Archive of SID

2nd International Conference on
CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE & URBAN PLANNING ELITES
15th Nov.2016 London - United Kingdom

دومین کنفرانس بین المللی
نخبگان عمران، معماری و شهرسازی
لندن - انگلستان ۲۵ آبان ماه ۱۳۹۵

تکیه گاه های الاستومری پل ها: مروری بر تکنولوژی ساخت و روش های طراحی

هادی فضلی

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
Hfazli@iust.ac.ir

رقیه رضانژاد (نسیم)

مربی، گروه مهندسی معماری، دانشگاه آزاد واحد یادگار امام شهرری، تهران، ایران
nasimrezanejad@yahoo.com

چکیده

انتخاب تکیه گاه مناسب برای عرشه پل ها و طراحی جزئیات آن جزو وظایف مهندس سازه است. هدف از تعبیه اجزای تکیه گاهی انتقال نیروها از عرشه به زیرسازه و همچنین فراهم نمودن امکان تغییرشکل های عرشه با مکانیزم مناسب است. متداول ترین نوع تکیه گاه سازه ای بکار رفته در پل ها، تکیه گاه الاستومری است. مزیت مهم تکیه گاه الاستومری نسبت به سایر تکیه گاه ها نظیر غلتکی، مفصلی، گهواره ای، کاسه ای، صفحات لغزنده و ...، اقتصادی بودن، کارایی بهتر و عدم نیاز به نگهداری است. در این نوشتار تلاش گردیده تا با مروری بر تکنولوژی ساخت، مشخصات مکانیکی، روش های طراحی، ضوابط آیین نامه ای و موارد اجرایی، درک بهتری نسبت به این اجزای مهم سازه ای برای طراحان و مجریان پل ها حاصل شود.

واژگان کلیدی: پل، تکیه گاه الاستومری، نئوپرن،

www.SID.ir

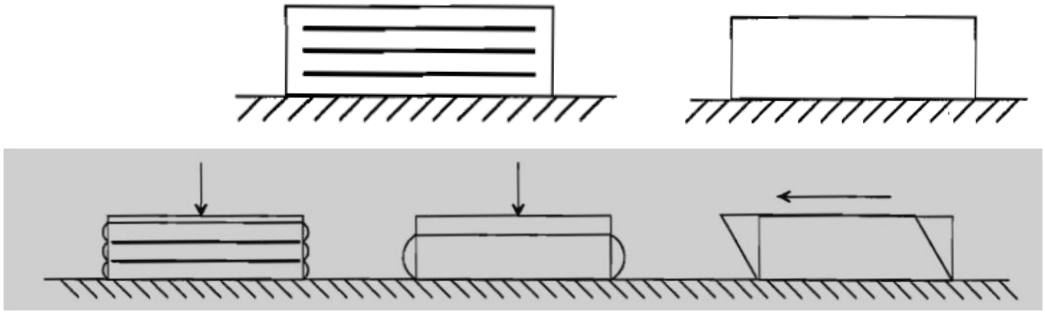
Archive of SID

مقدمه

متداول ترین نوع تکیه گاه سازه ای مورد استفاده در پل ها، تکیه گاه الاستومری است. عملکرد اصلی این تکیه گاه، انتقال نیروها از عرشه به زیرسازه و در عین حال فراهم نمودن امکان جابجایی و دوران در اثر بارهای ترافیکی، بارهای حرارتی، خزش و جمع شدگی، پیش تنیدگی و خطاهای ساخت است. برخلاف تصور عموم، هدف اصلی از تعبیه این تکیه گاه ها جداسازی لرزه ای به معنای شناخته شده آن نیست.

تکیه گاه های الاستومری در مقایسه با سایر تکیه گاه ها نظیر غلتکی، مفصلی، گهواره ای، کاسه ای، صفحات لغزنده و ...، دارای سه مزیت عمده هستند. مزیت اول، اقتصادی بودن این تکیه گاه ها بدلیل طرح ساده، سهولت ساخت و هزینه پایین مصالح آنهاست. مزیت دوم، کارایی بهتر این تکیه گاه ها بعنوان یک وسیله انتقال نیروست. وقتی بالشتک الاستومری تحت نیروی فشاری قرار می گیرد، ناهمواری های سطوح در تماس را براحتی در خود جذب می کند. همچنین وقتی این تکیه گاه تحت نیروهای افقی ناشی از انبساط و انقباض تیرهای پل قرار می گیرد، از طریق تغییرشکل خود با جابجایی اعمال شده تطبیق ایجاد می کند. مزیت سوم، عدم نیاز به نگهداری مثل تمیزکاری و روغنکاری است که در برخی دیگر از انواع تکیه گاه ها مرسوم می باشد.

