

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

گزارش پایانی علمی و فنی پروژه:

تجهیز آزمایشگاه

کنترل کیفیت قابهای جداره های شفاف ساختمانی



بهمن ۱۳۸۲

باسمه تعالی

گزارش پایانی علمی فنی پروژه

"تجهیز آزمایشگاه کنترل کیفیت قاب‌های جداره‌های شفاف ساختمانی"

پیش‌گفتار

نفوذ هوای محیط به داخل ساختمان‌ها یا خروج هوای داخل ساختمان‌ها به محیط خارج از ساختمان از نظر مصرف انرژی بسیار مهم می‌باشد. به گونه‌ای که اگر درزبندی قسمت‌های ثابت یا بازشو از در و پنجره‌های خارجی ساختمانها مناسب نباشد، میزان تعویض و تهویه هوا افزایش یافته و باعث افزایش مصرف انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش خواهد شد. اطلاع از میزان هوابندی درها و پنجره‌ها برای کلاس بندی آنها لازم می‌باشد و علاوه بر اطلاع رسانی به خریدار و ایجاد سهولت در انتخاب در و یا پنجره مورد نیاز، انجام محاسبات دقیق تاسیساتی ساختمان و تصمیم‌گیری در مورد انتخاب صحیح سیستم‌های تاسیساتی را ممکن می‌سازد.

نفوذ آب از درزهای موجود پنجره‌ها و درها و سایر اجزاء پوشش خارجی ساختمان یعنی از فاصله بین قاب‌ها و قسمت‌های بازشو و محل نصب شیشه‌ها در اثر بارش باران توام با باد و طوفان نیز اثرات نامطلوبی دارد. از جمله این اثرات کمک به فرآیند خوردگی و زنگ زدگی پنجره‌های فولادی و یا قسمت‌ها و اجزای داخلی انواع در و پنجره‌های مونتاژ شده می‌باشد. نفوذ آب همچنین موجب کثیفی سمت داخلی این مجموعه‌ها شامل شیشه و قاب و همچنین اطراف محل نصب آنها از جمله نازک کاری دیوارها و تخریب تدریجی آنها می‌شود. بمنظور کنترل تولیدات و اعمال استانداردها و ارزیابی کیفیت پنجره‌ها آگاهی از حد آب‌بندی آنها در شرایط واقعی کاری ضروری می‌باشد.

طراحی و ساخت دستگاهی که بتوان با استفاده از آن کیفیت در و پنجره ها و یا سایر اجزای ساختمانی از نظر میزان نفوذ هوا و مقاومت در برابر نفوذ آب باران را ارزیابی نمود، قدم مهمی در سطح ملی است که برای اولین بار در ایران در این پروژه برداشته شد. در نتیجه این اقدام، زمینه اعمال قوانین و استانداردهای مربوط به این اجزای ساختمانی که برای صرفه جویی انرژی و یا مقاصد دیگر تدوین شده اند، فراهم شد.

۱- مقدمه

همزمان با پیشرفت پروژه چهار گزارش مرحله ای ارائه شده است. با عنایت به تکمیل مراحل طراحی و ساخت دستگاه آزمایش، گزارش نهائی و تفصیلی انجام پروژه در اردیبهشت ۱۳۸۲ تقدیم شد. بنا به درخواست مرکز محترم تحقیقات ساختمان و مسکن در زمان تحویل دستگاه، این گزارش تحت عنوان گزارش علمی فنی به شرح بخشهای بعدی ارائه می شود. در این گزارش شرح کامل تری از مبانی علمی طراحی ها و اطلاعات فنی مربوط به دستگاه داده شده است.

۲- اهداف

در این پروژه به همت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و با پشتیبانی سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور طراحی و ساخت دستگاهی برای انجام آزمایش های هوابندی و آب بندی در و پنجره ها و سایر اجزای خارجی ساختمان مطابق خواستهای ذکر شده در بندهای الف و ب زیر انجام شد. طراحی و ساخت چنین دستگاهی که مزایای بسیاری در مقایسه با نمونه های گران قیمت خارجی دارد برای اولین بار در ایران انجام گردید. شاید بهتر بود از ابتدای تعریف پروژه عنوانی بهتر از "تجهیز

آزمایشگاه کنترل کیفیت قابهای جداره‌های شفاف ساختمانی ” انتخاب می‌شد، چرا که این عنوان بیان‌کننده مقصود از کیفیت نیست و منظور از پروژه که طراحی و ساخت است را به روشنی بیان نمی‌دارد.

الف- آزمایش هوابندی

اندازه‌گیری میزان عبور هوا از قسمت‌های مختلف در و پنجره‌ها و سایر اجزای پوشش خارجی ساختمان که در اندازه و شکل‌های مختلف تولید می‌شوند در شرایطی که فشار استاتیک یک طرف آنها از طرف دیگر بیشتر باشد. بطور کلی تفاوت فشار در دو سوی یک در یا پنجره می‌تواند ناشی از وزش باد یا به هر دلیل دیگر باشد. طراحی دستگاه آزمایش برای شرایطی انجام شده است که دمای هوا در دو طرف نمونه مورد آزمایش یکسان باشد ولی فشار استاتیک در طرف خارجی از طرف دیگر بیشتر باشد.

ب- آزمایش آب‌بندی

اندازه‌گیری میزان مقاومت در و پنجره‌ها و سایر اجزای پوشش خارجی ساختمان از نظر عبور آب باران از درزهای قسمت‌های مختلف آنها در شرایطی که فشار استاتیک طرف خارجی از طرف داخلی بیشتر بوده و آب به صورت یکنواخت بر روی طرف خارجی پاشیده شود.

در طراحی دستگاه آزمایش امکان انجام آزمایش آب‌بندی به دو روش مختلف مورد نظر بوده است. در روش اول در طرف خارجی نمونه آزمایش فشار به طور ثابت از طرف داخلی اندکی بیشتر می‌باشد که البته مرحله به مرحله و بصورت پله‌ای افزایش می‌یابد. در روش دوم که مدل‌سازی بهتری از شرایط واقعی می‌باشد، در طرف خارجی نمونه فشار به طور متناوب از طرف داخلی بیشتر می‌باشد (بارش باران توام با باد غیر مداوم). یعنی در سیکل‌های متعدد فشار طرف خارجی در یک

فاصله زمانی از طرف داخلی بیشتر و در فاصله زمانی بعد مساوی طرف داخلی خواهد بود. تعداد و چگونگی این سیکلها در استانداردهای مختلف خارجی و در استاندارد ایرانی مشخص شده است.

۳- شرح خلاصه ای از کارهای اجرایی انجام شده

به منظور طراحی و ساخت دستگاه و با توجه به اهداف ذکر شده همزمان با بررسیهای تحقیقاتی و طراحی اجزای مختلف دستگاه امور اجرایی دیگر شامل تامین مالی و سفارش و خرید تجهیزات و عقد قراردادهای ساخت انجام شدند. از جمله به مرور نسبت به سفارش و خرید تجهیزات و لوازم و مدارک نرم افزاری زیر اقدام گردید:

- استانداردهای مختلف داخلی و خارجی و منابع دیگر

- دو دستگاه کامپیوتر

- فن سانتریفیوژ

- لولههای پلی اتیلن شبکه پاشش آب و اتصالات لازم

- رتامتر برای دبی آب صفر تا سه لیتر بر دقیقه

- رتامتر برای دبی آب تا سی لیتر بر دقیقه

- پمپ آب

- نازلهای پاشش آب

- قطعه برنجی اتصال نازلها

- شیرهای گازی

- مواد اولیه ساخت سازه اصلی (پروفیل و آهن آلات)

- چرخهای حمل دستگاه
- ورق آرتلون(تفلون) برای دیواره آزمایش
- ورق گالوانیزه و سیم جوش برای ساخت کانالهای انتقال هوا
- جرثقیل برقی
- قاب و ورق آلومینیمی
- تجهیزات کنترلی و اندازه گیری شامل:
 - ۱- واحد مانیتورینگ قابل برنامه ریزی
 - ۲- واحد کنترل قابل برنامه ریزی
 - ۳- ترانسمیتر رطوبت و دما
 - ۴- ترانسمیتر اختلاف فشار
 - ۵- بارومتر برای اندازه گیری فشار هوای محیط آزمایشگاه
 - ۶- سرو موتور دور متغیر
 - ۷- واحد کنترل سرو موتور
 - ۸- واحد کنترل باس جریان
 - ۹- تجهیزات کابل کشی سیستم کنترلی
 - ۱۰- مدارک فنی و نرم افزار مونیتورینگ
 - ۱۱- تابلو کنترل شامل منبع تغذیه ۲۴ ولت
 - ۱۲- سایر وسایل و تجهیزات لازم

لازم به ذکر است که برای هر نوع از تجهیزات خریداری شده، بسته به طراحی و شرایط لازم از نظر وظیفه و دقت، ابتدا مشخصات لازم تعیین گردید و سپس ضمن تماس با شرکتهای داخلی یا نمایندگان شرکتهای خارجی نسبت به اخذ اطلاعات فنی اقدام و با مقایسه عملکرد و قیمت سفارش خرید صورت گرفت. توضیحات لازم مربوط به طراحی و چگونگی انتخاب تجهیزات مختلف در بخش خدمات مهندسی داده شده است.

