

Temporary Green Bamboo Structure: Design, Analysis and Experimental Assessment

J. Alami¹, M.A. Afshar^{2*}, A.A. Mazloum³

1- Assistant Professor, Structural Engineering Department, Imam Ali Officer University, Tehran

2- Assistant Professor, Faculty of Technology and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin

2- Graduated Master, Faculty of Technology and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin

ABSTRACT

One of the most important basic needs of the affected people after natural disasters such as floods and earthquakes is to live in a safe and suitable place. The costly and time-consuming process of establishing permanent housing will provide temporary residence. Using of the disadvantages of common materials, such as steel and concrete, due unconventional extractions, exorbitant construction and production costs, and irreparable environmental damages, the need to build temporary shelters, fast construction, recyclable, environmentally friendly, low-cost and biodegradable natural resources, like bamboo, is very much felt in our beloved country. Bamboo is used as a structural material in more than 60 countries in the world, which fortunately, its species can also be found in our country. The purpose of this study is to investigate the mechanical properties and structural efficiency of the native Iranian bamboo species with the local name Kara and also design and propose a temporary green structure resistant against lateral loads. The Chevron brace was used as a lateral bearing element and hose-clamp connections were also employed. The results of compression, tensile, shear, shear with hose-clamp, and bending test parallel to the fibers were calculated to be 66.5, 103.42, 2.63, 2.73, and 137.96 MPa, respectively. The results of the analysis and design of the constructed model also indicated that the calculated demand under all load combinations in the elements of columns, beams, and braces for bending and axial stresses was more than 97%, and for shear stresses was more than 57% lower than the allowable capacity of the regulations

ARTICLE INFO

Receive Date: 28 July 2021

Revise Date: 10 October 2021

Accept Date: 01 November 2021

Keywords: Bamboo plant
Mechanical properties
Designing
Analyzing
Temporary green structure

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2021.267277.2335

*Corresponding author: Dr.Majid Amin Afshar
Email address: mafshar@eng.ikiu.ac.ir

سازه سبز موقت از جنس بامبو: طراحی، تحلیل و ارزیابی آزمایشگاهی

جلال الدین اعلمی^۱، مجید امین افشار^{۲*}، عباس آزاد مظلوم^۳

۱- استادیار، گروه مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

چکیده

از مهمترین نیازهای اولیه آسیب دیدگان از حوادث طبیعی همچون سیل و زلزله، اسکان موقت در یک محیط امن و مناسب است. فرآیند پیر هزین و زمان بر ایجاد سکونت گاه دائمی، موجب تدارک اسکان موقت خواهد شد. با توجه به معایب مصالح رایج فولاد و بتن، نظیر برداشت غیر متعارف از معادن طبیعی، فرآیند پیر هزین و زمان بر ساخت و تولید و آسیب های زیست محیطی جبران ناپذیر، نیاز به ساخت سرپناه موقت، سریع الاحداث، ارزان و سازگار محیط زیست از منابع طبیعی بومی قابل بازیافت، کم هزینه و تجزیه پذیر، نظیر بامبو در کشور عزیزمان بسیار احساس می شود. بامبو در بیش از ۶۰ کشور دنیا به عنوان مصالح سازه ای به کار می رود و خوشبختانه گونه هایی از آن در کشور ما نیز یافت می شوند. هدف این پژوهش، بررسی خواص مکانیکی و کارآمدی سازه ای گونه ای بومی بامبو ایران با نام محلی کارا و طراحی و پیشنهاد یک سازه سبز موقت و مقاوم در برابر بارهای جانبی است. از مهاربند شورون به عنوان المان باربر جانبی در دو امتداد متعامد و از اتصالات بست شلنگی بهره گرفته شد. نتایج آزمایش های مقاومت فشاری، کششی، برشی، برشی همراه با بست شلنگی و خمشی این گیاه به ترتیب ۶۶/۵، ۱۰۳/۴۲، ۲/۶۳، ۲/۷۳ و ۱۳۷/۹۶ مگاپاسکال محاسبه شده اند. تقاضای محاسبه شده تحت تمام ترکیب بارها در عناصر ستون ها، تیرها و بادبندها برای تنش های خمشی و محوری بیش از ۹۷٪ و برای تنش های برشی بیش از ۵۷٪ نسبت به ظرفیت مجاز آیین نامه کمتر شده اند. از این رو، ارزیابی این پژوهش نشانگر عملکرد مطلوب سازه پیشنهادی است.

کلمات کلیدی: گیاه بامبو، خواص مکانیکی، طراحی، تحلیل، سازه سبز موقت

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
https://doi.org/10.22065/JSCE.2021.295485.2505	۱۴۰۱/۰۱/۳۱	۱۴۰۰/۸/۱۰	۱۴۰۰/۸/۱۰	۱۴۰۰/۷/۱۸	۱۴۰۰/۵/۰۶
10.22065/JSCE.2021.295485.2505					
مجدید امین افشار mafshar@eng.ikiu.ac.ir			*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

با توجه به وقوع حوادث و بلایای طبیعی متعددی نظیر سیل و زلزله در ایران نظیر زلزله سی سخت در استان کهگیلویه و بویراحمد، سرپل ذهاب در استان کرمانشاه و سیل آق قلا در استان گلستان، و پیامدهای ناگوار بعدی نظیر تخریب و آسیب منازل مسکونی و آوارگی هموطنان به ویژه در فصل سرما، و نیز تجربه دشواری‌هایی و سهل انگاری‌ها جهت تامین سریع امکانات و سر پناه برای آسیب دیدگان نظیر اسکان در چادر و تامین هزینه بسیار زیاد و تدارک مقدمات ساخت و ارسال کانکس‌های اسکان موقت به تعداد بسیار و در بازه زمانی کوتاه [۳-۱] مسئولین امر را بر آن خواهد داشت که جهت حل این مشکل تدابیری اندیشه شود. در بعضی از منابع به طرح الگوی مناسب جهت برنامه ریزی و اتخاذ رویکردی مناسب جهت اسکان موقت هر چه بهتر اقشار آسیب دیده [۴] و نیز تامین امنیت روانی و جانی این عزیزان در مقابل تهدیداتی همچون پس لرزه‌ها در زلزله، بیماری‌های عفونی مخصوصاً در زمان سیل و همچنین محفوظ ماندن از خطر جانوران موذی و حشرات، پرداخته شده است [۵]. در تحقیق پیشرو، سعی می‌گردد که با پیشنهاد و طراحی یک سازه سبز موقت، ارزان و سریع الاحداث از جنس مصالح مقاوم بومی ایران با نام بامبو، جهت رفع مشکل یاد شده اقدام گردد. در ساخت سازه‌های موقت از جنس مصالح رایج در کشور عزیزمان ایران بایستی به نکات مهمی توجه داشت: از یک سو با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد تولید و ساخت سازه‌های بتنی و فولادی، و از سوی دیگر تعامل این مصالح با خاک بستر باعث ایجاد ردپای خاکستری در محل ساخت می‌شود. شیرابه بتن زمانی که به خاک بستر نفوذ می‌کند نه تنها باعث خسارت به محیط زیست پیرامونی می‌گردد، بلکه با نفوذ به آب‌های زیر زمینی و آلودگی آن می‌شود. از طرفی، انرژی لازم برای تولید ۱ متر مکعب مصالحی که معمولاً در ساخت و سازه‌های عمرانی از قبیل فولاد یا بتن استفاده می‌شود، ۵۰ برابر بیشتر از تولید همان مقدار بامبو است [۶]. نگرش‌های بسیار نوین در بخش صنعت ساختمان و استفاده از مصالح تجدید پذیر گیاهی به گونه‌ایی که تولید و استفاده از آن دارای کمترین خسارت برای محیط زیست پیرامونی را داشته باشد، بسیاری از محققین در سراسر دنیا در چند دهه اخیر بر آن شده‌اند که استفاده از گیاه گول پیکر و سریع‌الرشد بامبو می‌تواند این نیازمندی را به نحو مناسبی با در نظر گرفتن یکسری ضوابط اجرایی ارضاء نماید و در مواقعی می‌تواند جایگزین مناسبی برای مصالح بسیار پر هزینه و انرژی بری همانند فولاد و بتن باشد. با توجه به نظر برخی از منابع در ایران نیز دو محل برای کاشت این گیاه مناسب به نظر می‌رسند. این دو محل عبارت اند از؛ نوار شمالی کشور و قسمتی از خوزستان [۶]. بامبو یک ماده مرکب متشکل از الیاف سلولزی موازی در راستای طول که در یک کالبد (ماتریس) چوبی قرار گرفته است. تراکم فیبرها در سطح مقطع یک پوسته بامبو در امتداد ضخامت آن تغییر می‌کند. این فیبرها به طور متراکم در منطقه سطح خارجی توزیع شده‌اند و پراکندگی آنها در سطح مقطع داخلی نسبت به سطح مقطع خارجی ناچیز است [۷، ۸]. در اصل، بامبو ماده‌ای درجه بندی شده تابعی است که با توجه به وضعیت توزیع تنش در محیط طبیعی خود تکامل یافته است [۹-۱۱]. خواص فیزیکی و مکانیکی بامبو به شدت به الیاف آن وابسته است [۱۲]. رفتار مکانیکی بامبو غیر ایزوتروپیکی است و در جهت محوری بسیار محکم و سخت است و در صفحات فیبر ضعیف است [۱۳، ۱۴]. بر اساس نسبت وزن به وزن، مقایسه‌های بسیار مطلوبی میان مقاومت کششی، مدول یانگ، مقاومت فشاری، و برشی بین لایه‌ای بامبو با مواد متعارف مانند فولاد کم کربن و پلاستیک تسلیح شده با پشم شیشه، انجام می‌گردد [۱۷-۱۵]. به دلیل ویژگی‌های برتر و عوامل دیگری مثل هزینه پایین، دسترسی آسان و فقدان آسیب زیست محیطی ناشی از سرویس دهی، بامبو به طور گسترده در صنعت ساخت و ساز استفاده

می‌شود [۲۱-۱۸].

