

انواع روش های توزین هوشمند

۱- فن آوری ها و سیستم های توزین:

۱-۱ لودسل:

سیستم لودسل شامل یک سلول بارگذاری است که قابلیت اندازه گیری وزن هر یک از چرخ های سمت راست و چپ را به طور همزمان دارا می باشد. با عبور وسیله نقلیه از روی این سیستم، دستگاه مقادیر بدست آمده از هر چرخ را ثبت و وزن کل محور را تعیین می کند. سیستم های توزین حین حرکت از نوع لودسل عمود بر جریان ترافیک در مسیر قرار داده می شوند [۱]. شکل ۱ نحوه نصب سنسورهای لودسل را نشان می دهد. در شکل ۲ نیز نمونه ای از سامانه توزین در حال حرکت نصب شده با استفاده از سنسورهای لودسل نشان داده شده است.



شکل ۱- لودسل



شکل ۲- سامانه توزین در حال حرکت با استفاده از سنسورهای لودسل

۱-۲ صفحه خمشی:

صفحه خمشی از صفحاتی تشکیل شده است که به کرنش سنج ها متصل می باشند. با عبور وسیله نقلیه از سیستم مذکور مقدار کرنش صفحات محاسبه شده و به کمک آن مقدار بار دینامیکی تعیین می گردد. سپس به کمک ضرایب کالیبراسیون مقدار بار دینامیکی به بار استاتیکی تبدیل می گردد. ضرایب فوق بر اساس سرعت وسیله نقلیه و خصوصیات دینامیکی روسازی تعیین می شود [۱]. شکل ۳ نمونه ای از سنسورهای صفحه خمشی را نشان می دهد.

سیستم های توزین حین حرکت از نوع صفحه خمشی شامل یک یا دو ترازو می باشند که عمود بر جریان ترافیک نصب می گردند. نصب دو صفحه خمشی در یک خط عبور به نحوی انجام می گیرد که هر صفحه در مسیر هر یک از چرخ های سمت راست و چپ قرار گیرد، به طوریکه سیستم قابلیت اندازه گیری وزن هر یک از چرخ ها را دارا باشد [۱].



شکل ۳- صفحه خمشی

۳-۱ سنسورهای پیزوالکتریک:

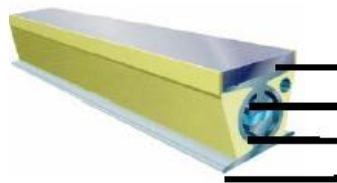
این سنسورها به کمک حسگرهای پیزو تغییر ولتاژ ایجاد شده به علت فشار وارده توسط محور وسیله نقلیه را تعیین می کنند. بر اساس این تغییر ولتاژ وزن محور اندازه گیری می شود. با عبور محور از روی سنسورهای پیزوالکتریک، سیستم بار الکتریکی ایجاد شده را ثبت کرده و به کمک آن بار دینامیکی را محاسبه می کند. در نتیجه بار استاتیکی با استفاده از مقدار بار دینامیکی و پارامترهای کالیبراسیون اندازه گیری می گردد [۱]. شکل ۴ نمونه ای از سنسورهای پیزوالکتریک را نشان می دهد.



شکل ۴- سنسور پیزوالکتریک

۴-۱ سنسورهای کوارتزی:

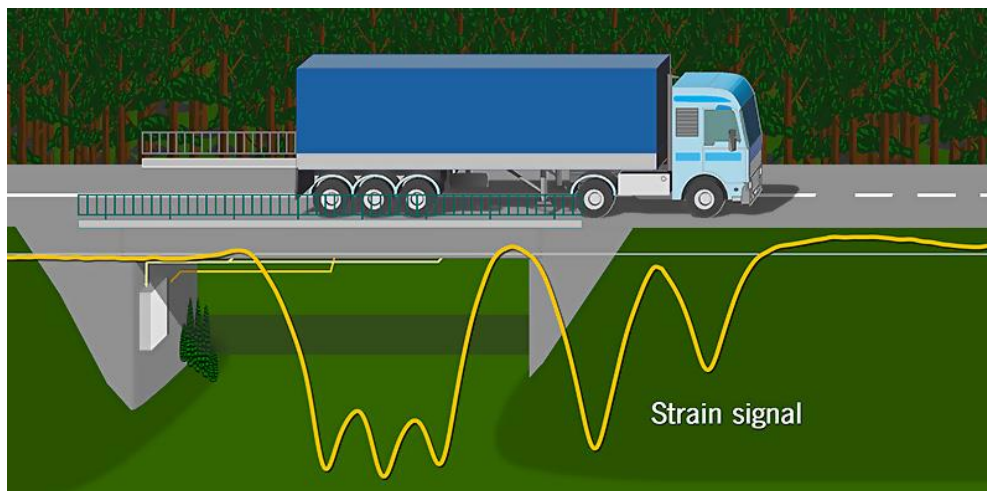
عملکرد سنسورهای کوارتز مشابه سنسورهای پیزوالکتریک می باشد، به طوریکه با عبور وسیله نقلیه و اعمال فشار بر روی سنسورهای مذکور بار الکتریکی بوجود می آید. بر اساس بار الکتریکی بوجود آمده، بار دینامیکی چرخ یا محور تعیین می گردد. در نهایت، بار استاتیکی به کمک بار دینامیکی محاسبه می گردد. سنسورهای کوارتز حساسیت دمایی کمتری نسبت به سنسورهای پیزوالکتریک دارا می باشد [۲]. شکل ۵ نمونه ای از سنسورهای کوارتز را نشان می دهد.



