

تهیه و اعتبارسنجی یک نرم افزار جهت طراحی سیستم های تهویه صنعتی

محمدجواد جعفری^۱، فائزه عباس گوهری^{۲*}، لیلیا امید^۳، سید کامیار ایزدی^۴، محمدحسین خوشگواه^۵

۱. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۴. گروه علوم کامپیوتر، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۵. گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار، گرمسار، ایران

چکیده

سابقه و هدف: طراحی سیستم تهویه فرآیند پیچیده‌ای است. علاوه بر محاسبات وقت‌گیر برای هر شاخه، جهت متعادل‌سازی شاخه‌های موازی نیز نیاز به تکرار محاسبات است. طراحی هود، انتخاب قطر کانال و هواکش مناسب از جمله مراحل طراحی می‌باشند که بروز خطا در هر مرحله منجر به کاهش عملکرد سیستم گشته و ممکن است هزینه‌های اضافی بر سیستم تحمیل نماید. همچنین در محاسبات دستی احتمال بروز خطا وجود دارد. در مطالعه حاضر برای طراحی و محاسبات سیستم های تهویه مکنده موضعی یک بسته نرم‌افزاری تهیه و اعتبارسنجی شد.

روش بررسی: در این مطالعه ساخت ابزار، برنامه به زبان ویژوال بیسیک نوشته شد. اعتبارسنجی بسته نرم‌افزاری تهیه‌شده در دو بخش مورد مطالعه قرار گرفت. در بخش نخست صحت کدهای تهیه‌شده مورد بررسی قرار گرفت. در دومین بخش از اعتبارسنجی برنامه، نتایج محاسباتی آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج محاسبات هر بخش از برنامه با محاسبات دستی مسائل ساده، تمرینات حل‌شده در مراجع و نتایج حاصل از محاسبات با یک برنامه اعتباربخشی شده مقایسه گردید. جهت تحلیل آماری نتایج، نمودار بلند-آلتمن به کار گرفته شد.

یافته‌ها: در سیستم‌های با یک هود (اتصال کانال‌ها به صورت سری) بیشترین درصد اختلاف میان نتایج مشابه حاصل از برنامه تهیه‌شده و داده‌های ثبت‌شده در مراجع معتبر ۱/۲۷٪ و کمترین آن صفر درصد بود. در سیستم‌های مرکب یعنی سیستم‌هایی که کانال‌های آن به صورت سری-موازی بوده و بیش از یک هود دارند نیز بیشترین درصد اختلاف میان نتایج مشابه حاصل از این برنامه و داده‌های معتبر و برنامه‌های تأییدشده ۱/۲۷٪ درصد و کمترین آن صفر درصد بود. نتایج نمودار بلند-آلتمن نیز نشان داد که انحراف معیار نتایج حاصل از این برنامه در حل ۸۳ قطعه کانال محاسبه‌شده برای فشار سرعت، فشار استاتیک و همچنین فشار کل در دامنه $\pm 0/10$ درصد بوده است.

نتیجه گیری: برنامه تهیه‌شده ابزار معتبری برای طراحی سیستم تهویه مکنده موضعی است.

واژگان کلیدی: تهویه، طراحی، آلودگی هوا، نرم‌افزار

مقدمه

(۴، ۵). متدولوژی طراحی بخشی از کل فرایند از نقطه شروع تا انهدام سیستم است. این متدولوژی تشریح فرایند طراحی تکنیکی سیستم است (۶). کفایت سیستم‌های مکنده و دمنده باید در مراحل طراحی سیستم تهویه مورد نظر قرار گیرد (۴). یک سیستم تهویه معمولاً از پنج بخش تشکیل می‌گردد. هود جهت هدایت آلاینده به داخل کانال، کانال برای انتقال آلاینده به همراه هوای آلوده، تصفیه‌کننده جهت حذف آلاینده، هواکش جهت به حرکت درآوردن هوا و دودکش برای تخلیه هوای آلوده استفاده می‌شود. محاسبات و انتخاب پارامترهای طراحی سیستم تهویه مکنده موضعی بر اساس برگه‌های محاسباتی ارائه‌شده توسط مجمع دولتی متخصصین

آلودگی‌های منتشرشده در محیط کار در صورت عدم کنترل، علاوه بر ایجاد بیماری‌های ناشی از کار، سبب آسیب به محیط‌زیست نیز می‌شوند (۱). تهویه مناسب جهت ایجاد محیطی مولد و سالم برای شاغلین مورد نیاز است (۲، ۳). سیستم‌های تهویه موضعی توانایی مهار آلودگی را در منبع تولید داشته و آلودگی‌ها را پالایش و حذف می‌نمایند و از این طریق انتشار آلودگی و بیماری‌های ناشی از کار را در محیط‌های کاری کاهش می‌دهند. توانایی یک سیستم تهویه مکنده موضعی در کاهش و کنترل آلودگی محیط کار به طراحی دقیق، ساخت صحیح و راهبری مناسب آن بستگی دارد

و جلوگیری از انجام اعمال تکراری بود. مهم ترین فاکتوری که این نرم افزار را نسبت به نرم افزارهای گذشته متمایز می کند، اعمال آخرین قواعد مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا در زمینه طراحی تهویه است. طراحی بر اساس آخرین تغییرات برگه های محاسباتی کتاب تهویه صنعتی، مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا، ویرایش ۲۷ سال ۲۰۱۰ انجام گرفت (۱۰).

بالانس خودکار سیستم از دیگر ویژگی های این نرم افزار می باشد.