تکیه گاه های الاستومری دو نوع هستند: بالشتک های معمولی متشکل از قطعات ساده لاستیکی به شکل مکعب مستطیل یا استوانه و بالشتک های مسلح یا ورقه ای (لمینه) که دارای صفحات نازک فولادی با فواصل معین در داخل الاستومر می باشند (شکل).



هر دو نوع تکیه گاه امکان حرکت طولی افقی عرشه را از طریق تغییرشکل برشی الاستومر فراهم می نمایند و از این نظر تفاوتی بین بالشتک مسلح و غیرمسلح وجود ندارد. تغییرشکل های برشی به بزرگی ضخامت کلی الاستومر امکان پذیر است با این وجود بدلیل ملاحظات مربوط به کنترل خستگی در طول عمر تکیه گاه، معمولا این تغییرشکل ها به نصف ضخامت الاستومر محدود می شوند.

رفتار بالشتک مسلح و غیرمسلح تحت نیروی فشاری تکیه گاه کاملا با یکدیگر متفاوت است. این تفاوت مربوط به میزان برآمدگی ایجاد شده در اطراف تکیه گاه و همچنین میزان تغییرشکل قائم بالشتک است. وجود صفحات فولادی به میزان قابل ملاحظه ای برآمدگی و تغییرشکل قائم را کاهش میدهد (شکل). الگوی برآمدگی ها را می توان با تنظیم شکل تکیه گاه (یعنی سطح مقطع بالشتک و نیز ضخامت لایه الاستومر در بین صفحات فولادی) کنترل نمود. پارامتری که این اثر را بصورت عددی بیان می کند تحت عنوان ضریب شکل S مطرح می شود. ضریب شکل به صورت نسبت سطح بارگذاری شده به سطح آزاد در مقابل برآمدگی تعریف می شود. برای یک تکیه گاه مستطیلی به طول L و عرض W و ضخامت t برای لایه های الاستومری، $S=LW/2t(L+W)$ و برای یک تکیه گاه دایره ای به قطر d، $S=d/4t$ است. با اضافه کردن تعداد صفحات فولادی مسلح کننده ضریب شکل افزایش یافته و تغییرشکل قائم و برآمدگی تکیه گاه کاهش پیدا می کند، اما سختی برشی تکیه گاه تغییری نمی کند.

www.SID.ir

Archive of SID

مصالح و تکنولوژی ساخت

مصالح اصلی بکار رفته در ساخت تکیه گاههای الاستومری، الاستومر یا لاستیک است. لاستیک هم به صورت طبیعی NR و هم مصنوعی SR مصرف می شود. لاستیک طبیعی از درخت کائوچو استخراج شده و تحت فرایندهای شیمیایی در دماهای بالا از حالت چسبنده و پلاستیک (یا لاستیک خام) به شکل الاستومر در می آید. در سال های اخیر تعداد زیادی لاستیک مصنوعی با ترکیبات متنوع شیمیایی توسعه داده شده اند که در میان آنها پلی استر، پلی کلروپرن (نئوپرن) و تفلون را می توان نام برد. از آنجاییکه ترکیبات شیمیایی و فرایند ساخت لاستیک بر مشخصات مکانیکی آن اثر می گذارد، به اختصار به بررسی این موارد پرداخته شده است.

ترکیبات شیمیایی لاستیک

برای بدست آوردن الاستومر با خواص مورد نیاز، لاستیک خام بصورت طبیعی یا مصنوعی با مواد شیمیایی سخت کننده (ولکانیزاسیون) ترکیب می شود. مواد شیمیایی متعددی برای ولکانیزاسیون بکار برده می شود که هریک دارای هدف خاصی است. مهمترین این مواد عبارتند از:

عوامل همبند کننده: موادی مثل سولفور، پروکسید یا اورتان با مونومر یا ملکول های تکی لاستیک خام ترکیب شده و پلی مر یا زنجیره ملکولی را شکل می دهند.

شتاب دهنده ها: این مواد همراه با عوامل همبند کننده برای کنترل غلظت همبندسازی بکار برده می شوند.

اکسیدهای فلزی: مثل اکسید روی برای فعال کردن کامل شتاب دهنده ها استفاده می شود.

فعال کننده ها: مثل اسیدهای چرب و صابون های روی برای فعال شدن سیستم های شتاب دهنده مورد نیاز می باشند.