بامبو سازگار با محیط زیست و تجدید پذیر است [۲۴-۲۲]. استفاده از بامبو در صنعت ساخت و ساز به دلیل کمبود آیین نامه‌ها و استانداردهای طراحی [۲۵] و همچنین به دلیل عدم وجود سیستم اتصالات عملی و قابل اعتماد، همچنان در صنعت ساخت و ساز بسیار محدود است. برای رفع این محدودیتها، استفاده از بست‌های شلنگی فولادی در سه نوع اتصال مختلف (فقط پیچ، پیچ و بست شلنگی فولادی و استفاده از ملات در اتصال پیچ و بست شلنگی فولادی) مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام این مطالعه محاسبه مود خرابی، ظرفیت حمل بار و انعطاف پذیری اتصالات بامبو و همچنین محاسبه فاصله طول انتهایی ساقه با بست شلنگی برای بدست آوردن، ظرفیت حمل بار و انعطاف پذیری بهینه می‌باشد. نتایج نشان دادند که، طول مناسب کافی اتصالات به دستاوردهای قابل توجه در استحکام و شکل پذیری منجر شده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که پر کردن اتصال با ملات به استحکام بالاتر منجر می‌شود، اما اغلب به قیمت کاهش شکل پذیری، در مقایسه با اتصالات قسمت توخالی مربوطه با بست شلنگی فولادی می‌گردد [۲۶]. کشور اندونزی از سالهای بسیار دور با مشکلات بسیار زیادی در زمینه زیر ساختهای آموزشی مواجه بوده است، در سال ۲۰۱۱ طراحان ساختمانی این کشور به دنبال راه حلی ارزان، سریع و پایدار به منظور فائق آمدن بر این مشکل، بامبو را پیشنهاد دادند. نتایج حاصل از ساخت مدارس از جنس بامبو حاکی از صرفه جویی غیر قابل انکار در هزینه‌های ساخت بوده است [۲۷]. شایان ذکر است که بامبو دارای معایبی از جمله آن فساد پذیری و زوال توسط حشرات و قارچ در محیط مرطوب و همچنین سرعت احتراق بالا و مقاومت کم در برابر آتش سوزی است (دمای احتراق بامبو ۲۶۵ درجه سانتیگراد است که باعث می‌شود راحت‌تر از انواع دیگر چوب‌ها آتش بگیرد) [۲۸]؛ با این حال امروزه از طریق فرآیندهای عمل آوری و با استفاده از افزودنی‌ها، رنگ‌ها یا افشانه‌های نوین، امکان ارتقا کیفیت و مقاومت چوب و گیاهان در برابر فساد پذیری و آتش سوزی فراهم آمده است. البته بامبو به خاطر ساختار توخالی خود، به عنوان یک عایق حرارتی در سازه عمل می‌کند و علاوه بر این، با توجه به سبک بودن بامبو و سهولت در پرداخت، سوراخ کاری و برش کاری و در نتیجه تسریع در اجرا و سرهم کردن آن، گیاه بامبو را یک عنصر جذاب و مطلوب سازه‌ای ساخته است.

در این پژوهش، ابتدا بامبوی بومی ایران معرفی و سپس خواص مکانیکی آن نظیر مقاومت فشاری، برشی، کششی و خمشی مورد بررسی قرار گرفت. در گام بعد و با استفاده از خواص مکانیکی بدست آمده، به معرفی، طراحی، تحلیل و ارزیابی یک سازه از جنس بامبو بومی ایران در نرم افزار اپنسیس و همچنین مقایسه هزینه ساخت این سازه پیشنهادی با سایر سازه‌ها با کاربری مشابه، پرداخته شد.

۲- مصالح و روش‌های اجرا

با توجه به هدف مطالعه، ابتدا به معرفی بامبوی مورد مطالعه و طریقه‌ی عمل آوری پرداخته و سپس بر اساس روند تحقیق به بررسی خواص مکانیکی بامبو مورد نظر (خواص فشاری، برشی، کششی و خمشی) پرداخته و در نهایت، طریقه مدل کردن آن در نرم افزار اپنسیس و همچنین تحلیل خروجی‌های نرم افزار پرداخته می‌شود.

۲-۱- معرفی بامبو مورد مطالعه

بامبو مورد مطالعه با نام محلی و شناخته شده بامبو کارا می‌باشد. نامگذاری این بامبو توسط اهالی گیلان بر اساس شکل ظاهر و هندسه، نحوه‌ی رویش و یا کاربرد آن بوده و نام علمی و جامعی از گونه‌شناسی آن *Phyllostachys vivax* است اما، اطلاعاتی از شرایط مناسب رشد و نیاز آبی آن در دسترس نیست.



شکل ۱- بامبو کارا

کارپذیری بالا و کارایی بامبو کارا در حوزه‌های مختلف نجاری، ساختمان و کشاورزی علت نامگذاری اهالی گیلان برای این بامبو است. اهالی گیلان بدنه این گیاه را در امتداد محور طولی آن، برشهای طولی داده و به طور ماهرانه‌ای آن را به قطعات باریک بلند و با ضخامت کم، مانند نوارهای طویل تقسیم می‌کنند. با چینش و چسباندن در کنار هم، صفحات تخت (آلمینیت) بدست می‌آید. این صفحات کاربردهایی نظیر پوشش سقف و کف کاذب، دیوار پوشش در صنعت ساختمان و در صنایع دستی نظیر ساخت جعبه و میز و صندلی دارد.

از ساقه‌ی بامبو کارا به عنوان داربست ساختمانی و یا الوار یا تیرهای فرعی در ساخت سقف سبک نیز بهره می‌گیرند. مقاومت و استحکام این بامبو به قدری است که به طور مثال با نشستن چندین نفر روی آن، خیز اندکی بدون ترک خوردگی را تجربه می‌کند. همچنین به منظور حصارکشی زمین‌های کشاورزی می‌تواند جایگزین چوب‌ها و نی‌ها شود.

۲-۲- روش‌های عمل آوری

عمل آوری بامبو به سه نوع مختلف تقسیم می‌گردد. (۱) عمل آوری به روش فیزیکی، (۲) به روش حرارتی و (۳) به روش شیمیایی [۲۹]. در این پژوهش روش اول مورد استفاده قرار گرفت. در روش فیزیکی (سنتی) که از دیرباز در کشورهای شرقی آسیا مرسوم بوده، ساقه‌های بامبو را بعد از قطع کردن به صورت عمودی یا افقی (توصیه‌های بیشتری برای قرار دادن در جهت عمودی وجود دارد) و به مدت بین ۶ تا ۱۲ هفته در محلی به دور از تابش مستقیم آفتاب و با تهویه هوای مطلوب صورت می‌پذیرد. بهتر است بامبوها را برای جلوگیری از تغییر شکل و همچنین سر خورد ساقه‌ها، توسط سیم مفتول یا موارد مشابه به یکدیگر متصل کنیم.

شکل (۳) بیانگر متوسط فواصل میان گره‌ایی در هر ساقه ۲/۵ متری بامبو کارا موجود در انبار را می‌باشد.

۳- ارزیابی تحلیلی و آزمایشگاهی سازه پیشنهادی

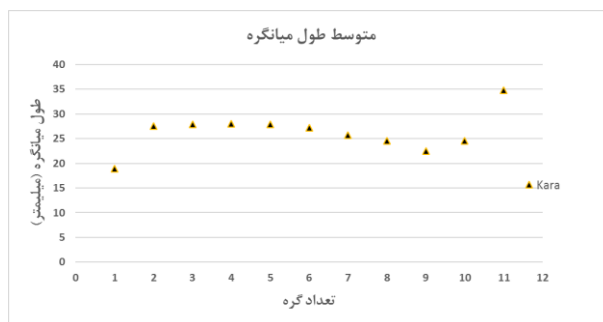
در این مرحله، به مدلسازی یک سازه موقت از جنس بامبو کارا در نرم افزار اپنسیس پرداخته می‌شود. نمای سه بعدی شماتیکی از سازه مورد نظر در شکل (۴) به نمایش گذاشته شده است.



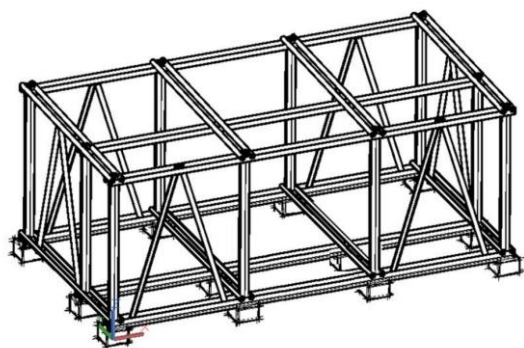
(ب)

(الف)

شکل ۲- عمل آوری به سبک فیزیکی، (الف) به روش افقی و (ب) به روش قائم



شکل ۳- متوسط تنوع طول میان گره‌های در طول ساقه بامبو



(ب)



(الف)

شکل ۴- طرح سه بعدی مفهومی سازه پیشنهادی، (الف) نمای سازه و (ب) نمای سیستم سازه‌ای

همچنین، سازه در شهر کرمان واقع شده و دلیل انتخاب شهر کرمان به علت تجربه زلزله‌های بسیار زیاد و بحث مدیریت بحران و اسکان موقت مردمی که طی زلزله منازل آنها آسیب دیده، می‌باشد. برای طراحی این سازه از آیین نامه‌های IBC [۳۰]، کلمبیا NSR-10 [۳۱] و منبع ترجمه انگلیسی شده آیین نامه کلمبیا، کتاب مصالح ساختمانی غیر متعارف و بومی [۳۲] استفاده شده است.

