند به ترتیب حروف بیان شده و مفاهیم کاربردی آنها مختصرا ذکر گردیده است و سپس آنهایی که از اهمیت بیشتری برخوردارند کامل تر تشریح خواهند شد و در پیوست مجموعه مفصلی از اصطلاحات کاربردی مرتبط با مبحث لودسل ها همراه با تعاریف آنها آورده شده است.

**Accuracy** : دقت نشان می دهد که بین مقدار واقعی خروجی و مقدار مورد انتظار تئوری چقدر تفاوت وجود دارد و به صورت درصدی از ظرفیت نهایی<sup>۱</sup> لود سل بیان می شود. بعضی از تولید کنندگان به جای دقت مشخصه های دیگر مرتبط را بیان می کنند .

**Bridge Resistance** : مقاومت الکتریکی خالص سر پل و تستون در حالت بدون بار . برای حالت پل کامل و تساوی چهار مقاومت ، در این حالت مقاومت معادل مساوی مقاومت یک شاخه می باشد .

**Creep error** : مقدار تغییر خروجی با زمان برای بار ثابت در شرایط ایدآل .

**Compensated Temp. Range** : محدوده حرارتی که خروجی لود سل در برابر تغییرات حرارتی جبران سازی شده باشد .

**Calibration** : مشخص کننده نوع باری است که برای آن لود سل کالیبره شده است . در واقع کالیبراسیون برای فشار و کشش کمی متفاوت است و بر دقت اندازه گیری تاثیر دارد .

---

<sup>1</sup> Full Scale Output :

به صورت تفاوت بین بیشترین و کمترین خروجی تعریف می شود. در این حالت لودسل فقط برای نیروهای در یک جهت کالیبره شده و لذا Full Scale Output مساوی ظرفیت نهایی یا Rated Output می شود.

**Combined error** : خطای مرکب بیشترین خطای خروجی لودسل از خط صاف است که شامل هر دو خطای غیر خطی و هیستریز می باشد . و به صورت درصدی از **Full Scale Output** بیان می شود .

**Excitation voltage** : نشان دهنده ولتاژ تغذیه لود سل است .

**Full Scale Deflection** : بیشترین تغییر شکل المان تحمل کننده بار مکانیکی لود سل در بار نهایی.

**Gage Resistance** : مقاومت الکتریکی هر استرین گیج در حالت بی باری .

**Hysteresis** : تفاوت بین خروجی در  $\frac{1}{2}$  بار نهایی در فرایند افزایش بار و در  $\frac{1}{2}$  بار نهایی در فرایند کاهش بار و به صورت درصدی از **Full Scale Output** بیان می شود .

**Input impedance** : مقاومت اهمی ورودی

**Insulation resistance** : مقاومت عایق

**Linearity** : گاهی نیز به صورت **non linearity** بیان می شود و مشخص کننده بیشترین انحراف منحنی کالیبراسیون با حالت ایده آل خط مستقیم می باشد . و به صورت درصدی از **rated output** داده می شود .

**Minimum load measuring** : حداقل مقدار قابل اندازه گیری

**Maintenance temperature** : گستره درجه حرارت انبار داری

**output impedance** : مقاومت اهمی خروجی

**Operating Temp. Range** : محدوده درجه حرارتی که لود سل با پشتیبانی جبران حرارتی در آن کار می کند .

**Protection class** : کلاس محافظتی IP



Rated capacity : ظرفیت بار

Rated Output : این مشخصه به صورت  $mv/v$  بیان می شود و نشان می دهد در بیشترین بار مجاز پتانسیل خروجی به ازای هر ولت تغذیه لود سل چند میلی ولت می باشد .

Repeatability : یا به صورت Non Repeatability تفاوت بین خروجی برای بار یکسان و در

شرایط یکسان که در زمان های مختلف گرفته شده باشد . و به صورت درصدی از Full Scale

Output بیان می شود . اغلب تکرار ناپذیری در لودسل مقصر شناخته می شود ، پیش از اینکه استفاده

کننده خطایی منجر به بررسی سامانه دریافت کند و مسبب های اصطلاحاً قرائت تصادفی را برطرف نماید.

تحت شرایط الکتریکی و مکانیکی بهینه ، بزرگی تکرار پذیری لودسل می تواند مانند بزرگی دقت ظاهر

شود که معمولاً بهتر از نیاز هر سامانه اندازه گیری نیرو می باشد. تکرار پذیری تحت تاثیر هریک از فاکتور

های زیر می باشد.

- سفتی اتصالات مکانیکی مقره.
  - سختی فرام بار و یا سامانه نیروی اعمالی
  - تکرار پذیری سامانه نیروی هیدرولیکی به خودی خود.
  - اعمال بار ناگهانی .
  - کنترل ضعیف زمانهای قرائت ، که باعث ایجاد خزش در داده می شود.
  - عدم پایداری مدارات الکترونیکی به دلیل تغییر دما ، نوفه ، مشخصات خطوط قدرت و غیره ...
- Reproducibility قابلیت تولید مجدد توانایی انجام اندازه گیری ها در یک چیدمان آزمایش و سپس تکرار آنها در چیدمان آزمایش متفاوت دیگر. اگر در دو چیدمان آزمایش یک یا چند جزء در آنها تغییر کند متفاوت تعریف می شود. پس تنها با تغییر نگهدارنده ، می توان عدم توانایی تکرار پذیری در یک مجموعه

اندازه گیری را پیدا کرد. و یا تفاوت بین دو سامانه آزمایش پیدا شود که اگر اختلاف بین آن دو تحلیل و تصحیح نشود ممکن است به عمده ترین مشکل تبدیل شود .

**Safe Overload – Max Safe Load** : بیشترین باری که لودسل بدون تغییر شکل ماندگار تحمل می کند .

**Thermal Effects** : تغییر در خروجی با تغییر دما برای حالت بدون بار و خروجی با بار . و به صورت در صد ظرفیت نهایی بر درجه حرارت برای بی باری و درصد بار برای حالت بار شده ، بیان می شود .

**Temp. Shift Zero** : تغییر در خروجی بدون بار با تغییر درجه حرارت .

**Temperature effect on** : تاثیر دما بر خطای صفر

**Ultimate over load**: حداکثر بار تخریب (نهایت بار ایمن)

**Zero Balance** : خروجی بدون بار در یک ولتاژ تغذیه معین . درصدی از **Full Scale Output**

#### ۴-۱ کلاس دقت لودسل **ACCURACY CLASS**

در زمان ساخت لودسل ها امکان دارد پاره ای نقص جزئی در ساختمان آن ها باشد (سازه ای ، الکتریکی و نصب پل مدار و تستون ) . تمام لودسل ها وقتی ساخته می شوند آزمایش شده و بر اساس یک استاندارد

معتبر دسته بندی می شوند . لود سل ها به کلاس های متفاوت دقت تقسیم می شوند. بعضی از این

کلاس های دقت در استانداردهایی که رسماً در تجهیزات تجاری وزن کشی به کار می روند مشخص

و شناخته شده اند و پاره ای دیگر از کلاس های دقت منحصرأ به وسیله تولید کننده ها تعریف شده اند.

کلاس دقت در استاندارد NTEP به صورت I,II,III,III L,III I به صورت نزولی تعریف شده است .

معمولاً لودسل های تجاری کلاس III (کاربرد های صنعتی) و یا L III (در حمل و نقل) می باشند.

در بعضی تولیدات یک درجه مشخص کننده میزان دقت به صورت حروف و عدد به محصول داده می شود که به استاندارد و مشخصه ویژه لود سل بستگی دارد. حرف برگزیده (A,B,C) مرتبط با کلاس دقت معین و قسمت عددی مربوط به تعداد تقسیمات می باشد.

AZ تولیداتی که مربوط به کلاس III در استاندارد NTEP می باشند.

BZ تولیداتی که مربوط به کلاس IIIL در استاندارد NTEP می باشند.

CZ تولیداتی که مربوط به کلاس III, IIIL در استاندارد OIML می باشند.

Z مشخص کننده تعداد تقسیمات (  $\times 1000$  ) می باشد مانند A3,B10,C6, ...

در بعضی از انواع لود سل ها کلاس دقت با C1, C2, C3, C4, C5, C6 نشان داده می شود که تعریف شده در آیین نامه ها می باشد و لودسل با کلاس C6 دارای بیشترین دقت و لودسل با کلاس C3 دارای کمترین دقت می باشد. کلاس C1 و C2 معمولاً در وزن کشی مخازن نصب و استفاده می شود که نیازی به تایید ندارند. C3 استاندارد صنعتی برای کاربرد های تجاری می باشد. C4 تا C6 در تجهیزات دقیق و آزمایشگاه های اندازه گیری استفاده می شود.

تعداد تقسیمات و درجات C3 را می توانیم 14000 قسمت، C4, C5, C6 را 20000 قسمت نشان دهیم.

حداقل مقدار بار قابل اندازه گیری توسط هر لودسل نشانگر دقت لودسل می باشد. اگر E ظرفیت لودسل و Y تعداد تقسیمات لودسل باشد، V حداقل مقدار بار قابل اندازه گیری را نشان می دهد به طوریکه:

$$V = E / Y$$

مثال: دقت لودسل با ظرفیت ۳۰ تن و کلاس C3 :

$$V = 30000 / 14000 = 2.1$$

دقت این لودسل یا حداقل مقدار بار قابل اندازه گیری ۲/۱ کیلوگرم می باشد .  
وقتی کمترین مقدار وزن شده (یک رقم) نسبت به ظرفیت نهایی کوچک است خروجی لود سل بر رقم باید  
بیشتر از حساسیت ورودی نمایشگر باشد . برای مثال مشخصات یک لودسل عبارت اند از :

Rated capacity: 6 kg

Rated output: 1 mV/V

Recommended excitation voltage: 10 V

ولتاژی که برای یک گرم در لودسل ایجاد می شود عبارت است از :

$$10 \times 1 \text{ mV} / 6000 = 1.6 \mu\text{V}$$

بنابر این اگر حساسیت ورودی نمایشگر کمتر از  $1.6 \mu\text{V}$  باشد می تواند یک گرم را نمایش دهد .

۴-۱-۱ محاسبه دقت Accuracy of Measurement :

ممکن است در بین مشخصات ارائه شده از طرف سازندگان دقت لود سل (accuracy) دیده نشود و  
به جای آن hysteresis , linearity, repeatability را بیان کنند و در صورت نیاز می توان با  
یک رابطه دقت را محاسبه کرد . فاکتور هایی که روی دقت اثر دارند عبارتند از :

nonlinearity, hysteresis error, repeatability, temperature effects on  
zero balance ,span

$$\varepsilon > \sqrt{\varepsilon_L^2 + \varepsilon_H^2 + \varepsilon_R^2 + \left( \frac{\varepsilon_z \times L \times N}{W_1} \times t \right)^2 + (\varepsilon_s \times t)^2}$$

$\varepsilon$  : (%) اندازه دقت به درصد :

$\varepsilon_L$  : Nonlinearity (%)

$\epsilon_H$  : Hysteresis error (%)

$\epsilon_R$  : Repeatability (%)

$\epsilon_Z$  : zero balance اثر دما بر (%/°C)

$\epsilon_S$  : span اثر دما بر (%/°C)

L : Rated capacity of the load cell

N : تعداد لودسل های مورد استفاده

$W_1$  : بیشترین بار مورد اندازه گیری

t : محدوده تغییرات حرارتی لودسل (°C)

در بیشتر مواقع nonlinearity, hysteresis error, repeatability را به صورت

combined error ارائه می دهند

$$\epsilon_C = \sqrt{\epsilon_L^2 + \epsilon_H^2 + \epsilon_R^2}$$

$$\epsilon > \sqrt{\epsilon_C^2 + \left( \frac{\epsilon_Z \times L \times N}{W_1} \times t \right)^2 + (\epsilon_S \times t)^2}$$

با صفر کردن نمایشگر از تاثیر تغییر حرارت در ایجاد خطای zero balance error جلوگیری می

شود و می توان  $(\epsilon_Z \times t)^2$  را از فرمول حذف کرد .

ظرفیت نهایی لودسل را می توان به وسیله فرمول زیر به دست آورد :

$$L > \frac{(f_1 \times W_1 + W_2) \times f_2 \times f_3}{N}$$

$L$  : Rated capacity

$N$  : تعداد لودسل های مورد استفاده

$W_1$  : وزن خالص اندازه گیری

$W_2$  : وزن ملحقات به ترازو

$f_1$  : Dynamic factor (typically 1.3)

$f_2$  : Eccentricity factor (typically 1.2)

$f_3$  : Imbalance factor (1.0 when  $N = 3$ , and 1.2 when  $N = 4$ )

برای مثال مشخصات زیر مربوط به یک لودسل ده کیلو گرمی است .

جدول ۳-۴ - مشخصات فنی یک لودسل ده کیلوگرمی

Specifications	
Rated capacity	1 mV/V+15%-0%
Safe overload	300% of R.C.
Max. safe overload	400% of R.C.
Combined error	0.015% of R.O.
Recommended excitation voltage	DC 12 V
Maximum excitation voltage	DC 15 V
Zero balance	20±5% of R.O.
Input terminal resistance	Approx. 400 Ω
Output terminal resistance	350±5 Ω
Insulation resistance	500 MΩ/DC 50 V
Compensated temperature range	-10 to 40 °C
Temperature effect on zero balance	0.04% of R.O./10 °C
Temperature effect on span	0.014% of Load/10 °C Typ.
Cable thickness / length	φ4 / 1.5 m
Platform size	400 × 400 mm
Dust and water proof	IP54

فرض کنیم که محدوده درجه حرارت  $20 \pm 10^{\circ}$  باشد. مشخصات بالا نشان می دهد که تاثیر حرارت بر فاکتور  $\epsilon_C$  و  $\epsilon_Z$  zero balance برای  $10^{\circ}\text{C}$  می باشد لذا این مقادیر باید برای یک درجه محاسبه شوند. اگر برای هر اندازه گیری کلید صفر فشرده شود تاثیر حرارت بر zero balance قابل صرفه نظر است.

$\epsilon_C$  : Combined error (%) 0.015

$\epsilon_Z$  : Temperature effect on zero balance (%/°C) 0.004

در کاتالوگ 0.04 برای 10 درجه می باشد و اینجا برای یک درجه محاسبه شده است.

$\epsilon_S$  : Temperature effect on span (%/°C) 0.0014

مانند بالا محاسبه شده است.

L : Rated capacity of the load cell 10 kg

N : Number of load cells to be used 1

$W_1$  : Maximum load to be measured 10 kg

t : Temperature variation range of the load cell (°C)

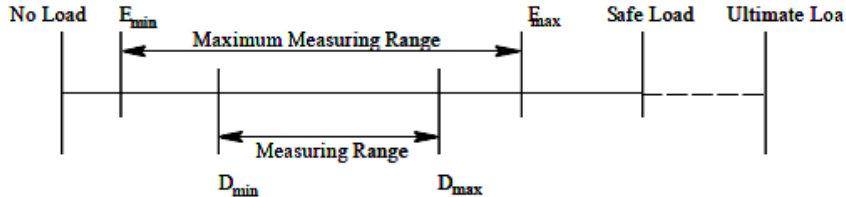
1 برای اثر حرارت بر zero balance چون کلید صفر فشرده شده است و 20 برای تاثیر حرارت بر span

$$\epsilon > \sqrt{0.015^2 + \left( \frac{0.004 \times 10 \times 1}{10} \times 1 \right)^2 + (0.0014 \times 20)^2} = 0.0320\%$$

پس سامانه می تواند به اندازه کافی دقیق باشد به شرط اینکه تفکیک پذیری کمتر از  $1/3000$  باشد.

#### ۲-۴ کمترین محدوده تایید شده (Minimum verification interval ( $v_{min}$ ))

خیلی از سیستم های وزن کشی از لود سل هایی استفاده می کنند که دقت اندازه گیری آنها خیلی کمتر از حد اکثر ظرفیت آنها می باشد. در این مواقع اندازه سود مندی<sup>۱</sup> و کمترین محدوده تایید شده<sup>۲</sup>، مهم است.  $V_{min}$  کمترین مقدار وزنی است که می توان به لود سل اعمال کرد بدون اینکه از بیشترین مقدار خطای قابل قبول تجاوز نشود. این به صورت  $E_{max}/\gamma$  مشخص می شود که  $E_{max}$  مشخص کننده حد اکثر ظرفیت لود سل و  $\gamma$  مقداری است که به وسیله تولید کننده مشخص می شود.  $V_{min}$  را می توان در تمام محدوده اندازه گیری لود سل بین کمترین بار ثابت<sup>۳</sup> و حد اکثر ظرفیت لود سل<sup>۴</sup> اعمال کرد یعنی اینکه در هر کجای محدوده مذکور اگر افزایش باری به اندازه  $V_{min}$  اعمال شود بدون خطا قابل اندازه گیری می باشد.



شکل ۲-۴- محدوده های خروجی لودسل

عبارات بالای خط افقی به وسیله طراحی لود سل مشخص می شود در حالیکه عبارات پایین به وسیله شرایط استفاده و توانمندی های لود سل مشخص می گردد.

<sup>1</sup> utilization

<sup>2</sup> Minimum verification interval ( $V_{min}$ )

<sup>3</sup> minimum dead load ( $E_{min}$ )

<sup>4</sup> rated capacity ( $E_{max}$ )



### ۳-۴ ملزومات سامانه های اندازه گیری بار تایید شده

مقررات لود سل هایی را برای سامانه های توزین قابل استفاده می داند که به وسیله یکی از استانداردهای:

NTEP national type evaluation program(USA)

یا OIML R60 (Europe)

تایید شده باشد. در آمریکا استاندارد مورد استفاده (NTEP) می باشد. در سطح بین المللی مقررات مورد استفاده در توزین OIML R 60 می باشد که کلاس های دقت را به A,B,C,D تقسیم می کند و کلاس C تقریباً مانند III می باشد.

ملزومات در قالب عبارت دقت لود سل برای سامانه های مذکور عبارت اند از :

(۱) انتخاب لود سل بر اساس استاندارد مربوطه مانند تولیدات مشخص شده "AZ" برای کلاس کاربردی III ، تایید شده باشد.