عوامل محافظتی: آمین های آروماتیک مانند مشتقات دی آمین پی فنیل که برای محافظت در مقابل فرسایش ناشی از اکسیداسیون، خستگی دینامیکی و فرسایش ناشی از گرما و اوزون موثر اند.

فیلرها: استفاده از مواد فیلر برای دستیابی به مشخصات فنی مورد نیاز ضروری است. در تکیه گاههای الاستومری عمدتا از دوده کربن بعنوان فیلر استفاده می شود. این ماده برای اصلاح سختی، مقاومت کششی، کرنش حد گسیختگی، خزش و رهاسازی تنش به لاستیک افزوده می شود.

نرم کننده ها: مهترین مواد نرم کننده شامل روغن های معدنی، روغن های گیاهی و حیوانی است.

تسهیل کننده های فرایند: اسید استایریک، صابون های روی و کلسیم، و پس ماند الکل های چرب به پراکنده شدن فیلرها در ترکیبات لاستیک کمک کرده و به فرایندی روان می انجامند.

فرایند ساخت لاستیک

بالشتک های الاستومری

در بررسی تکیه گاههای الاستومری آنها را به دو گروه تکیه گاه معمولی و مسلح شده با فولاد تقسیم بندی می کنند. این تقسیم بندی به دلیل مقاومت بالاتر و عملکرد بهتر تکیه گاه های مسلح شده با فولاد نسبت به سایر تکیه گاه های الاستومری است. تکیه گاه های معمولی را تحت عنوان بالشتک (پد) الاستومری می شناسند. بالشتک های الاستومری خود به سه گروه تقسیم می شوند: بالشتک های غیرمسلح (PEP)، بالشتک های مسلح شده با کرباس کتان (CDP) و بالشتک های مسلح شده با الیاف شیشه (FGP).

در بالشتک های غیرمسلح (PEP) تنها عامل محدود کننده در مقابل ایجاد برآمدگی های جانبی، اصطکاک در سطوح فوقانی و تحتانی بالشتک است. عامل اصطکاک چندان قابل اعتماد نیست و در نتیجه تغییرشکل ها نسبت به تکیه گاه مسلح بیشتر خواهد بود. بنابراین ظرفیت باربری PEP محدودتر است. به این ترتیب برای اینکه بتوان از حداکثر ظرفیت باربری PEP استفاده کرد، باید آن را نسبتا نازک در نظر گرفت. از طرفی تکیه گاه با ضخامت کم قادر به تحمل تغییرشکل جانبی و دوران کوچکتری است.

www.SID.ir

Archive of SID

بالشتک های مسلح شده با کرباس کتان (CDP) دارای لایه های نازک (به ضخامت کمتر از ۰/۴ میلی متر) الاستومر با لایه های میانی کرباس هستند. این بالشتک ها در آمریکا تحت مشخصات فنی نظامی (MIL-C-882-E) تولید می شوند. با توجه به اینکه CDP با لایه های کرباس کتان به فواصل بسیار نزدیک مسلح می شود، دارای سختی فشاری بالا است. با این وجود، لایه های نازک الاستومر نیز سختی برشی و دورانی الاستومر را بسیار افزایش می دهد. در نتیجه ظرفیت جابجایی و دوران این بالشتک ها کاهش می یابد. بنابراین معمولا CDP همراه با یک صفحه لغزنده تفلونی بر روی بالشتک الاستومر بکار برده می شود.

رفتار بالشتک مسلح شده با الیاف شیشه (FGP) به تکیه گاه الاستومری مسلح شده فولادی شبیه تر است. با این وجود الیاف شیشه نسبت به فولاد ضعیف تر و انعطاف پذیر تر است و چسبندگی آن با الاستومر بخوبی فولاد نیست. در نتیجه ظرفیت باربری ثقلی FGP نسبت به تکیه گاه مسلح شده فولادی کمتر است. در صورت گسیخته شدن الیاف مسلح کننده خرابی ناگهانی اتفاق می افتد. ظرفیت باربری FGP از PEP با هندسه یکسان بیشتر اما نسبت به CDP کمتر می باشد. FGP دارای ظرفیت جابجایی و دوران متوسط است. مزیت مهم FGP از نظر فرایند تولید در این است که بالشتک با اندازه دلخواه را براحتی می توان از ورقه های بزرگ ولکانیزه شده برید.

در مجموع می توان گفت، بالشتک های الاستومری یک روش کم هزینه برای تحمل بارهای فشاری کم یا متوسط با جابجایی و دوران اندک و یا ناچیز هستند.