۴- خدمات مهندسی

۴-۱ استنباط مفهومی از استانداردهای موجود خارجی و داخلی

با بررسیهای بعمل آمده و ضمن مراجعه به موسسه استاندارد و کتابخانههای مختلف و شرکتهای تهیه کننده استاندارد و از طریق اینترنت تعداد زیادی استاندارد خارجی و داخلی که در بررسیهای اولیه مربوط تشخیص داده شد تهیه گردید و سپس نسبت به تکمیل نیاز به استانداردهایی که کاملاً مرتبط با موضوع پروژه بودند اقدام گردید. لیست زیر فقط شماره تعدادی از استانداردهای مربوط به روش انجام آزمایشها و شرایط دیگر مربوط به اهداف این پروژه می باشند. این استانداردها عبارتند از:

قسمت اول: استانداردهای مربوط به آزمون هوا بندی

الف: استاندارد ملی ایران شماره های ۴۳۴۷ و ۴۳۴۸

ب: انستیتو استاندارد بریتانیا (BSI) شماره های BS 5368 Part 1 و BS6375 Part 1

ج: استاندارد انجمن تست مواد امریکا (ASTM) شماره E 283-91

د: استاندارد DIN شماره DIN EN 1026

ه: موسسه بین المللی استاندارد (ISO) شماره‌های ISO 6613 و ISO 8272

و: استاندارد UL و استاندارد ملی امریکا شماره (ANSI/UL 1784-1995) UL 1784

قسمت دوم: استانداردهای مربوط به آزمون آب بندی

الف: انستیتو استاندارد بریتانیا (BSI) شماره BS 5368 Part 2

ب: استاندارد انجمن تست مواد امریکا (ASTM) شماره‌های E 541-96 و E 331-96

ج: استاندارد DIN شماره DIN EN 1027

د: استاندارد صنعتی ژاپن (JIS) شماره JIS A 1517

در استانداردها فقط روش و شرایط لازم برای انجام آزمایش‌ها بیان شده و در مورد نوع تجهیزات و نحوه ساخت دستگاه آزمایش و بطور کلی چگونگی ایجاد شرایط آزمایش اطلاعاتی وجود ندارد. ضمناً این استانداردها نسبت به هم تفاوت‌هایی از نظر نحوه انجام آزمایش و ارائه گزارش دارند. با این وجود پس از مطالعه، بررسی و مقایسه این استانداردها آشنایی با شرایط لازم در هر آزمایش ایجاد شد و سپس طراحی مفهومی دستگاه آزمایش شروع شد.

تجهیز دستگاه آزمایش بگونه ای که بتوان مطابق شرایط و روش آزمون در انواع استانداردها آزمایش‌ها را انجام داد یکی از مقاصد مهم پروژه بود. بعلاوه از اوایل شروع پروژه تلاش شد طراحی دستگاه بگونه ای باشد که انجام آزمایش هوابندی و آب بندی با آن ممکن باشد، یعنی دو آزمایش با یک دستگاه انجام شود. لهذا پس از تکمیل مرحله برداشت مفهومی و استنباط از استانداردهای

مختلف، بین مهندسین همکار پروژه و مجری در خصوص تامین خواسته‌های فوق بحث و تبادل نظر صورت پذیرفت و پس از ارائه چند طرح مختلف در نهایت طرح نهائی دستگاه آزمایش آماده شد.

۴-۲ طراحی کلی دستگاه آزمایش

در طرح اولیه به طور عمده طراحی دستگاهی برای تعیین میزان نشست هوا از در و پنجره ها مورد نظر بود و برای آزمایش آب بندی هنوز زمینه لازم طراحی از نظر مفهومی بوجود نیامده بود. پس از مطالعه دقیق استانداردها و استخراج نکات عملی و سنجش توانائی‌های داخل جهت ساخت تجهیزات، طرح کلی و اولیه دستگاه آزمایش شامل یک اتاقک آزمایش برای ایجاد شرایط آزمایش از نظر فشار لازم پیشنهاد شد. از آنجایی که در و پنجره ها در اندازه و شکل های مختلفی ساخته می شوند و باید بتوان آزمایش ها را روی همه آنها انجام داد بر روی دیواره این اتاقک یک دریچه پیش بینی شد. در نظر بود که نمونه آزمایش روبروی دریچه و با فاصله کمی از آن روی دیوار نصب شود تا شرایط محفظه آزمایش از مسیر دریچه به آزمونه (در یا پنجره) اعمال شود. محل نصب و اتصال دستگاههای اندازه گیری و تامین فشار نیز در سمت دیگر اتاقک پیش بینی شده بود. شکل شماتیک این دستگاه در نقشه موقتی در صفحه ۱ ضمیمه یک نشان داده شده است.

بدلیل حجم نسبتاً بالای اتاقک آزمایش و ایجاد امکان تلفیق دستگاه آزمایش هوا بندی و آب بندی در یک مجموعه واحد، طرح پیشنهادی بهبود یافته در مورخ ۸۰/۷/۱۷ آماده شد. در این طرح اتاقک آزمایش با اندازه ای ثابت حذف شد و به جای آن دیواره آزمایش از جنس مصالح بنایی به ابعاد ۲/۵ متر در ۲/۵ متر با یک دریچه و محفظه ای با اندازه متغیر (تابع اندازه آزمونه) در فاصله بین دیواره و آزمونه پیشنهاد گردید. در واقع با عنایت به حذف اتاقک آزمایش و با توجه به نیاز به یک

محفظه فشار ثابت، فاصله بین آزمون و دیوار بعنوان محفظه آزمایش لحاظ شد. در این طرح محل نصب نمونه آزمایش بر روی دیواره در فاصله حدود 30 cm از آن پیش بینی شده بود بگونه ای که سمت خارجی آزمون روبروی دریچه قرار گیرد. محل قرار گیری دستگاههای اندازه گیری و تامین فشار شامل فن و کانال انتقال هوا نیز در پشت دیوار پیش‌بینی شد تا هوای ارسالی از فن از طریق دریچه به محفظه آزمون برسد. محل نصب شبکه آبرسانی و نازل‌های پاشش آب برای آزمایش آب‌بندی نیز داخل مصالح ساختمانی دیوار پیش بینی شد. شکل شماتیک این دستگاه در گزارش دوم پیشرفت پروژه (۸۰/۷/۲۴) در نقشه موقتی در صفحه ۲ ضمیمه یک نشان داده شده است.

بدلیل کاهش وزن، سهولت عملیات نصب و مونتاژ دستگاه، امکان جابجایی آسان، دوام بیشتر دیواره و اجتناب از تاثیر نامناسب آب بر روی آن از نظر سایش و خوردگی و ایجاد پستی و بلندی، در طرح نهائی جنس دیواره از مصالح بنایی به آرتلون (تفلون) تغییر یافت. در این طرح و برای آزمایش آب‌بندی محل نصب شبکه آبرسانی در پشت دیوار و محل نصب نازل‌های پاشش آب داخل ضخامت دیوار پیش بینی شد. در این طرح نیز فاصله بین آزمون و دیوار بعنوان محفظه فشار ثابت آزمایش لحاظ شد و برای ایجاد این محفظه محل نصب آزمون در فاصله 35 cm از دیواره پیش بینی شد.

در طراحی پیش بینی شد که با ارسال هوا توسط یک فن سانتریفیوژ فشار لازم محفظه تامین شود و هوا از فن سانتریفیوژ توسط کانال‌های هوا و از طریق دریچه به محفظه آزمون برسد. اختلاف فشار محفظه آزمون با بیرون توسط فشار سنج اندازه گیری و مونیتور شده و اطلاعات لازم به سیستم کنترل منتقل شده و در صورت لزوم فرمان لازم برای تغییر دور فن سانتریفیوژ و در نتیجه تنظیم میزان ارسال هوا صادر می‌شود. لذا در طراحی، موتور فن یک موتور دور متغیر با کنترل الکترونیکی منظور

شد. از آنجایی که در آزمون هوابندی مهمترین خواسته اندازه گیری میزان نشت هوا از آزمون می باشد در طرح پیش بینی شد که پس از اطمینان از برقراری شرایط فشاری آزمون در محفظه، با اندازه گیری دبی هوای عبوری از کانال میزان نشت هوا از آزمون تشخیص داده شود. در آزمایش آب بندی نیز با فعال نمودن نازل های پاشش آب و سپس تامین شرایط فشاری لازم محفظه، می توان آب بندی نمونه را کنترل نمود.