(۲) برای هر لود سل ، حداکثر تعداد محدوده های لود سل نباید کمتر از تعداد محدوده درجه بندی تایید شده باشد . مثلاً برای کلاس III با 3000 تقسیم (درجه بندی ) لود سل A3 لازم است.

(۳) کمترین محدوده مورد تایید لود سل باید شرط زیر را مهیا کند :

$$v_{min} \leq e^*R / \sqrt{N}$$

که e مشخص کننده کمترین مقدار درجه بندی تایید شده و R معرف نسبت کاهش تجهیزات انتقال بار می باشد(ترازوهای هیبریدی) .

$$R = \frac{\text{Load acting on the load cell(s)}}{\text{Load acting on the receptor (scale)}}$$

برای مثال اگر یک ترازوی کاملا الکترونیکی ( $R=1$ ) با چهار لود سل و محدوده اندازه گیری 6 تن به 3000 قسمت تقسیم شده باشد نیاز به لود سل با  $V_{min}$  زیر دارد :

$$v_{min} \leq (6000/3000) * (1/\sqrt{4}) \quad v_{min} \leq 1kg$$

#### ۴-۴ بیشترین تعداد محدوده تایید شده

مشخصه دیگری برای لود سل ها maximum number of load cell verification intervals و همچنین متناسب بودن آنها برای کاربرد های یک یا چند تایی می باشد . وقتی که دو یا چند لود سل با توزیع نرمال خطا با هم جمع می شوند به دلیل اعمال حذف بخشی<sup>1</sup> تلرانس کاهش می یابد. برای لودسل ها کلمات اختصاری نشان دهنده مشخصه های مذکور استفاده می شود به طوری که برای maximum number of load cell verification intervals ضریب 1,000 و برای کاربری single , multiple حروف S,M به کار گرفته می شوند . مثلا III L 6M لود سل با دقت کلاس III L با ماکزیمم 6000 قسمت و توانایی به کار گیری در کاربرد های چند لودسلی می باشد. در OIML تفاوتی میان کاربرد چند تایی و منفرد وجود ندارد . و مثلا C3 ، 3 با ضریب هزار مر بوط به maximum number of load cell verification intervals می باشد .

#### ۴-۵ تغییر شکل (خمش) لودسل

تمام لود سل ها با اعمال بار یا نیرو تغییر شکل می دهند . تنش ایجاد شده در المان فنری لودسل باعث کرنش در محل استرین گیج می شود . خمش در لود سل ها در بار نهایی می تواند از چند هزارم تا چند

<sup>1</sup> partial cancellation

دهم اینج متفاوت باشد. در طراحی لود سل فاکتور های زیادی در ارتباط با خمش باید در نظر گرفته شود. دو فاکتور مطرح در انعطاف پذیری لودسل وجود دارد، فرکانس رزونانس و ضربه پذیری. در رابطه بین تغییر طول و نیروی اعمال شده به فنر ( $F = k \times x$ ) حاصل ضرب جابجایی  $x$  در ضریب ثابت فنر  $k$  مساوی نیروی اعمال شده  $F$  می باشد. فرکانس رزونانس اصلی یک مجموعه فنر و جرم، با در نظر گرفتن المان لودسل به جای فنر و جرم بار اعمالی به لودسل به صورت جرم از فرمول زیر محاسبه می شود:  $M$  جرم بار اعمال شده،  $k$  ضریب فنری المان لودسل و  $g$  شتاب جاذبه زمین می باشد.

$$f(H_z) = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x}}$$

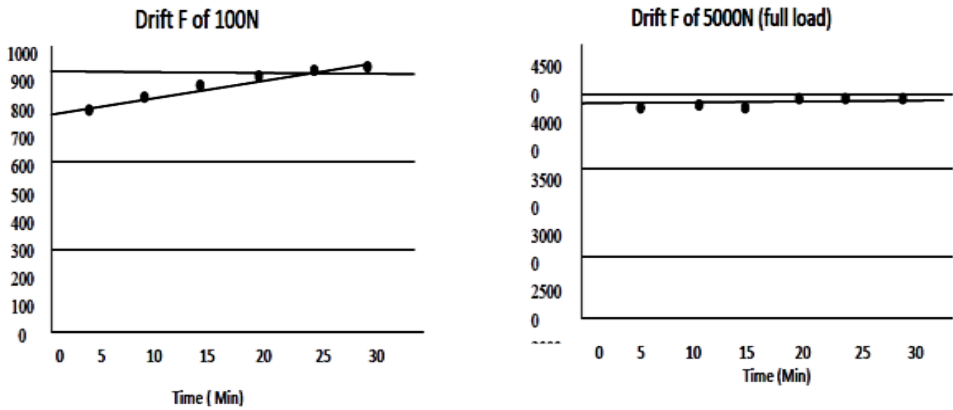
$$F = k \times x = M \times g \rightarrow f(H_z) = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{M}}$$

طراحان سامانه های وزن کشی نیاز دارند که مصالحه ای بین خمش ایجاد شده و فرکانس رزونانس داشته باشند. لود سل هایی با استحکام بیشتر (تغییر شکل یا خمش کمتر) دارای فرکانس رزونانس زیاد تر می باشند. رزونانس بیشتر به بهبود کاراکتریستیک فیلترینگ و زمان بل قوه کوتاه تر برای اندازه گیری وزن دقیق کمک می کند اما حفاظت از شوک و بار اضافی در لودسل با استحکام بیشتر دشوارتر انجام می شود.

#### ۴-۶ مشخصات مبدل های نیرو بر اساس پیزوالکتریک و استرین گیج

اندازه گیری استاتیکی نیرو: مبدل هایی بر پایه استرین گیج تقریباً راندگی drift ندارند و لذا برای اندازه گیری در زمان های طولانی مدت مناسب هستند. لذا پارامتر creep بسیار کوچک است و با انتخاب دقیق طرح بندی استرین گیج می تواند حداقل شود. وقتی یک سامانه اندازه گیری نیرو با مبدل های پیزو الکتریکی اجرا می شود به جهت اصول کارکرد آنها انتظار می رود طبق برآورد راندگی  $1 \text{ N/min}$  داشته باشد. از آنجا که این مقدار مستقل از مقدار نیروی اندازه گیری شده بدون تغییر باقی می ماند خطای

اندازه گیری حاصل از راندگی drift خصوصا برای اندازه گیری نیروی کوچک در زمان طولانی زیاد می شود .



شکل ۳-۴ عامل drift در مبدل های پیزو الکتریکی

در شکل ۳-۴ اثر راندگی drift با نیروی کوچک و بزرگ نشان داده شده است . وقتی نیروی 5000N بر روی زمان طولانی اندازه گیری می شود قابل قبول است ولی برای نیروی کوچک اثر راندگی قابل ملاحظه می شود . بنابر این اندازه گیری برای زمان طولانی بستگی به دقت مورد نیاز و اندازه نیرو دارد . اندازه گیری دینامیکی نیرو : مبدل های پیزوالکتریک در برابر نیروی اعمالی بسیار کم تغییر شکل می دهند و استحکام زیادی دارند . در نتیجه می توانند فرکانس رزونانس زیادی داشته باشند که اساسا برای کاربرد های دینامیکی مطلوب است . البته غیر از مبدل نیرو عامل های دیگری در محدود کردن اندازه گیری دینامیکی نیرو مانند پهنای باند آمپلی فایر تقویت شارژ و وزن ملحقات مکانیکی ، وجود دارند که لازم است در نظر گرفته شوند .



وقتی از مبدل های با ظرفیت بالا استفاده می شوند سامانه هایی که بر اساس استرین گیج می باشند فرکانس قطع بالاتری ارائه می دهند. اساسا المان فنری لودسل برای نیروهای کوچک حالت فنر نرم دارد در نتیجه فرکانس رزونانس مبدل کوچک است.

اصولا لازم است به مشخصات فنی مبدل در هر مورد مراجعه شود ولی مبدل های پیزوالکتریک انتخاب اول برای اندازه گیری سریع نیروهای کوچک می باشند در حالیکه برای نیروهای بزرگ مبدل های بر اساس استرین گیج ارجحیت دارند.

کالیبراسیون: مدار اتصال استرین گیج قادر است بسیاری از اثرات خطا را جبران سازی کند. علاوه بر اثر گرما بر نقطه صفر<sup>۱</sup> و حساسیت همچنین خطی بودن مبدل یا اثر ممان خمشی<sup>۲</sup> نیز از این جمله می باشند. ضمنا مبدل های استرین گیجی قابلیت کالیبراسیون دقیق استاتیکی را دارند. اضافه بر این المان فنری را می توان طوری طراحی کرد که توانایی باز سازی مکانیکی<sup>۳</sup> بسیار خوب داشته باشد. در نتیجه می توان مبدل های بر پایه استرین گیج را منحصرا به عنوان عنصر شاخص در مقایسه مبدل نیرو به کار برد. در حال حاضر مبدل های نیرو بر پایه استرین گیج با دقت بسیار خوبی تولید می شوند. در حالیکه خطای غیر خطی مبدل های پیزوالکتریکی اندکی بیشتر است حدود 5% full scale.

<sup>1</sup> temperature effects on the zero point

<sup>2</sup> bending moment

<sup>3</sup> reproducibility

#### ۷-۴ کیفیت و استانداردهای خاص لودسل

سازمان بین المللی مترولوژی :این سازمان یک موسسه بین المللی رسمی برای استاندارد نمودن مقررات و شیوه های کنترل مترولوژی (اندازه گیری) است. این مقررات توسط ادارات اوزان و مقادیر کشورهای عضو پذیرفته شده است. لودسل های دارای گواهینامه OIML بعنوان یک وسیله اندازه گیری قانون در سراسر اروپا شناخته می شوند.



گواهینامه Ex: این گواهینامه برای محصولات که شرایط هماهنگ



استانداردهای اروپایی را رعایت می کنند صادر می شود EN50.014. شرایط

عمومی برای وسایل الکترونیکی را در محیط های انفجاری بیان می کند .

EN50.020 و EN50.018 درجه مقاومت وسیله در مقابل آتش سوزی را

مشخص می نمایند EEx ia و EEx ib مشخصات آن دسته از وسایل الکترونیکی را معین می کند که

می توانند به ترتیب در زون های صفر و یک مورد استفاده قرار گیرند.

استاندارد ارزیابی ملی NTEP :مجموعه مقرراتی است که با همکاری



موسسه ملی اوزان و مقادیر و انجمن اوزان و مقادیر آمریکا و دست

اندرکاران ساخت وسایل توزین تهیه شده است.

Factory Mutual System: این گواهینامه آمریکایی برای نشان



دادن درجه ایمنی کالا می باشد. تمام محصولاتی که دارای این

گواهینامه هستند، می توانند در محیط های صنعتی پر خطر مورد استفاده

















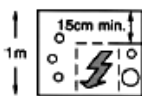

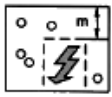

قرار گیرند.

## IP Rating

درجه حفاظت IP (Ingress Protection)

سیستم درجه بندی IP یک روش کلاسه بندی مقدار حفاظت تجهیزات الکترونیکی و جلد یا محافظ ها در مقابل نفوذ گرد و غبار و آب است . این سیستم در بیشتر کشور ها شناخته شده و مورد قبول بیشتر استانداردها از جمله IEC 60529 می باشد . این کد بندی شامل دو عدد است که رقم اول آن میزان حفاظت در برابر ورود اجسام جامد را نشان می دهد و رقم دوم مر بوط به نفوذ مایعات و گرد و غبار است . برای مثال : IP66: مقاوم در مقابل ریزش پر فشار آب و IP67: مغروق در آب و IP68: مغروق در آب تحت فشار می باشد. در جدول ۴-۴ حالت های مختلف این کد نشان داده شده است.

## جدول ۴-۴ - مشخصات رقم اول و دوم IP

1st Digit: Protection against foreign, solid objects			2nd Digit: Protection against liquids and moisture		
IP x...	Description / Test		IP ...y	Description / Test	
0		No Protection.	0		No Protection.
1		Protected against solid objects Over 50 mm, e.g. accidental Touch by hands.	1		Protected against vertically falling drops of water.
2		Protected against solid objects Over 12 mm, e.g. fingers.	2		Protected against direct sprays of water up to 15° from the vertical.
3		Protected against solid objects Over 2.5 mm, (tools / wires)	3		Protected against sprays to 60° from the vertical.
4		Protected against solid objects Over 1 mm, (tools / wires / small wires).	4		 Protected against water sprayed from all directions - limited ingress permitted.
5		Protected against dust - limited Ingress (no harmful deposit).	5		 Protected against low pressure jets of water from all directions - limited ingress permitted.
6		Totally Protected against dust.	6		Protected against strong jets of water, e.g. for use on ship decks - limited ingress permitted.
Example: IP67: Totally Protected against dust and Protected against the effects of immersion between 15 cm and 1 m.			7		 Protected against the effects of immersion between 15 cm and 1 m.
			8		 Protected against long periods of immersion under pressure.



#### ۸-۴ جنس المان فنری

**Aluminum Load Cells** : بیشتر لود سل های single point در ظرفیت های کم از آلومینیم ساخته می شوند . آلیاژ انتخابی 2023 است تا مشخصه creep و hysteresis را کاهش دهند . لود سل های آلومینیومی شبکه نازک تری نسبت به آهنی دارند . لازم است مقدار خمش مشخصی در المان برای ظرفیت لودسل ایجاد شود . معمولا ماشین کاری روی آلومینیوم هزینه کمتری دارد

**Tool Steel Load Cells** : لود سل هایی که از فولاد معمولی ساخته می شوند عمومی ترین کاربرد را دارند . نسبت قیمت به کارایی آنها از انواع دیگر بهتر است . آلیاژ 4330 یا 4340 چون مشخصه creep و hysteresis کمتری دارند عمومی ترین می باشد.

**Stainless Steel Load Cells** : برای کاربری در جاهایی که احتمال زنگ زدگی وجود دارد مناسب می باشند .

#### ۹-۴ حفاظت محیطی

یکی از مسائل مهم در به کارگیری لود سل ها مربوط می شود به حفاظت محیطی و استاندارد آبندی. استاندارد خاصی وجود ندارد که تناسب تولیدات با شرایط محیطی را پوشش دهد . خیلی از تولید کنندگان خود را با سیستم حفاظت بین المللی:

International Protection system (IP/IEC 529 or EN 40.050) و یا استاندارد

انجمن ملی تولیدات الکتریکی

National Electrical Manufacturers Association Standards (NEMA publication 250)

تطابق داده اند .

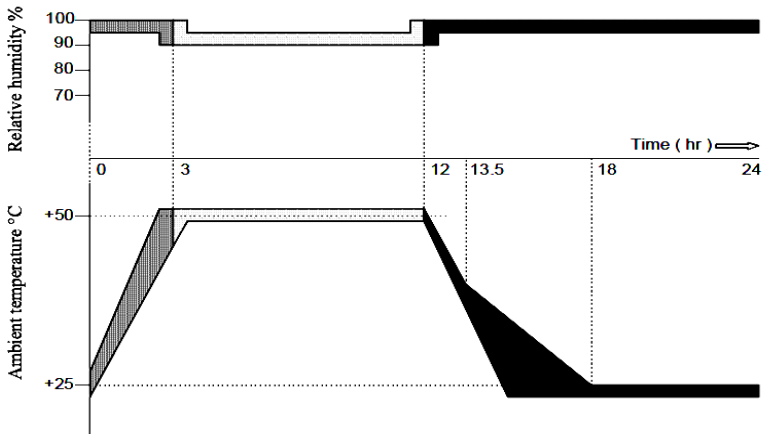
دسته بندی در NEMA از NEMA1 شروع می شود تا NEMA12 ولی برای لود سل بیشتر NEMA4 , NEMA6 مطرح می باشد . NEMA بیشتر در باره شرایط محیطی مانند خوردگی ، زنگ زدگی ، یخ زدگی ، روغن و خنک کننده می باشد .

NEMA4 محفظه های مربوط به استفاده در فضای داخل و یا خارج می باشد و درجه ای از حفاظت در مقابل باد های غبار آلود ، باران ، پاشش آب و آب مستقیم شیلنگ را بیان می کند . در هر صورت هیچ کنترلی در مورد اثر آلودگی داخلی اعمال نمی شود . محفظه های NEMA 4X شامل استاندارد های NEMA4 می شوند که از فولاد ضد زنگ 304 یا مواد دیگر که مقاومت مشابه در برابر خوردگی دارند ساخته می شوند .

محفظه های NEMA6 آنجایی استفاده می شوند که احتمال غرق شدن موردی را دارند . این استاندارد برای محفظه ای است که بالاترین نقطه آن 1/83 متر برای مدت 30 دقیقه زیر سطح آب باشد . NEMA 6P برای مواردی است که مدت زمان زیر آب بودن محفظه طولانی شود و مواد ضد خوردگی لازم باشد .

**Damp Heat Cycling** : استاندارد های NEMA , IP کاری به داخل محفظه ندارند در حالیکه کثیفی یا رطوبت درونی اثر زیادی بر روی عملکرد صحیح لود سل دارند . رطوبت می تواند برای مدت طولانی به درون لودسل شود وارد شود و اثر بسیار نامطلوب ایجاد کند خصوصا اگر اسید و یا قلیا وجود داشته باشد . یک آزمایش که توانایی و مقاومت لود سل را در برابر رطوبت و یا آلودگی نشان می دهد آزمایش چرخه گرما رطوبت **Damp Heat Cycling Test** می باشد . با وجود روش های مختلف برای این آزمایش ، استاندارد IEC 68-2-30 بیشتر از همه اقبال جهانی دارد . هدف استاندارد IEC مشخص کردن شایستگی اجزاء ، تجهیزات و یا چیز های دیگر

هنگام استفاده و ذخیره سازی در شرایط رطوبت زیاد همراه با تغییرات دما به صورت تناوبی می باشد. روشن است که این استاندارد بسیار مفید تر از دسته بندی های IP و NEMA در شناسایی شایستگی عملکرد محیطی لود سل می باشد .