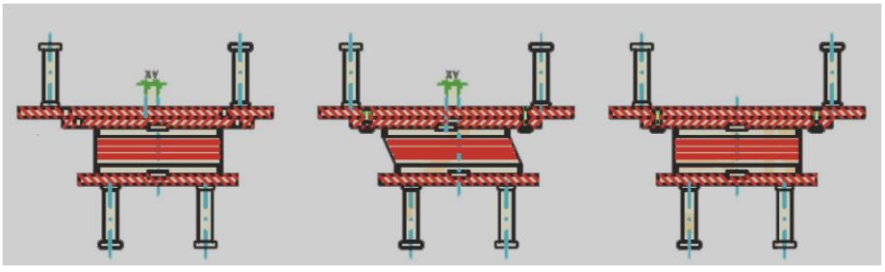
تیکه گاه های الاستومری مسلح شده با فولاد

در این تکیه گاه ها در طول فرایند ساخت (که به آن ولکانیزاسیون می گویند)، ورق (شیم) های فولادی در بین لایه های الاستومر قرار داده می شوند. کلیه لایه های داخلی الاستومر باید ضخامت یکسانی داشته باشند، چون مقاومت و سختی تکیه گاه در مقابل بارهای فشاری بر اساس ضخیم ترین لایه تعیین می شود. لایه های خارجی الاستومر فقط برای محافظت فولاد می باشند. ضخامت این لایه ها نباید از ۷۰ درصد ضخامت لایه های داخلی تجاوز نماید. علاوه بر لایه های داخلی مسلح کننده، تکیه گاه ها می توانند دارای صفحات باربر فولادی خارجی چسبیده به لایه های الاستومر در یکی از سطوح فوقانی یا تحتانی و یا هر دو سطح باشند. بر اساس تعداد و نوع صفحات خارجی متصل، استاندارد EN1337 تکیه گاه های مسلح شده با فولاد را به چند نوع مختلف تقسیم بندی می کند که سه نوع متداول تر آن به شرح زیر می باشند:

نوع ۱ (B): تکیه گاه مسلح به طور کامل توسط الاستومر پوشیده شده است. برای جلوگیری از لغزش تکیه گاه، بار دائمی باید باندازه کافی باشد.

نوع ۲/۱ (B/C): تکیه گاه مسلح فقط دارای یک ورق فولادی خارجی چسبیده به یکی از سطوح می باشد. ورق فولادی امکان اتصال با داول بار، بولت یا پیچ را فراهم نموده و به این ترتیب از لغزش تکیه گاه جلوگیری می نماید.

نوع ۲ (C): تکیه گاه مسلح در هر دو سطح دارای ورق فولادی برای جلوگیری از لغزش می باشد. تعویض این نوع تکیه گاه مشکل است و نیاز به تمهیدات اضافی دارد (شکل).



(الف) تکیه گاه نوع ۲ اصلی، در موقعیت نصب شده

(ب) تکیه گاه اصلی، وضعیت پیش از تعویض (امکان نصب تکیه گاه جدید در این موقعیت وجود ندارد)

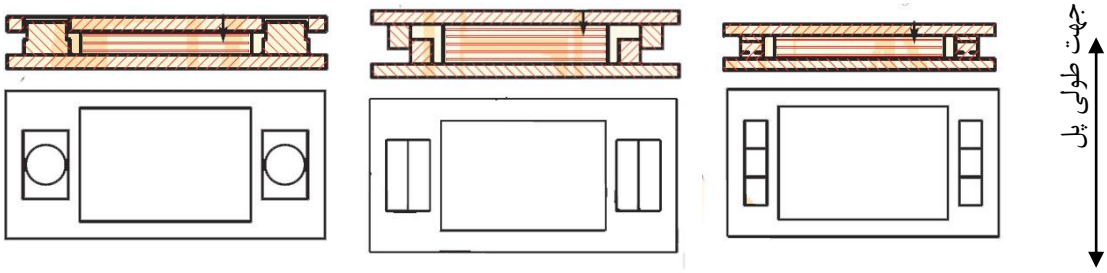
(ج) تکیه گاه تعویض شده در موقعیت جدید توسط جوش نصب می گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل تعویض تکیه گاه مسلح نوع ۲

برای محدود کردن حرکت عرشه در جهت طولی و عرضی و انتقال نیروهای افقی از عرشه به زیرسازه در تکیه گاه های مسلح می توان از اجزای مهارکننده (استوپر) استفاده کرد. اجزای مهار کننده قطعات فلزی هستند که در اطراف تکیه گاه الاستومری مسلح قرار می گیرند. بسته به آرایش اجزای مهارکننده می توان عرشه پل را در جهت های مختلف طولی، عرضی یا در کلیه جهات ثابت کرد.