چگونگی طراحی اجزاء مختلف دستگاه آزمایش که در این قسمت به آنها اشاره شد و ساخت و یا انتخاب تجهیزات لازم دیگر در قسمتهای بعدی این گزارش بیان شده اند.

۳-۴ طراحی و ساخت سازه اصلی دستگاه

در طراحی سازه اصلی دستگاه که از جنس پروفیل می باشد خصوصیات زیر از جمله شرایط طراحی بوده اند:

- ۱- قابلیت نصب دیواره آرتلونی آزمایش بر روی آن
- ۲- قابلیت نصب نمونه های (در و پنجره ها) تا ابعاد ۲/۵ متر در ۲/۵ متر
- ۳- قابلیت استقرار تانک آب
- ۴- قابلیت نصب شبکه آبرسانی
- ۵- قابلیت نصب چرخ برای ایجاد امکان جابجایی سهل دستگاه
- ۶- قابلیت اتصال سازه مربوط به کانال هوا و تجهیزات کنترل و تامین فشار (در پشت سازه اصلی)
- ۷- قابلیت اتصال دریچه آزمایش به کانال ارسال هوا
- ۸- امکان اتصال مکانیزمهای نصب و مهار آزمون و نصب جرثقیل برای بلند نمودن آزمون ها

۹- پایداری و تعادل دورانی در همه شرایط از جمله در موقع حمل و نقل دستگاه

با توجه به موارد فوق و توضیحات ارائه شده در بخش طراحی کلی دستگاه آزمایش طراحی سازه اصلی دستگاه انجام و پس از تهیه نقشه های ساخت ساخته شد. کلاف خارجی این سازه که وظیفه تحمل نیروی وزن قسمتهای مختلف را بعهده دارد در طراحی بصورت خرپا در نظر گرفته شد. بدین منظور از دو عدد ناودانی 8cm که بصورت رودررو جوش می شوند استفاده شد. به این طریق پروفیل مستحکم تو خالی حاصل شده است. این سازه کل نیروی وزن را به چهار عدد چرخ منتقل می کند. در قسمت میانی این سازه و برای نگهداری دیواره اصلی یک قاب مربع شکل با استفاده از ناودانی 8cm منظور شد. سازه پشت دیوار قوطی 4 cm و ابعاد و محل کلافهای داخلی این سازه متناسب با چگونگی شبکه آب و محل نصب نازل های آب پاش در نظر گرفته شد. دو عدد قوطی 10 cm که بطور افقی در قسمت پائین سازه اصلی نصب شده اند وظیفه نگهداری کلاف مربوط به مخزن آب را بعهده دارند.

نقشه های مختلف مربوط به ساخت سازه اصلی دستگاه آزمایش که شامل سازه نگهدارنده دیواره آزمایش و سازه مربوط به تانک آب و چرخهای دستگاه می شود در صفحات ۳ الی ۱۷ ضمیمه یک ارائه شده اند. نمایی از سازه اصلی ساخته شده دستگاه در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱- نمایی از سازه اصلی دستگاه

۴-۴ طراحی و ساخت دیواره آزمایش

در طراحی دیواره آزمایش به ابعاد کلی $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ بدلیل دوام خوب آرتلون و عدم تاثیر نامناسب آب از نظر خوردگی روی آن و صاف بودن و عدم ایجاد پستی و بلندی با گذشت زمان و راحتی نصب شبکه آبرسانی در ضخامت آن، تخته های آرتلونی به ضخامت 4 cm بعنوان جنس دیواره انتخاب شد. هر تخته آرتلونی دارای ابعاد $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ می باشد، لذا از دو تخته کامل آرتلونی بصورت مجاور هم و برای باقیمانده برشهای به عرض 0.5 m استفاده شد. به منظور سهولت باز و بسته شدن دیوار از کلاف سازه طراحی بگونه ای انجام شد که تخته های آرتلونی از پشت به کلاف نگهدارنده توسط پیچ نصب و محکم شوند. در این صورت هیچگونه پستی و بلندی روی دیواره آزمایش که مانع نصب آزمون شود ایجاد نشده است. نقشه مربوط به دیواره آزمایش در صفحات ۱۸ و ۱۹ ضمیمه یک ارائه شده است.

با عنایت به الزامات مختلف برای محفظه فشار ثابت آزمایش و ضرورت امکان پاشش آب از نازلها به سطح خارجی آزمونه فاصله محل نصب نمونه‌های مورد آزمایش تا دیواره آزمایش 35 cm لحاظ گردید. در این زمینه و در مورد مکانیزم نصب و نگهداری آزمونه بر روی دیواره آزمایش در قسمت های بعدی از جمله بطور مستقل در بخش ۴-۱۴ توضیحات بیشتری داده شده است.

۴-۵ طراحی مکان و اندازه دریچه آزمایش

به دلیل سهولت نصب نمونه های کوچک و سهولت کار با دستگاه، دریچه آزمایش به ابعاد 40 cm×40cm در گوشه پائینی در سمت راست دیواره آزمایش طراحی گردید. لبه خارجی این دریچه تا ابتدای دیوار در سمت راست و پایین 35 cm فاصله دارد. برای اتصال کانال هوا به دیواره آزمایش دور تا دور لبه کانال هوا یک کلاف آرتلونی به ضخامت 5cm نصب شده است. این کلاف داخل سوراخی مربعی به ابعاد 50 cm×50 cm نصب شده است که از ابتدا روی دیوار تعبیه شده است. با توجه به لزوم توزیع یکنواخت نازلهای پاشش آب یکی از نازلهای پاشش آب نیز در وسط این دریچه واقع شده است. این موضوع در بخش ۴-۷ توضیح داده می شود. شکل ۲ سطح خارجی دیواره آرتلونی آزمایش و دریچه آزمایش را نشان می دهد.



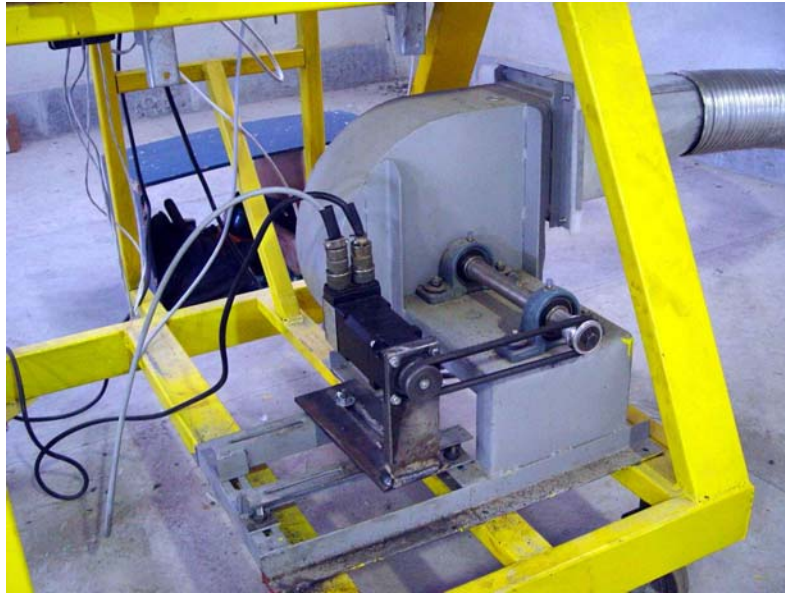
شکل ۲- نمایی از دیواره آرتلونی آزمایش و دریچه نصب شده روی آن

۶-۴ تجهیزات تامین فشار شامل فن گریز از مرکز و موتور دور متغیر

در طراحی برای انتخاب فن سانتریفیوژ دو پارامتر حداکثر فشار لازم آزمایش و حداکثر دبی نشت مهم بودند. در استاندارد BS 6375 برای پنجره‌های معمولی حداکثر فشار لازم آزمایش 200 Pa می‌باشد و حداکثر دبی مجاز نشت در این فشار برابر $16 \text{ m}^3/(\text{hr-m})$ از طول درز قسمتهای بازشو می‌باشد. برای مکانهایی که هوابندی اهمیت بیشتری دارد تحت فشار 300 Pa حداکثر دبی مجاز نشت هوا $16 \text{ m}^3/(\text{hr-m})$ از طول درز قسمتهای بازشو می‌باشد. برای آزمایش نمونه‌های با درز بندی قوی‌تر فشار آزمایش 600 Pa می‌باشد و حداکثر دبی مجاز نشت برابر $7 \text{ m}^3/(\text{hr-m})$ طول درز فعال می‌باشد. در استانداردهای دیگر از امکان انجام آزمایش تا فشار 1000 Pa برای در و پنجره‌های بسیار هوا بند نیز صحبت به میان آمده است. لذا با توجه به مقادیر استانداردهای مختلف، حداکثر فشار آزمایش 1000 Pa انتخاب گردید.