شکل ۴-۴ - Damp Heat Cycling Test

لودسل تایید شده با OIML R-60 برای آزمون مقاومت در برابر ۱۲ دوره تناوبی گرما و رطوبت که هر کدام ۲۴ ساعت طول می کشد آزمایش می شود. لودسلی که این آزمون را تحمل نکند با “NH” (non humidity) نشان می شود .

لود سل با شوک ، بار اضافی overloading ، رعد و برق یا شوک شدید جریانی ، ورود رطوبت یا گرد و غبار ، حمل نامناسب (افتادن ، با کابل بلند کردن و غیره) ، لرزش ، زمین لرزه صدمه می بیند .

لود سل هایی که محافظت محیطی شده اند برای کاربرد های داخلی یا در محیط های پوشیده بیرونی مناسب هستند و اگر محفظه داخلی آنها از مواد پر کننده مناسب پر شده باشد <sup>۱</sup> در برابر آلودگی و

<sup>1</sup> potted cavity

رطوبت نیز محافظت می شوند و لیکن تضمینی برای آب بندی و همچنین خوردگی ندارند. روش دیگری برای حفاظت استفاده از صفحه چسبیده با فوم پشت می باشد<sup>۱</sup>. این باعث عدم ورود رطوبت و اجسام خارجی می شود. استفاده از دوروش قبل با هم به عنوان redundant sealing باعث جلوگیری بیشتری از ورود رطوبت می شود. روش دیگر استفاده روکش لاستیکی<sup>۲</sup> می باشد که معمولاً برای لود سل های نوع bending beam و cantilever استفاده می شود. روکش لاستیکی روی محفظه گیج را می پوشاند و دسترسی به آن و تعمیر در این روش ساده است ولیکن لاستیک محافظ باید در زمان های بازدید روغن کاری شود و در غیر این صورت صدمه دیده و آلودگی وارد لود سل می شود. محافظت لود سل تنها محدود به محفظه گیج نمی باشد و ورودی کابل نیز می تواند راه آلودگی باشد. معمولاً کابل از وسط اورینگ از میان بدنه فولادی وارد لود سل می شود. این روش برای رطوبت های معمولاً محافظ مناسبی است ولیکن در شرایط رطوبت زیاد و یا بخار و پاشش مستقیم آب جواب نمی دهد و نیاز به سد رطوبتی یا حفاظت مکانیکی می باشد.

آب بندی مطمئن لود سل از طریق روش Hermetically Sealed حاصل می شود که از فن آوری جوش پیشرفته و فلز آب بندی بسیار نازک استفاده می شود و برای محیط های خشن و پاشش مستقیم مایعات مناسب می باشند. محفظه گیج و جبران سازی لودسل با جوش لیزری آب بندی شده و با گاز خنثی یا پر کننده های دیگر پر می شوند و سپس برای تشخیص روزنه های میکروسکوپی تست آب بندی می شود.

---

<sup>1</sup> adhesive foam-backed plate

<sup>2</sup> rubber boot

صرف نظر از دسته بندی های لود سل ها به لحاظ حفاظت جلدی و آب بندی IP و NMEA ، لازم است از جهت طراحی در نحوه ورود کابل ، جنس ، ساخت و روش آب بندی کردن گیج ها <sup>۱</sup> نیز دسته بندی شوند . معمولا سطوح بحرانی روی بدنه لود سل با جوش پوشش داده می شود اما محل ورودی کابل یکی از موارد مشکل ساز می باشد . روش های متعددی برای آب بندی ورود کابل به بدنه وجود دارد. در بیشتر لود سل ها برای این کار از گلند استفاده می شود . جدای از اینکه محل گیج چگونه آب بندی شده باشد رطوبت و محلول ها از اطراف گلند و از وسط کابل نیز به درون لود سل نفوذ می کنند. گاهی تغییر دما باعث ایجاد عمل پمپاژ شده و رطوبت را به داخل کابل می فشارد . از طریق نشت جعبه اتصال یا از قسمت آسیب دیده کابل نیز نفوذ انجام می گردد . این ممکن است زمانی طول بکشد تا به سطح بحرانی برسد اما زمانی ممکن است در محل سفت شده و باعث ایجاد صدمه جدی شود .

یک روش بهینه سازی روی گلند کابل ایجاد سد ورود آب <sup>۲</sup> در محل ورود کابل می باشد و بلوک ورود کابل کاملا پر شده تا از ورود رطوبت و دیگر ذرات به قسمت های بحرانی جلوگیری شود .

بهترین روش استفاده از مدخل کابل شیشه به فلز است که از ورود هر ذره و آلودگی به گیج و یا سطوح بحرانی جلوگیری می کند .

---

<sup>1</sup> gages sealing method

<sup>2</sup> Water block cable entry

## فصل پنجم انتخاب و به کارگیری لودسل

### مقدمه

لود سل ها یا چار سیم دارند و یا شش سیم . نوع چهار سیم برای اندازه معین طول کابل مربوطه کالیبره و در برابر حرارت جبران سازی شده است . مشخصه لود سل در ارتباط با پایداری حرارتی در صورت قطع کابل از دست می رود . هرگز کابل لود سل چهار سیم را نباید قطع و کوتاه کرد .

چون کابل لود سل دارای مقاومت الکتریکی می باشد اندازه جریان الکتریکی که از آن عبور می کند وابسته به تغییرات حرارت است . این پدیده وقتی کابل طولانی است قابل صرفه نظر نیست و در موارد مجهز مدار حس کننده نمایشگر<sup>۱</sup> این خطارا اصلاح می کند . لود سل های شش سیمه به منظور انجام جبران حرارتی دو سیم اضافی برای اندازه گیری ولتاژ واقعی تحریک لود سل و ارسال به نمایشگر دارند . لود سل های شش سیمه از دسته لود سل هایی که جبران حرارتی شده اند نمی باشند و می توان کابل آنها را در هر اندازه قطع کرد .

وقتی یک منبع تغذیه ولتاژ بالا نزدیک لودسل و کابل های آن می باشد یک فاصله ۳۰ سانتی متری با لوله مجزا حامل سیم های لودسل در نظر گرفته شود و لود سل از تداخل القایی محافظت شود و از کابل های شیلد دار استفاده گردد .

این یک تصور متداول که لود سل را یک قطعه فلز در نظر گرفته که می توان تانک یا پلات فرم را بر روی آن قرار دهند غلط است. کارایی لود سل در درجه اول به توانایی آن در خم شدن مکرر تحت شرایط اعمال یا برداشتن بار بستگی دارد. علاوه بر این اگر از چند لود سل استفاده می شود خمش و خروجی هر کدام در نقطه بار باید مشابه باشد. برای این منظور لودسل باید به صورت انعطاف پذیر بین تکیه گاه و

<sup>1</sup> sensing circuit





لود سل های S-type باید به گونه ای نصب شوند که بار های جانبی حداقل شوند و هرگز نباید به صورت صلب (حتی در یک سر) در بین سازه و مخزن نصب شوند. جهت نصب لود سل ها طوری باشد که ورودی کابل روی دقت وزن کشی اثر نگذارد.

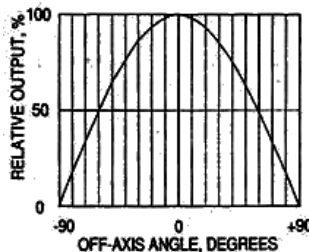
اگر حرارت محیط سریع عوض شود امکان دارد یک اختلاف دما بین درون و بیرون لود سل ایجاد شود و موقتا مشخصان لود سل تغییر کند.

کلیه جوشکاری های برقی قبل از نصب لود سل انجام شود و در صورتیکه بعد از نصب نیاز به جوش کاری است مطمئن شوید هیچ جریانی از لودسل عبور نمی کند.

### ۵-۱ تاثیر بار های جانبی و غیر محوری بر لودسل

در حالیکه لودسل به نیروهای وارد شده در راستای محور اصلی پاسخ میدهد، همچنین برای بار هایی که با یک زاویه نسبت به محور اصلی نیز وارد می شوند خروجی دارد و منحنی شکل ۳-۵ نشان دهنده رابطه خروجی به شرح زیر می باشد:

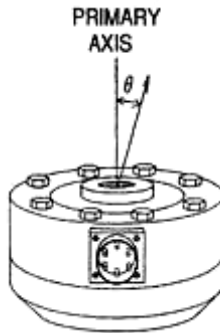
$$\text{Relative Off-Axis Output} = (\text{On-Axis Output}) \times (\cos \theta)$$



شکل ۳-۵ خروجی لودسل برای بارهای غیر محوری<sup>۱</sup>

<sup>1</sup> Off-Axis

به این معنی که مقدار خروجی برای یک باری که با زاویه  $\theta$  وارد می شود مساوی خروجی متناظر با همان مقدار بار است که در محور اصلی با زاویه صفر اعمال شود و در  $\cos \theta$  ضرب گردد (بدون در نظر گرفتن تاثیر مولفه افقی بر مشخصات لودسل).



شکل ۵-۳

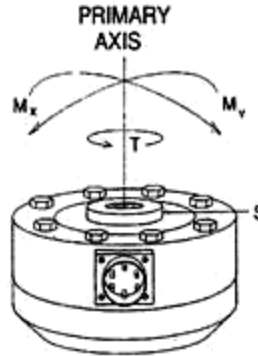
برای زاویه های بسیار کوچک مانند عدم هم محوری مفره ، کسینوس بسیار نزدیک به یک می باشد مثلا کسینوس نیم درجه  $0.99996$  می باشد که خطای  $0.004\%$  را ایجاد می کند و برای یک درجه خطا معادل  $0.15\%$  و برای دو درجه  $0.61\%$  خطا داریم . در بیشتر کاربردها این خطا قابل قبول می باشد . برای زاویه های بزرگ توصیه می شود که ممان وارد شده به لودسل محاسبه گردد تا شرایط بار اضافی پیش نیاید.

تاثیر مولفه های جانبی نیرو بر صحت کارکرد و دقت اندازه گیری لودسل را می توان به چند صورت زیر تقسیم و تعریف کرد .

#### - ممان های پیچشی و خمشی

تاثیر مولفه بار های غیر متعارف می تواند به صورت ترک و یا ممان پیچشی و خمشی به لودسل اعمال شود که در شکل ۵-۴ نشان داده شده است و عبارتند از :

- moments ( $M_x$  and  $M_y$ )
- torques ( $T$ )



شکل ۴-۵

در صورت رعایت تolerانس ماشین کاری المان لودسل ، سازگاری گیج و دقت روش های متناژ ، لودسل می تواند تا حدی نسبت به بار های نامتعارف نشان داده در شکل ۴-۵ غیر حساس شود.

توجه : دقت شود ترک وارد به لودسل از مقدار مجاز مشخصات فنی بیشتر نشود. در بعضی از لودسل ها ترک مجاز قابل اعمال خیلی کمتر از مقدار پیچ های کوچک ذکر شده در جزوات مکانیکی<sup>۱</sup> ، می باشد .

- بارهای جانبی و غیر محوری

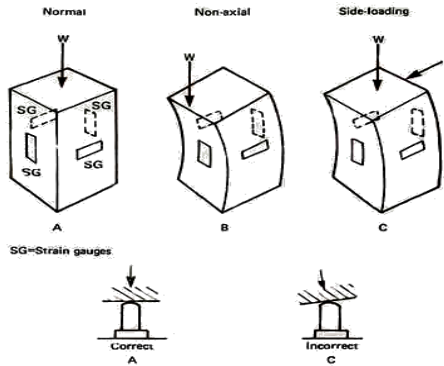
بارهای جانبی و غیر محوری ممکن است به صورت مستقیم و یا به صورت مولفه ای از بارهای غیر متعارف به لودسل وارد شوند.

در شکل ۵-۵ تاثیر بارهای عادی ، غیر محوری و جانبی بر واحد ستون تنشی<sup>۲</sup> لودسل نشان داده شده است. در وضعیت بار معمولی (عمودی)  $A$  استرین گیج فعال معادل نیروی اعمالی تغییر شکل میدهد

<sup>1</sup> Mechanics Handbook

<sup>2</sup> column stress member

ولیکن در وضعیت بار غیر محوری (B) یا بار جانبی (C) یک فشردگی غیر یکنواخت ایجاد می شود که باعث خطای خروجی می گردد.

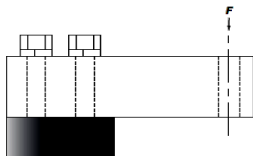


شکل ۵-۵ تاثیر بارهای غیر محوری بر محل نصب استرین گیج ها

چگونگی اعمال بار به لود سل بسیار مهم است و انتخاب روش های نا مناسب ممکن است باعث ایجاد خطا گردد. مشخصات فنی لود سل در آزمایشگاه در شرایط نزدیک به ایده آل اندازه گیری شده است و در شرایط واقعی جواب لود سل بستگی به وضعیت اعمال بار دارد.

## ۵-۲ انواع بارهای غیر محوری

در شکل ۵-۶ لود سل یک سره را می بینید که از یک طرف به بیس محکم شده و از طرف دیگر نیرو به



شکل ۵-۶

صورت عمودی به آن وارد می شود. در شرایط عادی محل

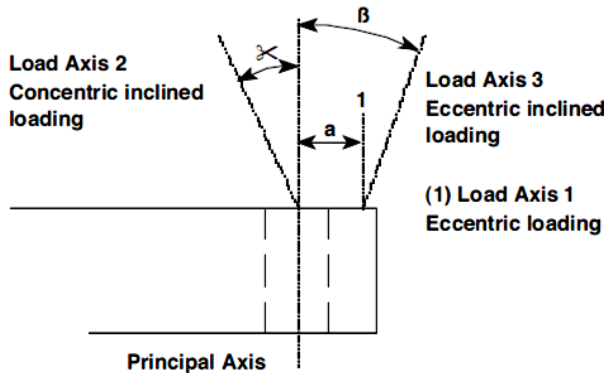
نصب لود سل باید صاف، افقی و محکم باشد و بار اعمال

شده کاملاً عمود وارد می شود که این شرایط در عمل ممکن

است ایجاد نشود.

در شکل ۵-۷ انواع بار های غیر محوری در لود سل یک سره نشان داده شده که برای لودسل های دیگر نیز مشابه است :

- Concentric inclined Loading                      بار محوری شیب دار
- Eccentric Loading                                      بار غیر محوری
- Side load    بار جانبی
- Eccentric inclined Loading                      بار غیر محوری شیب دار
- Twisting Loads    بار پیچشی

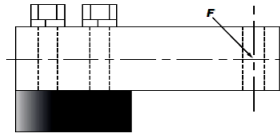


شکل ۵-۷

۱-۲-۵ بار شیب دار مرکزی (Angular Loading) Concentric inclined Loading

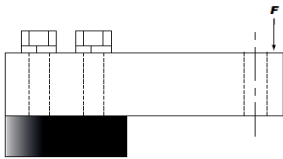
این باری است که با زاویه ولی به محور لودسل وارد می شود. بار اعمالی به دو مولفه تقسیم می شود که یکی عمود به لود سل و دیگری نود درجه با خط عمودی زاویه دارد که بار جانبی *side force* گفته می شود که به لود سل وارد می شود و باعث ایجاد خطای لود سل می گردد که به طور ایده آل نباید تاثیری

در اندازه گیری لود سل داشته باشد . به طور مثال اگر بار اعمالی تنها پنج درجه با راستای عمودی زاویه داشته باشد بار جانبی منتجع حدود یک صدم بار اعمالی می



شکل ۵-۸

باشد که به لود سل وارد می شود و نیروی اندازه گیری شده توسط لود سل ۰.۴٪ کاهش می یابد. اگر جهت نیروی اعمالی ثابت باشد می توان سامانه را کالیبره کرد ولیکن اگر با نیرو تغییر کند خطای غیر خطی وارد می کند .



شکل ۵-۹

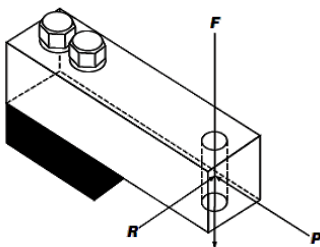
### ۲-۲-۵ بار غیر مرکزی Eccentric Loading

این در حالتی است که بار اعمالی عمود به لود سل باشد ولیکن درست در مرکز محلی که بار باید وارد شود (محور

بار لودسل) نباشد

### ۳-۲-۵ بار جانبی Side Loading

این زمانی پیش می آید که همراه نیروی  $F$  اعمال شده به لود سل نیروی جانبی  $R$  با زاویه نود درجه نیز وارد می شود که در حالت ایده آل لودسل نباید متاثر از آن باشد. نیروی دیگر  $P$  است (END FORCE)



شکل ۵-۱۰

که مانند بار جانبی می باشد ولی به انتها وارد می شود . بار جانبی معمولاً در اثر افزایش یا کاهش طول به جهت تغییر دما ، ناهمواری و جابجایی ایجاد می شود . بیشترین باری که می تواند عمود بر محور اصلی به لودسل وارد شود بدون آنکه تغییر ماندگار بر روی مشخصات فنی آن بگذارد را Maximum Side Load, Safe گویند.

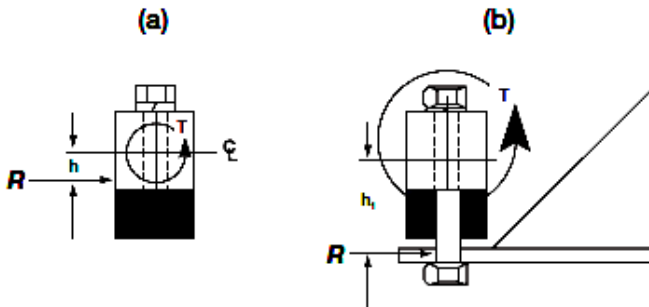
### ۴-۲-۵ Eccentric inclined Loading بار غیر مرکزی شیب دار

این در حالتی است که بار Eccentric با زاویه وارد شود.

### ۵-۲-۵ Twisting Loads بار پیچشی

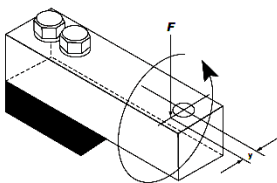
معمولا بار جانبی درست در محور خنثی وارد نمی شود و در نتیجه ایجاد یک ترک علاوه بر بار جانبی می کند. یک لود سل به دلایل مختلف تحت تاثیر ترک  $T$  قرار می گیرد.