شکل ۵- سنسور کوارتز

۵-۱ سنسورهای کرنش سنج (Bridge WIM):

سیستم توزین در حال حرکت پل نوع خاصی از سیستم های توزین در حال حرکت است که از پل های تجهیز شده به عنوان صفحات توزین استفاده می کند. تجهیزات کرنش سنج مورد نظر در قسمت های انتخابی در زیر پل نصب شده و کرنش های وارده بر پل یا مجرا اندازه گیری می شود تا به وسیله آن، اطلاعاتی از رفتار پل یا مجرا در اثر تردد وسایل نقلیه از روی آن ها کسب گردد. کرنش های وارده در تمام لحظات عبور وسایل نقلیه از روی پل ثبت می گردد و این یک مزیت غیر قابل انکار سیستم توزین در حال حرکت پل نسبت به سیستم های WIM دیگر است که اندازه گیری وزن هر محور در آن ها تنها چند میلی ثانیه طول می کشد. سیستم توزین در حال حرکت پل در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶ - سیستم توزین در حال حرکت پل (BWIM)



۲- موقعیت و محل نصب دستگاه های توزین حین حرکت:

بر اساس استاندارد ASTM، به منظور نصب دستگاه های توزین حین حرکت، بایستی محل مورد نظر شرایط لازم به منظور عملکرد مناسب و دقیق دستگاه های فوق را دارا باشد. پارامترهای متفاوتی بر عملکرد این سیستم ها تاثیرگذار می باشند. طرح هندسی مسیر، وضعیت روسازی و شرایط کلی محل نصب این سیستم ها در کارائی و دقت سیستم های مذکور مؤثر می باشد. به طوریکه فاکتورهای ذکر شده در بالا، بر رفتار دینامیکی وسایل نقلیه تاثیرگذار می باشد. در نتیجه برآورد وزن استاتیکی وسایل نقلیه نیز دقیق نمی باشد [۳].

۲-۱ طرح هندسی مسیر:

طرح هندسی مسیر تأثیر به سزایی در اندازه گیری بار دینامیکی وسایل نقلیه دارد. این مهم از آن جهت است که شرایط طولی و عرضی مسیر عبور ترافیک بر رفتار وسایل نقلیه تأثیرگذار می باشد. بدین منظور ASTM استانداردهای مشخصی را برای قوس های افقی، شیب طولی، شیب عرضی و عرض روسازی شده هر خط مسیر تعیین کرده است. جدول ۱ استانداردهای ASTM را برای طرح هندسی مسیر نصب دستگاه های توزین حین حرکت (به غیر از Bridge WIM) ارائه کرده است.

جدول ۱- استانداردهای مربوط به وضعیت هندسی مسیر [۴]

مشخصه هندسی مسیر	نوع ۱	نوع ۲	نوع ۳	نوع ۴
قوس افقی	شعاع ۱۷۴۰ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	شعاع ۱۷۴۰ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	شعاع ۱۷۴۰ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	شعاع ۱۷۴۰ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب
شیب طولی مسیر	۲٪، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۲٪، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۲٪، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۱٪، ۹۱ متر قبل و بعد از محل نصب
شیب عرضی مسیر ^۱	۲٪، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۲٪، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۲٪، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۱٪، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب
عرض خط ^۲	۴ تا ۵ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۴ تا ۵ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۴ تا ۵ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب	۴ تا ۵ متر، ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب

^۱ بر اساس استاندارد ASTM-E1318 ارائه شده در سال ۲۰۰۲ حداکثر شیب عرضی مجاز مسیر به ۳٪ در نوع ۳ و ۱،۲ و ۳ افزایش یافت [۵].

^۲ بر اساس استاندارد ASTM-E1318 ارائه شده در سال ۲۰۰۲ حداقل عرض خط به ۳/۶۵ متر افزایش یافت [۵].