برای بدست آوردن دبی هوای ارسالی فن با توجه به مطالب فوق بالاترین مقدار نشت مجاز همان عدد $16 \text{ m}^3/(\text{hr-m})$ لحاظ شد. با توجه به ابعاد $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ متر دیواره آزمایش محیط بزرگترین در و یا پنجره مربع شکل قابل نصب 10 m می باشد. با این فرض که طول درز قسمتهای باز شو این پنجره سه برابر این محیط باشد طول کل درزهای قسمتهای باز شو حداکثر 30 m خواهد بود. در نتیجه دبی فن در این شرایط باید $480 \text{ m}^3/\text{hr}$ (یعنی حدود 270 CFM) باشد. با توجه به اینکه ممکن است نشت نمونه های مورد آزمایش بیشتر از حد مجاز باشد و با لحاظ سایر نشت ها و بدلیل انتخاب حداکثر فشار ممکن 1000 Pa حداکثر دبی فن سانتریفیوژ با ضریب سه برابر 800 CFM انتخاب شد. یعنی در طراحی در نظر گرفته شد که فن باید قادر باشد دبی فوق را برای افزایش فشار 1000 Pa ارسال نماید. لذا با این مشخصات سفارش ساخت فن داده شد.

با توجه باینکه نمونه های مختلف حتی در یک فشار ثابت دبی نشت یکسانی نخواهند داشت، موتور فن از نوع دور متغیر با سیستم کنترل از طریق PC و مدار CBL انتخاب گردید. در اینصورت، فشارهای مختلف در دبی های مختلف نشت قابل حصول خواهد بود. مجموعه فن و موتور دور متغیر در شکل ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۳- مجموعه فن و موتور

۷-۴ طراحی و ساخت سازه کانالهای انتقال هوا

با توجه به قابلیت جابجایی سازه اصلی دستگاه آزمایش که در شکل ۱ نشان داده شد در طراحی سازه مربوط به کانال هوا نیز این قابلیت مورد نظر قرار گرفت و این سازه نیز بصورت چرخدار طراحی شد که از پشت به سازه اصلی دستگاه توسط جوش نصب شده و از نظر حرکتی پیرو سازه اصلی باشد. علاوه بر کانالهای انتقال هوا، سینی های مسیر عبور کابل تجهیزات کنترلی و اندازه گیری و فن و موتور آن و تابلو کنترل نیز بر روی این سازه قرار می گیرد. نقشه مربوط به این سازه شامل ابعاد مقاطع پروفیل های آهنی در صفحه ۲۰ ضمیمه یک ارائه شده است. در شکل ۴ نمایی از این سازه و برخی تجهیزات نصب شده روی آن نشان داده شده است.



شکل ۴- نمایی از سازه کانالهای انتقال هوا

۴-۸ طراحی و ساخت کانالهای انتقال هوا

در طراحی برای انتقال هوا از خروجی فن به محفظه آزمایش (فضای مابین دیواره آزمایش و نمونه مورد آزمایش) نیاز به یک کانال تشخیص داده شد. از طرف دیگر در نظر بود که اندازه گیری دبی هوای نشت در داخل کانال صورت گیرد. با توجه به اینکه پیش بینی شد بدلیل دقت بالا از سرعت سنج کانالی از نوع هات وایر استفاده شود و با توجه به تفاوت نسبتاً کم فشار داخل کانال با محیط اطراف (حداکثر 1000 Pa)، کانال انتقال هوا با مقطع مربع به ابعاد 40cm×40cm از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت 0.6 mm طراحی شد. برای سرعت هوای بیشتر از 0.1 m/sec جریان در داخل کانال مغشوش خواهد بود با توجه به مقادیر دبی نشت که در بخش ۴-۶ ذکر شد برای حداکثر دبی طراحی سرعت هوا در کانال حدود 3 m/sec و عدد رینولدز بزرگتر از 80000 خواهد بود. در نتیجه با

توجه به وجود پروفیل سرعت تخت در عموم شرایط، محاسبه دبی با استفاده از اندازه گیری سرعت هوا در کانال دقت بالایی خواهد داشت.

بمنظور امکان نصب وسایل اندازه گیری بر روی دیواره کانال طول کلی کانال 2.5 m لحاظ شد. خروجی فن از طریق یک لوله آلومینیمی خرطومی بقطر 15 cm که انعطاف پذیر است به ابتدای کانال می‌رسد. در این قسمت از یک تکه لوله گالوانیزه بقطر 15 cm بعنوان رابط لوله خرطومی و کانال استفاده است. این لوله به کانال هوا متصل شده و لوله خرطومی روی آن محکم می‌شود. در آزمایش های انجام شده در موقع راه اندازی دستگاه اندازه گیری سرعت هوا با نصب سرعت سنج داخل این لوله انجام شد. با توجه به سطح مقطع کوچک این لوله، حتی در سرعت 0.01 m/sec، جریان در داخل این لوله مغشوش است. در شکل ۵ کانال هوا و لوله خرطومی شکل دیده می‌شود.



شکل ۵ - کانال هوا و لوله رابط

۹-۴ طراحی سیستم پاشش آب و انتخاب نازل‌ها

در آزمون آب بندی پاشش آب به منظور مدل سازی شرایط باد و طوفان توام با بارندگی صورت می گیرد. در استانداردهای انجمن تست مواد امریکا (ASTM) E331 و E541 سیستم انتقال آب باید نازل‌هایی قرار گرفته در یک شبکه منظم داشته باشد. همچنین مطابق نیازهای این استانداردها دبی پاشش آب بر روی نمونه آزمایش باید حداقل $3.4 \text{ L}/(\text{m}^2\text{-min})$ باشد. این مقدار معادل نرخ بارش 10 سانتیمتر بر ساعت می باشد.

مطابق استاندارد تعیین آب بندی درها و دیوارهای پرده ای و پنجره های خارجی ساختمان که توسط مجری پروژه تدوین و در کمیته تخصصی در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و کمیته ملی مربوطه در موسسه استاندارد تصویب شده است برای کالیبراسیون سیستم پاشش از یک سطح به ابعاد $800\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ استفاده می شود و آب پاشیده شده به کل این سطح و سطح های کوچکتر $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ داخل آن به طور مجزا جمع آوری می شود. برای هر سطح کوچک 400×400 حداقل دبی پاشش باید 0.43 L/min و حداکثر 1.08 L/min باشد. مجموع آب جمع آوری شده در چهار سطح 400×400 باید معادل دبی حداقل 2.17 L/min باشد.

متأسفانه هیچ اطلاعات مستند علمی در خصوص نازل های مختلفی که در ایران تولید و عرضه می شوند وجود ندارد. لذا تعدادی از نازل های موجود در بازار با کاربردهای متنوع صنعتی تهیه و مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفتند. این نازل ها برای شرایط مختلف فشار شبکه در آزمایشگاه مکانیک سیالات دانشگاه کاشان تست شدند. در هر آزمایش برای فشارهای مختلف شبکه، دبی پاشش و قطر دایره پاشش در فاصله 30 cm از محل پاشش اندازه گیری شد. بهترین نازلی که شرایط مورد نظر طراحی را دارا بود یعنی یک نازل سمپاش کشاورزی که به صورت مخروطی پاشش می کند انتخاب شد.

در جدول ۱ نتایج آزمایش برای این نازل ارائه شده اند. این نتایج نشان می دهد که برای فشارهای شبکه بالاتر از حدود ۲ بار (آتمسفر) قطر مخروط پاشش تقریباً ثابت مانده و دبی خروجی از نازل نیز در حدود 0.5 L/min ثابت می ماند. این مزیت نگرانی راجع به تغییر دبی پاشش در اثر تغییر فشار را رفع می نماید.

تعداد نازل‌های فعال با توجه به سطح کلی آزمون تعیین می‌شود و همیشه همه نازل‌ها فعال نیستند. از طرف دیگر فشار شبکه آب با توجه به دبی پمپاژ تعیین می‌شود و برای همه وضعیت‌های در آزمون‌های مختلف مقدار ثابتی نخواهد بود. با این وجود، با توجه به مشخصات نازل انتخاب شده، دبی پاشش از هر نازل در همه شرایط نسبتاً ثابت می‌ماند. قطر اندازه‌گیری شده مخروط پاشش در فاصله 30 cm از محل پاشش نیز تضمین می‌نماید که نازل‌ها توانایی پوشش سطح دلخواه را دارا می‌باشند بگونه‌ای که دایره پاشش نازل‌های مجاور بر روی آزمون (در فاصله 35 cm از محل نازل) با هم فاصله نداشته و حتی همدیگر را قطع می‌کنند. بدیهی است که پس از نصب نمونه قسمت‌های داخلی‌تر آن مانند سطح شیشه‌ها در فاصله بیشتری از نازل‌ها قرار خواهند داشت و پاشش هم پوشانی بیشتری نیز خواهد داشت.