ثابت در جهت طولی　　ثابت در جهت عرضی　　ثابت در کلیه جهات

مهار عرشه در جهت های مختلف توسط اجزای مهارکننده تکیه گاه مسلح

مشخصات مکانیکی تکیه گاههای الاستومری

رفتار تکیه گاه الاستومری عمدتا با مشخصات مکانیکی الاستومر در فشار و برش تعیین می گردد. این مشخصات مکانیکی عبارتند از: سختی، سختی فشاری و سختی برشی

سختی (Hardness)

سختی الاستومر بر اساس عمق نفوذ یک سنجه استاندارد اندازه گیری می شود. سیستم اندازه گیری و همچنین ابزاری که برای این کار استفاده می شود در پلی مرها، الاستومرها و لاستیک ها، دورومتر (Durometer) نامیده می شود. آلبرت فردیناند شور (Shore) در ۱۹۲۰ این وسیله را برای سنجش سختی ابداع نمود. مقیاس های دیگری نیز مثل استاندارد بریتانیا BS، و استاندارد بین المللی سختی لاستیک IRHD برای اندازه گیری سختی استفاده می شود. اما مقیاس سختی دورومتر امروزه متداول تر می باشد. واحد اندازه گیری سختی درجه است. دورومتر شور دارای دو مقیاس A برای لاستیک های نرم و مقیاس D برای انواع سخت تر است. مقیاس دورومتر شور A از صفر (بسیار نرم) تا ۱۰۰ (بسیار سخت) درجه بندی می شود. سختی بالشتک های الاستومری در مقیاس دورومتر شور A بین ۵۰ تا ۷۰ درجه است و در این بازه مقیاس IRHD و دورومتر با هم معادل هستند. دقت اندازه گیری سختی به دلیل وابستگی به نوع دورومتر، کاربر اندازه گیری کننده، اندازه نمونه و روش اندازه گیری، ۵ ± درجه است. سختی الاستومر با تنظیم مقدار عوامل فیلر در ترکیب شیمیایی آن قابل کنترل است. هرچه الاستومر سخت تر باشد، رفتار آن از یک مصالح ارتجاعی کامل فاصله می گیرد.

سختی فشاری

سختی فشاری تکیه گاه الاستومری یکی از مشخصات مکانیکی بسیار مهم برای طراح سازه پل است. عوامل متعددی بر سختی فشاری تکیه گاه اثرگذار است، بنابراین شناخت طراح از روش های موجود برای کنترل رفتار تکیه گاه الاستومری بسیار حایز اهمیت می باشد.

www.SID.ir

مدول فشاری

رابطه تنش- کرنش تکیه گاه های الاستومری مسلح تحت فشار، یک رابطه غیرخطی است و به ضریب شکل و سختی الاستومر وابسته است. آشتو ۲۰۱۲ [] نمودارهای شکل () را برای رابطه تنش- کرنش فشاری در غیاب اطلاعات دقیق تر پیشنهاد نموده است. بمنظور سهولت محاسبات تغییرشکل فشاری تحت بارهای مرده و زنده، آشتو یک تقریب خطی نیز برای رابطه تنش- کرنش بصورت زیر ارائه نموده است:

$$\sigma_c = E_c \epsilon_c$$

که در آن $\sigma_c = F_c/A$

ϵ_c کرنش فشاری

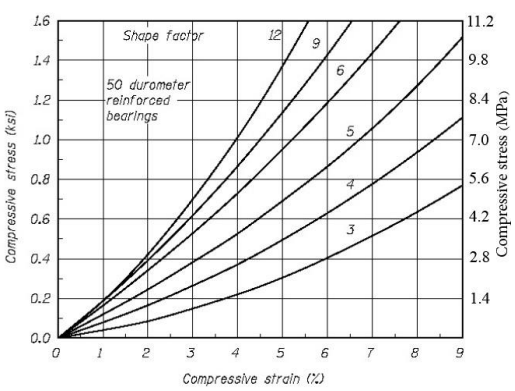
Fc نیروی فشاری تکیه گاه

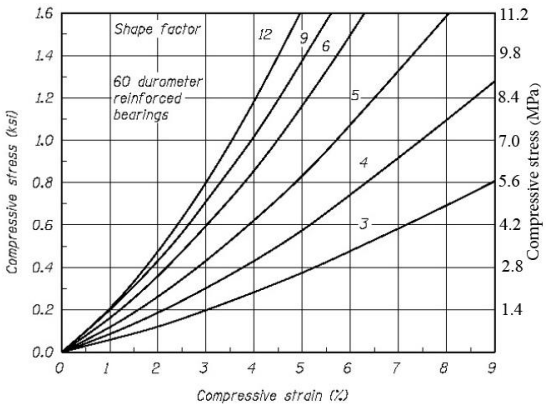
A سطح مقطع تکیه گاه الاستومری

Ec مدول فشاری که بصورت $E_c = 4.8\ GS^2$ پیشنهاد گردیده است.