۲-۲ شرایط روسازی:

شرایط روسازی تاثیر بسزایی در مقدار نیروی عمودی وارد بر روسازی از طرف وسیله نقلیه دارد. بر اساس استانداردهای ASTM در مسافتی به طول ۴۶ متر قبل و بعد از محل نصب سنسور بایستی شرایط روسازی مناسب باشد (مطابق با اصلاحات انجام گرفته در ASTM-E1318 در سال ۲۰۰۲ شرایط روسازی در طولی معادل ۶۰ متر قبل و ۳۰ متر بعد از محل نصب بایستی مناسب باشد [۵]).، به طوریکه صفحه‌ای دایره‌ای شکل به شعاع ۱۵۰ میلی‌متر و به ضخامت ۳ میلی‌متر از زیر یک میله به طول ۶ متر که بر روی روسازی قرار دارد، قابل عبور نباشد. همچنین روسازی بایستی به گونه‌ای باشد که سنسورها به طرز مناسبی در آن قرار گیرند.

سیستم های توزین حین حرکت بایستی در روسازی های بتنی نصب گردند، به طوریکه در تمام مدت طول عمر تجهیزات (حدود ۱۰ تا ۱۵ سال) سطحی با پایداری، مقاومت و همواری مناسب ایجاد کنند. مطابق با استانداردها توصیه می‌شود، ضخامت روسازی بتنی بایستی برابر با حداکثر دو مقدار ذیل باشد:

- ۳۰۰ میلی‌متر

- ضخامت نشان داده شده در نقشه‌های اجرایی

در صورتیکه از سیستم توزین حین حرکت در روسازی های آسفالتی استفاده شود، بایستی روسازی آسفالتی در محل نصب سیستم مذکور با روسازی بتنی جایگزین شود. به طوریکه حداقل ۱۵ متر قبل و ۷/۵ متر بعد از محل نصب سنسور روسازی بتنی باشد [۶]. همچنین بر اساس آزمایشات غیر مخرب بایستی روسازی از حداقل مقاومت برخوردار باشد. به طوریکه با اعمال بار ۴۰۸۰ کیلوگرمی، تغییر شکل روسازی بایستی بین ۰/۳۰۵ تا ۰/۴۵۷ میلی‌متر باشد [۷].

۲-۳ موقعیت و شرایط کلی محل نصب سیستم ها:

موقعیت و محل نصب سیستم های توزین حین حرکت علاوه بر اینکه با توجه به اطلاعات مربوط به ترافیک کامیون های عبوری تعیین می‌گردد [۸]، بایستی شرایط ذیل را دارا باشد:

- دسترسی به برق و تلفن

- فضای کافی به منظور ایجاد کابین کنترل

- زهکشی مناسب محل

- عدم تغییر در تعداد خطوط مسیر

- تعیین شرایط ترافیکی محل مورد نظر

سیستم های توزین حین حرکت بایستی در محلی که جریان آزاد ترافیک با مسافت دید مناسب وجود دارد، قرار گیرند. محل مذکور بایستی دارای شرایط ترافیکی ذیل باشد:

- حجم ترافیک توقف- حرکت کم باشد.

- حجم ترافیک با سرعت کم، حداقل باشد.

- تعویض خط جریان ترافیکی حداقل باشد.

- سرعت ترافیک یکنواخت باشد.

- تغییر در شتاب وسایل نقلیه رخ ندهد.

- مسافت دید مناسب در مسیر تا محل نصب سیستم تأمین گردد.

به منظور احداث یک سایت توزین حین حرکت بایستی شرایط محل نصب سیستم های توزین مورد بررسی قرار گیرد. به طوریکه در صورت تأمین نبودن شرایط مذکور که قبلاً به آن اشاره شد، نسبت به ایجاد آن در محل مورد نظر اقدام کرد. اما با توجه به اینکه سیستم های توزین تا کنون در کشور اجراء نشده و موفقیت در اجراء پروژه آزمایشی علاوه بر ایجاد تجربه مناسب در این زمینه، منجر به توجه بیشتر مسوولان به این سیستم ها شده و گسترش آنها را باعث می شود، به منظور افزایش کارائی، دقت و کاهش هزینه ها شرایط ذیل در انتخاب محل احداث سیستم توزین حین حرکت توصیه می گردد:

الف- محل سایت توزین در مسیر تازه احداث شده انتخاب گردد (کاهش هزینه های اجرایی و تعمیر و نگهداری).

ب- سایت مذکور به دور از مناطق با امکان ریزش سیل و با شرایط آب و هوایی متعادل احداث گردد (افزایش دقت و کاهش هزینه تعمیر و نگهداری).