در شکل ۱۱-۵ بار جانبی  $a$  با فاصله  $h$  از مرکز خنثی وارد شده است لذا ترک  $R \times h$  به لود سل اعمال می شود. در شکل  $b$  که بار از طریق پیچ وارد شده است به دلیل افزایش فاصله  $h_1$  ترک به مراتب بزرگتر است.



شکل ۱۱-۵

در شکل ۱۲-۵ ترک به دلیل اعمال بار با فاصله  $\gamma$  از مرکز خنثی وارد شده است.



شکل ۱۲-۵

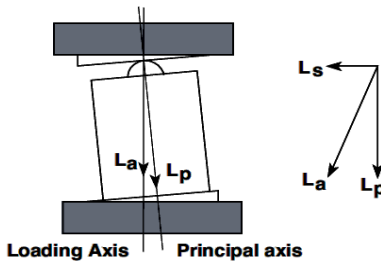
### ۵-۲-۶ محاسبه خطای Concentric inclined Loading

با استفاده از یک مقره گوه ای شکل در پایین و بالای لود سل می توان تاثیر این خطا اندازه گیری شود. به این صورت که برای اندازه گیری و محاسبه خطای مربوطه با استفاده از مقره گوه ای با زوایای مختلف و اعمال نیرو در این وضعیت ها مقدار خروجی متناسب با بار Concentric مشخص می شود. هشت اندازه گیری به فاصله ۴۵ درجه می تواند انجام شود تا بیشترین خطا پیدا شود. مقدار خطا در هر موقعیت به وسیله فرمول زیر محاسبه می شود:

$$eI = [(S_r - S_e / \cos\alpha) / S_r] \times 100 \%$$

$S_r$  مقدار متوسط rated output و  $S_e$  مقدار متوسط rated output در شرایط concentric  
تعدیل  $S_e / \cos\alpha$  در فرمول بالا ضروری می باشد چون خروجی  $S_r$  مربوط به اندازه گیری بدون گوه  
و برای نیروی اعمالی  $L_a$  می باشد و بر اساس شکل ۵-۱۳ به دلیل استفاده از مقره گوه ای مقدار نیروی  
اعمال شده عمودی  $L_a$  به صفحه روی گوه مولفه  $L_p$  دارد که کوچکتر است و برای محاسبه خطا لازم  
است شرایط مشابه اعمال نیروی  $L_a$  در نظر گرفته شود که با زاویه  $\alpha$  و بدون استفاده از گوه به محور  
اصلی وارد می شود. در واقع با استفاده از گوه، خروجی اندازه گیری شده  $S_e$  مربوط به مولفه  $L_p$  می  
باشد که کمتر از مقدار  $L_a$  است که در حالت concentric در اندازه گیری  $S_r$  استفاده شده است. پس  
لازم است برای جبران آن  $S_e$  نیز تعدیل شود:

$$L_a = L_p / \cos\alpha \rightarrow S_e / \cos\alpha$$



شکل ۵-۱۳



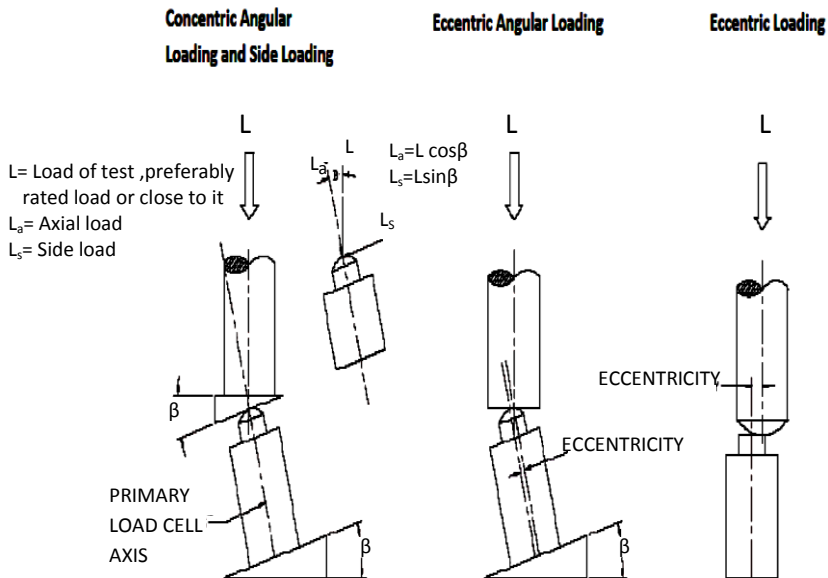
### ۷-۲-۵ محاسبه خطای Eccentric Loading :

اثر این می تواند با یک باری که در فاصله "a" از محور اصلی اعمال گردد معین شود. هشت اندازه گیری به فاصله ۴۵ درجه می تواند برای پیدا کردن بیشترین خطا به کار رود. خطا به صورت درصدی از بیشترین ظرفیت، در هر موقعیت زاویه ای با فرمول زیر محاسبه می شود:

$$eI = [(Sr - Se) / Sr] \times 100 \%$$

در این حالت به دلیل عمود بودن بار اعمالی تعدیل فرمول لازم نیست.

در شکل ۵-۱۲ ترکیب های متفاوت نگهدارنده های لود سل که موجب ایجاد بار های غیر محوری می شوند نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۴ ایجاد بار های غیر محوری متفاوت

### ۳-۵ انتخاب و استفاده صحیح لودسل و سامانه نمایشگر

۳-۵-۱- نکات عمومی

تأثیرات منفی بار گذاری بر روی لود سل می تواند به وسیله به کارگیری تجهیزات مناسب هدایت و سوار کردن و همچنین راهنمایی های سازندگان کاهش یابد .

تأثیر بارهای کج *Inclined loading effects* فقط برای لود سل های فشاری مطرح است و به دلیل اثر خمشی در ستون (میله) ، لود سل های یک ستونی خیلی بیشتر از چند ستونی حساس می باشند. این تأثیر بر روی لودسل های *beam type* معمولاً خیلی کوچک است و با کالیبراسیون سامانه اندازه گیری تا حدودی بر طرف می شود .

بیشترین مقدار ترک که نسبت به محور اصلی می توان اعمال کرد بدون آنکه تخریب ماندگار بر روی مشخصات فنی آن بگذارد را *Maximum Load Axis Moment, Safe* گویند .

اولویت لود سل برای عملکرد بدون عیب ابتدا با انتخاب ظرفیت صحیح *capacity* ، کلاس دقت *accuracy class* و حفاظت محیطی *environmental protection* میباشد تا اصول اندازه گیری خواص مانند خمش ، برش، فشار یا پیچ حلقه .

۳-۵-۲ انتخاب بر اساس ظرفیت :

اضافه بار از عوامل اصلی صدمه دیدن لود سل می باشد . گرچه انتخاب صحیح ظرفیت لود سل به نظر

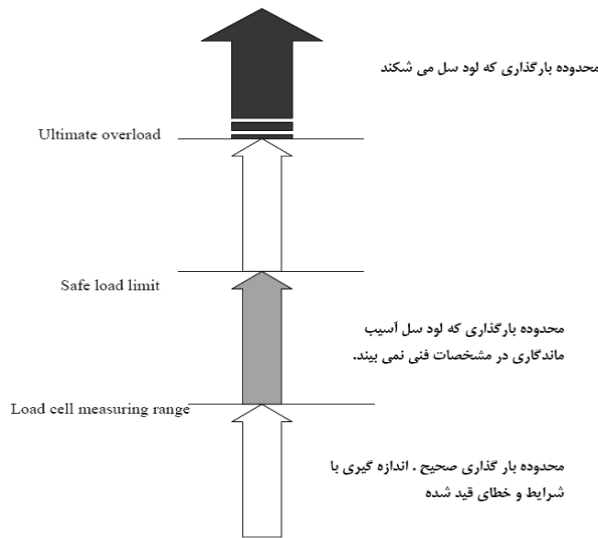
ساده می باشد اما انتخاب ظرفیت نیاز به درک صحیح از تعاریف مربوط به بار و تنظیمات سامانه

نیروسنجی دارد که در ادامه چند مورد توضیح داده می شود :



حد بار ایمن<sup>۱</sup>: بیشترین باری که مجاز است وارد شود بدون اینکه در مشخصات فنی تغییرات ماندگار نامطلوب بیشتر از مقداری که برای آن تعریف شده ایجاد شود. در این محدوده اندازه گیری ممکن است با خطا همراه باشد.

نهایت بار اضافی<sup>۲</sup>: بیشترین باری که می توان اعمال کرد بدون اینکه لود سل به صورت فیزیکی بشکند. بار جانبی ایمن<sup>۳</sup>: بیشترین بار عمودی که به محور لودسل (که برای اعمال بار تعریف شده است) در نقطه اعمال بار محوری وارد شود بدون اینکه در مشخصات فنی تغییرات ماندگار نامطلوب بیشتر از مقداری که برای آن تعریف شده ایجاد شود.



شکل ۵-۱۵ محدوده های بار گذاری لودسل

<sup>1</sup> Safe load limit

<sup>2</sup> Ultimate overload

<sup>3</sup> Safe side load

**Zero tracking**: یکی از توانمندی های سامانه می باشد که تغییرات بار کمتر از تolerانس تعریف شده را

در نمایشگر صفر می کند. گاهی به دلیل تغییرات مکانیکی ذاتی سامانه مانند انبساط و انقباض و یا افزایش تدریجی بار مثلا گرد و غبار و یا خزش فیزیکی مقدار الکتریکی قطعات ممکن است به تدریج بر مقدار نیروی اندازه گیری شده به اندازه کمتر از حداقل تعریف شده افزوده و یا کم شود. در این مورد سامانه اگر تغییرات بسیار کم را احساس کند این مقدار را از نمایشگر حذف می کند و خروجی مانند اینکه باری به سامانه اضافه نشده باشد همواره مقدار صفر را دنبال می کند. مواردی پیش می آید که این افزایش تدریجی بر روی ورودی یعنی لود سل به مرور زمان زیاد می شود ولی در خروجی مشاهده نمی شود و خروجی در حالت بی باری صفر را نشان می دهد درحالیکه ممکن است بار قابل ملاحظه ای بر روی لود سل وجود داشته باشد ولی چون نمایش داده نمی شود و کار بر از وجود آن بی اطلاع می باشد می تواند حدود ظرفیت های مجاز برای صدمه ندیدن لودسل را تغییر دهد.

سامانه هایی که مجهز به این توانمندی می باشند را به این صورت می توان امتحان کرد که نیروی بسیار کمی به سامانه اعمال گردد به طوری که هیچ تغییری در نمایشگر مشاهده نشود و به همین صورت تدریجا نیرو را افزایش داده و سپس یکباره فشار از روی سامانه برداشته شود. در این حالت یک مقدار متناسب با آخرین نیرویی که به سامانه وارد شده است بر روی نمایشگر ظاهر می گردد.

**Initial zero setting**: این توانمندی سامانه این گونه عمل می کند که در ابتدای روشن شدن

سامانه هر مقدار باری که بر آن وارد شده باشد را به طور پیش فرض صفر می کند.

**Dead load**: وزن ماندگار مربوط به تجهیزات مکانیکی متصل به سامانه که لازم است در زمان

نیروسنجی حذف شوند.

**Maximum scale capacity**: بیشترین ظرفیت ترازو

**Location** : مشخصات مربوط به مکان قرار گیری سامانه . تراز بودن محل قرار گیری سامانه از شرایط

ویژه اکثر سامانه های وزن کشی می باشد .

**Specific factor** : فاکتور های خاص مانند نیروی باد ، و یا اثرات زمین لرزه و غیره

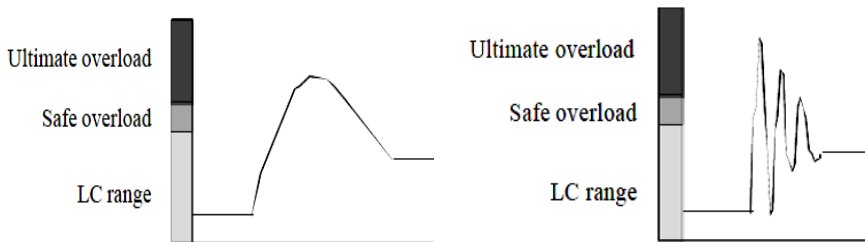
علاوه بر این ها اغلب لازم است به دلایل زیر لود سل با ظرفیت بیشتر انتخاب شود :

- شوک بار
- تاثیرات دینامیکی
- بار گذاری خارج از مرکز یا توزیع خارج از مرکز بار ثابت
- امکان بار اضافی

۳-۳-۵ تفاوت بین بار اضافی معمولی یا استاتیکی و بار اضافی شوکی

بار اضافی استاتیکی افزایش تدریجی وزن بالای ظرفیت نهایی لود سل است . در این حالت سامانه می

تواند به وسیله متوقف کننده مکانیکی و یا به کار گیری لود سل با ظرفیت بالا تر حفاظت شود .



شکل ۵-۱۶ افزایش بار اضافی دینامیکی (سمت راست) و استاتیکی (سمت چپ)

بار اضافی شوکی تغییر ناگهانی وزن در یک زمان کوتاه بالای ظرفیت نهایی لود سل است. این حالت

خصوصا در زمانی که یک چیز کوچک و غیر الاستیک از ارتفاع زیاد بر روی باسکول سقوط کند

پیش می آید . سامانه می تواند به وسیله صفحه های مجزا کننده شوک گیر یا انتخاب لود سل با

ظرفیت نهایی بالاتر حفاظت شود. متوقف کننده مکانیکی کمک به محافظت در برابر شوک می کند. از آنجا که لود سل های با انعطاف کم در برابر اضافه بار دینامیکی بسیار حساس هستند لازم است به آنها دقت ویژه شود.

هر دو نوع اضافه بار تغییر ناگهانی در مشخصه zero balance ایجاد می کنند و همچنین temperature compensation on zero نیز تحت تاثیر قرار می گیرد.

### ۴-۳-۵ تصحیح ظرفیت لودسل

جدول و فرمول زیر را می توان برای تصحیح ظرفیت لود سل به کار برد.

$$LC_{cap} = F_t + F_w + (Deadload + Liveload \times F_d) / N$$

N Number of load cells

$F_d$  Dynamic load factor (این برای جبران تاثیر بار دینامیکی به جای استاتیکی می باشد)

$F_w$  Effect of wind force (for hoppers)

$F_t$  Combined effect of zero setting devices:

$$F_t = Liveload \times \text{Zero setting devices}(\%) / (N \times 100)$$

جدول ۵-۱- مقادیر پیشنهادی برای  $F_d$  و درصد دست بالا گرفتن ظرفیت در سامانه های مختلف

	$F_d$	De-rate*
Platform scale	1.4	30-50%
weighbridge	1.4	30-50%
Single cell application	1.3	20-40%
Single cell hybrid bridge	1.2	10-30%
Hopper, equal load distribution	1.1	10-30%
Hopper, unequal load distribution	1.2	20-40%
Hopper, with agitator	1.3	20-40%

\* تعین شده بر اساس اصول اندازه گیری لودسل ها (low deflection - value high)

برای مثال :

یک ترازوی مسطح ( platform ) با ظرفیت ۱۵۰۰ کیلوگرم دارای ۴ لود سل است . ترازو دارای zero setting اولیه معادل 16% و zero tracking معادل 4% و بار ثابت dead load معادل ۱۰۰ کیلوگرم می باشد . ظرفیت لود سل لازم است معادل مقدار زیر باشد .

$$F_t = 1500 \times (16+4) / (4 \times 100) = 75$$

$$LC_{cap} = [(100+1500 \times 1.4) / 4] + 75 + 0 = 625 \text{kg}$$

بر اساس اصول اندازه گیری لود سل ها ( derate 30 to 50% ) ، ظرفیت لود سل مورد نیاز می تواند بین 812 تا 937 کیلوگرم باشد .

ابزار اندازه گیری لازم است با خروجی لود سل سازگار باشد . کمترین اندازه سیگنال ی که ورودی سامانه اندازه گیری باید توانایی تشخیص آنرا داشته باشد لازم است . به اندازه مقدار خروجی سامانه مبدل برای کوچکترین تقسیمات آن باشد . مقدار خروجی (به میکرو ولت) برای کوچکترین قسمت خروجی عبارت است از :

$$V_{o,div}(\mu V) = (U_E \times S \times \text{Liveload} \times 1000) / (N \times LC_{cap} \times n)$$

$U_E$  Excitation voltage (V)

S output load cell (mV/V)

N Number of load cells

n Number of scale divisions

در مثال قبل اگر برای هر لود سل خروجی 2mV/V و ۳۰۰۰ تقسیم و حد اکثر ظرفیت ۱۰۰۰ کیلوگرم با ولتاژ تحریک ۱۰ ولت ، خروجی بر قسمت (The output per division) خواهد

$$(10 \times 2 \times 1500 \times 1000) / (4 \times 1000 \times 3000) = 2.5 \mu V \quad \text{بود :}$$

## ۵-۳-۵ تاثیر کابل لودسل

از آنجاکه مقاومت الکتریکی کابل تابع حرارت می باشد ، پاسخ کابل به دما تغییر می کند که تاثیر بر روی گستره حرارتی مشخصه لودسل/کابل دارد . برای اندازه گیری با دقت زیاد نیرو اثر کابل بر روی اندازه گیری باید در نظر گرفته شود . برای تحریک ولتاژ ثابت دو اثر عمده وجود دارد :

- اثر افت ولتاژ در کابل بر حساسیت

- اثر تغییر مقاومت الکتریکی کابل با تغییر دما بر روی مشخصه محدوده حرارتی لودسل.