جدول (۱) نتایج آزمایشگاهی مربوط به نازل انتخاب شده

فشار (Bar)	قطر پاشش در فاصله ۳۰cm	دبی پاشش L/min
۱	۳۰۰ mm	۰/۴۷
۱/۴	۳۰۰ mm	۰/۴۹
۱/۸	۳۰۰ mm	۰/۴۴
۲	۳۵۰ mm	۰/۴۹
۲/۲	۳۶۰ mm	۰/۵
۲/۶	۳۶۰ mm	۰/۵۱
۳	۳۶۰ mm	۰/۵۲
۳/۴	۳۶۰ mm	۰/۵۳
۳/۸	۳۶۰ mm	۰/۵۴

با عنایت به نوع نازل انتخاب شده فاصله نازل‌های آب پاش از هم 35 cm انتخاب شد. در نتیجه بر روی دیواره آزمایش در هر ردیف افقی تعداد ۷ نازل و در هر ردیف عمودی نیز تعداد ۷ نازل (یعنی جمعاً تعداد ۴۹ عدد نازل) منظور شد. فاصله انتهائی ترین نازل روی دیواره آزمایش در همه جوانب 20 cm می‌باشد. البته بخشی از این فاصله به محل نصب قاب خارجی نمونه بر روی دیواره اختصاص می‌یابد. در شکل ۲ چگونگی توزیع نازل‌های پاشش آب بر روی دیوار در ردیف‌های عمودی و افقی مشخص است.

دبی پاشش بر روی سطح دایره‌ای به قطر 35 cm (یعنی سطح 0.102 m^2) برابر 0.5 L/min می‌باشد. در نتیجه برای هر سطح 400×400 (یعنی 0.16 m^2) دبی پاشش حدود 0.78 L/min می‌شود که در محدوده معین شده در پیش نویس استاندارد یعنی 0.43 L/min تا 1.08 L/min می‌باشد. از طرف دیگر برای سطح $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ دیواره آزمایش با تعداد ۴۹ نازل نصب شده، دبی پاشش بر واحد سطح عبارت از $3.92 \text{ L/(m}^2\text{-min)}$ خواهد بود که از حداقل لازم حدود ۱۵٪ بیشتر می‌باشد.

۴-۱۰ طراحی مکانیزم نصب نازل‌ها

با در نظر گرفتن مقاومت مکانیکی کم دیواره آرتلون آزمایش و ضرورت آب بندی محل نصب نازل‌ها چگونگی نصب نازل‌ها بر روی دیوار به طور عمیق مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت و طرح‌های مختلفی ارائه شد.

در طرح نهایی برای نصب نازل‌ها یک قطعه برنجی طراحی شد بگونه ای که عملیات نصب نازل بر روی دیوار با استفاده از این قطعه نیاز به هیچگونه اتصال مکانیکی نداشته باشد. یک طرف این

قطعه برنجی برای نصب نازل رزوه شده و طرف دیگر نیز برای وصل به شبکه آبرسانی رزوه شده است.

در طراحی بر روی دیوار و در محل نصب هر نازل یک سوراخ به قطر 21mm منظور شد. بر روی قطعه برنجی و در قسمتی که این قطعه داخل سوراخ قرار می گیرد دو عدد خزینه برای نصب اورینگ تعبیه شده است. دو عدد اورینگ به قطر داخلی 19mm و قطر خارجی 22mm روی این خزینه ها قرار می گیرد و پس از نصب نازل روی قطعه برنجی مجموعه از پشت دیوار با فشار داخل سوراخ تعبیه شده قرار داده می شود. در شکل ۶ مجموعه نازل و قطعه برنجی و نحوه اتصال آنها به شیر گازی و شبکه حلقوی آبرسانی نشان داده شده است.



شکل ۶- مجموعه نازل و قطعه برنجی

با تدبیر اندیشیده شده علاوه بر نصب محکم قطعه برنجی در داخل سوراخ، آب بندی مناسب نیز بوجود آمده است. طول قطعه برنجی به گونه ای تدبیر شده است که سر نازل ها در داخل سوراخ به

اندازه 1 cm از سطح دیواره عقب تر باشد تا هیچ مانعی در سطح دیواره مزاحم نصب قاب پنجره‌ها و درها نباشد و به طور کلی سطح دیواره بدون برجستگی باقی بماند.

با توجه به طراحی شبکه پاشش آب یکی از نازلها در وسط دریچه هوا واقع می‌شود. در این قسمت لوله مربوط به شبکه آب از کانال هوا عبور نموده و مجموعه نازل و قطعه برنجی و شیر گازی پس از نصب به لوله شبکه بصورت آزاد در این قسمت قرار می‌گیرد. شکل ۷ این نازل را نشان می‌دهد.

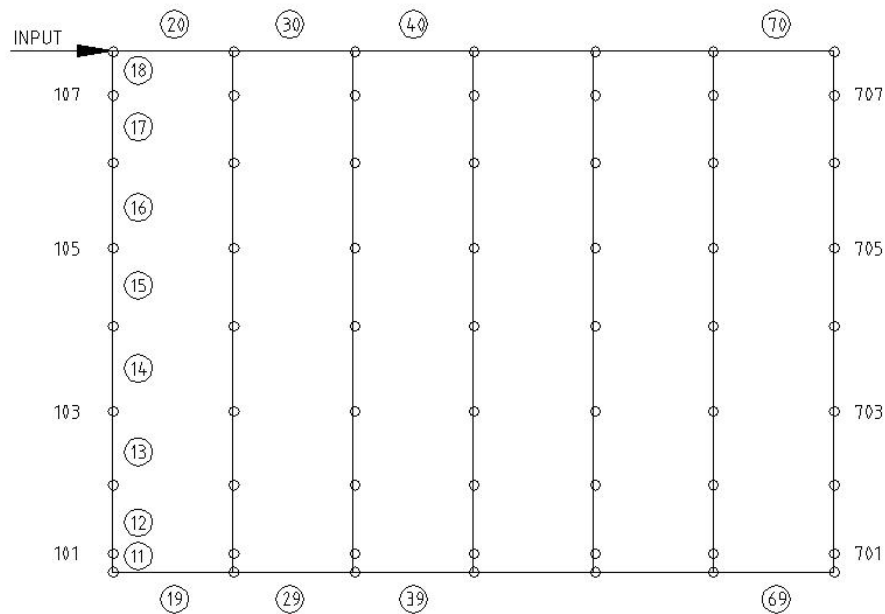


شکل ۷- نازل واقع شده در وسط دریچه

۴-۱۱ طراحی شبکه آبرسانی و انتخاب پمپ

با توجه به اطلاعات به دست آمده در آزمایش برای نازل انتخاب شده، فشار کاری نازلها 2.5 Bar انتخاب شد. به منظور تعادل فشاری بهینه در شبکه آب و حداقل افت، شبکه آبرسانی به

نازل‌ها از نوع حلقوی کامل منظور گردید. نمای شماتیک این شبکه حلقوی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نمای شماتیک شبکه حلقوی آبرسانی

محاسبات مختلف این شبکه برای وضعیت های مختلف توسط نرم افزار LOOP صورت پذیرفت. در شکل ۸ شماره شاخه‌های شبکه داخل دایره و شماره گره‌ها بدون دایره مشخص شده اند. با توجه به نتایج محاسبات و به منظور سهولت نصب شبکه آبرسانی و سبکی آن و راحتی فعال و غیر فعال نمودن نازل‌های پاشش آب، لوله‌های شبکه از جنس معروف به سبز (پلی اتیلن) با قطر داخلی 21mm انتخاب شد.

بر روی هر خط متصل به نازل‌ها یک عدد شیر گازی $\frac{1}{2}$ " و یک عدد مهره ماسوره برای

راحتی باز و بستن های بعدی منظور شد. نقشه لوله کشی شبکه و نتیجه محاسبات نرم افزار LOOP برای

وضعیتی که تمام نازل‌ها فعال هستند، در صفحات ۲۱ تا ۲۹ ضمیمه یک گزارش شده است. سرعت آب و فشار در نقاط مختلف شبکه از جمله اطلاعات تولید شده می‌باشند. اطلاعات مربوط به فشار گره‌ها در محل نصب نازل‌ها نشان می‌دهد که شبکه از تعادل فشاری بسیار خوبی برخوردار است به گونه‌ای که تفاوت حداکثر فشار با حداقل فشار در کل شبکه کمتر از 3m آب (حداکثر حدود ۰/۳ آتمسفر) می‌باشد.