ج- محل سایت در یکی از مسیرهای دارای حریم راه گسترده انتخاب گردد (کاهش هزینه های اجرا).

د- محل سایت امکان دسترسی آسان به نیروی برق و امکانات مخابراتی را دارا باشد (کاهش هزینه های اجرا).

ه- محل سایت به دور مناطق مسکونی، تجاری، راه های دسترسی به مسیر مذکور و سایر عواملی که منجر به ایجاد اختلال در ترافیک عبوری می شود، انتخاب گردد (افزایش دقت).

- و- محل سایت در مسیرهایی که دارای شرایط طرح هندسی، روسازی و ترافیکی یکسانی هستند انتخاب گردد (افزایش دقت).
- ز- محل سایت در نزدیکی ایستگاه های پلیس و یا راهداری ها انتخاب شود (افزایش ایمنی).

۳- بررسی و ارزیابی انواع سیستم های توزین حین حرکت:

پس از تعیین سایت مناسب، بایستی سیستم مورد نظر انتخاب گردد. در نتیجه در ادامه انواع سیستم های توزین حین حرکت بر اساس پارامترهای مختلف مورد ارزیابی و بررسی قرار می گیرد.

۳-۱ دقت و کارایی:

کارایی سیستم به صورت درصدی از وسایل نقلیه که به درستی اضافه بار یا قانونی بودن بار آنها تشخیص داده شده است، بیان می گردد. در حقیقت، اگر تعداد وسایل نقلیه با اضافه بار که اجازه عبور یافته اند و یا وسایل نقلیه ای که بدون اضافه بار به ایستگاه توزین انتقال داده شده اند، حداقل گردد، کارایی سیستم حداکثر می شود. در نتیجه رسیدن به حداکثر کارایی رابطه مستقیمی با دقت دستگاه مورد نظر دارد. جدول ۲ دقت انواع سیستم های مختلف ارائه شده در استاندارد ASTM را به همراه تکنولوژی مورد نظر و کاربرد آن نشان می دهد.

جدول ۲- دقت سیستم های توزین حین حرکت سرعت بالا مطابق با استاندارد ASTM 1318-02 [۹]

کاربرد	حداکثر خطا وزن کل وسیله نقلیه با احتمال ٪۹۰ انطباق	نوع سیستم	
جمع آوری اطلاعات و طبقه بندی	٪۷	صفحه خمشی و سنسور کوارتز	نوع ۱
جمع آوری اطلاعات	٪۱۵	سنسور پیزوالکتریک	نوع ۲
طبقه بندی	٪۶	لودسل	نوع ۳
جمع آوری اطلاعات و طبقه بندی	٪۱۰	Bridge WIM	نوع ۴

۳-۲ هزینه تجهیزات و نصب:

یکی از پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب سیستم های توزین حین حرکت، هزینه خرید تجهیزات این سیستم ها می باشد. جدول ۳ هزینه تجهیزات مربوط به سنسور کوارتز، صفحه خمشی و لودسل را برای یک خط عبور نشان می دهد.

جدول ۳- هزینه تجهیزات و نصب مربوط به سنسورهای پیزوالکتریک، کوارتز، صفحه خمشی و لودسل برای یک خط عبور [۱،۹،۱۱]

ردیف	نوع سنسور	هزینه تجهیزات برای یک خط عبور (دلار)	هزینه نصب تجهیزات برای یک خط عبور (دلار)	توضیحات
۱	پیزوالکتریک	۲۵۰۰	۶۵۰۰	۲ سنسور ۳/۶۵ متری
۲	کوارتز	۲۰۵۰۰	۱۲۰۰۰	۴ سنسور ۱،۷۵ متری
۳	صفحه خمشی منفرد	۸۰۰۰	۱۳۵۰۰	۱ صفحه ۱/۷۵ متری
۴	صفحه خمشی دوتایی	۱۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲ صفحه ۱/۷۵ متری
۵	لودسل	۴۷۰۰۰	۲۰۸۰۰	۲ صفحه ۱/۸۳ متری
۶	Bridge WIM	۱۳۰۰۰۰	۴۰۰۰	۳۴ کرنش سنج

اما نکته حائز اهمیت آن است که به دلیل آنکه طول عمر سیستم های توزین حین حرکت متفاوت می باشد، ارزیابی اقتصادی این سیستم ها تنها با توجه به هزینه اولیه خرید و نصب سیستم ها مناسب نمی باشد. به همین منظور آنالیز اقتصادی این سیستم ها با توجه به طول عمر سیستم های مذکور مورد بررسی قرار می گیرد.