۳-۱- روش اجرا تست‌های آزمایشگاهی

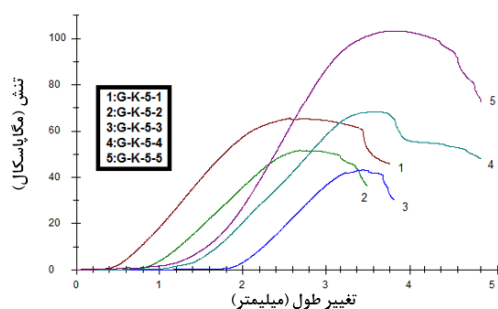
بر روی بامبوی مورد نظر، آزمایش‌های فشاری، برشی، کششی و خمشی انجام گرفته است. نحوه انجام آزمایشات فوق بر اساس آیین نامه ISO 22157 (تعیین خواص مکانیکی و هندسی ساقه بامبو سال ۲۰۱۹)، [۳۳] بوده است. دستگاه یونیورسال مورد استفاده برای انجام آزمایش‌های فوق از مدل Zwick Roell با ظرفیت ۵۰ کیلو نیوتن می‌باشد. در آزمون فشاری یک نمونه بامبو با نسبت طول به قطر یکسان تحت فشار در امتداد محور طولی زیر جک‌های هیدرولیکی قرار گرفته و داده‌ها تنش کرنش و تنش نهایی آن قرائت می‌شود. در آزمون برش نیز نمونه در معرض نیروی برشی در راستای طولی خود قرار گرفته و تنش نهایی برشی بدست می‌آید. همچنین، نوار باریکی از بامبو در راستای محور طولی توسط دو فک که یکی از آنها متحرک و دیگر ثابت است تحت نیروی کششی قرار می‌گیرد و پاسخ‌های تنش و کرنش و تنش گسیختگی آن محاسبه می‌شود. در آزمون خمش، یک نمونه بامبو به صورت یک تیر با طول دهانه حداقل ۳۰ برابر قطرش تحت خمش خالص ناشی از بار عرضی چهار نقطه‌ای قرار گرفته و تنش، لنگر خمشی نهایی و مدول ارتجاعی آن ثبت می‌شود.

۳-۲- تحلیل نتایج آزمایشگاهی

با توجه به این که بر اساس آیین نامه برخی نمونه‌ها که نتایج نامعقولی داشته باشند بایستی از فرایند نتایج آیین نامه حذف گردند، در این پژوهش نیز به دین سان عمل گردید. همچنین با توجه به آیین نامه ISO 22157 [۳۳] حداقل تعداد نمونه در هر تست بایستی ۳ عدد باشد. اما از طرفی، با توجه به عدم اطلاعات کافی از نحوه و نوع برش بامبو در مزرعه، نمی‌توان به طور دقیق ابتدا و انتهای دقیق ساقه‌ها را مشخص نمود. از این رو، معیار برای قسمت بالا و انتهای هر ساقه بامبو به طول ۲/۵ متر، همان بامبو در دسترس با توجه به ضخامت خارجی آن می‌باشد.

۳-۲-۱- آزمایش فشاری در راستای فیبر

دقت خطا در هنگام نسبت بندی قطر به طول، بنا به استانداردهای موجود ۰/۱ میلی‌متر است. نمونه در بار اولیه بیش از ۱ کیلو نیوتن تنظیم شد تا مرکز سر متحرک دستگاه به صورت عمودی بالای مرکز سطح مقطع نمونه قرار گیرد. بار با سرعت ثابت ۰/۱ میلی متر بر ثانیه اعمال و قرائت نهایی حداکثر بار هنگام شکست نمونه ثبت شد [۳۴]. با توجه به بند ۲-۱۰ آیین نامه ISO 22157 [۳۳]، طول نمونه بایستی کمتر از قطر خارجی، D، یا ۱۰ برابر ضخامت دیواره، 10δ در نظر گرفت. با توجه به این نکته، طول نمونه‌های مورد بررسی، یک برابر قطر خارجی $L=1D$ در نظر گرفته شد.



شکل ۵- نتایج آزمون فشار بامبو کارا

با توجه به شکل (۵)، تعداد نمونه‌ها پنج عدد می‌باشند که با نام G-K-1 تا G-K-5 نام گذاری شده‌اند. ذکر مجدد این نکته که با توجه به آیین نامه مربوطه بایستی نتایج برخی از نمونه‌ها که نتایج نامعقولی داشته‌اند حذف گردد، در این تست نیز نتایج برخی از نمونه‌ها حذف شدند. از شکل (۵) می‌توان دریافت که، میانگین مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال مابین ۵۰ تا ۶۰ می‌باشد که این موضوع نشان دهنده این است که این نوع بامبو به طور متوسط ۶۶/۵ مگاپاسکال به ازاء نسبت طول به قطر برابر می‌تواند نیرو تا قبل از آستانه شکست تحمل نماید. با این حال، حداکثر مقاومت فشاری برابر با ۱۰۳/۳۹ مگاپاسکال برای نمونه G-K-5 و کمترین آن برابر با ۴۳/۳۱ مگاپاسکال برای نمونه G-K-3 می‌باشد. متوسط مدول الاستیسیته فشاری موازی محور فیبرها برای این نوع بامبو برابر با ۲/۰۳ گیگاپاسکال می‌باشد. نتایج بدست آمده از آزمون مقاومت فشاری در راستای طول فیبر و با توجه به مشخصات هندسی موجود، با نتایج سایر آزمونها [۳۶-۳۵] به نسبت های قابل قبولی مطابق دارد. در شکل (۶) نمایی از نمونه‌های مورد بررسی پس از انجام آزمایش به نمایش گذاشته شده است. مشاهده می‌شود که تمامی نمونه‌ها دچار لهیدگی، ایجاد ترکهای عمیق در راستای فیبر و همچنین شکست ناحیه دیافراگم گره، شده‌اند. همچنین، از معادلات (پ-۱) و (پ-۲) موجود در قسمت (الف) پیوست برای محاسبه مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته فشاری در راستای فیبر استفاده گردید.



شکل ۶- نمایی از نمونه‌ها پس از انجام تست فشاری

۳-۲-۲- آزمایش برشی در راستای فیبر

با توجه به بند ۲-۱-۱۳ آیین نامه ISO [۳۳] نمونه باید در انتهای پایین آن در دو ربع مخالف قرار گیرد و در انتهای فوقانی آن در دو ربع دیگر بارگیری شود. به این ترتیب، بارگیری نمونه در چهار ناحیه برشی منتج می‌شود. این تست به دو صورت همراه با بست شلنگی فلزی و بدون بست شلنگی انجام گردید. هدف از بررسی نتایج نمونه‌ها با بست شلنگی فلزی، بررسی میزان افزایش مقاومت برشی بامبو و همچنین بهبود عملکرد بامبو در اتصالات است. در آزمون برشی تعداد نمونه‌هایی که نتایج آنها معقول و قابل ثبت هستند، در حالت بدون بست، ۳ عدد (G-K-8-1 تا G-K-8-3)

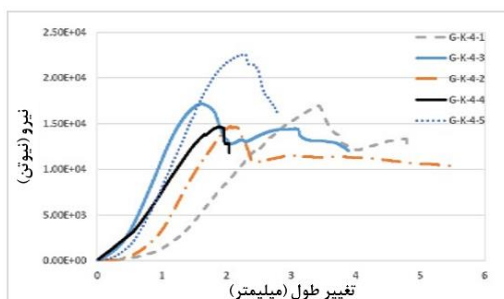
و در حالت همراه با بست شلنگی ۵ عدد (G-K-4-1 تا G-K-4-5) گزارش شده‌اند. در شکل (۷-الف و ب) نمایی از چگونگی انجام تست‌های برشی قابل رویت می‌باشند. از شکل (۷-ج) می‌توان دریافت که، نمونه اول و سوم مصداق کامل رفتار خیلی ترد هستند. یعنی دقیقاً لحظه‌ای که حداکثر نیروی برشی به نمونه وارد می‌شود نمونه گسیختگی را نیز تجربه می‌کند. نمونه دوم بامبو کارا نسبت به دو نمونه دیگر رفتار نرم تری دارد و کمی بعد از کرنش تسلیم (حدوداً ۱/۶ میلیمتر) کرنش گسیختگی (حدوداً ۲/۲ میلیمتر) در آن رخ می‌دهد.

به عبارت دیگر، هر چقدر فاصله نقطه کرنش اصطلاحاً تسلیم (مکانی که حداکثر نیروی برشی وارد می‌شود) با کرنش گسیختگی بیشتر باشد رفتار شکست ماده نرم تر و به طور عکس، هر چه این فاصله کمتر باشد رفتار شکست ماه تردتر می‌باشد. در مورد نمودار شکل (۷-د)، چهار نمونه از پنج نمونه، تقریباً در یک رنج مشخصی از کرنش (کمتر از ۲ میلیمتر) به نیروی برشی حداکثر رسیده‌اند. نمونه اول، دوم، سوم و پنجم در کرنش کمتر از ۳ میلیمتر به آستانه گسیختگی رسیده‌اند. نمونه اول به صورت استثنا در کرنشی حدوداً ۲ برابر نمونه‌های دیگر به حداکثر نیروی برشی رسیده و به ترتیب در کرنشی کمتر از ۶ میلیمتر وارد مرحله گسیختگی شده‌اند. از جدول ۱ می‌توان دریافت که در حالت بدون بست شلنگی، بیشترین مقاومت برشی ۴/۰۴ مگاپاسکال مربوط به نمونه دوم و همچنین کمترین مقدار آن ۱/۶۸ مگاپاسکال برای نمونه اول می‌باشد. و در حالت همراه با بست شلنگی فلزی، نمونه‌های پنجم با مقاومت ۳/۱۱ و نمونه دوم با ۲/۳۴ مگاپاسکال به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت را منتج شده‌اند. استفاده از گیره‌های شلنگ فولادی نه تنها از گسترش ترک‌ها، به ویژه ترک‌های طولی در جهت طولی المان جلوگیری می‌کند، بلکه باعث افزایش قابل توجه مدت زمان کارکرد عضو و بهبود چشمگیر عملکرد اتصال می‌شود. همچنین از معادله (پ-۳) موجود در قسمت (ب) پیوست برای محاسبه مقاومت برشی در راستای فیبر استفاده گردید.