با توجه به اختلاف ارتفاع محل نصب پمپ تا ورودی به شبکه آب (حدود ۳/۵ متر) و افت‌های مسیر تا محل ورود آب به شبکه و نتایج مدل‌سازی کامپیوتری مشخصات زیر برای پمپ مورد نیاز لحاظ شد.

آب $H = 35 \text{ m}$ ارتفاع آب‌رسانی

$$Q = 25 \text{ L/min}$$

در این صورت فشار آب در ورود به شبکه پاشش حداقل ۳۰ متر آب (حدود ۳ آتمسفر) و فشار آب در پشت هر نازل حداقل ۲/۵ آتمسفر می‌باشد.

نمای اجرا شده شبکه آبرسانی در پشت دیواره آزمایش در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۹- نمایی از شبکه آبرسانی از پشت دیواره

آب پاشیده شده از نازلها به سطح خارجی آزمونه برخورد نموده و پس از جاری شدن در سطح آن به پایین می‌رسد و روی سطح شیب دار پایینی جمع آوری شده و به سمت یک خروجی هدایت می‌شود و از طریق یک هرزآب به تانک ذخیره می‌ریزد. در واقع پمپ آب را از تانک ذخیره می‌گیرد و پس از پاشش آب مجدداً به مخزن برمی‌گردد. ظرفیت این تانک ۱۵۰ لیتر یعنی باندازه ۶ دقیقه کامل پاشش آب از تمام نازلها در نظر گرفته شد و این تانک ذخیره بگونه ای طراحی شد که در قسمت پایین سازه اصلی جای گیرد. بمنظور جلوگیری از فرار هوا از محل هرزآب در طراحی از یک لوله نصب شده تا عمق تانک ذخیره استفاده گردید، بگونه ای که آب بالا آمده داخل این لوله اجازه فرار هوا را نمی‌دهد و در واقع به صورت یک سیفون هوا بند عمل می‌کند. نقشه ساخت تانک ذخیره و سایر ملحقات آن در صفحات ۳۰ تا ۳۸ ضمیمه یک ارائه گردیده است. در شکل ۱۰ سطح شیب دار پایینی و هرزآب و تانک ذخیره آب نشان داده شده اند.



شکل ۱۰- نمایی از سطح شیب دار پائینی، هرز آب و تانک ذخیره

۱۲-۴ طراحی و ساخت جعبه کالیبراسیون شبکه پاشش آب

در بخش ۹-۴ راجع به حداقل و حداکثر مقدار لازم پاشش آب بر روی یک سطح به ابعاد $800\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ و سطح‌های کوچکتر $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ داخل آن مطابق استاندارد ایرانی توضیحات لازم داده شد. بر طبق این استاندارد باید حداقل هر شش ماه یک بار کالیبراسیون در مکانهای مختلف شبکه پاشش آب (وسط و اطراف) صورت گیرد. در موقع کالیبراسیون سطوح فوق باید در فاصله $\pm 50\text{ mm}$ از محل معمول قرارگیری سطح نمونه آزمایش قرار گیرند. جعبه کالیبراسیون از جنس ورق گالوانیزه طراحی و ساخته شد. این جعبه شامل چهار قسمت مجزای مجاور هم هر کدام به ابعاد $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ می‌باشد. نقشه ساخت جعبه جمع آوری در صفحه ۳۹ ضمیمه یک آمده است. آب پاشش شده بر روی هر سطح $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ بطور مجزا توسط جعبه جمع آوری شده و به یک ظرف مدرج شده انتقال می‌یابد. در یک فاصله زمانی مشخص که توسط زمان سنج اندازه گرفته

می‌شود حجم آب جمع شده در هر ظرف دبی پاشش بر روی هر سطح را مشخص می‌کند و با مقادیر توصیه شده مقایسه می‌شود. جعبه جمع آوری را می‌توان به طور موقت روبروی هر قسمت دلخواه از شبکه پاشش آب مثلاً وسط یا کناره ها نصب نمود.

۴-۱۳ رتامترها و شیر کالیبراسیون رتامترها

مطابق استاندارد ایرانی نرخ پاشش آب در هر آزمون آب بندی باید اندازه گیری و گزارش شود. در طراحی شبکه آب و در مسیر اصلی شبکه آبرسانی از پمپ به شبکه دو عدد رتامتر استفاده شد. با توجه به اینکه دقت رتامترها وابسته به محدوده دبی قابل اندازه گیری آنها می‌باشد از دو رتامتر یکی به ظرفیت حداکثر 3 L/min و دیگری به ظرفیت حداکثر 30 L/min به صورت موازی استفاده شده است. نقشه ارائه شده در صفحه ۴۰ ضمیمه یک بصورت شماتیک چگونگی اجرای شبکه آبرسانی و نصب رتامترها را نشان می‌دهد. در شکل ۱۱ نیز نحوه نصب رتامترها در مسیر شبکه نشان داده شده است.

در صورتی که تعداد نازل‌های فعال از شش عدد کمتر باشد رتامتر کوچکتر در مسیر قرار می‌گیرد. در صورتیکه تعداد نازل‌های فعال از شش عدد بیشتر باشند از رتامتر بزرگتر استفاده می‌شود. به همین منظور قبل از هر رتامتر شیر گازی نصب شده است. به منظور اطمینان از کالیبراسیون و صحت عمل رتامترها، بعد از محل نصب رتامترها و در مسیر لوله اصلی شبکه یک عدد خروجی با شیر (شیر کالیبراسیون) نصب شده است. با بستن شیر پشت همه نازل‌های آب پاش و با اندازه گیری مستقیم میزان آب خروجی از شیر کالیبراسیون در یک فاصله زمانی مشخص و مقایسه مقدار بدست آمده با آنچه که رتامتر در مسیر نشان می‌دهد می‌توان از صحت عملکرد رتامترها اطمینان حاصل نمود.



شکل ۱۱- رتامترها در مسیر اصلی شبکه آبرسانی

۴-۱۴ محفظه آزمون و مکانیزم نصب آزمونه بر روی دیواره

چنانچه در قسمت ۴-۲ بیان شد طراحی دستگاه بگونه ای است که اتاقک آزمایش حذف شده و محفظه آزمون وابسته به شکل و اندازه آزمونه در فاصله بین دیواره و محل قرارگیری آزمونه ایجاد می شود. آنچه که اهمیت دارد همگونی فشار در سرتاسر این محفظه بدون تاثیر اندازه آزمونه و مقدار نشت از آن می باشد. چنانچه در قسمت ۴-۸ گفته شد سرعت جریان هوا در کانال هوا برای شرایطی که بزرگترین آزمونه نصب شده باشد و بیشترین نشت از آن اتفاق افتد هنوز از 3m/sec کمتر می باشد. بدیهی است که هر چه ابعاد کلی آزمونه کوچک تر باشد مقدار کلی نشت کمتر شده و در نتیجه سرعت هوا در کانال از 3m/sec کمتر خواهد شد. با این وجود اگر آزمونه ای به ابعاد $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ یعنی درست باندازه مقطع کانال هوا روبروی دریچه نصب شود و فرض شود که سرعت هوا در کانال همان حداکثر مقدار یعنی 3m/sec باشد داخل محفظه آزمون نیز حداکثر

سرعت جریان هوا در همین حدود خواهد بود و در تمامی شرایط دیگر سرعت هوا از این مقدار کمتر خواهد بود. فشار دینامیکی معادل سرعت 3m/sec حدود 5 Pa می باشد و در نتیجه می توان نتیجه گرفت که فشار استاتیک هوا در این محفظه تحت تاثیر سرعت هوای خروجی از دهانه دریچه نبوده و بدون تاثیر جریان هوایی که به سمت محلهای ناشناخته نشت از آزمون برقرار است یکنواختی فشار در همه محفظه وجود خواهد داشت. در دستگاههای نمونه خارجی از یک اتاقک بزرگ فشار ثابت قبل از دریچه استفاده می شود. با توضیحات داده شده مشخص است که وجود این اتاقک هیچ کمکی به یکنواختی فشار اعمالی به آزمون ندارد چون بالاخره هوایی که بصورت نشت از یک سوی آزمون به سوی دیگر نفوذ می کند باید ابتدا از دریچه بگذرد و در نتیجه وجود اتاقک آزمایش هیچ تاثیری بجز اینکه دستگاه تامین فشار بزرگتری را موجب شود نخواهد داشت. حذف اتاقک آزمایش از جمله مزایای طراحی این پروژه می باشد که علاوه بر اینکه زمان رسیدن به شرایط فشاری لازم را کاهش داده است موجب سادگی و سبکی مجموعه و قابلیت جابجا نمودن دستگاه نیز شده است.