۴- طریقه نصب و تعمیر و نگهداری:

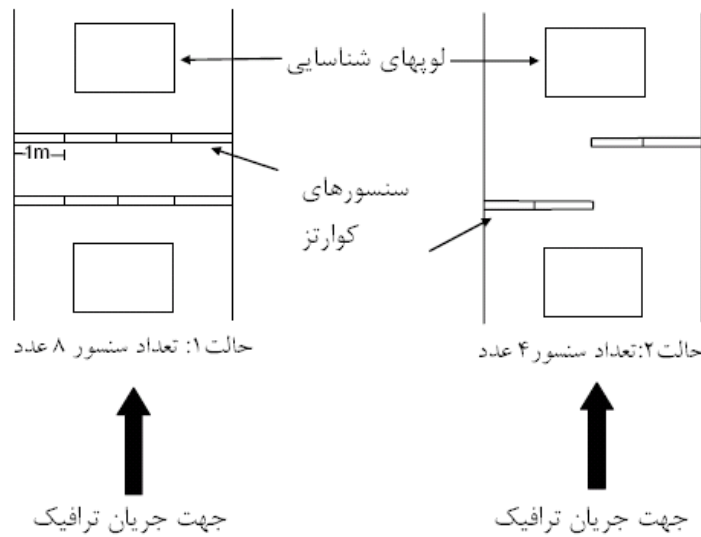
یکی دیگر از پارامترهای موثر در انتخاب مناسب سیستم توزین با توجه به امکانات و شرایط هر محل توجه به شرایط نصب و تعمیر و نگهداری هر یک از سیستم ها می باشد. به طوریکه هر یک از سیستم ها شرایط خاص خود را برای نصب و تعمیر و نگهداری می طلبند.

۴-۱ سنسور کوارتز:

شرایط نصب سنسور کوارتز به صورت منفرد یا گروهی (برای جمع آوری اطلاعات از تمام عرض مسیر) آسان می باشد، به طوریکه در کمتر از یک روز می توان یک خط عبور را آماده کرد (شامل زمان لازم برای نصب ۸ سنسور کوارتز، دو لوپ و زمان گیرش ملات مورد استفاده). معمولاً ۴ سنسور یک متری برای پوشش عرض مسیر ۳/۶۵ متری نصب می گردد. چگونگی نصب به این صورت می باشد که شکاف کم عمقی (حدوداً ۶ سانتیمتر) در رویه ایجاد می گردد که معمولاً حدود ۶ تا ۸ سانتیمتر عرض دارد. سپس سنسور با ملات زودگیری کاملاً در محل محکم می گردد. اما در هنگام تعمیر و نگهداری خارج کردن این سنسورها از مسیر تاحدودی مشکل می باشد [۱۱،۹]. شکل های ۷ و ۸ طریقه نصب و نحوه قرارگیری سنسورهای کوارتز را در مسیر جریان عبور ترافیک نشان می دهد.



شکل ۷- طریقه نصب سنسور کوارتز [۱۶]



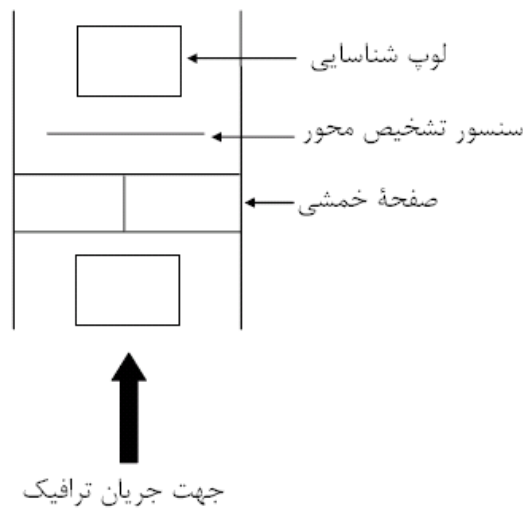
شکل ۸- نحوه قرارگیری سنسورهای کوارتز در مسیر عبور ترافیک [۱۹]

۴-۲ صفحه خمشی:

به طور کلی سیستم های توزین حین حرکت دارای صفحه خمشی شامل دو لوپ شناسایی و یک سنسور تشخیص محور هستند که اطلاعات مربوط به طول وسایل نقلیه و فاصله محورها را تعیین می کنند. شرایط نصب صفحه خمشی در دو حالت انجام می گیرد. در حالت اول، سیستم صفحه خمشی در روسازی های بتنی با ضخامت کافی نصب می گردد که در این حالت عمق حفر محل برای نصب سیستم کم می باشد، که در نتیجه عملیات نصب در مدت زمان یک روز انجام می گیرد. اما در حالت دوم که سیستم مورد نظر در روسازی های بتنی با ضخامت کم و یا در روسازی های آسفالتی نصب می گردد، عملیات نصب مشکل تر و نیاز به کندن سطح روسازی در ابعاد ۰/۷۵، ۰/۶۵ و ۴ متر می باشد. در نتیجه مدت زمان نصب نیز به سه روز افزایش می یابد (شامل زمان لازم برای نصب سنسور تشخیص محور، دو لوپ و صفحه خمشی). علی رغم آنکه شرایط نصب سیستم های صفحه خمشی مشکل تر از سنسورهای کوارتز و پیزوالکتریک می باشد، اما شرایط نگهداری این سیستم ها تاحدودی آسان است [۱۱،۹]. شکل های ۹ و ۱۰ طریقه نصب (در روسازی های بتنی با عمق مناسب) و نحوه قرارگیری صفحه خمشی را در مسیر جریان عبور ترافیک نشان می دهد.



شکل ۹- طریقه نصب صفحه خمشی [۹]



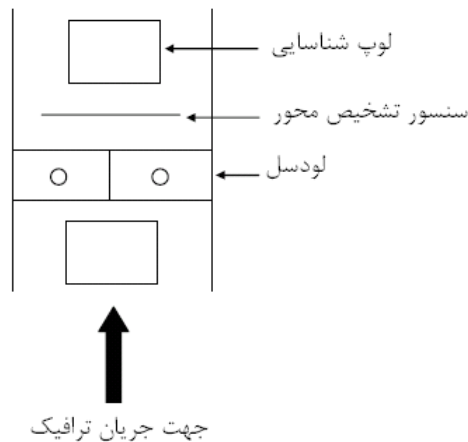
شکل ۱۰- نحوه قرارگیری صفحه خمشی در مسیر عبور ترافیک [۱۱]

۳-۴ لودسل:

در این نوع از سیستم های توزین حین حرکت، ابتدا سطح روسازی در ابعاد ۱، ۱/۵ و ۴/۲ متر حفر شده، سپس چارچوب و قاب فلزی سیستم های مذکور به کمک بتن ریزی مناسب در محل حفر شده، کاملاً در موقیت مناسب خود قرار داده می شود. به علت پیچیدگی نصب این سیستم ها، مدت زمان نصب سه روز به طول می انجامد (شامل زمان لازم برای نصب سنسور تشخیص محور، دو لوپ و سیستم لودسل). علی رغم آنکه شرایط نصب سیستم های توزین حین حرکت لودسل نسبت به سایر سیستم ها مشکلتر و پیچیده تر می باشد، شرایط تعمیر و نگهداری و تعویض این سیستم ها آسان می باشد [۹،۱۱]. شکل های ۱۱ و ۱۲ طریقه نصب و نحوه قرارگیری سیستم لودسل را در مسیر جریان عبور ترافیک نشان می دهد.



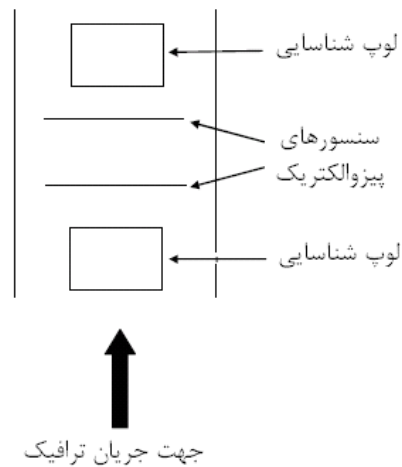
شکل ۱۱- طریقه نصب سیستم لودسل [۹]



شکل ۱۲- نحوه قرارگیری سیستم لودسل در مسیر عبور ترافیک [۱۱]

۴-۴ سنسور پیزوالکتریک:

طریقه نصب سنسورهای پیزوالکتریک نسبت به سیستم های لودسل و صفحه خمشی بسیار آسان تر می باشد. به طوریکه سنسورها (دو سنسور به طول ۳/۶۵ متر) با حفر نوار باریکی به عمق ۲/۵ تا ۵ سانتیمتر و عرض ۲/۵ تا ۵ سانتیمتر بوسیله ملات زورگیری کاملاً محکم در محل نصب می شوند. به علت شرایط آسان نصب این سنسورها زمان نصب (شامل زمان لازم برای نصب دو سنسور پیزو، دو لپ و زمان گیرش ملات مورد استفاده) کمتر از یک روز به طول می انجامد [۹]. شکل ۱۳ نحوه قرارگیری سنسورهای پیزوالکتریک را در مسیر جریان عبور ترافیک نشان می دهد.