S ضریب شکل

G مدول برشی الاستومر





عوامل موثر بر سختی فشاری

همانطور که در شکل () مشاهده می شود سختی فشاری با افزایش ضریب شکل افزایش می یابد. ضریب شکل با افزایش سطح مقطع الاستومر یا کاهش ضخامت آزاد الاستومر در برابر ایجاد برآمدگی، افزایش می یابد. سختی فشاری را می توان با استفاده از الاستومر با سختی دورومتر بیشتر افزایش داد.

سختی برشی

مدول برشی G مهمترین مشخصه الاستومر برای مقاصد طراحی و در نتیجه اصلی ترین شاخص برای شناسایی و طبقه بندی تکیه گاههای الاستومری است. رابطه تنش- کرنش برشی در الاستومرها تا کرنش های برشی ۱۰۰٪ بصورت خطی است. هرچند چنین کرنش هایی بدون ایجاد هرگونه کاهش کیفیت الاستومر امکان پذیر است، اما عموما در طراحی ها کرنش برشی تکیه گاه الاستومری را به ۵۰٪ ضخامت کلی الاستومر محدود می نمایند.

$$\tau = G\gamma$$

که در آن $\tau = F_s/A$

Fs نیروی برشی

A سطح مقطع الاستومر

www.SID.ir

G مدول برشی

$\gamma = \Delta/T$ کرنش برشی

Δ جابجایی بیشینه جانبی بالشتک

T ضخامت کلی الاستومر

این رابطه هم برای بالشتک های غیرمسلح و هم تکیه گاههای الاستومری مسلح معتبر می باشد. بنابراین دو تکیه گاه مشابه که دارای سطح مقطع، ضخامت موثر الاستومر و مصالح الاستومری یکسانی هستند اما یکی مسلح و دیگری غیرمسلح است، رفتار برشی کاملا یکسانی خواهند داشت.

مدول برشی G مهمترین مشخصه الاستومرها است که بصورت مستقیم در طراحی تکیه گاه ها بکار برده می شود. معمولا تولیدکنندگان تکیه گاه های الاستومری از پارامتر سختی (با مقیاس دورومتر شور A) بعنوان شاخصی برای سختی برشی استفاده می کنند. البته جایگزینی آزمایش مدول برشی با سختی از نظر مهندسی رهیافت مناسبی نیست؛ چون محصول تولیدکنندگان مختلف بدلیل استفاده از فرمولاسیون شیمیایی متفاوت با وجود یکسان بودن پارامتر سختی دارای تنوع زیادی در مدول برشی خواهد بود. ضمن اینکه نتایج اندازه گیری پارامتر سختی به کاربر اندازه گیری کننده نیز وابسته است و از کاربری به کاربر دیگر تا ۵ درجه تغییر می کند.

روش های طراحی

دو استاندارد بین المللی معتبر در ارتباط با مشخصات و ضوابط طراحی تکیه گاه های الاستومری مطرح هستند: استاندارد آشتو (ویرایش ۲۰۱۲) برای طراحی پل بروش ضرایب بار و مقاومت – فصل ۱۴ ام: درزها و تکیه گاه ها، و استاندارد اروپایی EN1337 برای تکیه گاه های سازه ای، بخش سوم: تکیه گاه های الاستومری. استانداردهای دیگری مثل DIN4141، BS5400 -بخش نهم و CNR 10018 با انتشار EN1337 بتدریج کنار گذاشته می شوند.

تکیه گاه های الاستومری مسلح فولادی بدلیل مقاومت بالاتر و عملکرد بهتر نسبت به سایر تکیه گاه های الاستومری مورد تاکید می باشند. در این مقاله نیز تنها به مشخصات و ضوابط طراحی این نوع تکیه گاه ها پرداخته شده است. تکیه گاه های مسلح باید برای تحمل نیروها و تامین حرکت های عرشه طراحی شوند. روابط طراحی بر مبنای کنترل تنش های فشاری، بلندشدگی، کمانش و خستگی در طول عمر تکیه گاه قرار دارند.