در طراحی مکانیزم نصب آزمون بر روی دیواره موضوع مهم روشی برای ایجاد محفظه آزمون بود به گونه ای که فاصله لازم بین دیواره و خود آزمون برای ایجاد محفظه باقی بماند. آزمونها اندازه های متنوع داشته و شکل کلی قاب خارجی آنها مستطیلی یا به هر شکلی غیر از آن می تواند باشد (مثل موقعی که اضلاعی از قاب خارجی دایره ای یا مثلث شکل باشد). در هر صورت باید امکان ایجاد محفظه آزمون و اتصال و آب بندی قابهای آزمون در محل نصب وجود داشته باشد.

روشهای مختلف نصب و نگهداری و آب بندی آزمون مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در طرح نهائی بنظر آمد که اگر بتوان در فضای مابین قابهای پیرامونی در اطراف آزمون و دیواره از هوا بندهای متحرک که امکان جابجایی متناسب با اندازه و شکل آزمون را داشته باشند استفاده نمود

و آزمون را از روبرو و با اعمال نیروی فشاری بر روی آن نصب نمود بهترین وضعیت از نظر سهولت نصب و آب بندی بوجود می آید. بعلاوه برای هر اندازه و شکلی از آزمون انعطاف لازم برای نصب بوجود می آید.

در طراحی برای ضلع پائینی قاب آزمون از صفحه ای شیب دار از جنس آرتلون به عرض ۳۵ سانتیمتر بعنوان هوا بند استفاده شد. این صفحه که در شکل ۱۰ بخشی از آن دیده می شود کار هدایت آب پاشیده شده در آزمون آب بندی به سمت هرزآبی که به تانک آب متصل است را نیز دارا می باشد. یک سینی استیل بر روی کلاف بالایی سازه تانک نصب شده و صفحه آرتلونی بر روی این سینی قرار گرفته و توسط پیچهای خودکار به قوطی های کلاف تانک نصب می شود. قاب پائینی آزمون روی لبه جلویی صفحه آرتلونی و بر روی سینی استیل قرار می گیرد. نقشه مربوط به صفحه شیب دار آرتلونی و ابعاد و اندازه های آن در صفحه ۴۱ ضمیمه یک آمده است.

در طراحی برای نصب یالهای عمودی قاب پیرامونی آزمون هوابندهایی بصورت یک قاب از آلومینیوم با پوشش ورق آلومینیم منظور شد. نقشه مونتاژی این هوابندها در صفحه ۴۲ ضمیمه یک ارائه شده است. برای سهولت جابجایی و تنظیم محل قرار گیری این هوابندها که دارای طول ثابت ۲/۵ متر و عرض کلی ۳۵ سانتیمتر هستند یک مکانیزم ریلی طراحی شد. لبه بالایی هوابندها توسط نگهدارنده و پیچ و مهره به بلبرینگ که داخل ریل قرار دارد متصل می شود. در هر وضعیتی از نظر قرار گیری هوابندها در پهنای دیواره آنها با همه نیروی وزن خود بر روی صفحه آرتلونی می نشینند. بر روی لبه پائینی و دو لبه عمودی هوابندها از لاستیک های درزبند استفاده شده است که در اثر اعمال نیرو بر روی سطح فشرده شده و موجب هوابندی می شوند.

برای ضلع بالائی و متناسب با طول قاب آزمونه از جداکننده ای هوا بند از جنس چوب یا یونالیت همراه با یک لایه نازک لاستیک به عرض کلی ۳۵ سانتیمتر می توان استفاده نمود. هوا بند های عمودی همراه با ریل مربوطه و هوا بند آرتلونی نصب شده بر روی سینی پائینی در شکل ۱۲ نشان داده شده اند.



شکل ۱۲- هوا بند های عمودی و هوا بند شیب دار افقی

بمنظور اعمال نیرو به قاب های نمونه آزمایش برای فشرده شدن به هوا بند ها یک مکانیزم نگهدارنده ریلی دیگر طراحی شد. یک ریل به طول 2.5 m در قسمت بالای دستگاه آزمایش بصورت افقی به سازه اصلی جوش داده شده است. تعداد چهار عدد قوطی فلزی 6x3 cm به ارتفاع 275 cm بصورت عمودی متصل به بلبرینگ های داخل ریل هستند و از پائین داخل یک شیار هدایت کننده حرکت می کنند. این چهار قوطی در پهنای دیواره آزمایش قابل جابجا شدن هستند. بر روی

هر یک از این قوطی ها و در فاصله هر 53 cm سواراخ تعبیه شده و روی سوراخها مهره جوش داده شده است. بر سر پیچهای بلندی به طول 40 cm که از مهره ها گذشته اند یک استوانه کوچک آرتلونی پیچ شده است و سر دیگر پیچها دستگیره ملامینی نصب شده است. با تنظیم محل قوطی ها روبروی قاب نمونه آزمایش و پیچاندن پیچها سر آرتلونی بر روی قاب خارجی نشسته و آن را به هوابند فشرده نموده و آن را به دیواره می چسبانند.

یکی از مزایای مکانیزم طراحی شده اینست که با استفاده از دو قوطی وسطی امکان نصب آزمون ها با هر شکل و اندازه وجود دارد. نقشه ساخت مجموعه مکانیزم نگهدارنده در صفحه ۴۳ ضمیمه یک ارائه شده و در شکل ۱۳ و ۱۴ این مکانیزم و ریل مربوط به آن در بالا و شیار آن در پایین در وضعیت نصب شده نشان داده شده است.



شکل ۱۳- شیار مکانیزم نگهدارنده در دستگاه



شکل ۱۴- شیار هدایت کننده مکانیزم نگهدارنده در پایین دستگاه

۱۵-۴ جرثقیل متحرک

از آنجایی که در و یا پنجره‌ها می‌توانند به دلیل ابعاد بزرگ سنگین باشند طراحی مکانیزمی برای جابجایی آنها در موقع نصب ضرورت داشت بگونه‌ای که علاوه بر ایجاد سهولت در عملیات نصب، ایمنی لازم برای اپراتور دستگاه با جلوگیری از امکان سرنگون شدن آزمون نیز تامین شود. بدین منظور استفاده از یک جرثقیل برقی سقفی با ظرفیت یک تن که بصورت افقی نیز قابلیت جابجایی داشته باشد سفارش شد. در طراحی بعمل آمده یک تیر آهن نمره ۱۲ بطول 2.5 m که در ارتفاع یک متر بالاتر از دیواره آزمایش بصورت افقی و بموازات دیواره در فاصله ۶۰ سانتیمتری از آن توسط دو ستون از قوطی ۱۲ بر روی سازه اصلی دستگاه جوش داده می‌شود در نظر گرفته شد. جرثقیل سقفی نصب شده روی این تیر آهن می‌تواند در تمام پهنای دیواره حرکت نموده و علاوه بر بلند کردن آزمون بصورت افقی آن را جابجا نموده و با نگهداری آزمون در طول عملیات نصب به اپراتور کمک نماید. شکل ۱۵ جرثقیل نصب شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- جرثقیل برقی نصب شده در بالای دستگاه

۱۶-۴ تجهیزات اندازه گیری و کنترل

اندازه گیری دبی هوای نشت در شرایطی صورت می گیرد که فشار آزمایش در محفظه مابین دیواره و نمونه مورد آزمایش برقرار شده باشد. این فشار بطور دائم مانیتور می شود و توسط سیستم طراحی شده شامل موتور دور متغیر و فن و با تنظیم دبی هوای ارسالی تحت کنترل است و ثابت نگه داشته می شود.

برای اندازه گیری دبی نشت هوا، از هر نوع دبی سنج کانالی که دقت لازم را مطابق استاندارد ایرانی داشته باشد می توان استفاده نمود. این دبی سنج را می توان در مسیر جریان هوا و در داخل کانال قرار داد و یا با اندازه گیری سرعت و با توجه به اندازه سطح مقطع دبی عبوری از مقطع را بدست آورد. مجری پروژه در طول مراحل طراحی و ساخت دستگاه استفاده از یک دبی سنج کانالی که مستقیماً دبی عبوری از کانال را اندازه بگیرد در نظر داشت ولی متأسفانه تلاشهای صورت پذیرفته برای یافتن و سفارش چنین دبی سنجی تا قبل از تحویل دستگاه به نتیجه نرسید. لهذا در زمان تحویل و