شکل ۱۳- نحوه قرارگیری سنسورهای پیزوالکتریک در مسیر عبور ترافیک [۱۹]

۴-۵ سنسور کرنش سنج (Bridge WIM):

حداکثر ۳۲ کرنش سنج در قسمت پایین پل نصب می شود تا رفتار پل در هنگام حرکت وسایل نقلیه از روی آن ثبت شود. ۲ کرنش سنج نیز به منظور تشخیص سرعت و فاصله محوری وسایل نقلیه در هر خط عبوری نصب می گردد. شکل ۱۴ نمونه ای از نصب سنسورهای کرنش سنج در زیر سطح پل رودخانه شور جاده قدیم تهران - قم را نشان می دهد.



شکل ۱۴- نحوه قرارگیری سنسورهای کرنش سنج در زیر سطح پل (پل رودخانه شور جاده قدیم تهران - قم)



همانطور که قبلاً بیان شد، زمان و طریقه نصب و شرایط تعمیر و نگهداری هر یک از انواع سیستم های کوارتز، پیزو الکتریک، صفحه خمشی و لودسل متفاوت می باشد، بطوریکه مدت زمان نصب این سیستم ها بسته به نوع سیستم مورد استفاده از کمتر از یک روز تا چند روز تغییر می کند. جدول ۴ شرایط نصب هر یک از این سیستم ها را به طور خلاصه ارائه می کند.

جدول ۴ - شرایط نصب و تعمیر و نگهداری سیستم های توزین حین حرکت

نوع سیستم	چگونگی نصب	مدت زمان نصب	ابعاد نصب (عمق، عرض و طول) متر	شرایط تعمیر و نگهداری	هزینه نگهداری
سنسور پیزوالکتریک	آسان	کمتر از یک روز	(۰/۰۵، ۰/۰۵ و ۳/۶۵)*۲	مشکل	زیاد
سنسور کوارتز	تقریباً آسان	کمتر از یک روز	(۰/۰۶، ۰/۰۶ و ۱)*۴ یا ۸*	تعویض سنسور تقریباً مشکل	متوسط ^۱
صفحه خمشی	تا حدودی مشکل	یک روز ^۲	۰/۰۷۵، ۰/۶۵ و ۴	تعمیر و نگهداری تقریباً آسان	متوسط ^۸
لودسل	مشکل	هفت روز	۱، ۱/۵ و ۴/۲	تعمیر و نگهداری متوسط	متوسط
Bridge WIM	آسان	کمتر از یک روز	-	تعمیر و نگهداری (تعویض) آسان	کم

^۱ هزینه نگهداری به پارامترهای مختلفی از جمله شرایط تعمیر و نگهداری، دوام سیستم ها و غیره بستگی دارد.

^۲ مدت زمان یک روز برای نصب این سیستم ها در روسازی های بتنی می باشد. در صورتیکه در روسازی های آسفالتی و بتنی با ضخامت کم زمان نصب به سه روز افزایش می یابد.

۵- بررسی و ارزیابی انواع سیستم های مورد مطالعه:

با توجه به مطالب ارائه شده، انواع سیستم های توزین حین حرکت شامل: سنسورهای پیزوالکتریک، کوارتز، صفحه خمشی، لودسل و (Bridge WIM که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند) مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۵ خلاصه نتایج ارزیابی ها را نشان می دهد.

جدول ۵ - شرایط نصب و تعمیر و نگهداری سیستم های توزین حین حرکت

نوع سیستم	مدت زمان نصب	خطا وزن کل وسیله نقلیه	چگونگی نصب	شرایط تعمیر و نگهداری	هزینه نگهداری
پیزو الکتریک	کمتر از یک روز	۱۵٪	آسان	مشکل	زیاد
کوارتز	کمتر از یک روز	۷٪	تقریباً آسان	تعویض سنسور تقریباً مشکل	متوسط
صفحه خمشی دوتایی	یک روز	۱۰٪	تا حدودی مشکل	تعمیر و نگهداری تقریباً آسان	متوسط
لودسل	هفت روز	۵٪	مشکل	تعمیر و نگهداری متوسط	متوسط
Bridge WIM	کمتر از یک روز	۱۰٪	آسان	تعمیر و نگهداری (تعویض) آسان	کم

۶- جمع بندی:

با توجه به هزینه بالای راه اندازی و نگهداری از سامانه های توزین در حال حرکت، اهداف قابل دستیابی از نصب این سیستم ها باید قبل از هر گونه اقدامی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. سامانه های WIM برای جمع آوری اطلاعات تردد وسایل نقلیه و همچنین تشخیص و اعلام متخلفین وزن به کار می روند. از آنجا که سیستم های WIM دارای خطا هستند از آن ها نمی توان به راحتی به منظور جریمه مستقیم متخلفین استفاده کرد. لذا سیستم های WIM به منظور تشخیص و اعلام متخلفین احتمالی مورد استفاده قرار می گیرند. متخلفین احتمالی به پلیس معرفی شده و پس از توزین وسایل نقلیه توسط باسکول های با دقت بالا (باسکول های ثابت) در خصوص تخلف یا عدم تخلف آن ها تصمیم گیری می شود. از این رو یکی از الزامات نصب سیستم های WIM، وجود ایستگاه پلیس پس از آن ها می باشد تا به بررسی تخلف وسایل نقلیه اعلامی سیستم اقدام نماید.