در آشتو دو روش متفاوت برای طراحی پیش بینی شده است. در هر دو روش باید عملکرد مناسب تکیه گاه در حالات حدی مربوط به تنش فشاری، ترکیب فشار و دوران، برش خارجی و پایداری کمانشی بررسی شود. روش A قدیمی تر، ساده تر و محافظه کارانه تر است. در این روش مدول برشی را می توان از روی درجه سختی تقریب زد. در مقابل در روش B باید مدول برشی با نتایج آزمایشگاهی تایید شود. در عوض محدودیت تنش و تغییرشکل در این روش از شدت کمتری نسبت به روش A برخوردار است و منجر به طرح های سبکتری می شود. هر چند تعداد کنترل ها در این روش نسبت به روش A بیشتر است و نیاز به تلاش بیشتری از جانب طراح دارد.

تغییرشکل برشی

تغییرشکل برشی کلی حداکثر Δ_s الاستومر در حالت حدی بهره برداری، برابر ۶۵ درصد جابجایی حرارتی طرح Δ_T بعلاوه جابجایی های ناشی از خزش، جمع شدگی و پس تنیدگی است که باید با لحاظ نمودن سختی زیرسازه و روش ساخت اصلاح شود. توجه شود که نصب تکیه گاه الاستومری باید در دمای میانگین بازه دمایی حداقل تا حداکثر انجام شود. آیین نامه برای این دما ۱۵± درصد خطا در نظر گرفته است. محدودیت تغییرشکل برشی الاستومر به صورت زیر در آشتو در نظر گرفته شده است:

$$\frac{\Delta_s}{h_r} \leq 0.5$$

که در آن h_r ضخامت کلی الاستومر است.

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت تغییرشکل برشی بر پایه آزمایش های خستگی است که برای ۲۰،۰۰۰ چرخه بارگذاری انجام شده است. که بمعنی یک چرخه انبساط و انقباض در هر روز و به مدت حدود ۵۵ سال عمر سازه است. لذا در صورتیکه تغییرشکل برشی ناشی از چرخه های بارگذاری زیاد در اثر نیروهای ترمز یا ارتعاشات باشد، این ضابطه غیرمحافظه کارانه خواهد بود. آزمایش ها نشان داده اند چنانچه حداکثر تغییرشکل برشی ناشی از این چرخه های بارگذاری به $0.1h_r$ محدود شود، عمر خستگی تکیه گاه ها اساسا بی نهایت خواهد بود.

تغییرشکل برشی مرکب

تغییرشکل های برشی ناشی از ترکیب نیروی محوری فشاری، دوران و برش در الاستومر باید محدودیت زیر را برآورده نمایند

$$(\gamma_a + \gamma_r + \gamma_s)_{st} + 1.75(\gamma_a + \gamma_r + \gamma_s)_{cy} \leq 5$$

γ_a، γ_r و γ_s به ترتیب کرنش برشی ناشی از نیروی محوری، دوران و جابجایی برشی است.

زیرنویس های st و cy به ترتیب نشان دهنده بارگذاری استاتیکی و چرخه ای می باشند. بارگذاری چرخه ای ناشی از ترافیک است و سایر بارگذاری ها را می توان استاتیکی در نظر گرفت.

همچنین، مولفه استاتیکی γ_a باید محدودیت زیر را ارضا نماید

$$(\gamma_a)_{st} \leq 3$$

پایداری تکیه گاه های الاستومری

پایداری تکیه گاه ها باید تحت ترکیبات بار حالات حدی بهره برداری کنترل شود.

اگر محدودیت زیر برقرار باشد، تکیه گاه پایدار در نظر گرفته می شود و نیاز به کنترل دیگری نیست.

$$2A \leq B$$

که در آن

$$A = \frac{1.92\frac{h_r}{L}}{\sqrt{1+\frac{2L}{W}}}$$

و

$$B = \frac{2.67}{(S_i+2)(1+\frac{L}{4W})}$$

محدودیت استفاده از بالشتک های شیب دار

بر اساس ضوابط آیین نامه استفاده از بالشتک های الاستومری شیب دار ممنوع است. لایه های الاستومری شیب دار موجب بوجود آمدن کرنش های برشی بزرگتری می شوند و تکیه گاه های ساخته شده از آنها عمدتا در اثر جداشدن لایه ها یا گسیختگی صفحات فولادی خراب می شوند.