مواد و روش ها

مطالعه حاضر از نوع ساخت ابزار بود که در تهیه نرم افزار مورد مطالعه ابتدا کد نماهای (سودو کدهای) لازم نوشته شد. سپس متغیرها معرفی و الگوریتم های مربوطه رسم گردید. شکل ۱ دیاگرام محاسبه افت و اصلاح شاخه موازی در یک شاخه از سیستم تهویه را نشان می دهد. مراحل اجرای نرم افزار از سه بخش تشکیل شده است. بخش اصلی شامل یک صفحه است که بر اساس برگه های محاسباتی کتاب تهویه صنعتی از ۴۶ آیتم تشکیل شده و کاربر باید اطلاعات اولیه لازم جهت اجرای برنامه را در این صفحه وارد نماید تا برنامه بتواند محاسبات لازم را انجام دهد. کدهای مربوط به ذخیره اطلاعات در پایگاه داده یا همان جدول به صورتی است که بعد از این که دکمه «ذخیره اطلاعات» زده شد، کدهای مربوطه عمل ذخیره اطلاعات را انجام می دهند. پس از ثبت اطلاعات در صفحه اصلی، جهت پردازش و مشاهده نتیجه اجرای برنامه و انجام محاسبات، فرایند پردازش اطلاعات آغاز می گردد تا بر اساس اطلاعات ورودی، اجرای محاسبات انجام و نتیجه برای کاربر قابل مشاهده باشد. در بخش سوم اطلاعات حاصل از پردازش و انجام محاسبات در نرم افزار ذخیره می گردد. شکل ۲ صفحه اصلی ثبت اطلاعات اولیه در نرم افزار را نشان می دهد. از جمله مواردی که در صفحه اصلی نرم افزار وارد می شوند، فاکتور چگالی است که از طریق رابطه ۱ محاسبه می گردد:

$$\rho = \rho_e \times \rho_p \times \rho_T \times \rho_m \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن df_e فاکتور ارتفاع، df_p فاکتور فشار، df_T فاکتور دما و df_m فاکتور جرم است (۱۰).

اعتبارسنجی بسته نرم افزاری تهیه شده در دو بخش مورد مطالعه قرار گرفت. در بخش نخست صحت کدهای تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور پس از تهیه هر بخش از کدها، برنامه به گونه ای هدایت شد تا کلیه مراحل پیش بینی شده را طی نماید. در هر مرحله نتایج حاصل از برنامه با نتایج مورد انتظار، مقایسه و بررسی گردید. در دومین بخش از اعتبارسنجی برنامه، نتایج محاسباتی آن مورد مطالعه قرار گرفت.

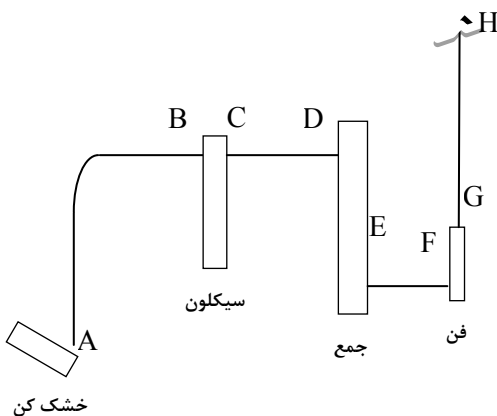
بهداشت صنعتی آمریکا و سایر سازمان های قانون گذار حداقل دارای ۴۶ مرحله بوده و محاسبات انجام شده مرتبط با یک شاخه هست. سیستم های مکنده اغلب از چندین شاخه تشکیل می گردد و محاسبات مرتبط با این شاخه ها بسیار مشکل و وقت گیر است. علاوه بر محاسبات وقت گیر برای هر شاخه، جهت متعادل سازی شاخه های موازی نیز نیاز به تکرار محاسبات است (۷). طراحی هود، انتخاب قطر کانال و هواکش مناسب از جمله مراحل طراحی می باشند که بروز خطا در هر مرحله منجر به کاهش عملکرد سیستم گشته و ممکن است هزینه های اضافی بر سیستم تحمیل نماید. همچنین استفاده از چارت ها و نمودارهای خاص جهت انجام تصحیحات لازم برای دما و ارتفاع نیز ممکن است سبب افزایش خطا در محاسبات گردد (۸). با توجه به این که کامپیوترها ابزاری قدرتمند، در دسترس، قابل اطمینان و ارزان بوده و دارای دامنه کاربرد وسیع هستند، برنامه های کامپیوتری جهت طراحی های مهندسی به کار گرفته شده است. نرم افزار ویژوال بیسیک مانند زبان بیسیک طوری طراحی شده است که یادگیری آن آسان و استفاده از آن حتی برای برنامه نویسان مبتدی هم ساده باشد. برنامه نویسان با این زبان هم قادر به ایجاد برنامه های ساده دارای رابط گرافیکی برای کاربر و هم خلق برنامه های پیچیده و توسعه یافته هستند و می توان گفت کاربر پسند می باشد. در حقیقت برنامه نویسی در محیط ویژوال بیسیک، ترکیبی است از اجزای مرتب شده ای جهت اعمال کنترل بر ویژگی های مختلف برگه هایی که از پیش تعریف شده اند و توابع عملیاتی که بر روی این اجزا قابل پیاده سازی و اجرا هستند. نوشتن کدهای اضافی برای ایجاد توابع بیشتر یا متفاوت نیز توسط این نرم افزار امکان پذیر است. محیط برنامه نویسی ویژوال بیسیک مطابق با ماکروسافت می باشد و بر روی سیستم عامل ویندوز قابل اجرا است (۴). استفاده از بسته های نرم افزاری جهت طراحی سیستم تهویه در مطالعات مختلف گزارش شده است. نرم افزار ویژوال بیسیک جهت طراحی سیستم تهویه در مطالعه کومار و همکاران و مهابادی و همکاران بکار گرفته شده است (۴، ۹). این نرم افزار ترکیب مناسبی از رابط گرافیکی کاربر و برنامه نویسی را فراهم می آورد (۴). نتایج مطالعه اصیلیان و همکاران نشان داد که استفاده از نرم افزار مناسب جهت طراحی تهویه سرعت طراحی سیستم را افزایش، میزان خطا در طراحی را کاهش و صحت محاسبات را نیز افزایش می دهد (۹). با توجه به این که محاسبات مرتبط با طراحی سیستم تهویه وقت گیر بوده و علاوه بر این، بروز خطا در هر مرحله از طراحی سیستم منجر به کاهش عملکرد می گردد، مطالعه حاضر باهدف تهیه و اعتبارسنجی یک نرم افزار جهت طراحی سیستم های تهویه صنعتی بر پایه سیستم عامل ویندوز و در محیط ویژوال بیسیک ۶ انجام گردید. اهداف مورد نظر در طراحی این بسته نرم افزاری صرفه جویی در وقت