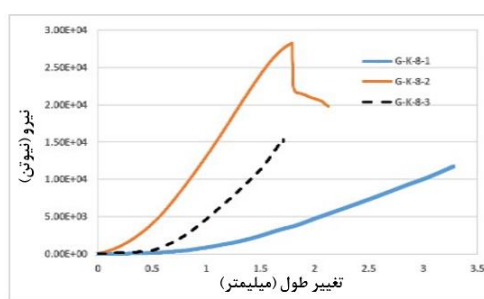


(ب)

(الف)



(د)

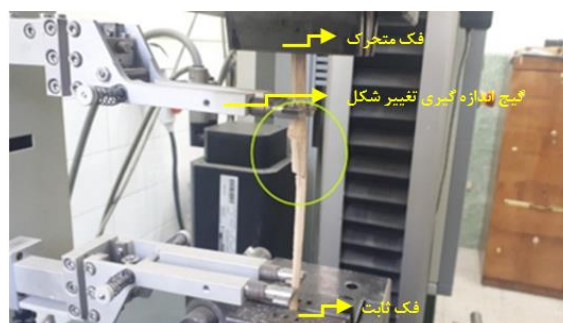


(ج)

شکل ۷- دستگاه تست برشی (الف) بدون بست، (ب) همراه بست و نتایج آزمون برشی (ج) بدون بست و (د) همراه با بست شلنگی فلزی

جدول ۱: نتایج تست برشی

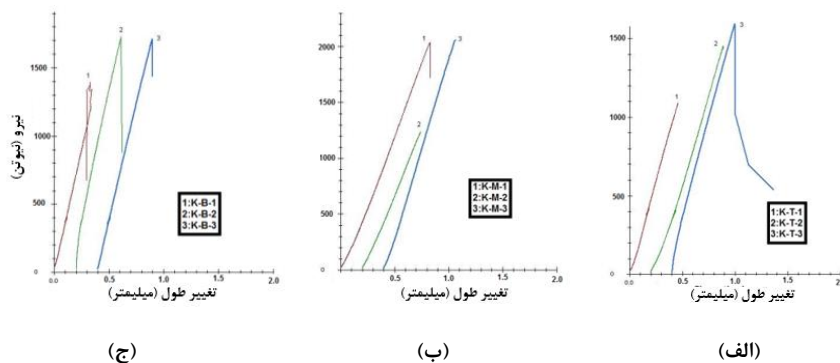
نوع	نمونه	قطر خارجی (mm)	قطر داخلی (mm)	$F_{ult}(KN)$	$F_v (Mpa)$
	G-K-8-1	۵۰	۳۵	۱۱/۸	۱/۶۸
بدون بست	G-K-8-2	۵۰	۳۵	۲۸/۳	۴/۰۴
	G-K-8-3	۵۰	۳۶	۱۵/۵	۲/۱۶
	G-K-4-1	۴۳	۳۱	۱۷/۲	۲/۴۳
	G-K-4-2	۴۲	۳۱	۱۴/۷	۲/۳۴
با بست شلنگی	G-K-4-3	۴۱	۳۱	۱۷/۲	۳/۰۴
	G-K-4-4	۴۱	۳۱/۵	۱۴/۶	۲/۷۱
	G-K-4-5	۴۱	۲۷/۵	۲۲/۶	۳/۱۱



شکل ۸- دستگاه تست کشش در راستای فیبر

۳-۲-۳- آزمایش کششی در راستای فیبر

دقت خطا در هنگام نسبت بندی قطر به طول بنا به استانداردهای موجود ۰/۱ میلیمتر است. با توجه به بند ۱۱،۲ آیین نامه ISO 22157 [۳۳]، از هر ساقه بامبو بایستی حداقل سه نمونه استخراج شود تا بتوان میزان تنوع پذیری را در هر ساقه نشان داد. شکل (۸) چگونگی انجام آزمایش را نشان می دهد.



شکل ۹- نتایج آزمون کششی بامبو کارا همراه با گره (الف) قسمت پایین ساقه، (ب) میانه ساقه، (ج) قسمت بالای ساقه

بامبو کارا به صورت یک ساقه کامل مورد بررسی قرار گرفته است، به این طریق که یک ساقه به سه قسمت بالا، میانه و پایین ساقه تقسیم و از هر یک به طور جداگانه سه نمونه جدا و مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۹) مربوط به یک ساقه کامل بامبو کارا می باشد، با توجه به هر سه نمودار می توان اظهار نمود که هر چه از قسمت پایین ساقه به سمت بالای ساقه پیش برویم، رفتارها تردتر می شوند (به استثنا نمونه سوم در شکل (۹-الف) که نرم ترین رفتار را در مقابل شکست کششی از خود نشان داده است).

جدول ۲: نتایج حاصل از تست کششی بامبو کارا

نوع	محل	تعداد گره	نمونه	b (mm)	δ (mm)	$F_{t,0}$ (N/mm ²)	$E_{t,0}$ (KN/mm ²)
		۱	K-B-1	۳	۵/۲	۸۹/۵۱	۲۳/۱
	پایین ساقه	۱	K-B-2	۳	۵/۳	۱۰۸/۷۹	۲۴/۶
		۱	K-B-3	۳	۵/۱	۱۱۱/۹۸	۲۲/۷
		۱	K-M-1	۲/۳۲	۴/۳۱	۲۰۳/۶۱	۲۴/۴
کارا	میانه ساقه	۱	K-M-2	۲/۳۱	۴/۵۱	۱۰۶/۶۶	۲۱/۷
		۱	K-M-3	۲/۳۲	۴/۳۱	۲۰۶	۳۳/۰
		۱	K-T-1	۲/۱۲	۴/۳۱	۱۱۹/۷۹	۲۸/۰
	بالا ساقه	۱	K-T-2	۲/۳۱	۴/۵۲	۱۳۹/۲۴	۲۰/۹
		۱	K-T-3	۲/۲۴	۴/۳۱	۱۶۵/۱۱	۲۶/۵

از طرفی با توجه به شکل (۹)، تمامی شکست ها در نواحی نزدیک گره (در شکل (۸) نمایش داده شده است) و در داخل محوطه ۱۰۰ میلیمتری گیج کرنش سنج رخ داده است. همچنین از جدول ۲ نیز می توان استنباط نمود که قسمت میانه ساقه بیشترین نیروی کششی، مقاومت و مدول الاستیسیته کششی را تجربه کرده است (تقریباً ۲۵٪ بیشتر از قسمت تحتانی و بالایی ساقه بامبو). ذکر این نکته که منظور از ساقه کامل، ساقه ۲/۵ متری در دسترس محققین بوده و متاسفانه آگاهی کامل از ساقه کامل با طول بیش از ۱۰ متر در دسترس نبوده است. برای همین فرض بر ساقه کامل ساقه در دسترس محققین بوده است. نتایج حاصل برای بامبو کارا با نسبت های قطری یکسان با نتایج مرجع [۳۶] مطابقت کاملاً مطلوبی دارد.

همچنین، از معادلات (پ-۴) و (پ-۵) موجود در قسمت (پ) پیوست برای محاسبه مقاومت کششی و مدول الاستیسیته کششی در راستای فیبر استفاده گردید.

۳-۲-۴- آزمایش خمشی در راستای فیبر

با توجه به بند ۱۲,۳ استاندارد ISO [۳۳]، به منظور دستیابی به شکست در خمش، فاصله بین هر تکیه گاه و نزدیکترین نقطه‌ی که بار اعمال می‌شود باید حداقل $10D$ باشد که در آن D قطر خارجی نمونه بامبو است. هر دو طول برش باید طولی یکسانی داشته باشند. حداقل فاصله بین نقاط بارگذاری باید $10D$ باشد، بنابراین حداقل طول ساقه بایستی $30D$ باشد. سرعت انجام آزمایش بر اساس استاندارد ISO بایستی به نحوی باشد که زمان خواسته شده (120 ± 300 ثانیه) را ارضاء کند. شکل (۱۰) نمونه‌ای از دستگاه تست خمشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- دستگاه تست خمش در راستای فیبر

از جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که، بیشترین لنگر خمشی مربوط به نمونه دوم با مقدار 830 کیلو نیوتن متر می‌باشد. و به همین ترتیب، نمونه‌های پنجم، چهارم و اول در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. با توجه به مقادیر محاسبه شده برای تانژانت سختی خمشی می‌توان اظهار نمود که تمامی نمونه‌ها رفتار نرمی را در حین بارگذاری از خود نشان داده‌اند. همچنین، متوسط لنگر خمشی و تانژانت سختی خمشی به ترتیب برابر $0/64$ کیلو نیوتن متر و $24/2$ کیلو نیوتن متر مربع بدست آمده‌اند. مجدداً، از معادلات (پ-۶) تا (پ-۸) موجود در قسمت (ت) پیوست برای محاسبات موجود در این بخش استفاده شد.

جدول ۳: نتایج حاصل از تست خمشی بامبو کارا

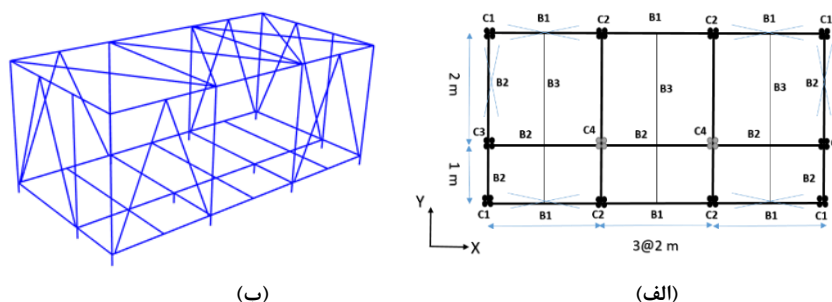
نوع نمونه	L (m)	a (m)	$I_b (m^4)$	$M_{ult} (KN.m)$	$F_{m,0} (KN/m^2)$	$E_{m,0} I_b (KN.m^2)$
K-1	1/24	0/41	$1/07 * E-7$	0/56	75179/9	15/9
K-2	1/25	0/42	$7/61 * E-8$	0/83	188243/4	15/1
K-3 کارا	1/21	0/40	$7/0 * E-8$	0/54	127954/8	37/4
K-4	1/24	0/41	$7/96 * E-8$	0/62	130023/2	37/2
K-5	1/23	0/41	$6/77 * E-8$	0/66	168384/9	15/3

۳-۳- مدلسازی، تحلیل و طراحی

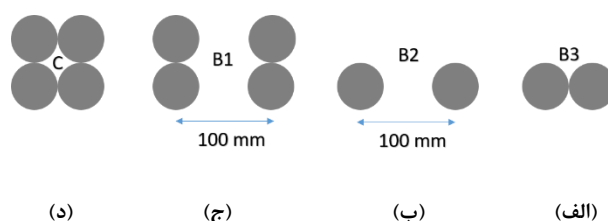
پلان سازه پیشنهادی در شکل (۱۱) به نمایش گذاشته شده است. این سازه دارای ابعاد، 3 متر عرض و 6 متر طول و همچنین $2/5$ متر ارتفاع می‌باشد. همچنین، چهار تیپ ستون در این پلان مشخص شده است که ستون‌هایی که با حرف C4 نمایش داده شده‌اند ارتفاعی برابر با $0/2$ متر دارند (از سطح زمین تا قسمت کف طبقه)، اما مابقی ستون‌ها