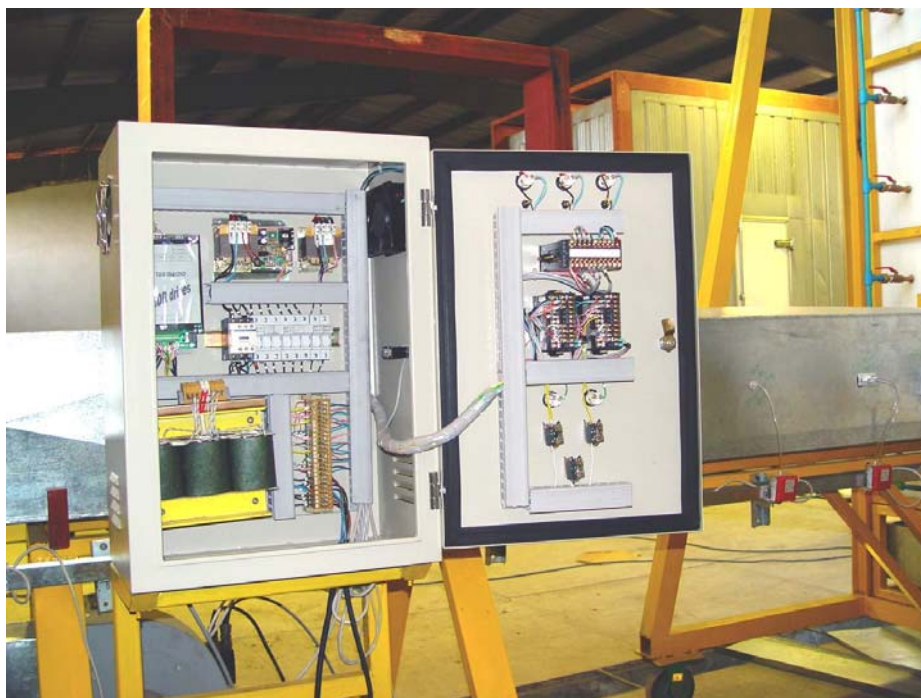
راه اندازی دستگاه از یک سرعت سنج موجود در مرکز از نوع هات وایر ساخت شرکت تستو (Testo) استفاده شد و آزمایش های هوا بندی بر روی چند آزمونه با اندازه های مختلف انجام شد. جستجو و پیگیری برای انتخاب یک دبی سنج کانالی با مشخصات لازم این دستگاه به کارشناس مسئول دستگاه واگذار گردیده است .

با توجه به نیازها، ابزار اندازه گیری و کنترل مطابق مشخصات استاندارد ایرانی به قرار زیر انتخاب شده اند :

- ۱- نمایشگر و اندازه گیر کانالی دما برای کنترل و ثبت دمای هوای آزمایش.
- ۲- اندازه گیر و نشان دهنده میزان رطوبت هوای آزمایش برای کنترل و ثبت رطوبت هوای آزمایش.
- ۳- نشان دهنده و اندازه گیر اختلاف فشار محفظه آزمون با محیط آزمایشگاه (فشار آزمون).
- ۴- بارومتر برای اندازه گیری فشار آزمایشگاه در موقع انجام آزمون.
- ۵- سیستم جمع آوری اطلاعات و انتقال به CBL و PC و صدور فرمان لازم نرم افزاری جهت کنترل و ضبط اطلاعات و مانیتورینگ بخشهای مورد نیاز آزمایش از جمله فرمان تغییر دور موتور فن سانتریفیوژ.

۶- رتامترها (برای دبی آب صفر تا ۳ لیتر بر دقیقه و ۳ تا ۳۰ لیتر بر دقیقه)

شکل ۱۶ تابلو کنترل و شکل ۱۷ تجهیزات نصب شده کنترلی بر روی دیواره کانال را نشان می دهد.



شکل ۱۶- تابلو کنترل



شکل ۱۷- تجهیزات کنترلی نصب شده روی کانال

۵- کالیبراسیون

دستگاه آزمایش موقعی کالیبره است که تک تک وسایل اندازه گیری استفاده شده در آن کالیبره باشند. در آزمون هوا بندی اندازه گیری میزان نشت هوا در فشار و دمای آزمون مورد نظر است که البته این میزان نشت برای شرایط استاندارد آتمسفر تبدیل می شود. در نتیجه کالیبراسیون کلی دستگاه منوط به اینست که فشارهای اندازه گیری شده شامل فشار محفظه آزمون و فشار محیط و همینطور دما و دبی هوای ارسالی فن که توسط دستگاههای سنجش اندازه گیری می شوند در محدوده دقت مورد نظر، برای هر کدام صحیح باشند. در آزمون تعیین آب بندی نیز مقاومت نمونه در برابر نفوذ آب در شرایط فشار آزمون و موقعی که پاشش آب با دبی معینی بر روی سطح خارجی آن انجام می شود مورد نظر است. در نتیجه کالیبراسیون کلی دستگاه برای این آزمون منوط به اینست که فشار اندازه گیری شده آزمون و دبی اندازه گیری شده پاشش در محدوده دقت مورد نظر صحیح باشند. بطور کلی عملیات کالیبراسیون باید شامل تک تک وسایل اندازه گیری به شرح زیر شود:

الف- فشار سنج محفظه آزمون

ب- بارومتر

ج- اندازه گیر کانالی دما

د- اندازه گیر کانالی رطوبت هوا

ه- دبی سنج کانالی هوا

برای کالیبراسیون هر کدام از وسایل اندازه گیری فوق باید از یک اندازه گیر مرجع استفاده نمود و برای چندین وضعیت مختلف از نظر فشار و دما و رطوبت و دبی نشت بصورت همزمان از اندازه گیر مرجع و اندازه گیر نصب شده در دستگاه استفاده نمود. تفاوت مقادیر اندازه گیری شده

توسط هر کدام از وسایل و وسیله مرجع باید در محدوده دقت آن وسیله باشد. در این صورت این وسیله کالیبره است. در غیر اینصورت باید نسبت به تعویض و یا کالیبراسیون آن اقدام شود.

ه- رتامترها

چنانچه در قسمت ۴-۱۳ توضیح داده شد با بستن شیرهای گازی پشت همه نازلها و استفاده از شیر کالیبراسیون و اندازه گیری مستقیم دبی آب ارسالی توسط پمپ در یک فاصله زمانی و مقایسه آن با دبی نشان داده شده توسط شاخص رتامتر می توان نسبت به کالیبره بودن رتامترها اطمینان حاصل نمود.

و- شبکه پاشش آب

پس از اطمینان از کالیبراسیون رتامترها باید بصورتی که در بخش ۴-۱۲ توضیح داده شد و با استفاده از جعبه کالیبراسیون نسبت به توانایی شبکه پاشش آب در وسط و گوشه های دیواره آزمایش مطابق الزامات استاندارد ایرانی اطمینان حاصل شود. این کار باید حداقل هر شش ماه یک بار انجام شود.

۶- استانداردهای مربوط به روش آزمونها

انجام آزمونها با استفاده از دستگاه طراحی شده می تواند مطابق انواع استانداردهای موجود خارجی صورت پذیرد. تا قبل از انجام پروژه ساخت دستگاه استاندارد جامع ایرانی برای آزمون تعیین میزان نفوذ هوا و تعیین آب بندی وجود نداشت. تنها استاندارد موجود ایرانی با شماره ۴۳۴۷ ISIRI مربوط به دریچه های فولادی (پنجره های فولادی) نه تنها جامع نبود بلکه از آنجایی که مطابق استاندارد انگلیسی BS 5368 نگاشته شده بود و این استاندارد از درجه اعتبار ساقط بود نمی توانست

معتبر باشد. مجری پروژه مفتخر است که همزمان با تکمیل مراحل طراحی و ساخت دستگاه آزمایش با همکاری مرکز محترم تحقیقات ساختمان و مسکن و پشتیبانی سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور در پروژه ای دیگر موفق به تدوین دو استاندارد با عناوین زیر گردید:

۱- درها و دیوارهای پرده ای و پنجره های ساختمان، تعیین میزان نفوذ هوا - روش آزمون

۲- درها و دیوارهای پرده ای و پنجره های خارجی ساختمان، تعیین آب بندی - روش آزمون

این استانداردها پس از بررسی و تصویب در کمیته تخصصی در مرکز تحقیقات ساختمان و

مسکن در دی ماه ۱۳۸۲ در کمیته ملی موسسه استاندارد به تصویب نهایی رسید.

۷- دستور کار انجام آزمایش ها

بمنظور سهولت کاربر در استفاده از دستگاه یک دستور کار جامع برای آزمون های هوابندی

و آب بندی شامل چگونگی ارائه گزارش این آزمونها مطابق استانداردهای ایرانی فوق الذکر تهیه

شده است که بصورت ضمیمه دو پیوست این گزارش می باشد.

۸- ارائه مقاله

با توجه به اهمیت انجام آزمون های هوابندی و آب بندی و به منظور آگاهی بخشی متولیان صنعت

ساختمان مقاله ای تحت عنوان اهمیت و نحوه انجام آزمون هوابندی تهیه و در دومین همایش بهینه

سازی مصرف سوخت کشور در اسفند ۱۳۸۱ ارائه گردید که مورد توجه شرکت کنندگان و کمیته

علی همایش قرار گرفت و به عنوان یکی از مقالات برتر شناخته شد.