معتبر از طریق حل تمرینات حل شده در کتب و مراجع مقایسه گردید و در پایان مقایسه نتایج محاسبات برنامه در حل مسائل پیچیده با نتایج حاصل از همان محاسبات با یک برنامه اعتباربخشی شده صورت پذیرفت. در این راستا درصد اختلاف نتایج کلیدی محاسبه و ارائه گردید و نمودارهای فشار سه گانه توسط هر دو روش رسم گردید. در حین مقایسه نتایج، مشکلات جزئی برنامه مرتفع شد. سپس نمودار بلند-آلتمن برای فشارهای سه گانه رسم گردید.

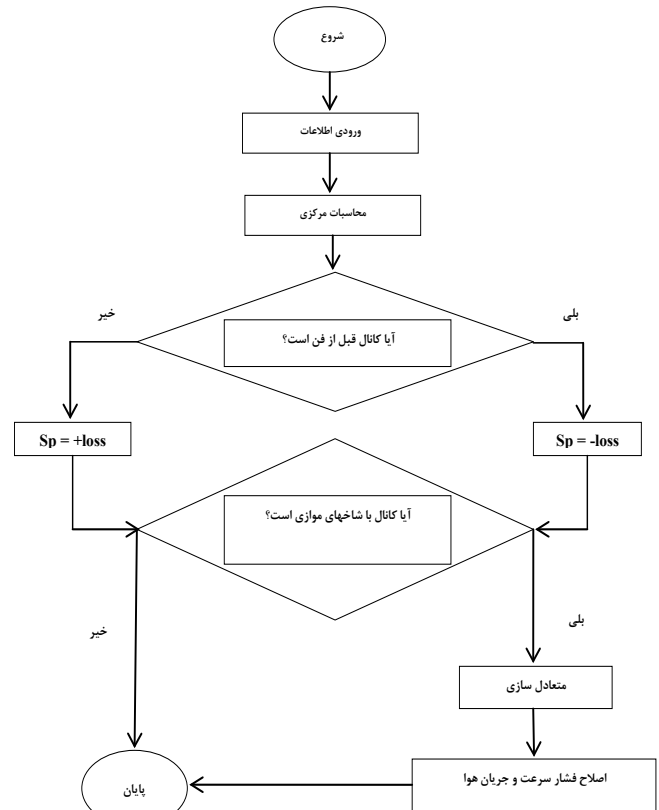
یافته ها

برای مقایسه نتایج کل برنامه تهیه شده با داده های معتبر موجود، این نتایج با نتایج حاصل از تمرینات حل شده در کتاب تهویه صنعتی مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا و ویرایش ۲۷ سال ۲۰۱۰ مقایسه شدند.

مقایسه نتایج پارامترهای کلیدی حاصل از برنامه با نتایج موجود در مراجع معتبر نشان داد که در میان پارامترهای محاسبه شده کمترین اختلاف مربوط به فشار سرعت ۰/۰۰ درصد و بیشترین اختلاف مربوط به افت فشار استاتیک کانال ۱/۷۷ درصد بود. این اختلاف بسیار اندک بوده و قابل پذیرش می باشد. به عنوان نمونه جهت مقایسه نتایج نرم افزار با داده های موجود در منابع یکی از مثال های حل شده ارائه گردیده است. جریان هوای خروجی از یک خشک کن به ابعاد ۶۰×۲۴ فوت برابر ۱۶۰۰۰ فوت مکعب هوای استاندارد در هر دقیقه به اضافه رطوبت خارج شده می باشد. دمای هوای مکیده شده ۵۰۰ درجه فارنهایت بود. خشک کن در هر ساعت ۶۰ تن مواد نم دار را با ظرفیت استخراج ۵٪ خشک می کند. فشار مکش در خشک کن ۲- اینچ آب و حداقل سرعت انتقال باید ۴۰۰۰ فوت بر دقیقه باشد. برای کنترل آلودگی هوا از سیکلون خشک و جمع آوری کننده تر بانرژی بالا استفاده می شود. شکل ۳، طرح شماتیک سیستم تهویه خشک کن در تمرینات کتاب تهویه صنعتی مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا را نشان می دهد.



شکل ۳. طرح شماتیک سیستم تهویه خشک کن



شکل ۱. دیاگرام محاسبه افت و اصلاح شاخه موازی در یک شاخه از سیستم تهویه

تعداد شاخه:	اطلاعات شاخه:	شروع شاخه:	پایان شاخه:
۱	دهای تر گوی سان		
۲	حداقل سرعت انتقال مورد نیاز		
۳	وزن آب در دقیقه (پوند)		
۴	وزن هوای خشک در دقیقه (پوند)		
۵	فاکتور چگالی		
۶	دبی استاندارد کانال		
۷	قطر انتخاب شده		
۸	سرعت شکاف		
۹	ضرب افت ورودی هود	انتخاب کنید	
۱۰	افت های دیگر		
۱۱	طول مستقیم کانال		
۱۲	ضرب افت کانال	انتخاب کنید	
۱۳	تعداد زانویی های ۹۰ درجه		
۱۴	ضرب افت زانویی	0	
۱۵	ضرب افت ورودی شاخه	0	انتخاب کنید
۱۶	ضرب افت اتصالات ویژه		
۱۷	افت های دیگر		
۱۸	وارد نمودن قطر به صورت دستی؟	بله	