ارتفاعی برابر با ۲/۵ متر دارند. ستون‌های تیپ C1 در اطراف سازه قرار گرفته و اصطلاحاً ستون‌های گوشه نامیده می‌شوند. ستون‌های C2 و C3 نیز به ترتیب ستون‌های میانی در راستای طولی و عرضی می‌باشند. همچنین، تیرهای تیپ B1 در جهات طولی، تیرهای تیپ B2 در جهات عرضی و تیرهای تیپ B3 نیز جزو تیرهای فرعی در پلان مورد نظر قرار هستند. بادبندها در این پلان به صورت هشت پا باز طراحی و مدلسازی شدند. نوع قرار گیری ساقه‌های بامبو در ستون‌ها و تیرها در شکل (۱۲) نشان داده شده‌اند. نوع قرار گیری تیرها در اطراف ستون به شکل خورجینی معروف هستند. از طرفی، سقف سازه به علت بارش کم در منطقه مورد نظر به صورت سقف با شیب کم در نظر گرفته شد. مصالح اجزای غیر سازه‌ای همانند سقف و دیوار این سازه پیشنهادی، از جنس بامبو مورد نظر بوده و تاثیرات آنها (بار مرده و غیره) هنگام مدلسازی در نظر گرفته شده است. اجرای پوشش‌های سقف و دیوارها با عنوان میان قاب به گونه‌ای است که ضمن رعایت انسجام و یکپارچگی قاب اصلی اثری در تغییر سختی قاب ساختمانی نخواهد داشت.

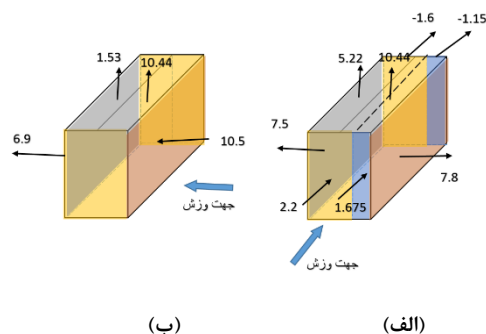
بار مرده کف برابر با ۵۵/۵ کیلوگرم بر متر، بار زنده ۲۰۰ کیلوگرم بر متر بار مرده سقف ۶۳/۷۵ کیلوگرم بر متر و بار زنده سقف ۱۵۰ کیلوگرم بر متر بار دیوار ۹۱/۸۷ کیلوگرم بر متر و همچنین بار برف ۰/۵۶ کیلو نیوتن بر متر مربع و بار باد بر حسب کیلو نیوتن در شکل (۱۳) به نمایش در آمده است. با توجه به این نکته که در حال حاضر هیچ آیین نامه یا استانداردی مبنی بر طراحی سازه‌های بامبویی به روش حدی در هیچ کشوری ارائه نشده است [۳۲] از این رو، روش بکارگرفته شده برای تحلیل و طراحی در این پژوهش روش تنش مجاز (ASD) می‌باشد. همچنین ترکیب بارهای تنش مجاز نیز به ترتیب جدول ۴ ارائه شده‌اند [۳۰]. مشخصات معرفی شده برای بامبو کارا که توسط آزمایش‌ها محاسبه شده‌اند در جدول ۵ به تفصیل بیان شده است. در تحلیل لرزه‌ای که به صورت تحلیل تاریخچه زمانی مورد بررسی قرار گرفت، سه زلزله بم، منجیل و تبس در دو امتداد متعامد مورد بررسی قرار گرفتند. زلزله‌های مورد بررسی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [۳۷] مقیاس شده‌اند. در شکل (۱۴-الف) طیف پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات به یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شده و سپس طیف شتاب هر سه زلزله نمایش داده شده است.



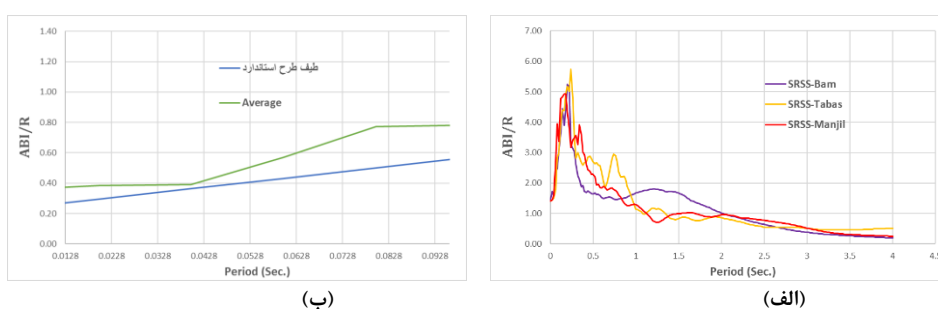
شکل ۱۱- (الف) پلان و (ب) نمای سه بعدی سازه در نرم افزار اپنسیس



شکل ۱۲- نحوه چیدمان (الف) تیر با تیپ B3، (ب) تیر با تیپ B2، (ج) تیر با تیپ B1 و (د) ستون



شکل ۱۳- نمای شماتیک، توزیع بار باد و شدت نیروها (کیلو نیوتن)، (الف) شمال به جنوب و (ب) شرق به غرب



شکل ۱۴- طیف زلزله (الف) جذر مجموع مربعات سه زلزله در دو جهت و (ب) مقایسه طیف خاک و طیف میانگین

جدول (۴) ترکیب بار

نام ترکیب بار	رابطه	نام ترکیب بار	رابطه
Comb1	DL	Comb11	$DL + 0.45We + 0.75LL + 0.75Lr$
Comb2	$DL + LL$	Comb12	$DL + 0.45We + 0.75LL + 0.75S$
Comb3	$DL + Lr$	Comb13	$DL + 0.45Wn + 0.75LL + 0.75Lr$
Comb4	$DL + S$	Comb14	$DL + 0.45Wn + 0.75LL + 0.75S$
Comb5	$DL + 0.75LL + 0.75Lr$	Comb15	$DL + 0.525Ex + 0.75LL + 0.75S$
Comb6	$DL + 0.75LL + 0.75S$	Comb16	$DL + 0.525Ey + 0.75LL + 0.75S$
Comb7	$DL + 0.6We$	Comb17	$0.6DL + 0.6We$
Comb8	$DL + 0.6Wn$	Comb18	$0.6DL + 0.6Wn$
Comb9	$DL + 0.7Ex$	Comb19	$0.6DL + 0.7Ex$
Comb10	$DL + 0.7Ey$	Comb20	$0.6DL + 0.7Ey$

جدول ۵: مشخصات مکانیکی بامبو حاصل از آزمایشات

واحد	نام
Kg	وزن
MPa	مقاومت فشاری

MPa	۱۳۹/۹۶	مقاومت خمشی
MPa	۱۰۳/۴۲	مقاومت کششی
MPa	۲/۶۳	مقاومت برشی
MPa	۲/۷۳	مقاومت برشی با بست شلنگی
MPa	۲۳۴۸۲	مدول الاستیسیته

میانگین جذر مجموع مربعات همراه با ضریب مقیاس زلزله و مقایسه آن با طیف طرح استاندارد (خاک تیپ سه) در شکل (۱۴-ب) نمایش داده شده است. دوره تناوب این سازه موقت پیشنهادی برابر با ۰/۰۶۴ ثانیه می باشد که با توجه به بند ۲-۵-۳ استاندارد ۲۸۰۰، مقدار متوسط طیف جذر مربعات بایستی طوری مقیاس شود که در فاصله زمانی $T = 0.2$ و $T = 1.5$ زیر خط طیف طرح استاندارد قرار نگیرد. ضرایب رفتار ساختمان و اهمیت ساختمان به ترتیب برابر با ۱/۶ و ۰/۸ می باشند [۳۱] و [۳۲].

۳-۳-۱- ضوابط آیین نامه

با توجه به بند G.12.10 آیین نامه NSR-10 [۳۱] و نسخه انگلیسی این آیین نامه [۳۲]، برای کنترل ظرفیت باربری المان‌ها از معادلات زیر استفاده شد. ابتدا، برای محاسبه تنش‌های مجاز از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\hat{F}_i = F_i C_D C_M C_t C_l C_r C_c \quad (1)$$

در این رابطه، F_i تنش‌های محاسبه شده از مطالعات آزمایشگاهی است که در جدول ۵ معرفی گردیده‌اند. در این جدول F'_c تنش مجاز فشاری، F'_b تنش مجاز خمشی، F'_t تنش مجاز کششی و F'_v تنش مجاز برشی می‌باشند. C_D مدت زمان بارگذاری، C_M میزان رطوبت، C_t دما، C_l پایداری جانبی المان، C_r عملکرد گروهی و C_c برش، مجموع ضرایب اصلاح این رابطه می‌باشند. این ضرایب به صورت تجمیعی در جدول 14.3 [۳۲] و همچنین جدول ۶ موجود می‌باشند. در جدول ۶، مقادیر تنش‌های مجاز استفاده شده در این پژوهش نیز بیان گردیده است. سپس، برای کنترل ظرفیت باربری المان‌ها از روابط (۲) و (۳) استفاده می‌شود. به این ترتیب که نایستی اثر ترکیبی تنش‌های داخلی هر یک از المان‌ها از یک بیشتر باشند.

$$\frac{f_t}{\hat{F}_t} + \frac{f_b}{\hat{F}_b} \leq 1 \quad (2)$$

$$\frac{f_c}{\hat{F}_c} + \frac{k_m f_b}{\hat{F}_b} \leq 1 \quad (3)$$

در معادله (۲)، f_t و f_b به ترتیب تنش کششی و خمشی اعمال شده بر روی المان، F'_t و F'_b مقاومت کششی و خمشی مجاز می‌باشند. در معادله (۳)، f_c تنش فشاری اعمال شده بر روی المان، F'_c مقاومت فشاری مجاز می‌باشد. همچنین، در زمان وقوع همزمان ممان خمشی و تنش فشاری، یک تنش خمشی مرتبه دوم که به اسم اثر پی-دلتا

معروف است رخ می‌دهد. به منظور محاسبه این اثر، تنش خمشی واقعی در یک ضریب تقویتی به نام ضریب k_m که از دو رابطه (۴) محاسبه می‌شود، ضریب می‌گردد. $E_{0.05}$ و N_a به ترتیب مدول پنج درصد و نیروی فشاری اعمالی بر المان هستند.