رفتار لرزه ای تکیه گاه های الاستومری

آزمایش های مورد نیاز

www.SID.ir

Archive of SID

منابع و مراجع

[۱] مجمع کمیسیون جهانی زیست و کمیسیون پرتلند، ۱۹۸۷

[2] Van Der Rayn & Calthorpe, Sustainable Communities. A New Design Synthesis for Cities, Suburbs, and Towns, 1986: 111.

[3] Van Der Rayn & Calthorpe, Sustainable Communities. A New Design Synthesis for Cities, Suburbs, and Towns, 1986: 112

[4] Van Der Rayn & Calthorpe, Sustainable Communities. A New Design Synthesis for Cities, Suburbs, and Towns, 1986: 2

[5] Browns .B , Ecological Design: Inventing the Future ,1990: 256

[6] Williams on, The Four Worlds of Sustainability(DRAWING UPON FOUR UNIVERSAL PERSPECTIVES TO SUPPORT SUSTAINABILITY INITIATIVES) , 2003: 24

[7] Van Der Rayn & Calthorpe, Sustainable Communities. A New Design Synthesis for Cities, Suburbs, and Towns, 1986: 40.

[8] Browns .B , Ecological Design: Inventing the Future ,1990: 258.

[9] Van Der Rayn & Calthorpe, Sustainable Communities. A New Design Synthesis for Cities, Suburbs, and Towns, 1986: 40

[۱۰] اسکات، مایرس، "چه چیز توسعه اقتصادی را پایدار میکند؟"، ترجمه دکتر آزاد، ۱۳۷۹، ص ۱۰۱.

[۱۱] اسکات، مایرس، "چه چیز توسعه اقتصادی را پایدار میکند؟"، ترجمه دکتر آزاد، ۱۳۷۹، ص ۱۰۴.

[12] Hawkan , Sustainable Development Planning and Construction in Putrajaya, 1999, 01.

[13] Ekins, Hillman& Hulchinson, Reinventing Capitalism: Diagramming Living Capital Flows in a Green, Sustainable, and Responsible Economy,1992: 32.

[14] Elkington, Cannibals with Forks: The triple bottom line of 21st century business, 1997 , 139.

[15] Hawkes, J, The Fourth Pillar of Sustainability: culture's essential role in public planning, 2001, 11.

[۱۶] اسکات، مایرس، "چه چیز توسعه اقتصادی را پایدار میکند؟"، ترجمه دکتر آزاد، ۱۳۷۹، ص ۸۶.

[۱۷] اسکات، مایرس، "چه چیز توسعه اقتصادی را پایدار میکند؟"، ترجمه دکتر آزاد، ۱۳۷۹، ص ۸۶.

[18] Hagan , Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution, 2001,:3.

[19] Hagan, Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution, 2001, :4.

[20] Kibert, First International Conference on Sustainable Construction, 1994.

[21] Maxman, Accounting for Environmental Cost, 1992: 22.

[22] Pederson B. Environmental Assessment of Products: a Course on Life Cycle Assessment, 1996., 12.

[23] Browns .B , Ecological Design: Inventing the Future ,1990: 17.

[24] Kim, jong, , The Skyscraper Bioclimatically Considered, Academy Editions, 1998: 11.

[25] Hawkes, J, The Fourth Pillar of Sustainability: culture's essential role in public planning, , 2001: 7.

[۲۶] فرشاد، مهدی، نگرش مسیحی، ۱۳۶۲، ص ۸۰.

[۲۷] نصر، سید حسین، انسان و طبیعت(بحران معنوی انسان متجدد)، ترجمه دکتر عبد الرحیم گواهی، ۱۳۷۹، ص ۸۹.

[۲۸] گروتر، یونگ، زیبایی شناسی در معماری، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۷۴، ص ۱۵۰.

[۲۹] ناس، جان، تاریخ ادیان، ترجمه علی اصغر حکمت، انتشارات علمی، ۱۳۴۹، ص۲۳۷

[۳۰] شریفی، علی، تاریخ ادیان، ۱۳۵۲، ص۱۵۸

[۳۱] نصر، سید حسین، انسان و طبیعت(بحران معنوی انسان متجدد)، ترجمه دکتر غبد الرحیم گواهی ،۱۳۷۹، ص۱۰۸.

[۳۲] نصر، سید حسین، دین و نظام طبیعت، ترجمه دکتر محمد حسن مغفوری، ۱۳۸۴، ص۳۸۰

[25]"http://math.berkeley.edu/~sethian/Explanations/level_set_explain.html

www.SID.ir