ردیف ۱۴

انتخاب نوع زانویی

گرد چند تکه

مربع

دایره

گرد چند تکه

R/D: انتخاب کنید

TYPE: انتخاب کنید

مربع

R/D: انتخاب کنید

W/D: انتخاب کنید

دایره

R/D: انتخاب کنید

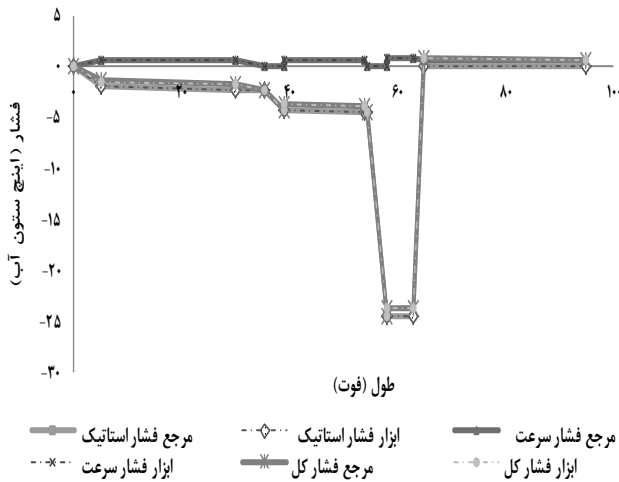
محاسبه پاک کردن نمایش ذخیره

شکل ۲. صفحه اصلی ثبت اطلاعات اولیه در نرم افزار

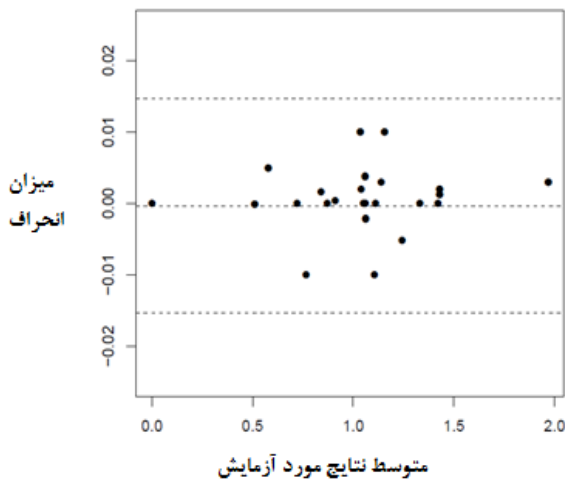
اعتبار سنجی این بخش در سه مرحله صورت پذیرفت. ابتدا نتایج محاسبات هر بخش از برنامه با محاسبات دستی مسائل ساده مقایسه شد، سپس نتایج محاسبات کل برنامه با داده های مندرج در مراجع

جدول ۱ ابعاد قطعات مختلف سیستم تهویه را نشان میدهد.

شکل ۴ نمودار فشارهای سه گانه در طول سیستم و شکل ۵ نمودار بلند-آلتمن برای فشار سرعت را نشان می دهند.



شکل ۴. نمودار فشارهای سه گانه در طول سیستم



شکل ۵. نمودار بلند-آلتمن برای فشار سرعت

برای مقایسه نتایج حاصل از برنامه با نتایج حاصل از یک برنامه تأییدشده، سه مثال مربوط به پروژه‌های مختلف توسط هر دو برنامه حل و نتایج کلیدی با یکدیگر مقایسه شدند. در این راستا درصد اختلاف نتایج کلیدی نیز محاسبه و ارائه گردید.

مقایسه نتایج پارامترهای کلیدی حاصل از برنامه محقق ساخته با نتایج حاصل از یک برنامه اعتباربخشی شده نشان داد که در میان پارامترهای محاسبه شده کمترین درصد اختلاف مربوط به فشار سرعت، صفر درصد و بیشترین درصد اختلاف مربوط به افت فشار استاتیک کانال ۹/۰ درصد می باشد. این اختلاف بسیار اندک بوده و قابل پذیرش است. تفاوت قطرهای محاسبه شده از طریق برنامه حاضر با نتایج موجود در مراجع و بسته‌های نرم‌افزاری معتبر در دامنه ۰/۴۶ - تا ۰/۲۶ درصد می باشد. کمترین اختلاف که در اکثر موارد در محاسبه قطر دیده شد، صفر درصد بود و بیشترین مقدار آن ۰/۴۶ - درصد بود. به عنوان نمونه مثال حل شده توسط نرم افزار طراحی شده و یک برنامه اعتباربخشی شده ارائه شده است.

جدول ۱. ابعاد قطعات مختلف سیستم تهویه

قطعه	طول مستقیم کانال (فوت)	جریان هوای لازم (فوت) مکعب هوای استاندارد در هر دقیقه	زانویی	شاخه فرعی	ضریب اصلاح چگالی
A-B	۳۰	۱۶۰۰۰	۱-۹۰	---	۰/۵۳
B-C	سیکلون	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۵۳
C-D	۱۵	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۵۳
D-E	جمع آوری کننده تر	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۷۶
E-F	۵	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۷۱
G-H	۳۰	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۷۶

جدول ۲ نتایج مقایسه محاسبات پارامترهای کلیدی حاصل از حل تمرین با دو روش نرم افزار محقق ساخته و کتاب را در قطعات E-F و G-H نشان می دهد. همان طور که از نتایج جدول مشخص است کمترین درصد اختلاف صفر درصد میان نرم افزار (ابزار) و تمرین حل شده در کتاب (مرجع) در پارامترهای محاسبه شده، قطر، فشار سرعت، ضریب افت مالشی، افت کانال، افت فشار استاتیک کانال و فشار استاتیک تجمعی مشاهده گردید. در مقایسه سایر پارامترها نیز اختلافات اندک و قابل پذیرشی مشاهده شد.