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5 \left(\frac{N_a}{N_{cr}} \right)}, N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{(kl_u)^2} \quad (۴)$$

در روابط (۴)، مقادیر $E_{0.05}$ و E_{min} از معادله زیر محاسبه

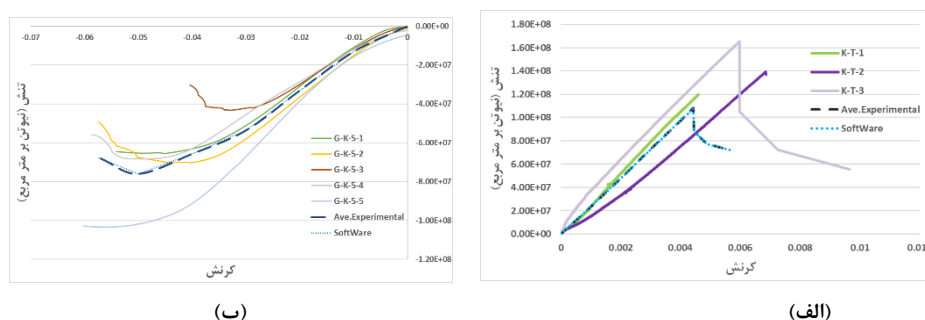
گردیده‌اند. در معادله (۵) که مطابق پیوسته آیین نامه کلمبیا NSR-10 (بخش 1.G.A) می‌باشند، مقدار کواریانس برابر با ۰/۱۶ در نظر گرفته شد.

$$E_{0.05} = E(1 - 1.645 COV_E), E_{min} = \frac{1.03 E_{0.05}}{1.66} \quad (۵)$$

به منظور ارزیابی و بررسی نتایج حاصل از آزمایشگاه، از برنامه بسیار قوی اپنسیس (OpenSees) استفاده شد. نمونه در نظر گرفته شده در مدلسازی نرم افزار به صورت یک تک ستون گیردار دو گره‌ای به ابعاد ۲۰۰ میلیمتر طول و دارای قطر خارجی ۴۷/۶ میلیمتر و قطر داخلی ۳۷/۱ میلیمتر می‌باشد. تمامی واحدهای اندازه‌گیری به صورت نیوتن، متر و ثانیه به نرم افزار معرفی شدند. نمای شماتیکی از نوع ستون مدلسازی شده در شکل (۱۵) به نمایش در آمده است. اطلاعات مصالحی که به برنامه معرفی گردید مطابق با جدول ۵ می‌باشند.



شکل ۱۵- نمای شماتیک ستون مدلسازی شده



شکل ۱۶- نتایج حاصل از اعتبار سنجی (الف) قسمت کششی و (ب) قسمت فشاری

جدول ۶: ضرایب اصلاح و تنش‌های مجاز

		f_b	f_t	f_c	f_v	E	$E_{0.05}$	E_{min}
C_D	ده سال	۱	۱	۱	۱			

C_M	٪۰/۱۵	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶
C_t	$T \leq 37'$	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
C_l	تیر و ستون	۱	-	-	-	-	-	-
C_r	-	۱	۱	۱	۱	-	-	-
C_c	-	-	-	-	-	۰/۹۳	-	-
		F_b	F_t	F_c	F_v			
تنش‌های مجاز (مگاپاسکال)		۱۲۰	۹۴/۱	۵۷/۹	۲/۴			

در ابتدای کار، برای معرفی منحنی تنش- کرنش در قسمت فشاری و کششی، میزان تغییر طول حاصل از نتایج آزمایشگاه را به صورت بی بعد تبدیل کرده (تبدیل به کرنش گردید) و در گام بعدی متوسط کرنش تمامی نمونه‌های گرفته شد. سپس تمامی نیروهای حاصل از آزمایش فشاری و کششی آزمایشگاه به تنش تبدیل و در نهایت متوسط تنش‌ها هم محاسبه و در گام بعدی ترسیم شدند. سپس در نرم افزار اپنسیس این منحنی تنش-کرنش به وسیله مصالح الاستیک چند خطی معرفی شد. برای مدلسازی مقطع از کد فایبرآو برای معرفی المان از کد المان غیر خطی تیر و ستون^۳ استفاده شد. به منظور مدلسازی بست های شلنگی فلزی در نواحی نزدیک به اتصالات چند گره ایجاد و سپس از مشخصات مربوطه برای مدلسازی المان همان نواحی مطابق جدول ۶ استفاده گردید.

از شکل (۱۶) می توان دریافت که، نتایج حاصل از نرم افزار اپنسیس دارای درصد خطای بسیار ناچیزی (در حدود ۰/۰۰۱) نسبت به نتایج آزمایشگاهی است، به عبارت دیگر نتایج نرم افزار بسیار شبیه به نتایج آزمایشگاه شده است. G- K-5-1 تا G-K-5-5 نمونه‌های استفاده شده بامبو کارا در این آزمایش فشاری و K-T-1، K-T-2 و K-T-3 نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش کششی می‌باشند.

۳-۴- نتایج مدلسازی

در معادلات (۲) و (۳)، می‌بایست تمامی نتایج حداکثر نسبت تقاضا به ظرفیت باربری المان‌ها، از مقدار ۱ کمتر باشند. حال، با توجه به نتایج کنترل ظرفیت المان‌ها که در جدول ۷ بیان شده است، مشخص است که تمامی نتایج بسیار کوچکتر از مقدار ۱ شده و در نتیجه، نتایج بسیار مطلوب هستند. به عنوان نمونه برای ستون‌ها میزان تقاضا به ظرفیت المان نسبت به حد مجاز آیین نامه به میزان ۹۷/۲٪ مطلوب‌تر ارزیابی شده‌اند. در جدول ۷ همچنین ترکیب بار مربوط به حداکثر میزان نسبت تقاضا به ظرفیت در هر المان معرفی شده است. با توجه به ترکیب بارهای معرفی شده و همچنین پیشنهادات آیین نامه‌ها برای سازه های موقت، می‌توان دریافت که بار باد به این سازه نسبت به بار لرزه‌ای غالب شده است. همچنین ذکر این نکته که ساقه بامبو در مقابل تنش‌های برشی بسیار ضعیف هستند، در بند G.12.8.11.2 آیین نامه NSR-10، نسبت حداکثر تنش برشی اعمالی بر المان به تنش برشی مجاز نایستی بیشتر از ۱ باشد. از این رو، در جدول ۷ نیز این موضوع مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بیانگر مقاومت مناسب المان‌ها در مقابل تنش‌های برشی است. به منظور دستیابی به مقاومت تنش برشی بهتر به خصوص در محل اتصالات، از بست های شلنگی فلزی در نواحی نزدیک به اتصالات استفاده گردید. استفاده از بست های شلنگی فلزی همانطور که در بخش

¹ UniaxialMaterial ElasticMultiLinear

² Section Fiber

³ Element nonlinearBeamColumn

های قبلی بیان گردید، باعث جلوگیری از گسترش ترک‌ها به خصوص ترک‌های طولی در راستای المان می‌شود. این عمل باعث افزایش قابل توجه مدت زمان بهره برداری از سازه نیز می‌گردد. با توجه به داده های جدول ۷ مربوط به نسبت تنش‌های برشی همراه با بست شلنگی و بدون بست شلنگی، واضح است که نتایج نسبت تنش‌ها در حالت همراه با بست شلنگی فلزی در حدود ۳/۴٪ مطلوب‌تر از حالتی است که اتصالات به بدون استفاده از این بست‌ها انجام شوند. یکی دیگر از موارد بسیار مهم در پیشنهاد و طراحی یک سازه جدید، بررسی هزینه‌های تمام شده ساخت و ساز طرح مورد نظر است. اما، با توجه به این که آیتم‌های مربوط به کارهای بامبو در فهرست بهای ابنیه ایران ارائه نشده است و هیچ منبع خاصی نیز برای این ارزیابی موجود نمی‌باشد، از تجربیات و اطلاعات سازندگان سازه های موقت، استفاده گردید. در جدول ۸ یک مقایسه کلی در مورد هزینه‌های برآورد شده ساخت یه سازه موقت همانند یک کانکس با ابعاد برابر با سازه پیشنهادی بحث شده در این پژوهش، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس اطلاعات جدول، قیمت هر مترمربع بر حسب میلیون تومان در زمان انجام این پژوهش (۱۳۹۹ هجری شمسی) برای انواع سازه‌های مورد بررسی قرار داده شده است. سازه موقت از جنس ورق سایدینگ و ساندویچ پنل جزو گرانیقیمت‌ترین دسته‌های موجود می‌باشند (با قیمتی بیش از به ۷۰ میلیون تومان برای یک سازه موقت ۱۸ متر مربعی). ارزانتین سازه از جنس فولاد برای سازه موقت از جنس پروفیل آهن می‌باشد، که البته به خاطر نحوه و مدل ساخت و کیفیت مصالح از محبوبیت چندانی برخوردار نمی‌باشد. سازه پیشنهادی در این طرح با قیمت هر متر مربع مابین ۷۲۰ تا ۸۳۰ هزار تومان گزینه بسیار مناسبی به نظر می‌رسد. این سازه به علت استفاده از مصالح گیاهی از لحاظ زیبایی، دوستدار محیط زیست بودن، تجزیه پذیر بودن و هزینه‌های بسیار کمتر در طراحی و ساخت نسبت به سایر مصالح (حدود ۶۰٪ نسبت به پروفیل آهن - ۸۰٪ نسبت به ساندویچ پنل) ارجح‌تر می‌باشد. از این رو، برای سازندگان در سالهای اخیر در بسیاری از کشورهای دنیا بسیار مجذوب کننده بوده‌است. با توجه به ماهیت تجزیه پذیری بالای بامبو به عنوان مصالح دوستدار محیط زیست در مقایسه با مصالح فولادی و بتنی، اسقاط و برچیدن این سازه به صورت دفن در طبیعت صورت پذیرفته و هزینه ناچیزی در برداشته، البته صرف نظر از هزینه برچیدن (۳٪ قیمت اولیه)، اجزای سازه بامبویی شامل اتصالات فلزی (در حدود ۱۰٪ کل مصالح) و بامبوهای سالم (۱۰٪ کل مصالح از جنس بامبو و در صورت بهره گیری از فرآوری بامبو در حدود ۵۰٪ این مقدار می‌باشد) قابل استفاده برای اهداف دیگر می‌تواند باشد و بخشی از آورده مالی از هزینه اسقاطی خواهد بود. اما، هزینه اسقاطی سایر موارد نظیر کانکس فلزی بعد از کسر هزینه برچیدن (۵ درصد قیمت اولیه) آورد مالی (حداقل ۷۰ درصد قیمت اولیه) به پروژه خواهد داشت.