اگر لودسل با کابل به یک طول معین متصل شده باشد ، در گزارش کالیبراسیون حساسیت با کابل متصل شده معین می شود و این مشکلی ندارد. برای لودسل های دارای کانکتور (و یا اگر مصرف کننده خودش به طول کابل اضافه کند) ، ممکن است از حساسیت کاسته شود که برای اضافه کردن هر ده فوت کابل شماره <sup>1</sup> 28 AWG در حدود  $0.0008\% / ^\circ F$  از حساسیت کاسته می شود ( معادل مشخصات سامانه اینتر فیس استاندارد ) و برای هر ده فوت کابل 22AWG در حدود  $0.0002\% / ^\circ F$  از حساسیت می کاهد . این تاثیر برای سامانه های شش سیمی در صورتی که از کابل با شش سیم استفاده شود که به انتهای لودسل و یا کانکتور مربوطه وصل می شود و به اتصالات با نمایشگر که دارای ورودی SENS می باشد متصل شود حذف می شود . برای کابل های چهار سیمی چنانچه لودسل و کابل همزمان در یک درجه حرارت قرار داشته باشند ، این تاثیر با انتخاب طول استاندارد کابل ارائه شده با لودسل حذف می شود. برای حالتی که کابل با طول استاندارد نباشد تاثیر بر مشخصه گستره حرارتی خواهیم داشت. به هر حال برای کابل های طولانی و یا در حالت نیاز به دقت بالا این عامل موثر و باید در نظر گرفته شود . در

<sup>1</sup> AWG American Wire Gauge



این مواقع بهترین کار استفاده از کابل شش سیمه در انتهای کابل با طول استاندارد و دریافت ولتاژ تحریک در نقطه انتهایی می باشد.

#### ۴-۵ تاثیر حرارت بر صفر و خروجی

محدودیت های حرارتی لودسل های بر پایه استرین گیج اساسا به مواد انتخاب شده برای ساخت آنها بستگی دارد. درحالیکه المان تحمل بار نسبتا برای محدوده وسیع حرارتی مناسب می باشد، مواد غیر فلزی در لودسل کاملا به حرارت های تاثیر گذار حساس می باشند و لازم است به صورت خاص انتخاب شوند. این شامل مواد استرین گیج، چسب ها، و عایق ها می باشد. چهار مشخصه در آزمایش لودسل هایی که در دمای بالا کار می کنند مورد توجه می باشند:

##### ۱) تاثیر دما بر صفر Temperature Effect on Zero

تغییر در zero balance که مربوط به تغییر در جه حرارت محیط می باشد. این معمولا به صورت شیب گستره قوس محدوده جبران سازی شده برای حرارت بیان می شود.

##### ۲) تاثیر حرارت بر خروجی Temperature Effect on Output

تغییر در خروجی که مربوط به تغییر دما می باشد. معمولا به صورت شیب گستره قوس محدوده جبران سازی شده برای حرارت بیان می شود. توجه شود که خروجی به صورت مقدار خالص تعریف می شود، به صورتی که معمولا سیگنال بار صفر از سیگنال حالت بار شده کسر می شود.

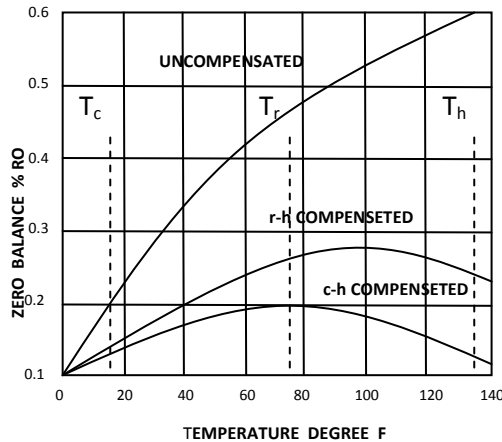
##### ۳) خزش Creep

تغییر در سیگنال لودسل که با زمان ایجاد می شود در حالیکه زیر بار است و شرایط محیطی و دیگر متغیرها ثابت بمانند. این معمولا به صورت در صد بار اعمالی بر روی یک محدوده زمان تعیین شده بیان می شود.

#### ۴) برگشت به صفر Zero Return

درجه ای که صفر اولیه بعد از اعمال و برداشتن بار نگه میدارد در حالیکه زیر بار است و شرایط محیطی و دیگر متغیرها ثابت بمانند.

گیج‌ها باید به گونه ای طراحی شوند تا اثر حرارت بر روی مازول‌های قابلیت ارتجاعی اجسام خم شدنی را جبران‌سازی کنند لذا بر روی محدوده حرارتی جبران شده اساساً خروجی ثابت دارند. در شکل منحنی‌های نمونه مربوط به **zero balance** بر حسب تغییرات دما در موارد معمولی و جبران‌سازی شده نشان داده شده است.

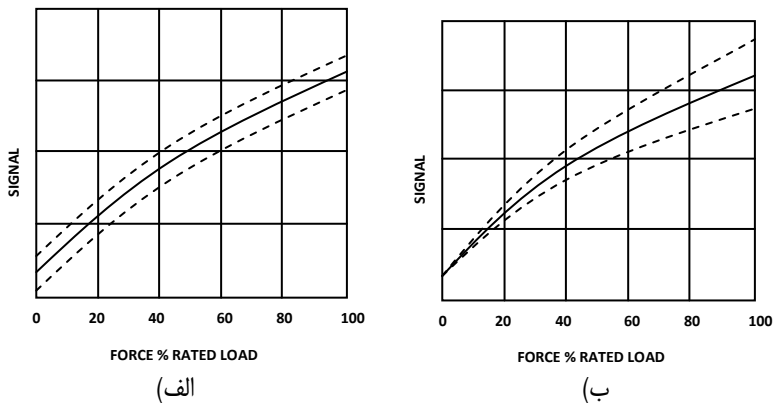


شکل ۵-۱۶ Temperature compensation, zero balance

یک جابجایی کوچک در **zero balance** مربوط به تفاوت ضریب حرارتی مقاومت گیج‌ها لازم است بررسی و در کارخانه تنظیم گردد. در روش متداول در صنعت لودسل تنها از دو دما استفاده می‌شود، دمای

محیط و  $135^{\circ}\text{F}(57^{\circ}\text{C})$ . بهترین نتیجه ای که با این روش می توان گرفت در شکل با منحنی room-high compensated نشان داده شده است.

چنانچه مانند بعضی از تولیدات آزمایش در هر دو دمای پائین و بالا انجام شود هزینه و زمان خیلی بیشتر می شود که نتیجه آن در منحنی c-h compensated نشان دهنده مزیت این روش می باشد . شکل های ۵-۱۷ تاثیر حرارت بر روی خروجی را نشان می دهد و به طور مجزا می توان تاثیر حرارت بر روی خروجی بر اثر جابجایی zero balance و دیگری تغییر خروجی با حرارت بدون تاثیر جابجایی صفر را دید لذا برای خواننده مشاهده تاثیر حرارت بر روی منحنی خروجی لودسل آسان می باشد. همانطور که دیده می شود جابجایی صفر کل منحنی را موازی با خود جابجا می کند در حالیکه جابجایی خروجی شیب منحنی خروجی را تغییر می دهد.



شکل ۵-۱۷ الف) Temperature effect on output(ب) Temperature effect on zero

## ۵-۵ مراحل انتخاب ترک متر

وقتی یک مبدل ترک انتخاب می شود یکی از ملاحظات اولیه انتخاب درست ظرفیت می باشد. از یک طرف اگر یک محدوده بزرگ انتخاب شود ، ممکن است دقت برای آن کاربرد به اندازه کافی نباشد. و از طرف دیگر اگر اندازه خیلی کوچک انتخاب شود ، ممکن است حساسه به دلیل بار اضافی صدمه ببیند که خطای پر هزینه ای می باشد. برای انتخاب اندازه درست ابتدا مقدار ترکی که لازم است اندازه گیری شود معین گردد. در حالت اندازه گیری ترک موتور الکتریکی ، معمولاً توان نهایی اسب بخار موتور HP و سرعت چرخشی RPM بر روی پلاک آن نوشته شده است . با این ها ترک متوسط به روش زیر به دست می آید.

$$\tau = W / \omega$$

$$\text{Torque in Nm} = (\text{Horsepower} \times 746) / (2\pi/60) \text{ RPM} = (\text{Horsepower} \times 7123) / \text{RPM}$$

اسب بخار (Horsepower) معادل مختلفی برای توان در دستگاه متریک دارد و باید به آن توجه کرد . در فرمول بالا یک اسب بخار معادل ۷۴۶ وات در نظر گرفته شده است.

پس از محاسبه ترک متوسط لازم است ضریب اطمینان معین شود تا از اضافه بار تحمیل شده به ترک متر جلوگیری شود. در ترک متر دینامیکی همواره یک طرف چرخانده می شود و طرف دیگر بار گذاشته می شود. بعضی از محرک ها و بارها بیشتر از دیگران مبدل را تحت تنش قرار می دهند. برای معین کردن بیشترین قله ترک وارده این محرک ها و ضریب بار ها لازم است در نظر گرفته شوند. ضریب بار<sup>۱</sup> از یک تا چهار به نوع بارهای متفاوت تخصیص داده می شود که یک کمترین سختی را دارد.

<sup>1</sup> Load Service Factors from

مثال ضریب یک می تواند به تجهیزات با چرخش یکنواخت ، موارد سرعت چرخش ثابت مانند پنکه و بعضی از دمنده ها مربوط شود. پمپ سیالات و کمپرسورهای محوری همچنین از این نوع می باشند. ضریب دو مربوط می شود به تجهیزات غیر دور معکوس ، بار غیر ثابت یا از نوع start/stop . ضریب سه در بر گیرنده تجهیزات با تغییرات شوکی زیاد و یا بار های معکوس شونده خفیف مانند پمپ های تک سیلندر تقابلی<sup>۱</sup> ، فشارنده ها ، آسیاب ها و تجهیزات راه اندازی خطوط. ضریب چهار مربوط می شود به تجهیزات خیلی سخت و سنگین یا با ترک برگشتی کامل شامل کمپرسورهای تقابلی<sup>۲</sup> .

سپس باید ضریب سرویس محرک<sup>۳</sup> را در نظر گرفت . مانند بار انواع مختلف راه اندازها مقادیر مختلف سختی را شامل می شوند که بر روی بیشترین قله ترک مورد انتظار در یک کاربرد تاثیر دارند. ضریب صفر مربوط به راحت ترین تجهیزات و شامل توربین ها ، ویا موتور حرکت یک نواخت توربین های DC و یا سه فاز AC. ضریب نیم ( ۰/۵ ) تجهیزات شامل موتور های هشت سیلندر گاز یا ده سیلندر دیزل و موتورهای تک فاز AC . ضریب یک تجهیزات شامل موتور های شش سیلندر گاز یا هشت سیلندر دیزل و سه فاز AC که با فرکانس متغیر کنترل می شوند. مثال مربوط به ضریب ۱/۵ تجهیزات شامل موتور های چهار سیلندر گازی یا شش سیلندر دیزلی و موتور AC تک فاز که با سامانه VFD<sup>۴</sup> کنترل می شوند. ضریب دو تا چهار شامل تجهیزات کمتر از چهار سیلندر گازی و شش سیلندر دیزلی می باشند. موتور های دیزلی دارای نسبت بالای تراکم بوده و ایجاد قله ترکی معادل چهار تا شش برابر متوسط ترک متداول ایجاد می کنند که موجب کوتاهی عمر خستگی و خرابی و انحدام زودرس مبدل می گردد.

<sup>1</sup> single-cylinder reciprocating pump

<sup>2</sup> reciprocating compressors

<sup>3</sup> drive service factors

<sup>4</sup> Variable Frequency Drive

در آخر لازم است شرایط راه اندازی در نظر گرفته شود. وقتی یک بار اینرسیایی زیاد با یک موتور الکتریکی به راه می افتد، یک قله ترک بسیار زیاد ایجاد می شود. یک چیزی که باید مراقبت شود نهایت ترک راه اندازی موتور است البته اگر قابل پیدا کردن باشد. موتور های دیزل همچنین می توانند دارای ترک بسیار زیاد راه اندازی و توقف معادل ضریب شش ترک راه اندازی باشند.

۵-۵-۱ بیشترین ترک قابل انتظار برای ترک متر

قله ترک = متوسط ترک جاری  $\times$  (ضریب بار + ضریب محرک)

این ظرفیت توصیه شده برای مبدل ترک می باشد.

برای مثال یک دستگاه قالب ذغال سنگ با موتور سه فاز و با سامانه VFD کنترل می شود. موتور ظرفیت ۱۵۰ اسب و سرعت ۱۷۰۰ دور بر دقیقه دارد. از معادله بالا مقدار ترک متوسط بر Nm به دست

$$\text{می آید: } Nm \quad ۶۲۸,۵ = (۷۱۲۳ \times ۱۵۰) / ۱۷۰۰$$

این ماشین ضریب بار ۲ و VFD controlled 3-phase AC motor ضریب محرک یک دارد.

جمع این دو معادل ضریب ۳ می شود و لذا قله ترک مورد انتظار معادل:  $۱۸۸۴ \text{ Nm} \times ۳$

در این مثال ترک متر با حداقل ظرفیت  $۱۸۸۴ \text{ Nm}$  مورد نیاز می باشد.

وقتی که ظرفیت مورد نیاز معین گردید لازم است دقت و تفکیک پذیری<sup>۱</sup> مورد ملاحظه قرار گیرند.

۵-۵-۲ اتصالات مکانیکی در ترک مترها

مبدل های ترک معمولا با دو ترکیب مکانیکی عرضه می شوند، فلانچ و محوری. محوری همچنین می

تواند صاف و یا شیار دار باشد. شافت شیار دار باز در دو مدل یک طرفه و یا دو طرفه می باشد. حساسه

های نوع فلنجی معمولا کوتاه تر از نوع محوری می باشند و روی هر روی فلنج راهنما وجود دارد.

<sup>۱</sup> در قسمت مشخصات لودسل توضیح داده شده است.

مزیت محور های صاف بر نوع شیار دار ، وارد کردن ترک یکنواخت تر بر محور اندازه گیری ، راحتی نصب و جداسازی ، حذف کلی عکس العمل خلاصی <sup>۱</sup> می باشد. طراحی کوپلینگ محور صاف روش های مختلفی برای درگیری شافت دارد. این معمولا با طوق مجزا <sup>۲</sup> و یا توپی فولادی دیسک های جمع شونده <sup>۳</sup> کامل می شود. توپی برای محور های شیار دار ساده تر و ارزان تر از محور های صاف می باشد ولیکن در اثر خلاصی خصوصا در حالت های عکس العملی زود تر فرسوده می شود. برای جلوگیری از خلاصی ، توپی بر روی شافت شیار دار با یک واسطه کاملا جذب می شود ، که معمولا به وسیله گرم کردن توپی قبل از نصب و یا پرس کردن توپی بر روی محور کامل می شود. پرس کردن توپی ریسک صدمه زدن به حساسه را دارد و هر دوروش مشکل باز کردن دارند. روش کمتر شایع برای باز و بسته کردن استفاده از ابزار خاص هیدرولیکی است. در ظرفیت بالای ترک از شافت های دوپر شیار استفاده می شود که در ۱۸۰ درجه دور شافت جاسازی شده اند.

دو دسته اصلی اتصال <sup>۴</sup> ، یک خم و دو خم <sup>۵</sup> یا به عبارتی نیم کوپل و یا تمام کوپل موجود می باشند. اتصال یک خم یک نقطه انعطاف پذیر دارد و تنها اجازه غیر محوری زاویه ای را می دهد و نامحوری عمود بر صفحه گردش را پوشش نمی دهد. اتصال دوخم دارای دو نقطه انعطاف پذیر می باشد و هر دو حالت نامحوری و زاویه ای را امکان پذیر می سازد.

---

<sup>1</sup> zero backlash

<sup>2</sup> split collar

<sup>3</sup> shrink-disk style hubs

<sup>4</sup> couplings

<sup>5</sup> single and double-flex

بعضی از انواع اتصالات دیسک های انعطاف پذیر<sup>۱</sup>، چهارشاخه ای<sup>۲</sup>، و اتصال الاستیکی<sup>۳</sup> می باشند. از این ها اتصال دیسک های انعطاف پذیر به دلیل عدم خلاصی و سختی پیشگی زیاد برای اتصال ترک متر مناسب تر می باشد. اثر سختی پیشگی در پاسخ دینامیکی سریع و پیشگش کم می باشد. اتصال با سختی پیشگی کمتر به صورت مکانیکی سیگنال را خفیف، و امکان کم و یا حذف توانایی اندازه گیری اتفاق های گذرا به وجود می آید. مشخصه مورد نظر دیگر اتصالات با دیسک انعطاف پذیر اینکه در کار با سرعت گردش بالا متعادل می باشد.

مبدل های ترک چرخشی ممکن است در مقره خود دارای بلبرینگ و یا بدون آن باشند. طراحی های با حمایت بلبرینگ قسمت های چرخشی و ایستگاهی مبدل را در یک راستا نگه می دارند و به راحتی نصب می شوند. قسمت های بدون چرخش در حساسه های بدون بلبرینگ لازم است نسبت به قسمت های چرخنده در یک نقطه دقیق ثابت نگه داشته شوند.

دو روش برای نصب مبدل ترک چرخشی وجود دارد، ثابت و آزاد<sup>۴</sup>

نصب ثابت فقط برای مبدل های با بلبرینگ می باشد و مقره مبدل به یک تکیه گاه ثابت نصب می شود. در نصب آزاد مبدل فقط به وسیله محرکش و اتصال طرف بار حمل می شود، که معمولاً از نوع اتصال ثابت یک خم می باشد. یک تسمه ثابت انعطاف پذیر از چرخیدن بدنه ترک متر جلوگیری می کند. از لحاظ تعریف، مبدل های بدون بلبرینگ همیشه اتصال آزاد می باشند.

در نصب ثابت نیاز به ابزاری است که بدنه مبدل را به حامل نصب کند. بعضی اوقات ویژگی نصب در مبدل یک انتخاب است و بعضی اوقات پایه<sup>۱</sup> اتصال به صورت قسمتی از خود مبدل ساخته شده است.

<sup>1</sup> Flexible Disk

<sup>2</sup> U-joint

<sup>3</sup> Elastomer

<sup>4</sup> fixed ، floating



ساده ترین طراحی نصب ثابت مبدل شامل سطح صاف ماشین کاری شده روی بدنه با سوراخ های خاص می باشد. در حالت نصب ثابت لازم است از اتصال دو خم استفاده شود.