جدول ۲. نتایج مقایسه محاسبات پارامترهای کلیدی حاصل از حل تمرین با دو روش نرم افزار و کتاب

نتایج	E-F		G-H	
	مرجع	ابزار	مرجع	ابزار
دبی (فوت مکعب بر دقیقه)	۲۶۱۷۰	۲۶۲۰۹	۲۴۶۰۰	۲۴۵۷۸
قطر محاسبه شده (اینچ)	۳۴/۷۳	۳۳/۳۴	۳۸/۷۶	۳۶/۳۸
قطر (اینچ)	۳۴	۳۴	۳۴	۳۴
سرعت واقعی (فوت بر دقیقه)	۴۱۵۱	۴۱۷۲	۳۹۰۲	۳۸۹۸
فشار سرعت (اینچ آب)	۰/۷۶	۰/۷۷	۷۲/۰	۰/۷۲
فشار استاتیک هود (اینچ آب)	۰	۰	۰	۰
ضریب افت مالشی	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۲
ضریب افت زانویی	۰	۰	۰	۰
افت کانال (اینچ آب)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۱
افت فشار استاتیک کانال (اینچ آب)	۰/۰۲	۰/۰۱۲	۰/۱۱	۰/۱۱
فشار استاتیک تجمعی (اینچ آب)	-۲۴/۴۱	-۲۴/۴۱	۰/۱۱	۰/۱۱

جدول ۳. جزئیات عملیات سیستم تهویه

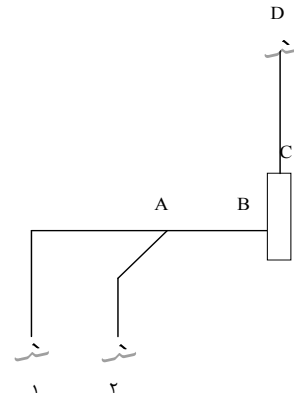
شماره هود	جریان هوای لازم (فوت مکعب هوای استاندارد در هر دقیقه)	افت (اینچ آب)
۱	۲۰۰۰	$0.25 VP_d + 1.78 VP_s$
۲	۳۰۰۰	$0.5 VP_d$
دودکش	-	$0.5 VP_d$

جدول ۴. ابعاد قطعات مختلف سیستم تهویه

قطعه	طول مستقیم کانال (فوت)	سرعت انتقال (فوت بر دقیقه)	زانویی	شاخه فرعی
1-A	۲۰۰	۳۰۰۰	۱-۹۰	-
2-A	۲۵۰	۳۸۰۰	۱-۶۰	۱-۳۰
A-B	۶۰	-	-	-
C-D	۵۰	-	-	-

همچنین نتایج مطالعه نشان داد که در سیستم‌های با یک هود یعنی درجایی که کانال‌ها به صورت سری به هم وصل شده‌اند، بیشترین اختلاف بین نتایج مشابه حاصل از برنامه تهیه شده و داده‌های ثبت شده در مراجع معتبر ۱/۲۷ درصد و کمترین آن صفر درصد بود. در محاسبات مربوط به طراحی سیستم‌های مرکب یعنی سیستم‌هایی که کانال‌های آن به صورت سری موازی بوده و بیش از یک هود دارند نیز بیشترین درصد اختلاف بین نتایج مشابه حاصل از این برنامه و داده‌های معتبر و برنامه‌های تأیید شده ۱/۷۷ درصد و کمترین آن صفر درصد بود

شکل ۶ یک سیستم تهویه که دارای دو هود است را نشان می‌دهد. جزئیات عملیات و ابعاد بخش‌های مختلف این سیستم تهویه در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. هود شماره ۱ دارای شکاف است و هود شماره ۲ بدون شکاف می‌باشد.



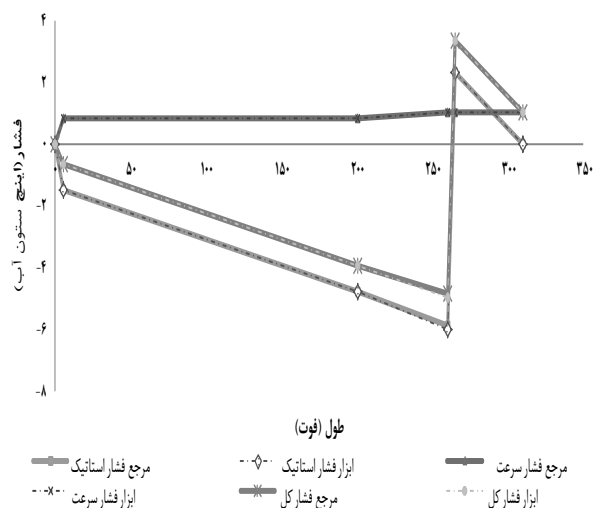
شکل ۶. طرح شماتیک سیستم تهویه با دو هود

نتایج مقایسه پارامترهای کلیدی حاصل از حل مثال با دو نرم افزار در قطعات ۱-A، ۲-A، و A-B در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج جدول مشخص است کمترین اختلاف صفر درصد میان نرم افزار (ابزار) و حل تمرین توسط نرم افزار اعتباربخشی شده (مراجع) در پارامترهای محاسبه شده، قطر، سرعت واقعی، فشار سرعت، ضریب افت مالشی، ضریب افت انشعاب و افت کانال مشاهده گردید. در مقایسه سایر پارامترها نیز اختلافات اندک و قابل پذیرشی مشاهده شد.