از آنجا که یافتن مکان مناسب نصب سیستم های WIM در داخل شهر دشوار است، استفاده از سیستم های WIM نصبی در سطح معابر در داخل شهرها به نسبت جاده های برون شهری توجیه کمتری دارد. سیستم Bridge WIM به دلیل داشتن قابلیت انتقال آسان از یک مکان به مکان دیگر می تواند انتخاب بسیار مناسبی برای استفاده در داخل شهرها باشد.

با نصب سیستم Bridge WIM در سطح شهر می توان وضعیت پل ها را در مدت زمان مشخص با انتقال سیستم از مکانی به مکان دیگر بررسی نمود. با انتقال سیستم از نقطه ای به نقطه دیگر، کالیبراسیون سیستم باید مجدد انجام شود. کاربردها و مزایای سیستم Bridge WIM در ادامه آورده شده است:

- (۱) مدیریت معابر و بهینه سازی روسازی تمام معابر با استفاده از اطلاعات ترافیکی و اطلاعات اضافه بار
- (۲) انجام آزمایشات غیر مخرب پل ها به همراه ارائه خط تأثیر واقعی و منحنی توزیع بار
- (۳) برداشت اطلاعات ده ها معبر و جاده تنها با استفاده از یک سامانه بجای نصب ده ها سامانه ثابت
- (۴) امکان برداشت حجم واقعی ترافیک به همراه اطلاعات اضافه بار و ESAL واقعی در معابر مورد نظر
- (۵) امکان نظارت و ارزیابی سازه ای پل ها با استفاده از اطلاعات ترافیکی و اطلاعات اضافه بار
- (۶) بدون تخریب و آسیب به روسازی معابر
- (۷) بدون نیاز به انسداد معابر و بدون اختلال در ترافیک عبوری

۸) شناسایی روز و ساعات همراه با بیشترین تردد خودروهای دارای اضافه بار در معبر مورد نظر

۹) شناسایی جهت و خط دارای اضافه بار در هر معبر

منابع:

- ۱- McCall, B., and Vodrazka, W.C., "State's Successful Practices Weigh-In-Motion Handbook" Department of Transportation, Washington, 1997.
- ۲- Grant G. S, PTOE P.E., and Seegmiller L. W., "Utah Commercial Motor Vehicle Weigh-in-Motion Data Analysis and Calibration Methodology", Utah Department of Transportation Research and Development Division/Planning Division, 2006.
- ۳- S. Ma and M. Caprez, Swiss Federal Institute of Technology Zurich. "The Pavement Roughness Requirement for WIM." First European Conference on Weigh-in-Motion of Road Vehicles. Switzerland. 1995.
- ۴- American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Highway Weigh-in-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Method. ASTM Committee E-17 on Vehicle-Pavement Systems. ASTM Designation E 1318T, 1994.
- ۵- American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Highway Weigh-in-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods.", ASTM Committee E-17 on Vehicle-Pavement Systems. ASTM Designation E 1318-02, 2002.
- ۶- Caltrans. Notice to Contractors and Special Provisions for Construction on State Highways in Riverside County. State of California, Department of Transportation. July 1992.
- ۷- M. Halenbeck, Washington State Transportation Center. Draft Long-Term Pavement Performance Program Specification. Federal Highway Administration. April 1996.
- ۸- R. Quinley, Caltrans. Letter to Bill McCall. December 13 1995.
- ۹- Wallis, G., "Appropriate Sensor Technology for WIM Screening in Brazil", Workshop on Vehicle Overloaded Enforcement Technologies, Rio de Janeiro June 19 – 21, 2006.
- ۱۰- European COST 323 Management Committee "Test of WIM Sensors and Systems on an Urban Road".
- ۱۱- "Weigh-in-Motion Technology Comparison", International Road Dynamics, INC, Saskatoon, 2001.
- ۱۲- Grant G. S, PTOE P.E., and Seegmiller L. W., "Utah Commercial Motor Vehicle Weigh-in-Motion Data Analysis and Calibration Methodology", Utah Department of Transportation Research and Development Division/Planning Division, 2006.
- ۱۳- <http://www.irdinc.com>