نصب ثابت در کاربردهای با سرعت گردش زیاد می تواند بهتر عمل کند ، طول قسمت چرخشی بدون حامل محدود می شود. مبدل های با نصب پایه ای برای استفاده به صورت بلوک بلبرینگ طراحی نشده اند و لذا برای اطمینان از عدم وارد شدن بار نامناسب به بلبرینگ احتیاط لازم بعمل آید.

یک مثال برای کاربرد نصب ثابت آزمایش موتور الکتریکی می باشد ، که مهم است موتورها به سرعت به داخل و خارج جایگاه تست انتقال داده شوند. به وسیله نصب مبدل ترک و بار به یک صفحه ثابت ، هم محوری بین دو می تواند یک بار انجام شود و نامحدود نگه داشته شود. سپس موتور تحت تست می تواند به حساسه نصب و برداشته شود بدون نگرانی از اینکه حساسه هر باری که جدا می شود حامل خود را از دست دهد. برعکس اگر حساسه نصب آزاد باشد ، هر باری که موتور جدا می شود مبدل ترک باید در مقابل افتادن محافظت شود.

نصب آزاد<sup>۲</sup> در عدم هم محوری بین بار و محرک بیشتر تحمل دارد . یک مبدل آزاد ، نصب شده بین دو اتصال یک خم ، اساسا یک اتصال دوخم طولانی است. از آنجا که نا محوری مجاز مستقیما متناسب با فاصله بین نقاط خم شونده می باشد ، نصب آزاد جای بیشتری برای غیر هم محوری بین بار و محرک دارد.

مزیت دیگر نصب آزاد ، تقلیل تاثیر بارهای غیر متعارف بر حساسه می باشد. برای مثال ، در سامانه نصب آزاد ، بار فشاری<sup>۳</sup> تنها به وسیله المان حساسه بدون تاثیر بر بلبرینگ ها ، حمل می شود. در نصب ثابت ،

<sup>1</sup> pedestal

<sup>2</sup> floating mount sensor

<sup>3</sup> thrust load

هر بار فشاری به یک باری بر روی بلبرینگ ها تبدیل می شود ، که موجب فرسایش ماندگار در بلبرینگ و در صورتی که محور بین بدنه جابجا شود امکان تماس بین قسمت های چرخشی و ایستا بوجود می آید. نهایت بار فشاری در نصب آزاد میدل بیشتر از نصب ثابت می باشد.

### ۵-۳ ملاحظات محیطی در ترک متر ها

چیز هایی که لازم است در نظر گرفته شوند درجه حرارت ، رطوبت ، و گرد و غبار است. ترک متر های گردشی دارای درجه حرارت نگهداری و کارکرد و درجه حرارت جبران شده و نهایی می باشند. درجه حرارت نگهداری ، دمایی است که در آن می توان حساسه را نگه داشت و هیچ صدمه ای نمی بیند . گرچه میدل های انبار شده در این درجه حرارت آسیب نمی بیند ، اما لازم است در هنگام استفاده در رنج دمایی مربوطه به کار گرفته شوند تا صدمه نبینند. محدوده ظرفیت مجاز <sup>۱</sup> و یا جبران شده <sup>۲</sup> محدوده دمایی است که تضمین می شود روی آن میدل ترک مشخصات حرارتی اعلام شده را خواهد داشت. خارج از محدوده مجاز ، مشخصات وابسته به حرارت دو برابر و شاید بیشتر ، بدتر می شوند که بستگی به میدل دارد. اگر میدل قرار است در معرض حد حرارتی قرار گیرد لازم است جدا کننده ای برای محافظت آن قرار داد. بعضا از حصار و یا روکش گرمایی <sup>۳</sup> استفاده می شود.

ضریب محیطی دیگری که لازم است مورد توجه قرار گیرد نوفه <sup>۴</sup> الکتریکی می باشد. بعضی از تاسیسات نوفه بیشتر از دیگری دارند ، خصوصا اگر موتور های الکتریکی و یا محرک های فرکانس متغیر VFD <sup>۵</sup> به کار گرفته شده باشند. محرک های فرکانس متغیر برای تنظیم سرعت موتور الکتریکی AC ، به وسیله

<sup>1</sup> rated

<sup>2</sup> compensated

<sup>3</sup> Heating blankets or enclosure

<sup>4</sup> noise

<sup>5</sup> Variable-frequency drives (VFD)

کنترل فرکانس تغذیه الکتریکی داده شده به موتور ، به کار گرفته می شوند. نام دیگر VFD عبارتند از <sup>۱</sup>AFD ، <sup>۲</sup>VSD یا محرک AC و یا محرک اینورتر<sup>۳</sup> می باشد.

وقتی یک مبدل ترک با VFD به کار گرفته می شود ، اگر بد عمل می کند لازم است تکنیک های خاص زمین و حفاظ الکتریکی را به کار گرفت. یک VFD در زمان کارکرد ایجاد نویز بر روی خط انتقال قدرت می کند و نویز از VFD به کابل موتور انتشار می یابد. نویز همچنین به طور خازنی از سیم پیچی موتور به شافت منتقل شده و از طریق بلبرینگ ها به بدنه راه پیدا می کند . برای اطمینان از نصب کاملاً صحیح ، ضمن به کار گیری توصیه های تولید کننده VFD لازم است از کابل تغذیه با حفاظ الکتریکی (شیلد) برای موتور استفاده کرد.

#### ۵-۴ محدودیت ترک چرخشی

در اندازه گیری ترک چرخشی لازم است مبدل چرخش داشته باشد بنابراین دانستن حداکثر سرعت چرخشی و اینکه مبدل می تواند در آن استقامت داشته باشد مهم است. عامل های محدود کننده می توانند طول عمر بلبرینگ ، دوران مدارات الکترونیکی ، بالانسینگ ، و نوع سنسور باشند. همچنین باید محدودیت دیگر قسمت ها در چرخش مانند اتصالات را در نظر گرفت. معمولاً قسمت های چرخشی محدودیت دور اعلام شده دارند. گاهی می توان محدودیت ها را با انتخاب قطعات مخصوص بر طرف کرد.

اندازه گیری ترک به ندرت یک مقدار ثابت می باشد و معمولاً در اطراف مقدار متوسط تغییر می کند. در بعضی موارد تنها مقدار ترک متوسط مورد نیاز است و گاهی نیز حداکثر مقدار گذرا مورد توجه است که در این موارد پهنای باند و نرخ نمونه برداری<sup>۱</sup> سامانه اهمیت دارند.

<sup>1</sup> adjustable-speed drive

<sup>2</sup> variable-speed drive

<sup>3</sup> inverter drives

مبدل های ترک چرخشی همواره دارای مشخصات پهنای باند و یا نرخ نمونه برداری در دفترچه فنی خود می باشند . پهنای باند می تواند از چند صد هرتز تا چند هزار هرتز باشد که بستگی به نوع مبدل دارد. یک مثال برای کاربرد هایی که مقدار متوسط ترک چرخشی اندازه گیری می شود دینامومتر موتور می باشد. در این موارد دقتی در مورد ترک تیز(پالس مانند) هر سیلندر آتش شده نمی شود چراکه به وسیله مبدل و یا سامانه ثبت اطلاعات الکترونیکی فیلتر می شود.

مثال برای مواردی که قله و نوک های سیگنال مورد توجه می باشند و مبدل باید با پهنای باند مناسب انتخاب شود ، تست گیربکس است که لازم است بدانند آیا یکی از دندان های ممکن است بشکند.

در خاتمه یاد آوری می شود که لازم است نسبت به ظرفیت ، سرعت ، اتصالات ، نصب و محیط دقت بعمل آورد.

---

<sup>1</sup> sampling rate

پیوست اصطلاحات

این سند شامل شرح اصطلاحات فنی مربوط به لود سل ها می باشد که اکثرا در جزوات مشخصات فنی با عبارات انگلیسی بیان می شوند و مجموعه آنها از مدارک متعدد جمع آوری شده و در مواردی که تعاریف مختلف برای یک اصطلاح وجود داشته است با بررسی و مراجعه به نظریات متفاوت در آن مورد سعی شده است برای استفاده بهینه کاربران بهترین و شفاف ترین تعریف انتخاب و انعکاس داده شود. هدف از این تعاریف استاندارد بیان موثر از مشخصات فنی و تشکیل یک مرجع برای یکسان سازی مفاهیم مطرح در این فن آوری می باشد. این تعاریف تکمیل شده مفاهیمی است که در عبارات لودسل و توصیه های فرایند تست در OIML و Scale Manufacturers Association بیان شده است.

### **Accuracy :**

نهایت تolerانس می باشد که متوسط انحراف بین خروجی موجود و خروجی تئوریک را بیان می کند. مقدار دقت حاصل ترکیب خطاهای غیر خطی، تکرار پذیری و هیستریزی در لودسل می باشد. در کاربردهای عملی مبدل امکان خطای غیر خطی، هیستریزی، تکرار ناپذیری و تاثیر حرارت لزوما با هم واقع نشده و جمع نمی شوند. لذا دقت بر اساس مقدار RMS خطاهای ممکن حساب می شود که در شرایط تغییرات حرارت  $(\pm 5.5 \text{ }^\circ\text{C}) (\pm 10 \text{ }^\circ\text{F})$ ، اعمال بار کامل و تنظیمات خاص کالیبراسیون ایجاد می شوند و خطاهای قرائت، *cross-talk* و یا خزش<sup>۱</sup> را شامل نمی شود.

این حساسیت در اندازه گیری مشخصات کمی و وضعیت فیزیکی می باشد و برای نشان دادن تقسیمات یا کمترین مقدار اندازه گیری سیستم توزین به کار برده می شود. معمولا به صورت درصدی از خروجی بار کامل و یا باری که اعمال شده است بیان می شود.

---

<sup>1</sup> creep

***A/D Converter :***

این مبدل سیگنال آنالوگ به سیگنال دیجیتال است برای اینکه تغییرات ولتاژ پیوسته سیگنال را به مقادیر عددی گسسته دو دو می تبدیل کند . خروجی لود سل به وسیله مبدل A/D یک رشته پیوسته اطلاعات دیجیتال شده تولید می کند که برای تحلیل به مدارات دیجیتالی نمایشگر وارد می شود .

***Ambient Conditions:***

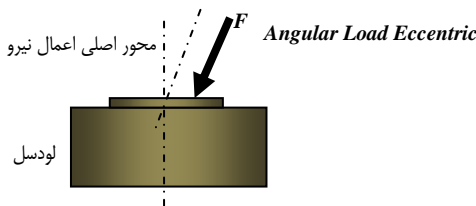
شرایط (رطوبت ، فشار ، حرارت ، ... ) محیط اطراف لودسل یا مبدل .

***Ambient Temperature:***

درجه حرارت محیط اطراف لودسل یا مبدل .

***Angular Load Eccentric:***

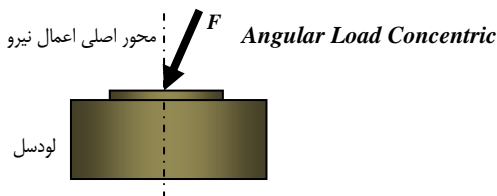
باری که به صورت خارج از مرکز نقطه کاربرد و بایک زاویه نسبت به محور اصلی اعمال شود.



شکل 1

***Angular Load Concentric:***

باری که به مرکز نقطه کاربرد ولی بایک زاویه نسبت به محور اصلی اعمال شود.



شکل 2

**Auto-Calibration:**

روند اتوماتیک که به وسیله نرم افزار نصب درون سامانه وزن کشی کالیبراسیون انجام می شود.

**Average piece weight:**

در زمان وزن کشی مقدار وزن تقسیم بر تعداد نمونه که آن وزن را شامل می شوند گویند .

**Axial Load:**

*A load applied to line concentric with primary axis.*

**Axial Torsion:**

لودسلی که نیرو و ترک هر دو را اندازه گیری می کند .

**Baud rate:**

واحد سرعت فرایند ارتباطات در سامانه ارتباطات دیجیتالی.

**beam (scale) :**

قسمت نشانگر ترازوی اهرمی

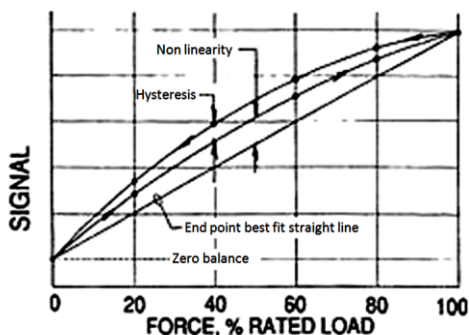
**Beam Type:**

بر روی سطوح قسمت صاف بالا و پایین لودسل تیری شکل و در نقطه بیشترین کرنش استرین گیج ها نصب می شوند . این نوع لودسل برای ظرفیت های پایین به کار می رود و مشخصه خطی خوبی دارد اما لازم است به طور صحیح تحت بار قرار گیرد تا نتایج قانع کننده داشته باشد.

**Best ( fit )Straight Line:**

خط صاف بین نقاط خروجی صفر و خروجی بار کامل که برای تعیین خطای خروجی لودسل به کار می رود. بسته به دلیلی که نمایش خطی منحنی خروجی مورد نیاز است تعریف های متفاوتی برای این خط وجود دارد. (شکل ۳)





شکل 3

### **Barometric Sensitivity:**

تغییر در ZERO BALANCE به علت تغییر در فشار بارومتریک محیط . معمولاً به صورت درصدی از مقایسه خروجی لودسل در مقابل نتایج تست بار استاندارد .  
RO/atm بیان می شود .

### **Calibration:**

مقایسه خروجی لودسل در مقابل نتایج تست بار استاندارد .

### **Calibration Curve:**

ثبت (منحنی) مقایسه خروجی لودسل در مقابل نتایج تست بار استاندارد .

### **calibration Grade Low Profile Load Cells:**

لودسل های بسیار دقیق که برای کالیبراسیون لودسل های دیگر طراحی شده اند. معمولاً با تکرار ناپذیری کمتر از 0.005% تضمین شده اند .

### **Canister type load cells:**

لودسل های غیر تیری برای عملیات توزین سنگین در پل وزن کشی راه آهن ویا جاده استفاده می شود.

### **Capacity:**

بیشترین بار محوری که لودسل با حفظ مشخصات فنی خود برای اندازه گیری آن طراحی شده

### **Categories of weighing scales:**

#### **1) Micro Scales :**

برای اندازه گیری وزن کالاهای پرارزش مانند ترازوهای دقیق آزمایشگاهی ، ترازوهای جواهری ، ترازوهای جیبی و ترازوهای بسیار دقیق .

#### **2) Table-top and Counter Scales.**

ترازوهای عمومی و تجاری در ظرفیت های کم و متوسط مانند خوار بار فروشی ها .

#### **3) Platform Scales.**

ترازوهای ظرفیت بالا شامل ترازوهای میزی ، مسطح های عمومی ، مسطح های صنعتی و قابل اطمینان .

#### **4) Crane Scales :**

اجرام سنگینی که نمی توان با دست حمل کرد به وسیله اینها جابجا و وزن می شوند .

#### **5) Truck Scales/Weighbridges :**

باسکول های وسایل نقلیه باری می باشند .

#### **6) Special Application Scales :**

#### **Check Weigher:**

ترازوهایی برای بررسی مقدار وزن از قبل تعیین شده در محدوده معین .

#### **CLASS III :**

کلاس ترازوهای که برای کاربرد تجاری و نه دیگر به کار روند. وزن کشی قلات ، خرده فروشی آهن آلات ، سنگهای نه چندان قیمتی.

#### **CLASS IIIIL :**

کلاس ترازوهای وسایل نقلیه ، چهار پایان ، ترن راه آهن ، جرثقیل و قیف غیر از ترازوی قیف قلات.

**Combined Error:**

بیشترین انحراف منحنی کالیبراسیون شامل هیستریزی و غیر خطی از خط مستقیم ترسیم شده بین نقطه بی باری و بار کامل که به صورت درصدی از بار کامل بیان می شود و در هر دو حالت افزایش و کاهش بار اندازه گیری می شود.

**Compensated Temperature Range:**

محدوده حرارتی که در آن خروجی لودسل جبران سازی شده باشد . در صورت استفاده از لود سل خارج از این محدوده حرارتی مشخصات فنی تضمین شده نخواهند بود.

**Compensation:**

استفاده از تجهیزات اضافی، مواد یا تحلیل برای حداقل کردن خطا.

**Corner Effect or Error:**

اگر ترازو برای هر کدام از گوشه ها کالیبره نشده باشد خطایی در هر گوشه تولید می شود .

**Creep:**

تغییر خروجی لودسل زیر بار با زمان در حالیکه تمام شرایط محیطی و متغیرهای دیگر ثابت می باشند که معمولاً در بار کامل اندازه گیری می شود و به صورت درصدی از بار کامل روی یک محدوده زمانی معین بیان می شود .

**Creep Recovery:**

تغییر در خروجی لودسل با زمان بلافاصله بعد از برداشتن باری که برای یک محدوده زمانی معین اعمال شده باشد بدون تغییر شرایط محیطی و دیگر در هنگام بار و بی باری . معمولاً به صورت درصدی از بار کامل برای مدت زمان معین بیان می شود و طول زمان بار گذاری و بی باری (recovery) مساوی می باشد.

***Creep Return:***

تفاوت بین سیگنال لودسل بلافاصله بعد از برداشتن بار که برای مدت معینی اعمال شده بوده و سیگنال قبل از اعمال بار بدون تغییر کلیه شرایط از جمله محیطی در مدت اعمال بار . معمولاً به صورت درصد از بار اعمالی (اغلب ظرفیت) در مدت معین بیان می شود .

***Cross-Talk :***

مشخصه ای در در لود سل های چند مولفه ای که وقتی یک مولفه در ظرفیتش بار می شود و مولفه دیگر بار نمی گردد خروجی مولفه بار نشده از درصدی تعیین شده مقدار بار کاملش بیشتر نمی شود .

***Cross sensitivity:***

برای این عبارت تعریفی در مراجع یافت نشد.