جدول ۵. نتایج مقایسه محاسبات پارامترهای کلیدی حاصل از حل تمرین با دو روش نرم افزار محقق ساخته و نرم افزار اعتباربخشی شده

نتایج	A-B		2-A		1-A		قطعه
	مرجع	ابزار	مرجع	ابزار	مرجع	ابزار	
دبی (فوت مکعب بر دقیقه)	۲۰۰۰	۵۰۵۱	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۰۰
قطر محاسبه شده (اینچ)	۰۶/۱۱	۶۱/۱۵	۰۳/۱۲	۰۳/۱۲	۰۶/۱۱	۰۶/۱۱	۰/۰۰
قطر (اینچ)	۱۰	۱۵	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۰/۰۰
سرعت واقعی (فوت بر دقیقه)	۳۶۶۷	۴۱۱۶	۳۸۲۰	۳۸۲۰	۳۶۶۷	۳۶۶۷	۰/۰۰
فشار سرعت (اینچ آب)	۰/۸۴	۰/۶۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۰۰
فشار استاتیک هود (اینچ آب)	۱/۴۹	.	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۴۹	۱/۴۹	۰/۰۰
ضریب افت مالشی	۰/۰۲۳۳	۰/۰۱۴۰	۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۸۶	۰/۰۲۳۳	۰/۰۲۳۳	۰/۰۰
ضریب افت زانویی	۰/۲۷	.	.	.	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۰
ضریب افت انشعاب	.	.	۰/۱۸	۰/۱۸	.	.	۰/۰۰
افت کانال (اینچ آب)	۴/۱۳	۰/۸۹	۴/۵۵	۴/۵۵	۴/۱۳	۴/۱۳	۰/۰۰
افت فشار استاتیک کانال (اینچ آب)	۵/۶۲	۱/۰۵	۵/۹۱	۵/۹۱	۵/۶۲	۵/۶۲	۰/۰۰
فشار استاتیک تجمعی (اینچ آب)	-۵/۶۲	-۶/۹۶	-۵/۹۱	-۵/۹۱	-۵/۶۲	-۵/۶۲	۰/۰۰
دبی اصلاح شده (فوت مکعب بر دقیقه)	۲۰۵۱	-	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۵۱	۲۰۵۱	۰/۰۰
فشار سرعت حاصله (اینچ آب)	۰/۸۸	-	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۰۰

افت زانویی‌های یک تکه را محاسبه می کنند درحالی که برنامه حاضر قادر است کلیه زانویی‌ها در انواع مختلف را محاسبه نماید. بدین منظور اطلاعات انواع زانویی‌های یک تکه، چندتکه، گرد و مستطیل شکل در اختیار کاربر است و کاربر به راحتی می تواند نوع زانویی را انتخاب نماید و ضریب افت زانویی‌ها به طور خودکار توسط نرم افزار تعیین می گردد. این قابلیت که در سایر برنامه‌های نرم افزاری از جمله برنامه‌های تهیه شده در برنامه‌های صفحه گستر نظیر اکسل کمتر دیده می شود، یک برتری عمده محسوب می گردد. میزان سرعت انتقال و جریان هوا در کانال‌هایی که دارای هود نیستند مانند سایر برنامه‌های محاسبات تهویه، توسط نرم افزار به طور خودکار تعیین می گردد. یکی از مباحث کلیدی که در چاپ بیست و هفتم کتاب تهویه صنعتی مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا نیز تغییر کرده است، اعمال تغییرات چگالی در تمام کانال‌ها است (۱۰). اصلاح چگالی در هر کانال در هیچ یک از برنامه‌های قدیمی لحاظ نمی گردید اما برنامه حاضر قادر است چگالی هر قطعه از کانال را محاسبه و با در نظر گرفتن دما، ارتفاع از تراز دریا، فشار و جرم بخار آب موجود در هوا، فاکتور چگالی (چگالی نسبی) هوا در کانال را محاسبه و اعمال نماید. عمده ترین برتری برنامه حاضر نسبت به برنامه‌های نرم افزاری موجود ارائه شده (۸، ۹) در زمینه محاسبات رایانه‌ای طراحی تهویه صنعتی در نظر گرفتن اصلاح چگالی در هر کانال است. از محدودیت‌های برخی از نرم افزارهای ارائه شده در مقالات (۸، ۹) محدود بودن تعداد کانال‌های قابل محاسبه توسط نرم افزار است. به دلیل ظرفیت بالای رایانه‌های امروزی این محدودیت در برنامه حاضر مرتفع شده و نرم افزار حاضر قادر است تعداد n قطعه کانال را محاسبه نماید. مقایسه نتایج پارامترهای کلیدی حاصل از برنامه محقق ساخته با نتایج موجود در مراجع معتبر نشان داد که در میان پارامترهای محاسبه شده کمترین درصد اختلاف مربوط به فشار سرعت و بیشترین درصد اختلاف مربوط به افت فشار استاتیک کانال می باشد. این اختلاف ناشی از وجود عدد پی (π) و ویژگی‌های ذاتی برنامه‌های رایانه‌ای است. برنامه‌هایی که در محیط ویژوال بیسیک نوشته می شوند اعداد را با ۵۶ رقم اعشار گرد می کنند، از سوی دیگر برنامه‌هایی که در محیط‌های صفحه گستر نظیر اکسل و یا کوادروپور نوشته می شوند قادرند اعداد اعشاری را تا ۸ رقم اعشار در نظر گرفته و اعداد اعشاری بیش از ۸ رقم را گرد می کنند. در نتیجه دو برنامه‌ای که در دو محیط متفاوت تهیه شود، اندکی اختلاف خواهند داشت. همچنین نتایج نشان داد که نمودارهای فشار سرعت، فشار استاتیک و فشار کل حاصل از نرم افزار تقریباً بر نمودارهای مثال مرجع منطبق بوده و با آن هم خوانی دارد. تفسیر نتایج حاصل از محاسبه دبی نشان داد که کمترین اختلاف صفر درصد بود که در بیشتر کانال‌ها دیده می شد. بیشترین مقدار اختلاف ۰/۸۳ درصد بود. این اختلاف احتمالاً ناشی از اختلاف در محاسبات افت دوشاخه موازی است که



شکل ۷ نمودار فشارهای سه گانه در طول سیستم

نتایج نمودار بلند-آلتمن نیز نشان داد که انحراف معیار نتایج حاصل از این برنامه در حل ۳۸ قطعه کانال محاسبه شده برای فشار سرعت، فشار استاتیک و همچنین فشار کل در دامنه $\pm 0/01$ درصد بود، در نتیجه ابزار تهیه شده از اعتبار خوبی برای استفاده در طراحی سیستم‌های تهویه مکنده موضعی برخوردار بود.