۴- نتیجه گیری

بامبو موجود در ایران همانند بامبوهای موجود در سایر کشورها به نسبت قطر خارجی یکسان با توجه به نتایج حاصل از آزمایشگاه، دارای مقاومت‌های برشی، کششی، فشاری و خمشی تقریباً یکسانی هستند. از طرفی با توجه به نتایج حاصل شده از تست‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها، بامبو کارا دارای مقاومت فشاری برابر با ۶۶/۵ مگاپاسکال است که به میزان ۱۶۰٪ از بتن متداول مقاومت بیشتری در فشار دارد. همچنین مقاومت کششی و خمشی بامبو کارا به ترتیب برابر با ۱۰۳/۴۲ و ۱۳۷/۹۶ مگاپاسکال شده‌اند. مقاومت کششی بامبو به میزان تقریبی ۵۰٪ کمتر از فولاد ST-37 برآورد شده است.

جدول ۷: نتایج خروجی مدلسازی

دسته	تیپ	طول (متر)	نسبت تقاضا به ظرفیت	ترکیب بار	نسبت تنش برشی	نسبت تنش برشی با بست فلزی
ستون	C1	۲/۵	۰/۰۲۸	Comb8	۰/۴۲۶۱	۰/۴۱۱۵
ستون	C2	۲/۵	۰/۰۲۸	Comb8	۰/۴۲۶۱	۰/۴۱۱۵
ستون	C3	۲/۵	۰/۰۲۸	Comb8	۰/۴۲۶۱	۰/۴۱۱۵
تیر	B1	۱	۲/۹۴*E-۶	Comb18	۰/۲۶۳۱	۰/۲۵۴۱
تیر	B2	۲	۴/۷۱*E-۴	Comb12	۰/۴۴۱۲	۰/۴۲۶۲
بادبند	راستای X	۲/۴۷	۰/۰۱۶	Comb18	-	-
بادبند	راستای Y	۲/۴۷	۰/۰۰۹	Comb15	-	-

جدول ۸: برآورد هزینه‌های ساخت

نوع	جنس	طول (متر)	عرض	قیمت (متر مربع)	قیمت کلی (میلیون تومان)
	پروفیل ورق آهن	۶	۳	۲-۱/۸	۳۶-۳۲
	ساندویچ پنل	۶	۳	۴-۳/۷	۷۲-۶۶
	ورق سایدینگ	۶	۳	۴/۳-۴	۷۷-۷۲
سازه موقت	سایدینگ و گالوانیزه	۶	۳	۳/۵-۳/۲	۶۳-۵۷
	ورق گالوانیزه	۶	۳	۲/۵-۲/۲	۴۵-۴۰
	بامبو	۶	۳	۰/۸۳-۰/۷۲	۱۵-۱۳

هزینه تمام شده ساخت یک سازه موقت بامبو از نظر اقتصادی نسبت به نمونه فولادی در حدود ۶۰٪ مقرون به صرفه‌تر ارزیابی شده است [۲۷] و (اطلاعات حاصل از ارزیابی‌های میدانی سال ۱۳۹۹ هجری شمسی). از تحلیل نتایج مدلسازی یک سازه از جنس بامبو مشخص گردید که نسبت تقاضا به ظرفیت در ستون‌ها و تیرها نسبت به حد مجاز آیین نامه کلمبیا [۳۱] به ترتیب به میزان ۹۷/۲٪ و ۹۹/۹۵٪ کمتر شده‌اند. در مورد تنش‌های برشی نیز تنش‌های ستون‌ها و تیرها نسبت حد مجاز آیین نامه به ترتیب به میزان ۵۷/۳۹٪ و ۶۴/۷۸٪ مطلوب‌تر بوده‌اند. از طرفی، با توجه به نتایج بدست آمده از بخش تحلیل سازه با نرم افزار و همچنین تست‌های آزمایشگاهی، استفاده از بست‌های شلنگی فلزی بخصوص در نواحی نزدیک به اتصالات، باعث افزایش ۳/۴٪ مقاومت برشی المان شده است و استفاده از این بست در این ناحیه بسیار تاکید می‌گردد. با استفاده از بست شلنگی در اتصالات سازه پیشنهادی، حاشیه ایمنی اتصال در برابر مود گسیختگی غالب که در اتصالات متداول از نوع برشی می‌باشد، افزوده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت بار باد، بار جانبی غالب بر سازه بوده و بایستی در طراحی مورد توجه قرار بگیرد. در سازه سبز موقت پیشنهادی با توجه به درجه اهمیت پایین سازه، تعداد کم طبقات (یک طبقه)، نوع باربری و نسبت بسیار کم تقاضای ناشی از ترکیب بارها به

ظرفیت مجاز آیین نامه‌ای، استفاده از مصالح گیاهی قابل بازیافت، دوستدار محیط زیست و ارزان قیمت همانند بامبو نسبت به مصالح گران قیمتی که باعث به وجود آمدن مخاطرات جدی برای طبیعت می‌شوند، همانند بتن و فولاد، ارجعیت دارند. و این سازه می‌تواند جایگزین مناسبی برای سازه‌های موقت از جنس فولاد و بتن در نظر گرفته شود.

۵- پیوست

الف- آزمایش فشاری

مقاومت فشاری موازی با فیبرها ($F_{c,0}$)، بایستی به روش زیر محاسبه شود.

$$F_{c,0} = \frac{F_{ult}}{A} \quad (پ-۱)$$

که در فرمول بالا، A مساحت سطح مقطع نمونه بر حسب میلیمتر مربع و F_{ult} برابر با حداکثر باری که باعث شکست نمونه می‌شود و بر حسب نیوتن می‌باشد. مدل الاستیسیته فشاری موازی با فیبر بامبو ($E_{c,0}$)، به عنوان خط متقاطع بین منحنی تنش و کرنش در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} محاسبه می‌شود.

$$E_{c,0} = \frac{F_{60} - F_{20}}{A(\varepsilon_{60} - \varepsilon_{20})} \quad (پ-۲)$$

در فرمول بالا، F_{60} و F_{20} به ترتیب بارهای اعمالی بر حسب نیوتن در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} می‌باشند. و همچنین ε_{20} و ε_{60} کرنش‌های محاسبه شده توسط گيج کرنشی دستگاه، به ترتیب در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} می‌باشند.

ب- آزمایش برشی

طول نمونه، و ضخامت دیواره در هر صفحه برشی با دقت ۰/۱ mm را اندازه‌گیری می‌شوند. نیروی برشی موازی در جهت فیبر F_v بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_v = \frac{F_{ult}}{\sum(\delta L)} \quad (پ-۳)$$

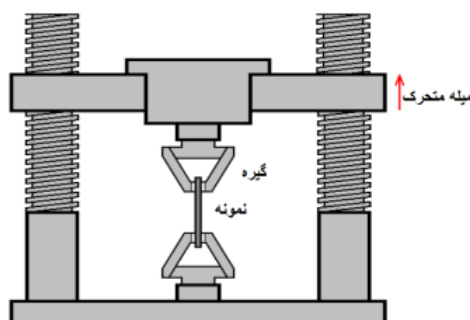
در این رابطه، F_{ult} بار نهایی که باعث شکست نمونه‌ها می‌شود و بر حسب نیوتن، $\sum(\delta L)$ مجموع چهار ناحیه اندازه‌گیری شده در صفحه برشی بر حسب میلی متر مربع است. بعید است که شکست در هر چهار صفحه به طور همزمان رخ دهد. بنابراین، F_v به عنوان یک نیرو کران پایین تعبیر می‌شود. تعداد نمونه‌های در نظر گرفته شده در این تست نیز مشابه تست فشاری است



شکل ۱۷- شکل شماتیک دستگاه تست برشی

پ- آزمایش کششی

تست‌های کششی به موازات فیبر باید بر روی نمونه‌های شعاعی گرا با ابعاد سطح مقطع مستطیل شکل با عرض برابر ضخامت دیواره‌ی شکاف (δ)، و عرض (b) برابر با نیمی از ضخامت دیواره‌ی شکاف یا کمتر باشد. عرض نمونه نباید از ۲۰ میلی متر تجاوز کند. نمونه‌ها باید شامل یک نود باشند، که در داخل محیط گیج اندازه‌گیری باشد (کرنش توسط یک اکستنومتر مکانیکی نصب شده بر روی نمونه اندازه‌گیری می‌شود). طول گیج باید بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر باشد. که در این آزمایش این طول ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۸- شکل شماتیک دستگاه تست کششی

مقاومت کششی موازی با فیبر $F_{t,0}$ می‌بایست از فرمول زیر محاسبه شود.

$$F_{t,0} = \frac{F_{ult}}{A_g} \quad (\text{پ-۴})$$

در فرمول (پ-۴)، F_{ult} حداکثر بار کششی بر حسب نیوتن که باعث شکست نمونه می‌شود و همچنین A_g متوسط مساحت سطح مقطع نمونه در داخل بخش گیج دستگاه می‌باشد. مدل الاستیسیته کششی موازی با فیبر بامبو ($E_{t,0}$)، به عنوان خط متقاطع بین منحنی تنش و کرنش در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} محاسبه می‌شود.

(پ-۵)

$$E_{t,0} = \frac{F_{60} - F_{20}}{A_g(\varepsilon_{60} - \varepsilon_{20})}$$

در فرمول (پ-۵)، F_{60} و F_{20} به ترتیب بارهای اعمالی بر حسب نیوتن در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} می‌باشند. و همچنین ε_{20} و ε_{60} کرنش‌های محاسبه شده توسط گنج کرنشی دستگاه، به ترتیب در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} می‌باشند.