***Dead load :***

بار ثابت کفه و سازه روی ترازو که باید از مقدار اندازه گیری حذف و یا تصحیح شود .

***Deflection:***

تغییر طول در راستای محور اصلی لودسل بین بی باری و بار کامل.

***Drift:***

تغییر تصادفی در خروجی تحت شرایط بار ثابت.

***Display :***

نمایشگر مقدار وزن، قیمت ، کالا و ...

***Division :***

کوچکترین مقدار افزایش قابل نمایش و یا نشان داده شده توسط ترازو.

***Dormant scale:***

ترازوی توکار دارای خود نگهدارنده زیر سازه.

**Double ended shear beam load cells:**

لودسل از نوع shear beam درارای ساختار دو سر که بر تکیه گاه قرار می گیرند و نیرو به وسط اعمال می شود و سبب بهبود مشخصه فنی آن می گردد .

**Dribble:**

در عملیات پرکردن مقدار وزنی که بیشتر از آن مواد با سرعت کم به کار گرفته می شوند تا برش دقیق تری مهیا گردد.

**Drift:**

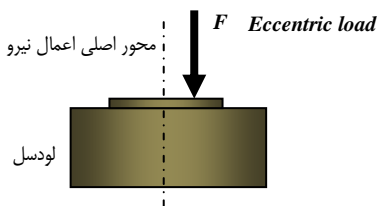
تغییر اتفاقی در خروجی تحت شرایط بار ثابت.

**Dual Range:**

لودسل هایی که شامل هر دو ظرفیت پایین و بالا می باشند و برای بار اضافی درون ظرفیت پایین حفاظت شده اند که باعث دقت بالا در هر دو ظرفیت کم و زیاد می گردد.

**Eccentric load:**

هر باری که موازی نسبت به محور اصلی ولی با فاصله از مرکز وارد شود .



شکل 4

**Electronic weighing scales:**

سامانه هایی که به جای شاهین از مبدل الکتریکی برای اندازه گیری وزن استفاده می کنند.

***Effects of Barometric Variation:***

در استاندارد اروپایی ، تغییرات لودسل با تغییر فشار اتمسفر.

***EFI:***

Extraneous Force Immunity حفاظت در برابر نیروهای غیر منتظره

***End Points Straight Line***

خط صافی که در دیاگرام خروجی لودسل جهت مقایسه منحنی کالیبراسیون آن از دو نقطه مربوط به حالت بی باری و نقطه حداکثر بار می گذرد. (شکل ۳)

***Environmental Protection:***

حفاظت محیطی در برابر رطوبت و خاک معروف به IP

***Error:***

تفاوت جبری بین مقدار نشان داده شده و صحیح بار اندازه گیری شده.

***Excitation, :***

ولتاژ یا جریانی که به ورودی لودسل اعمال می شود.

***Fatigue Capacity :***

درصدی از ظرفیت بار اسمی نهایی و بر اساس  $100 \times 10^6$  مرتبه(حداقل) از صفر تا ظرفیت فرسودگی کامل و  $50 \times 10^6$  مرتبه (حداقل) از خستگی کامل کشش تا خستگی کامل فشار.

***Frequency Response :***

محدوده فرکانسی که خروجی لودسل تغییرات سینوسی مکانیکی ورودی را در حدود مشخصات فنی آن تعقیب می کند.

***Full Scale or FS:***

خروجی متناظر حداکثر بار در هر کاربری یا تست مشخص.

**Full Scale Output (FSO) :**

خروجی لودسل در ظرفیت نهایی که به صورت خالص (خروجی در ظرفیت نهایی منهای خروجی در صفر)  $mV/V$  (میلی ولت خروجی بر ولت تحریک) بیان می شود.

**Graduation :**

برچسبی که نشان دهنده مقدار ویا درجه می باشد.

**Hysteresis:**

وقتی لودسل از صفر به بار کامل و سپس به صفر برده می شود  $mV$  خروجی برای یک مقدار بار معین در مسیر افزایش و کاهش بار کمی متفاوت است . بیشترین تفاوت برای محاسبه هیستریزیز به کار می رود و معمولا به صورت درصدی از بار کامل بیان می شود.

**Indicators:**

این سامانه ای است که شامل منبع تغذیه ، واحد پردازش و نمایشگر می باشد و خروجی لودسل به آن متصل می شود و از همین واحد نیز تغذیه می شود.

**Input Resistance:**

مقاومت مدار لودسل در ترمینال های تحریک در حالت بدون بار و با ترمینالهای خروجی به صورت مدار باز.

**Insulation Resistance:**

مقاومت DC اندازه گیری شده بین مدار پل و بدنه لودسل. معمولا در 50 V DC اندازه گیری می شود.

**Interface:**

یک اسباب یا مدار که ارتباط دو واحد مجزا را فراهم می کند. تعدادی از اینترفیس های استاندارد که در ترازوهای صنعتی استفاده می شوند عبارتند از :

20 mA current loop ,BCD , RS-232 , RS-422 and RS-485.

***intrinsically safe circuit :***

یک مدار که هر جرقه یا گرما آن در ترکیب مواد محترقه موجود در هوای تحت شرایط تست که به سادگی قابل اشتعال می باشد باعث ایجاد احتراق نمی شود.

***Junction box :***

یک جعبه یا محفظه که برای اتصال سیم و یا کابل های متعدد به کار می رود.

***Linearity:***

این شیب داده های اندازه گیری شده را با یک تابع تبدیل ایده آل مقایسه می کند. و نشان می دهد در محدوده ورودی ، خروجی مبدل معادله خط راست  $P_{out} = P_{off} + Sensitivity \times P$  را چقدر خوب دنبال می کند<sup>۱</sup>.

***Lever :***

ابزاری که نیرو را با افزایش و یا کاهش انتقال می دهد.

***Live load :***

باری که به سطح یک ترازو وارد می شود و به وسیله سامانه وزن کشی اندازه گیری می شود.

***Load:***

نیرو یا وزنی که به لود سل وارد می شود .

***Load Buttons:***

لودسل های کوچکی از نوع فشاری که بار از طریق عنصر دکمه ای شکل اعمال می شود.

---

<sup>1</sup> The method used by Freescale to give the linearity spec is the end-point straight line method measured at midrange input.



**Load / Force Washers:**

این لود سل ها برای اندازه گیری نیروی فشاری استاتیکی یا دینامیکی طراحی شده اند مخصوصا در مواقع کنترل نیرو مانند عملیات ساخت و ساز و یا اتصالات پیچی .

**Load Cell:**

یک وسیله که یک سیگنال خروجی متناسب با نیرو و یا وزنی که به آن وارد می شود تولید می کند .

**load cell's response time :**

لود سل های معمولی مانند یک فنر سخت که نوسان می کند رفتار می کنند لذا برای قرائت یک وزن کشی دقیق لودسل باید در کمترین زمان دوره وزن کشی ساکن شود که توقف نوسان است . زمان پاسخ گویی لود سل برای بعضی از کار برد ها لازم است کوتاه باشد .

**Load / Force Pins:**

لود سل هایی که مانند یک میله کوچک شرایط بار ، اضافه بار ویا کشش را اندازه گیری می کنند . معمولا در ماشین ها به جای یک شافت معمولی قرار می گیرند و مستقیما به کار گرفته می شوند . به صورت طراحی های دلخواه وجود دارند .

**Low Profile Load Cells:**

لودسل های عمومی سیلندری شکل (پنکیک)<sup>۱</sup> دارای ترکیبی می باشند که در حالت برشی کار می کنند و استرین گیج های آن در طرح شبکه برشی اعمال شده اند . این در طراحی موجب ضخامت خیلی کم که به راحتی برای شرایط محیطی آب بندی شده و نسبت به نیروهای غیر محوری بسیار غیر حساس است. همچنین امکان استفاده از زوج پل استرین گیج به صورت الکتریکی مجزا برای بالا بردن ضریب اطمینان را می دهد .

---

<sup>1</sup> pancake

**Manual calibration:**

با نصب یک مقاومت متغیر در مدار الکترونیکی سامانه به وسیله افراد متخصص این نوع کالیبراسیون انجام می شود .

**Maximum Load**

بیشترین بار در یک آزمایش و یا کاربری که ممکن است وارد شود که شامل ظرفیت به اضافه MINIMUM LOAD (به تعریف مراجعه شود) می باشد و لی از ظرفیت به طور قابل ملاحظه بیشتر نمی شود.

**Maximum number of load cell verification intervals ( $n_{max}$ ):**

این عدد نشان می دهد که محدوده اندازه گیری یک لودسل حداکثر به چند قسمت می تواند تقسیم شود بدون آنکه خطای اندازه گیری از حد مجاز<sup>۱</sup> بیشتر شود. هر چقدر  $n_{max}$  بیشتر باشد دقت لودسل بیشتر است.

در جدول شماره یک نشان داده شده است که هر کلاس لودسل باید دارای چه مقدار  $n_{max}$  باشد.

جدول شماره ۱	Class A	Class B	Class C	Class D
Lower limit	50 000	5 000	500	100
Upper limit	Unlimited	100 000	10 000	1 000

<sup>1</sup> MPE On loadcell specification graphs this means- Maximum Permissible Error and Max is the permissible errors as stipulated by NRCS 0-500e, 500 - 2000e and 2000 – 3000 e Extreme values of an error permitted by this Recommendation (refer to clause5) for a load cell.

**Maximum Axial Load, Safe :**

بیشترین مقدار بار مجاز غیر محوری است که می توان به لودسل وارد کرد بدون آنکه تغییرات ماندگاری در مشخصات لودسل به وجود آید. معمولاً به صورت درصدی از ظرفیت لودسل بیان می شود.

**Maximum Error / Combined Error:**

بیشترین خطای خروجی لودسل از بهترین خط راست زمانی که هر دو مشخصه غیر خطی و هیستریزیز لودسل در نظر گرفته شود. به صورت درصدی از (FSO) (ful scale output) بیان می شود.

**Maximum Axial Load, Ultimate:**

بیشترین بار که می توان در راستای محور بار لودسل به آن وارد کرد قبل از آنکه به سازه صدمه وارد شود. معمولاً به صورت درصدی از ظرفیت بیان می شود.

**Maximum Load Axis Moment, Safe:**

بیشترین ممانی که نسبت به محور اصلی لودسل می تواند وارد گردد بدون آنکه تغییری در مشخصات فنی مشخص شده برای آن ایجاد گردد.

**Maximum Mounting Torque, Safe:**

بیشترین نیرویی که با یک زاویه نسبت به محور اصلی می توان وارد کرد بدون آنکه تغییری در مشخصات فنی مشخص شده برای آن ایجاد گردد.

**Maximum Side Load, Safe:**

بیشترین باری که می تواند عمود بر محور اصلی به لودسل وارد شود بدون آنکه تغییری در مشخصات فنی مشخص شده برای آن ایجاد گردد.

**Measuring Range:**

تفاوت بین بیشترین بار و کمترین بار در یک آزمایش یا کاربرد. این نباید از ظرفیت متجاوز گردد.

### **Mechanical Failure:**

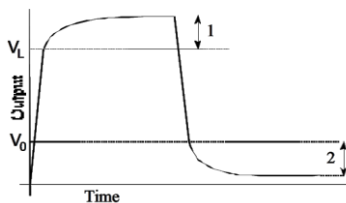
باری که در آن لود سل می شکنند و یا تغییر شکل می دهد .

### **Minimum Dead Load or MDL:**

کمترین باری که در آن مشخصات فنی تعریف شده برای لودسل برقرار باشد. این معمولاً مساوی یا نزدیک به بی باری در کاربرد یگانه (کشش یا فشار) و لزوماً مساوی بی باری در کاربرد دوپل می باشد. MDL برای لودسل های با استاندارد NTEP مشخص شده است . در یک کاربرد بار مرده وارد شده به هر لودسل باید بزرگتر یا مساوی MDL مشخص شده به وسیله تولید کننده برای آن لودسل باشد.

### **Minimum Dead Load Output Return (MDLOR) :**

تفاوت در خروجی لودسل در وضعیت MDL قبل و بعد از ۳۰ دقیقه اعمال بار در حداقل ۹۰ درصد ظرفیت بار نهایی (فقط برای OIML). در نمودار شکل زیر دیده می شود که هنگام اعمال بار یک جا به لودسل ، خروجی آن با شیب نسبتاً زیاد به مقدار  $V_L$  می رسد اما این مقدار واقعی متناسب با بار نیست و یک زمانی طول می کشد که خروجی لود سل با شیب کم به مقدار واقعی برسد که این نشان دهنده خطای <sup>۱</sup> creep می باشد . پس از برداشتن بار خروجی لودسل با شیب نسبتاً زیاد به مقدار بی باری نزدیک می شود تا به اندازه  $V_0$  می رسد و سپس با شیب ملایم به تدریج و با گذشت زمان به مقدار واقعی خروجی متناسب با حالت بی باری میل می کند که این تفاوت نشان دهنده خطای MDLOR می باشد.



شکل ۵

Creep (1) and MDLOR (2)

<sup>۱</sup> به تعریف مربوطه مراجعه شود

**Minimum Load :**

کمترین بار در یک آزمایش و یا کاربری که به دلیل وزن فیکسچر و گیرنده بار که با آن وصل است با حالت *NO LOAD* تفاوت دارد .

**Minimum verification scale divisions :**

کمترین تقسیمات دستگاه ترازو و یا سامانه های مشابه .

**Minimum verification scale division/load cell :**

پارامتری که در انتخاب لودسل برای کاربری خاص استفاده می شود.

**Mechanical or Analogue Weighing :**

با ایجاد تعادل در صفحه افقی و تعادل از نقطه وسط جهت اندازه گیری هر جسمی، در وزن کشی درجه ای یک شاخص دقیق تنظیم شده برای وزن کردن اجرام بزرگ بیشتر از صد کیلوگرم وجود دارد. این نوع ترازو به ترازوی مسطح<sup>۱</sup> معروف است . همچنین به وزن کشی شاهینی<sup>۲</sup> نیز شناخته می شود .

**Mode:**

جهت بار . فشار یا کشش هر کدام یک مد می باشند .

**Motion detection**

مداری که برای تشخیص تغییر وزن نشان داده شده با شدت متفاوت با مقدار پیش فرض در نمایشگر به کار گرفته می شود. این مکانیزم می تواند به صورت نرم افزاری نیز در نمایشگر طراحی گردد. تغییر مقدار اندازه گیری شده با شدت غیر متعارف نشان می دهد که یک تغییر ناخواسته صورت گرفته که می تواند از افزایش وزن تدریجی روی باسکول مثلا به علت افزایش گرد و غبار و یا جابجایی مشخصات فنی مدارات الکترونیکی باشد که به هر صورت لازم است کشف شده و برای جلوگیری از خطا به نحوی جبران شود.

---

<sup>1</sup> platform scale

<sup>2</sup> Lever method

***Multi-Axis***

لود سلی که می تواند برای اندازه گیری ممان بار همزمان با اندازه گیری بار محوری در موارد لازم مانند اندازه گیری مرکز جرم به کار گرفته شود .

***Natural Frequency***

فرکانس نوسان آزاد در شرایط بی باری .

***No Load***

حالت لودسل وقتی که در راستای فیزیکی عادی قرار دارد و نیرویی به آن اعمال نمی شود و هیچ فیکسچر و یا نگهدارنده بار به آن متصل نباشد.

***Nominal Load Limit Capacity***

بیشترین ظرفیت معمولی طراحی شده برای مبدل . حساسیت خروجی مبدل بر اساس این ظرفیت می باشد مگر اینکه مشخص شده باشد.

***Nonlinearity***

بیشترین انحراف منحنی کالیبراسیون از خط راست که بین بی باری و ظرفیت نهایی کشیده شود و به صورت درصدی از ظرفیت نهایی بیان می شود و فقط در حالت افزایش بار اندازه گیری می شود.

***Non Repeatability***

بیشترین تفاوت بین خروجی خوانده شده برای بارهای تکرار شده در بار و شرایط محیطی یکسان . معمولا به صورت درصدی از ظرفیت نهایی بیان می شود  $RO\%$  .

***NTEP* National Type Evaluation Program**

یک سازمان استاندارد آمریکایی که لودسل های تایید شده به وسیله آن معتبر می باشند.

**OEM**

لودسلی که از piezoresistive silicon strain gauges استفاده می کند . مشخصات آن شامل قیمت کم ،اندازه کوچک ،نویز کم ،طراحی محکم ،قابلیت اطمینان بالا وزمان پاسخ کوچک می باشد.قابل استفاده در مصرف کننده ، کاربردهای صنعتی و پزشکی مانند پمپ های پزشکی و کنترل ، رباتیک ، تشخیص فشاردگی ، کنترل تنش متغیر ، تشخیص اشغال نشستن .

**Offset**

برای حساسه فشار ، سیگنال خروجی وقتی که یک فشار مینا (خلاء برای حساسه فشار مطلق) به حساسه اعمال شود .برای یک حساسه فشار خطای Offset روی اندازه گیری فشار مطلق تاثیر می گذارد ولیکن روی اندازه گیری فشار نسبی اثر ندارد.

**OIML organization international metrology legal**

یک سازمان استاندارد اروپایی که لودسل های تایید شده به وسیله آن معتبر می باشند.

**Output**

سیگنال (ولتاژ ، جریان ، فشار و غیره) که به وسیله لودسل ایجاد شود . وقتی خروجی مستقیما به تحریک متناسب است سیگنال باید با عبارت ولت بر ولت ، بر آمپر و غیره از تحریک بیان شود .

**Output, Rated**

تفاوت جبری بین خروجی و بی باری ودر ظرفیت نهایی .

**Output Resistance**

مقاومت الکتریکی مدار استرین گیج های لود سل در سمت اتصال های سیگنال و با مدار تحریک باز.

**Output Symmetry**

تفاوت خروجی در بار کامل بین کارکرد کششی و فشاری . به صورت درصدی از متوسط خروجی بار کامل بیان می شود .

**Overload Rating, Safe**

بیشترین بار به صورت درصدی از ظرفیت نهایی که می تواند به لودسل وارد شود بدون آنکه ایجاد تغییر ماندگار در مشخصات قبلی آن ایجاد شود .