نتایج محاسبات هر بخش از برنامه با محاسبات دستی در حین تهیه کدهای برنامه مورد مقایسه قرار گرفت و در صورت وجود اختلاف بین نتایج محاسبات دستی و برنامه، موضوع بررسی و اشکالات احتمالی برطرف شد. کمترین اختلاف میان نرم افزار (ابزار) و حل تمرین توسط محاسبات دستی در پارامترهای قطر محاسبه شده، قطر، سرعت واقعی، فشار سرعت و افت کانال مشاهده گردید. در مقایسه سایر پارامترها نیز اختلافات اندک و قابل پذیرشی مشاهده شد.

بحث

مقایسه درصد اختلاف نتایج حاصل از برنامه طراحی شده و داده‌های معتبر و برنامه‌های تأیید شده نشان داد که ابزار تهیه شده از اعتبار خوبی برای استفاده در طراحی سیستم‌های تهویه مکنده موضعی برخوردار است. نرم افزار مورد بررسی بر اساس زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک نوشته شد. ویژوال بیسیک جزء ۱۰ زبان برتر برنامه نویسی در دنیا است و دارای رابط گرافیکی کاربر بوده و تحت ویندوز است و نسبت به زبان‌های دیگر یادگیری آن ساده تر می باشد. سازگار بودن زبان ویژوال بیسیک با مجموعه برنامه‌های Office از محصولات Microsoft خود یکی از ویژگی‌های این بسته نرم افزاری به شمار می رود (۴، ۷). اغلب برنامه‌های نرم افزاری محاسبات تهویه از جمله برنامه‌های تهیه شده در صفحات گسترده نظیر اکسل فقط

طرف محور و بافاصله اندک نسبت به آن قرار گیرند، بدین معنی است که نتایج حاصل از ۲ روش باهم اختلاف اندکی دارند. در صورتی که تمام نقاط در محدوده موردنظر قرار گیرند به این معنی است که ۲ روش با یکدیگر همخوانی دارند. وجود هر نقطه دورافتاده از این محدوده، تفاوت در نتایج آزمایش حاصل از اندازه‌گیری با ۲ روش را نشان می‌دهد (۱۱).

در این نرم‌افزار امکان محاسبه افت ناشی از جمع‌کننده‌ها به صورت اتوماتیک وجود ندارد و کاربر باید به صورت دستی مقدار این افت را وارد نماید، در این مطالعه امکان استفاده از کانال‌های غیر گرد وجود ندارد و البته این مطلب در حین این که می‌تواند به عنوان ضعف کار بیان شود می‌تواند به عنوان نقطه مثبت کار نیز دیده شود چون در مطالعات انجام‌شده ثابت گردیده است استفاده از کانال‌های گرد در تهویه صنعتی، به مراتب بهتر از کانال غیر گرد می‌باشد (۱۰) و در این مطالعه در نظر گرفتن فقط یک هواکش برای سیستم امکان‌پذیر می‌باشد.

نتیجه این که اضافه و کم نمودن شاخه در طراحی توسط این نرم‌افزار بسیار سریع و آسان انجام می‌گیرد. با توجه به هوشمند بودن نرم‌افزار حاضر و تشخیص شاخه‌های موازی و ایجاد تعادل به‌طور خودکار بین آن‌ها، طراحی توسط این نرم‌افزار بسیار آسان می‌باشد. نرم‌افزار مزبور به دلیل اینکه با آخرین تغییرات طراحی تهویه مطابقت دارد نسبت به بقیه نرم‌افزارهای موجود برتری دارد. به دلیل محاسبات دقیق‌تر و ویژه‌ال‌بسیک نسبت به اکسل و استفاده از خود اعداد به‌دست‌آمده و گرد نکردن اعداد، نتایج به‌دست‌آمده توسط این نرم‌افزار، باین که بسیار به اعداد اکسل نزدیک هستند، دقیق‌تر می‌باشند. برنامه تهیه‌شده ابزار معتبری برای طراحی سیستم‌های تهویه مکنده موضعی است.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد خانم فائزه عباس گوهری به راهنمایی دکتر محمدجواد جعفری استخراج گردیده است. نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از همکاری صمیمانه دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی ابراز می‌دارند.

در هنگام متعادل نمودن و در زمانی که لازم است مقدار دبی اصلاح شود منجر به برآورد جریان هوای متفاوت در یک شاخه از طریق دو برنامه محاسباتی می‌شود؛ زیرا در رابطه با اصلاح هوا نسبت فشار استاتیک کل در انتهای دوشاخه موازی ظاهر می‌شود که می‌تواند سبب این اختلاف در محاسبات گردد. بخشی دیگری از این اختلاف می‌تواند ناشی از محدودیت گرد کردن ارقام اعشار در دو سیستم محاسباتی باشد.