ت- آزمایش خمشی

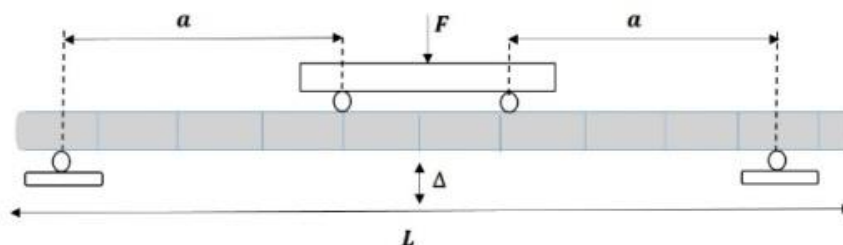
برای شکست‌های خمشی که در منطقه لنگر ثابت رخ می‌دهد، لنگر خمشی نهایی M_{ult} ، از رابطه (پ-۶) محاسبه می‌شود.

$$M_{ult} = \frac{F_{ult} \times a}{2} \quad (\text{پ-۶})$$

$$f_{m,0} = \frac{M_{ult} \times D}{2I_B} \quad (\text{پ-۷})$$

$$E_{m,0} I_B = \frac{(F_{60} - F_{20}) \cdot a(3L^2 - 4a^2)}{48(\Delta_{60} - \Delta_{20})} \quad (\text{پ-۸})$$

تنش خمش موازی در جهت فیبر $f_{m,0}$ بر اساس رابطه (پ-۷) محاسبه می‌شود. در این رابطه، M_{ult} لنگر خمشی نهایی بر حسب نیوتن میلی‌متر، D قطر خارجی ساقه بامبو که از نزدیکی نقطه شکست بر حسب میلی‌متر محاسبه می‌شود؛ I_B لنگر دوم سطح (ممان اینرسی) از قطر و ضخامت دیواره به دست آمده از نزدیکی نقطه شکست بر حسب میلی‌متر به توان چهارم (mm^4) محاسبه شد. تانژانت سختی خمشی ساقه $E_{m,0} I_B$ با شیب قسمت خطی نمودار بار-تغییر شکل تعریف شده بین ۲۰٪ و ۶۰٪ ظرفیت نهایی تعریف شده است و از رابطه (پ-۸) محاسبه می‌شود. در رابطه (پ-۸)، F_{60} و F_{20} به ترتیب بارهای اعمالی بر حسب نیوتن در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} می‌باشند. و همچنین Δ_{60} و Δ_{20} کرنش‌های محاسبه شده توسط گنج کرنشی دستگاه در وسط دهانه بر حسب میلی‌متر، به ترتیب در ۲۰٪ و ۶۰٪ F_{ult} می‌باشند. در شکل (۱۹)، L طول کل ساقه آماده شده برای آزمایش بر حسب میلی‌متر و همچنین $10a = D$ طول دهانه برش بر حسب میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱۹- شکل شماتیک دستگاه تست خمشی

⁴ Ultimate capacity

منابع

- [1]. Kebnanews, (20221), Temporary housing is a current problem for the people of Sisakht. [online] Available at: <https://www.Kebnanews.ir> [Accessed 21. 2. 2021].
- [2]. Tasnimnews, (2021), Temporary accommodation in the quake-hit city of Sisakht is not the answer. [online] Available at: <https://www.tasnimnews.ir> [Accessed 28. 2. 2021].
- [3]. Pana, (2021), Temporary accommodation of more than 8,000 flood and snow victims in Golestan. [online] Available at: <https://www.pana.ir> [Accessed 23. 3. 2019].
- [4]. Mesghari, Hoshyar. Zarghar, H.Ebrahim & Falahi. (2019). Temporary housing model based on grounded theory method (Case study: Sarpol-e-Zahab city after 1396 earthquake). Environ. Hazards Manage, 6(3), 287-300.
- [5]. Atraj, Razie. Mahdipour, hossein. (2019). Investigating the effect of temporary housing model on residents' sense of security (Case study of Sarpol-e Zahab earthquake in Kermanshah in 2017). National Conference on Contemporary Iranian Architecture and Urban Planning, Ahvaz, 1-15.
- [6]. Azadeh, A. (2018). *Dendrocalamus Giganteus Bamboo* (Doctoral dissertation, PUC-Rio).
- [7]. Liese, W. (1992, December). The structure of bamboo in relation to its properties and utilization. In Zhu, S., Li, W., Zhang, X. Wang, Z. ed., *Bamboo and its use*. Proceedings of the International symposium on Industrial Use of Bamboo, Beijing, China (pp. 7-11).
- [8]. Ghavami, K. (2005). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and concrete composites*, 27(6), 637-649.
- [9]. Nogata, F., & Takahashi, H. (1995). Intelligent functionally graded material: bamboo. *Composites Engineering*, 5(7), 743-751.
- [10]. Amada, S., Ichikawa, Y., Munekata, T., Nagase, Y., & Shimizu, H. (1997). Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo. *Composites Part B: Engineering*, 28(1-2), 13-20.
- [11]. Amada, S., & Untao, S. (2001). Fracture properties of bamboo. *Composites Part B: Engineering*, 32(5), 451-459.
- [12]. Li, S. H., Zeng, Q. Y., Xiao, Y. L., Fu, S. Y., & Zhou, B. L. (1995). Biomimicry of bamboo bast fiber with engineering composite materials. *Materials Science and Engineering: C*, 3(2), 125-130.
- [13]. Moran, R., Webb, K., Harries, K., & García, J. J. (2017). Edge bearing tests to assess the influence of radial gradation on the transverse behavior of bamboo. *Construction and Building Materials*, 131, 574-584.
- [14]. Villegas, L., Morán, R., & García, J. J. (2015). A new joint to assemble light structures of bamboo slats. *Construction and Building Materials*, 98, 61-68.
- [15]. Ashby, M. F., & Cebon, D. (1993). Materials selection in mechanical design. *Le Journal de Physique IV*, 3(C7), C7-1.
- [16]. Wegst, U. G. K., Shercliff, H. R., & Ashby, M. F. (1993). The structure and properties of bamboo as an engineering material.
- [17]. Lakkad, S. C., & Patel, J. M. (1981). Mechanical properties of bamboo, a natural composite. *Fibre science and technology*, 14(4), 319-322.
- [18]. Van der Lugt, P., Van den Dobbelsteen, A. A. J. F., & Janssen, J. J. A. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and building materials*, 20(9), 648-656.
- [19]. Chung, K. F., & Yu, W. K. (2002). Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Engineering structures*, 24(4), 429-442.
- [20]. Yu, W. K., Chung, K. F., & Chan, S. L. (2005). Axial buckling of bamboo columns in bamboo scaffolds. *Engineering Structures*, 27(1), 61-73.
- [21]. Yao, W., & Li, Z. (2003). Flexural behavior of bamboo-fiber-reinforced mortar laminates. *Cement and concrete research*, 33(1), 15-19.
- [22]. Janssen, J. J. (2000). *Designing and building with bamboo* (pp. 130-133). Netherlands: International Network for Bamboo and Rattan.
- [23]. Minke, G. (2012). *Building with bamboo: design and technology of a sustainable architecture*. Walter de Gruyter.
- [24]. Van der Lugt, P., Van den Dobbelsteen, A. A. J. F., & Janssen, J. J. A. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and building materials*, 20(9), 648-656.
- [25]. Gatóo, A., Sharma, B., Bock, M., Mulligan, H., & Ramage, M. H. (2014, October). Sustainable structures: bamboo standards and building codes. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (Vol. 167, No. 5, pp. 189-196). Thomas Telford Ltd.
- [26]. Paraskeva, T., Pradhan, N. P., Stoura, C. D., & Dimitrakopoulos, E. G. (2019). Monotonic loading testing and characterization of new multi-full-culm bamboo to steel connections. *Construction and Building Materials*, 201, 473-483.
- [27]. Taufani, A. R., & Nugroho, A. S. B. (2014). Proposed bamboo school buildings for elementary schools in Indonesia. *Procedia Engineering*, 95, 5-14.
- [28]. National Mission on Bamboo Applications, Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC). (2006). *Preservation of Bamboo: Training Manual TM 05 07/06*. Department of Science and Technology, Government of India.
- [29]. Liese, W. (2002). *Preservation of Bamboo in Service*. Chair for Wood Biology, Hamburg University, Germany. Disponível em: <<http://www.emissionzero.net/W.%20Liese>>.
- [30]. Kelechava, B. (2018). International Building Code (ICC IBC-2018). American National Standards Institute Blog, available at: <<https://blog.ansi.org/2017/11/2018-international-building-code-icc-ibc/#:~:text=last%20visited%20March%2020%2C%202019>>. Google Scholar.
- [31]. Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. (2017). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

- [32]. Harries, K. A., & Sharma, B. (Eds.). (2019). *Nonconventional and vernacular construction materials: Characterisation, properties and applications*. Woodhead Publishing.
- [33]. ISO. "International Standard ISO 22157-1: 2019 (E), Bamboo–determination of physical and mechanical properties–Part I: Requirements." (2019).
- [34]. Deng, J., Chen, F., Wang, G., & Zhang, W. (2016). Variation of parallel-to-grain compression and shearing properties in moso bamboo culm (*Phyllostachys pubescens*). *BioResources*, 11(1), 1784-1795.
- [35]. Ameldi, F., Budi, A. S., & Supardi, S. (2014). KAJIAN KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANGAN BAMBU PETUNG TAKIKAN TIPE V DENGAN JARAK 2 CM DAN 3 CM. *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 173-181. Purnomo M. Perilaku Mekanika Struktur Portal Bambu untuk Rumah Susun Sederhan. Master Thesis. Civil and Environmental Engineering Department. Faculty of Engineering. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta; 2001.
- [36]. PURNOMO, M. (2001). Perilaku mekanika struktur portal bambu untuk rumah susun sederhana (Doctoral dissertation, [Yogyakarta]: Universitas Gadjah Mada).
- [37]. No, Standard. "2800 "Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings"." forth Revision, Building and Housing Research Center, Tehran (2014).