**Overload rating, Ultimate**

بیشترین بار به صورت درصدی از ظرفیت نهایی که می تواند به لودسل وارد شود بدون آنکه سازه آن صدمه ببیند.

**Pan and Platform**

Pan یک صفحه بستر است که در ترازوهای ظرفیت کم به کار می رود در حالیکه platform ترازوهای با ظرفیت زیاد به کار گرفته می شود .

**Peak Lateral Load:**

یا **Maximum Side Load, Safe** بیشترین باری که از بغل به لودسلی که محکم و استوار در جای خود نصب شده است می توان وارد کرد بدون آنکه صدمه ماندگار به آن وارد شود. این دلیل طراحی خزش پاندولی است که اجازه می دهد لودسل به خوبی بارهای جانبی را تحمل کند. این همچنین اجازه می دهد CPD خارج از تراز تا  $8^\circ$  با محور عمود کار کند.

**Potted cell**

یک لودسل آب بندی شده در محیط به وسیله پرکردن محفظه استرین گیج ها با موادی که آنها را از آسیب های محیطی مانند گرد و غبار محافظت می کند .



**Primary Axis**

محوری که لودسل به گونه ای طراحی شده تا در امتداد آن بار شود. معمولاً این به صورت هندسی خط مرکزی می باشد.

**Proving Ring**

یک نوع نیروسنج دقیق که معمولاً برای کالیبره کردن سامانه های نیروسنجی از آن استفاده می شود. در آن کرنش وارد شده به یک رینگ فولادی که متناسب با نیروی اعمالی می باشد به وسیله یک میکرومتر با دقت اندازه گیری می شود.

**Push-Button Auto Zero**

گسترش عملکرد Auto Zero در نمایشگرهای دیجیتال با استفاده از یک کلید در جلو صفحه کنترل.

**RS-232**

روش سریال بر اساس ولتاژ در ارتباطات داده ای که برای انتقال داده بین دستگاه های دیجیتال استفاده می شود. فاصله انتقال لازم است کمتر از ۵۰ فوت باشد.

**Rated Output or RO**

خروجی  $mV/V$  متناظر با ظرفیت.

**Rated output – Rationalised**

تعریفی برای این واژه در منابع دیده نشد.

**Rated Capacity**

بیشترین بار محوری که لودسل با حفظ مشخصات خود می تواند اندازه گیری کند.

**Rationalisation tolerance**

تعریفی برای این واژه در منابع دیده نشد.

**Reference Standard**

دستگاه اندازه گیری نیرو که مشخصات آن نسبت به استاندارد اولیه کاملا شناخته شده است.

**Remote sensing**

روش برای تنظیم ولتاژ لودسل.

**Repeatability**

بیشترین تفاوت بین خروجی لودسل قرائت شده برای بارگذاری مکرر در شرایط محیطی و مقدار بار مساوی.

**Repeatability, Safe Load**

مقداری که ظرفیت لودسل می تواند بیشتر شود مانند ۱۲۵٪ ظرفیت.

**Resolution**

کمترین تغییر در ورودی مکانیکی که تغییر قابل تشخیص در خروجی ایجاد می کند .

**S or Z type load cells**

این لودسل ها یی با شکل المان به صورت S شکل برای آویخته و یا فشرده شدن با رنج بین ۵ تا ۵۰ هزار کیلو گرم.

**Scale**

دستگاهی که با مقایسه ، وزن اجرام را تعیین می کند.

**Sensitivity**

نسبت تغییر در خروجی با ورودی مکانیکی.

**Serial Communication (Transmission)**

روش برای ارسال داده که در آن هر بیت اطلاعات پشت سر هم در یک کانال ارسال می شوند .

### ***Set point***

نقطه ای که تعیین کننده کنترل مقدار کمیت مورد نظر می باشد.

### ***Shear Beam***

گروهی لودسل که در آن استرین گیج ها روی صفحه ای نازک درون قسمت ماشین شده به گونه ای نصب شده اند که تغییر حالت لود سل به صورت برشی بر روی آنها اثر می کند و مشخصات ویژه ای به لودسل می دهد .

### ***Shunt Calibration***

شبیه سازی الکتریکی خروجی لودسل به وسیله نصب مقاومت موازی مشخص بین نقاط خاص در مدار لودسل . به این وسیله بدون اعمال بار فیزیکی می توان لودسل را کالیبره کرد.

### ***Shunt-To-Load Correlation***

تفاوت د رقرائت خروجی حاصل از شبیه سازی الکتریکی و اعمال بار واقعی.

### ***Side Load***

هر باری که با زاویه نود درجه نسبت به محور اصلی در نقطه کاربری بار محوری واردشود

### ***SIP (Signal in Line Package )***

یک بسته المان قالب بندی شده مسطح که در یک سمت ترمینال دارد .

### ***Signal***

مقدار مطلق کمیت قابل اندازه گیری که در مقابل ورودی تبدیل شده است.

### ***Single ended shear beam load cells***

لودسل های مدل تیر برشی<sup>۱</sup> که از یک سر متصل می شوند و سر دیگر بار اعمال می شود. در ترازوهای مسطح در رنج کم، متوسط و زیاد معمولاً از ۵ تا ۷۵۰۰ کیلوگرم کاربرد دارد.

### ***Single Point***

لودسلی است که برای استفاده در ترازو طراحی شده است و برای بارهای خارج از محور<sup>۲</sup> جبران سازی شده و حساسیت کمتری نسبت به این موضوع از خود نشان می دهد.

### ***Span***

نام دیگری برای ظرفیت نهایی<sup>۳</sup>.

### ***Stabilization Period***

زمان لازم برای مطمئن شدن از اینکه تغییر دیگر در پارامتر در حال اندازه گیری قابل صرفه نظر می باشد.

### ***Standard Test Conditions***

شرایط محیطی که تحت آن اندازه گیری باید انجام شود درحالیکه اندازه گیری تحت شرایط دیگر ممکن است بین مشاهدات مختلف در زمان و مکان های مختلف نتیجه غیر مشابه داشته باشد. این شرایط شامل موارد زیر می باشند:

Temperature  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Relative Humidity: 90% or less

Barometric Pressure: 28 to 32 inch Hg

---

<sup>1</sup> shear beam

<sup>2</sup> off center loads

<sup>3</sup> rated output

### Static Extraneous Load Limits

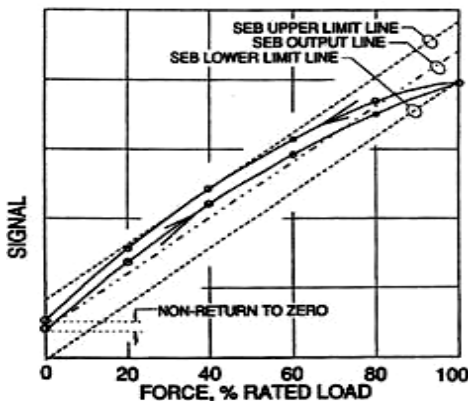
نهایت بارهایی غیر متعارف که از کنار (عمود بر راستای اصلی اعمال بار) و یا به صورت ترک می تواند به لودسل وارد شود بدون آنکه آسیب ببیند. حدود بار استاتیکی خارجی به این گونه محاسبه می شوند که تنها یک بار خارجی ( $F_x$  or  $F_y$  or  $M_x$  or  $M_y$  or  $M_z$ ) به طور همزمان با ۵۰٪ از نهایت بار متعارف اعمال می گردد.

### SEB(Static Error Band) Output Line

مناسب ترین خط مستقیم عبوری از نقطه خروجی صفر که از شیب آن برای تعیین باند خطای استاتیکی (SEB) استفاده می شود.

### Static Error Band or SEB

باند بیشترین انحراف از نقاط کالیبراسیون صعودی و نزولی از مناسب ترین خط عبوری از نقطه خروجی صفر که شامل تاثیرات nonlinearity, hysteresis, non-return to minimum load می باشد و شامل تمام نقاط صعودی و نزولی مراحل تست می شود.



شکل ۶

### Strain Gauge

حساسه ای برای تشخیص کرنش که در اثر اعمال نیروی مشخص وارد بر بدنه ایجاد می شود.

### ***Strain Transducers***

یک مبدل کرنش به طور مستقیم به وسیله اتصال اصطکاکی و چهار پیچ به سطح پروژه می چسبد . این چیدمانی توانایی انتقال مستقیم کرنش جسم مورد آزمایش به حساسه را ایجاد می کند در جایی که فقدان فضا و یا شرایط نصب ، استفاده از مبدل استاندارد نیرو را دشوار می سازد.

### ***SEB Output***

خروجی محاسبه شده بر اساس خط **SEB** .

### ***SELF-ID Load Cell***

این خصوصیت لزوم وارد کردن دستی اطلاعات نوشتاری کاربرگ کالیبراسیون مورد استفاده در تجهیزات متعلق به لود سل به وسیله صفحه کلید را رفع می کند.

### ***Symmetry Error***

تفاوت جبری بین خروجی نهایی مجاز در حالت کشش و متوسط مقدار قدر مطلق خروجی نهایی مجاز در حالت کشش و حالت فشار . معمولاً به صورت درصدی از خروجی نهایی مجاز بیان می شود.

### ***Tare Weight***

وزن وسیله یا مخزن خالی .

### ***temperature coefficient***

مقداری که تحت تاثیر درجه حرارت جابجا (رانده) می شود.

### ***Temperature Effect On Rated Output***

تغییر در خروجی نهایی بر اثر تغییر در درجه حرارت محیط.

### ***Temperature Effect On Output***

تغییر در خروجی مربوط به تغییر در درجه حرارت مبدل . معمولاً به صورت درصدی از بار قرائت شده بر درجه فارنهایت (سانتی گراد) ، تغییر یافته با دما بیان می شود.

### ***Temperature Effect on Span***

تغییر در خروجی بار کامل در اثر تغییر دما مثلا  $0.01\%/10^{\circ}\text{C}$  یعنی تغییر  $0.01\%$  خروجی بار کامل برای تغییر دما به اندازه ده درجه سانتی گراد .

### ***Temperature Effect on Zero***

تغییر در خروجی در بی باری توسط تغییر دما . به صورت درصدی از خروجی بار کامل بر درجه سانتی گراد بیان می شود .

### ***Temperature Effect on Zero Balance***

تغییر در Zero Balance مربوط به تغییر دما در مبدل . معمولا به صورت تغییر در Zero Balance برای درصدی از خروجی بار نهایی بر درجه حرارت که با دما تغییر می کند بیان می شود .

### ***Temperature Range, Compensated***

محدوده درجه حرارت که در آن لودسل جبران سازی شده تا خروجی و Zero Balance را در حدود مشخص حفظ کند.

### ***Temperature Range, Operating***

محدوده درجه حرارت محیط که در آن لود سل بدون تغییر مضر ماندگار در مشخصات فنی کار می کند.

### ***Temperature Range Safe***

محدوده درجه حرارت که در آن لودسل با تحمل تغییر ماندگار مضر در مشخصات فنی خود کار می کند .

### ***Temperature Range, Usable***

محدوده درجه حرارت که در آن مبدل بدون تحمل تغییر مضر و ماندگار در مشخصات فنی کار می کند.

### ***Terminal Resistance***

مقاومت مدار مبدل اندازه گیری شده در سر ترمینال های پل الکتریکی در حرارت استاندارد و بدون اعمال بار و با مدار تحریک و خروجی باز .

***Terminal Resistance Corner To Corner***

مقاومت مدار الکتریکی لودسل در سر ترمینال های مشخص پل الکتریکی در حرارت استاندارد و بدون اعمال بار و با مدار تحریک و خروجی باز.

***Terminal Resistance, Excitation***

مقاومت الکتریکی مبدل اندازه گیری شده در ترمینال های تغذیه و بدون اعمال بار در حرارت استاندارد و با مدار الکتریکی خروجی باز.

***Terminal Resistance Input***

مقاومت الکتریکی مبدل اندازه گیری شده در ترمینال های تغذیه و بدون اعمال بار در حرارت استاندارد و با مدار الکتریکی خروجی باز.

***Terminal Resistance, Signal***

مقاومت الکتریکی مبدل اندازه گیری شده در ترمینال های خروجی و بدون اعمال بار در حرارت استاندارد و با مدار الکتریکی تغذیه باز.

***Toggle***

نام دیگر ZERO FLOAT

***Tolerance***

مقدار خطای مجاز برای یک مقدار.

***Traceability***

جریان قدم به قدم انتقال که به وسیله آن کالیبراسیون لودسل می تواند به استاندارد اولیه مربوط شود.

***Transducer***

ابزاری که انرژی را از نوعی به نوع دیگر تبدیل می کند.



## ***Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) SELF-ID Load Cell***

به TEDS و SELF-ID Load Cell مراجعه شود.

### ***Trim***

برای داشتن تنظیم دقیق مانند خروجی های لودسل در یک سامانه با تعدادی لودسل.

### ***TEDS Transducer Electronic Data Sheet***

لودسل که درون آن مشخصه های الکترونیکی شامل اطلاعات حساسه و داده های کالیبراسیون وجود دارد. با استاندارد IEEE 1451.4 برای اینترفیس<sup>۱</sup> مبدل های هوشمند لودسل را به سرعت آماده استفاده، می تواند از زمان آمادگی دستگاه<sup>۲</sup> کم کند و خطاهای مربوط به ورودی داده ها را حذف نماید.

### ***Verification scale division***

تقسیمات خروجی لودسل که در آن دقت تعریف شده برای لودسل برقرار می باشد.

### ***Weight***

نیرو یا مقدار نیروی جاذبه که به وسیله آن یک شیء به سمت مرکز زمین کشیده می شود.

### ***Weighing***

اندازه گیری جرم به وزن کشی weighing و اندازه گیری نیروی جاذبه به Weight of Commodity شناخته می شود. Weighing به هر دو روش اندازه گیری مکانیکی (یا آنالوگ) و اندازه گیری الکترونیکی گفته می شود.

### ***Weighing units***

وزن کشی با سیستم جهانی MKS اندازه گیری می شود. واحدهای آن milligrams , grams , kilograms etc می باشند.

<sup>1</sup> interface

<sup>2</sup> setup time

## Wheatstone Bridge

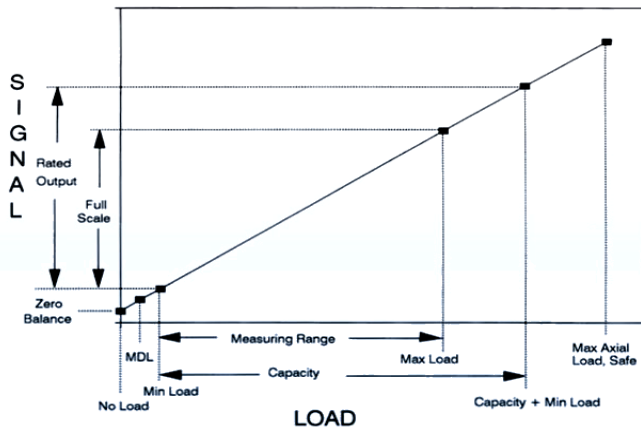
یک مدار شامل چهار بازوی مقاومتی می باشد . یک یا چند بازو می تواند المان حساسه باشند.

*Wheatstone bridge* از لحاظ الکتریکی معادل دو مدار تقسیم کننده ولتاژ می باشد که خروجی از

بین نقاط میانی این دو تقسیم کننده ولتاژ اندازه گیری می شود.

## Zero Balance

خروجی لودسل با تغذیه مجاز نهایی و بدون اعمال بار .



شکل ۷ نمودار بار و خروجی لودسل

## Zero Dead Band

نام دیگر. *ZERO FLOAT*.

## Zero Float

جابجایی *Zero Balance* متاثر از چرخه کامل بار های مساوی کششی و فشاری. معمولاً در بار نهایی

تعریف می شود.

***Zero offset***

نام دیگر ***Zero Balance***

***Zero Output (ZO)***

خروجی لودسل بدون اعمال بار .

***Zero Output rationalised***

برای این عبارت که در بعضی از کاتالوگ های تولید کنندگان دیده می شود تعریفی پیدا نشد.

***Zero Return***

تفاوت در ***Zero Balance*** اندازه گیری شده درست قبل از اعمال بار نهایی مجاز با مدت معین و اندازه گیری شده بعد از بار و وقتی که خروجی پایدار می شود.

***Zero Shift, Permanent***

تغییر ماندگار در خروجی بدون بار.

***Zero Stability***

دمایی که در آن ***Zero Balance*** (برای یک محدوده زمانی مشخص) ثابت نگه داشته می شود و تمام شرایط محیطی، بار و دیگر متغیرها بدون تغییر می مانند.



1. Scott W.Gallagher , Design and selection of load cell ,2003.
2. Mike Price, Load Cell Compression Calibration Errors, 2010
3. Walt Boyes , instrumentation reference book ,Maple Walley, 2010.
4. RICE LAKE , weigh modules and vessel weighing system, 1997, [www.ricelake.com](http://www.ricelake.com)
5. VPG , Transducer documentation ,2015 ,[www.vishaypg.com](http://www.vishaypg.com)
6. RICE LAKE , Load cell and weigh module hand book , 2007, [www.ricelake.com](http://www.ricelake.com)
7. SCALE MANUFACTURERS ASSOCIATION , Load Cell Application and Test Guideline, 2010, [www.scalemanufactures.org](http://www.scalemanufactures.org)
8. INTERFACE inc library , A primer on the design and use of strain gage force sensors, 2015. [www.interface.com](http://www.interface.com)
9. OIML R60 – Metrological regulation for load cells 2004 .
10. VISHY , Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation 2015. [micromeasurements@vishaypg.com](mailto:micromeasurements@vishaypg.com)
11. WELMEC European Cooperation in Legal Metrology, Guid For load cells 2001 [www.welmec.org](http://www.welmec.org)
12. Hoffman , K. Hettinger an introduction to measurements using straingages 1989

13. The INSTITUTE of MEASUREMENT and CONTROL ,Guide  
to the Measurement of Force 2013 , [www.npl.co.uk](http://www.npl.co.uk)

۱۴. جزوات فنی شرکت PCB به روز شده در سایت [www.PCB.com/tec/support](http://www.PCB.com/tec/support)