دامنه اختلاف اعداد محاسبه‌شده برای سرعت توسط نرم‌افزار و مثال‌های مرجع و بسته نرم‌افزاری معتبر، ۰/۹۴- تا ۰/۳۸ درصد بود. بیشترین اختلاف ۰/۹۴- درصد و کمترین آن صفر درصد بود که در بیشتر شاخه‌ها مشاهده می‌شد. سرعت هوا از تقسیم‌گذر حجمی هوا بر سطح کانال به دست می‌آید لذا می‌توان گفت که بخشی از خطای برآورد شده مربوط به وجود عدد پی در محاسبات سطح کانال و بخشی دیگر مربوط به میزان دبی هوای محاسبه‌شده در شاخه‌هایی که پس از شاخه‌های موازی قرار دارند، می‌باشد. اختلاف فشار سرعت حاصل از برنامه محقق ساخته با فشار سرعت مثال‌های حل‌شده توسط مراجع معتبر در دامنه ۰ تا ۱/۷۷ درصد بود. دامنه اختلاف در فشار استاتیک تجمعی محاسبه‌شده در کلیه مثال‌ها توسط برنامه حاضر و مراجع معتبر در حدود ۰ تا ۰/۸۸ درصد بود. با توجه به این که فشار استاتیک تجمعی از مجموع افت‌های محاسبه‌شده به دست می‌آید به همین دلیل بیشترین اختلاف از بیشترین درصد اختلاف سایر پارامترها بیشتر نبوده است. در کلیه موارد اختلاف کمتر از ۱ درصد بوده است که امری منطقی به نظر می‌رسد. چون در محاسبه فشار استاتیک تمام افت‌های گذشته لحاظ می‌گردند در نتیجه اختلافی که برای این فاکتور محاسبه شد در بیشتر موارد بیش از صفر درصد بود.

نتایج نمودار بلند-آلتمن برای فشارهای سه‌گانه نشان داد که تنها یکی از مشاهدات خارج از محدوده ۹۵ درصد اطمینان بوده و تمرکز داده‌ها نزدیک خط صفر بالاست که نشان می‌دهد بین دو روش توافق وجود دارد. در نمودار بلند و آلتمن هر نقطه نشانگر تفاوت نتایج ۲ روش مختلف در آزمایش یک نمونه است. در صورتی که میانگین تفاوت‌ها برابر صفر باشد، نشان‌دهنده عدم اختلاف نتایج ۲ روش است. به عبارتی وقتی نقاط، روی محور میانگین تفاوت‌ها و یا در ۲

References

1. Aghilinejad M, Mostafaei M. Occupational medicine practice. Arjmand publishing group. Tehran. Iran. 2000.
2. Jafari MJ, Hajgholami MR, Jafari M, Amiri Z, Omidi L, Salehpour S, et al. Assessment of the effectiveness of ventilation types for reducing the occupational exposure to bioaerosols in health care staffs. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2015;1(4):1-10.

3. Jafari MJ, Karimi A, Azari MR. The role of exhaust ventilation systems in reducing occupational exposure to organic solvents in a paint manufacturing factory. *Indian journal of occupational and environmental medicine*. 2008;12(2):82.
4. Kumar A, Duvvuru A, Patel I. Development and evaluation of a software for design of industrial ventilation systems. *Environmental progress*. 2001;20(1):A6-A10.
5. Burgess WA, Ellenbecker MJ, Treitman RD. *Ventilation for control of the work environment*: John Wiley & Sons; 2004.
6. Goodfellow HD. *Industrial ventilation design guidebook*: Academic press; 2001.
7. Abbas Gohari F. *Software to design industrial ventilation systems*. Tehran: Shahid Beheshti University of Medical Sciences; 2013.
8. Omidvar M, Assilian mahabady H, Khavanin A. Conference of Geology and the Environment, Eslamshahr. In: 4, editor.: *Industrial Ventilation Software Design*. 2009.
9. Mahabady HA, Omidvar M, Rezaee A, Khavanin A, Mortazavi S. A new exhaust ventilation system design software. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 2007; 4(4):235-42.
10. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. In *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design*, 27th ed, Cincinnati, Ohio: ACGIH. 2010.
11. Bland JM, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*. 1986;327(8476):307-10.

Development and validation of software for designing industrial ventilation systems

Jafari MJ¹, Abbas Gohari F^{2*}, Omid L³, Izadi SK⁴, Khoshghovah MH⁵

Abstract

Background and Objectives: Designing of a ventilation system is a complex process. In addition to the time consuming calculations of each branch, it requires iterative calculations for balancing parallel branches. Designing of a proper hood, selecting of appropriate duct diameters and choosing of suitable fan are designing processes in which the error may enforce to decrease the system performance and impose additional costs to the system. Error is likely in manual calculations. In present study, a software tool was developed and validated for local exhaust ventilation system design and calculations.

Materials and Methods: The program was written in Visual Basic. Validation of the software was carried out in two parts. The perfection of the provided codes was studied first. In the second part of the validation process, computational results were studied. For this purpose, the validation was conducted in three steps. The results of each part of the program were compared with the results of manual calculations for simple example, benchmark data, and the results obtained from a credited software program. The Bland-Altman analytical method was applied to statistically compare the overall results.

Results: The results revealed that in single hood ventilation systems where the ducts are connected in series, the maximum difference between similar results of the program and benchmark data was 1.27% and the least difference was 0 percent. In complex systems with more than one hood and parallel ducts, the maximum disparity between two similar results gained from this program and either benchmark data or a credited program was 1.77% while the minimum disparity was 0%. Bland-Altman analyses showed that standard deviation of the results from the application of this program to 38-duct pieces was in the range of $\pm 0.01\%$ for velocity pressure, static pressure as well as total pressure.

Conclusion: *The present software is a reliable tool for local exhaust ventilation design.*

Keywords: *Ventilation, Design, Air pollution, Software*

1. Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. MSc Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. PhD Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Department of Computer Sciences, School of Mathematic Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
5. Department of Computer Engineering, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran

*Corresponding Author: faezhabbasgohari@gmail.com