مقاله اصلی
Original Article

مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت ها
e-ISSN: ۲۳۸۳-۱۹۰۱ p-ISSN: ۲۳۴۵-۲۴۵۵
دوره۳. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۱۰۳ تا ۱۱۰

تهیه و اعتبارسنجی یک نرم‌افزار جهت طراحی سیستم های تهویه صنعتی

محمدجواد جعفری[۱]، فائزه عباس گوهری*[۲]، لیلا امیدی[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 حرفه ای، 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 ازجمله 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 اعتبار سنجی شد.

روش بررسی: در این مطالعه ساخت ابزار، برنامه به زبان ویژوال‌بیسیک نوشته شد. اعتبارسنجی بسته نرم‌افزاری تهیه‌شده در دو بخش موردمطالعه قرار گرفت. در بخش نخست صحت کدهای تهیه‌شده موردبررسی قرار گرفت. در دومین بخش از اعتبارسنجی برنامه، نتایج محاسباتی آن موردمطالعه 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.

یافته ها: در سیستم‌های با یک هود (اتصال کانال‌ها به‌صورت 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 به‌صورت 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 ۱/۷۷٪ 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 ۰/۱۰± درصد بوده است.

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

واژگان کلیدی: *تهویه، طراحی، آلودگی هوا، نرم‌افزار*

مقدمه

آلودگی‌های منتشرشده در محیط کار در صورت عدم کنترل، علاوه بر ایجاد بیماری‌های ناشی از کار، سبب آسیب به محیط‌زیست نیز می شوند (۱). تهویه مناسب جهت ایجاد محیطی مولد و سالم برای شاغلین موردنیاز است (۲،۳). سیستم‌های تهویه موضعی توانایی مهار آلودگی را در منبع تولید داشته و آلودگی‌ها را پالایش و حذف می نمایند و از این طریق انتشار آلودگی و بیماری‌های ناشی از کار را در محیط های کاری کاهش می دهند. توانایی یک سیستم تهویه مکنده موضعی در کاهش و کنترل آلودگی محیط کار به طراحی دقیق، ساخت صحیح و راهبری مناسب آن بستگی دارد (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 موردنظر قرار گیرد (۴). یک سیستم تهویه معمولاً از پنج بخش تشکیل می گردد. 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 می شود. محاسبات و انتخاب پارامترهای طراحی سیستم تهویه مکنده موضعی بر اساس برگه‌های محاسباتی ارائه‌شده توسط مجمع دولتی متخصصین

* آدرس نویسنده مسئول مکاتبات: faezehabbasgohari@gmail.com

۱. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)

www.SID.ir

بهداشت صنعتی آمریکا[1] و سایر سازمان‌های قانون‌گذار حداقل دارای ۴۶ مرحله بوده و محاسبات انجام‌شده مرتبط با یک شاخه هست. سیستم‌های مکنده اغلب از چندین شاخه تشکیل می گردد و محاسبات مرتبط با این شاخه‌ها بسیار مشکل و وقت گیر است. علاوه بر محاسبات وقت گیر برای هر شاخه، جهت متعادل‌سازی شاخه‌های موازی نیز نیاز به تکرار محاسبات است (۷). طراحی هود، انتخاب قطر کانال و هواکش مناسب ازجمله مراحل طراحی می باشند که بروز خطا در هر مرحله منجر به کاهش عملکرد سیستم گشته و ممکن است هزینه‌های اضافی بر سیستم تحمیل نماید. همچنین استفاده از چارت‌ها 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، قابل‌اطمینان و ارزان بوده و دارای دامنه کاربرد وسیع هستند، برنامه های کامپیوتری جهت طراحی‌های مهندسی به کار گرفته‌شده است. نرم افزار ویژوال‌بیسیک مانند زبان بیسیک طوری طراحی‌شده 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 برنامه‌های ساده دارای رابط گرافیکی برای کاربر[2] و هم خلق برنامه‌های پیچیده و توسعه‌یافته هستند و می توان گفت کاربرپسند می باشد. در حقیقت برنامه‌نویسی در محیط ویژوال‌بیسیک، ترکیبی است از اجزای مرتب‌شده‌ای جهت اعمال کنترل بر ویژگی‌های مختلف برگه‌هایی که از پیش تعریف‌شده‌اند و توابع عملیاتی که بر روی این اجزا قابل پیاده‌سازی و اجرا هستند. نوشتن کدهای اضافی برای ایجاد توابع بیشتر یا متفاوت نیز توسط این نرم‌افزار امکان‌پذیر است. محیط برنامه‌نویسی ویژوال‌بیسیک مطابق با ماکروسافت می باشد و بر روی سیستم‌عامل ویندوز قابل‌اجرا است (۴). استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری جهت طراحی سیستم تهویه در مطالعات مختلف گزارش‌شده است. نرم‌افزار ویژوال‌بیسیک جهت طراحی سیستم تهویه در مطالعه کومار و همکاران و مهابادی و همکاران بکار گرفته‌شده است (۴، ۹). این نرم‌افزار ترکیب مناسبی از رابط گرافیکی کاربر و برنامه‌نویسی را فراهم می آورد (۴). نتایج مطالعه اصیلیان و همکاران نشان داد که استفاده از نرم‌افزار 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 این‌که 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 نرم‌افزار جهت طراحی سیستم‌های تهویه صنعتی بر پایه سیستم‌عامل ویندوز و در محیط ویژوال‌بیسیک ۶ انجام گردید. اهداف موردنظر در طراحی این بسته نرم‌افزاری صرفه‌جویی در وقت و جلوگیری از انجام اعمال تکراری بود. مهم‌ترین فاکتوری که این نرم‌افزار را نسبت به نرم‌افزارهای گذشته متمایز می کند، اعمال آخرین قواعد مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا درزمینهٔ طراحی تهویه است. طراحی بر اساس آخرین تغییرات برگه‌های محاسباتی کتاب تهویه صنعتی، مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا، ویرایش ۲۷ سال ۲۰۱۰ انجام گرفت (۱۰). بالانس خودکار سیستم از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار می باشد.

مواد و روش ها

مطالعه حاضر از نوع ساخت ابزار بود که در تهیه نرم‌افزار موردمطالعه ابتدا کد نماهای (سودوکدهای) لازم نوشته شد. سپس متغیرها معرفی و الگوریتم‌های مربوطه رسم گردید. شکل ۱ دیاگرام محاسبه افت و اصلاح شاخه موازی در یک شاخه از سیستم تهویه را نشان می دهد. مراحل اجرای نرم‌افزار از سه بخش تشکیل‌شده است. بخش اصلی شامل یک صفحه است که بر اساس برگه‌های محاسباتی کتاب تهویه صنعتی از ۴۶ آیتم تشکیل‌شده 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 به‌صورتی است که بعدازاین که دکمه «ذخیره اطلاعات» زده شد، کدهای مربوطه عمل ذخیره اطلاعات را انجام میدهند. 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 قابل‌مشاهده باشد. در بخش سوم اطلاعات حاصل از پردازش و انجام محاسبات در نرم‌افزار ذخیره می گردد.
شکل ۲ صفحه اصلی ثبت اطلاعات اولیه در نرم‌افزار را نشان می دهد. ازجمله مواردی که در صفحه اصلی نرم‌افزار وارد می شوند، فاکتور چگالی است که از طریق رابطه ۱ محاسبه می گردد:

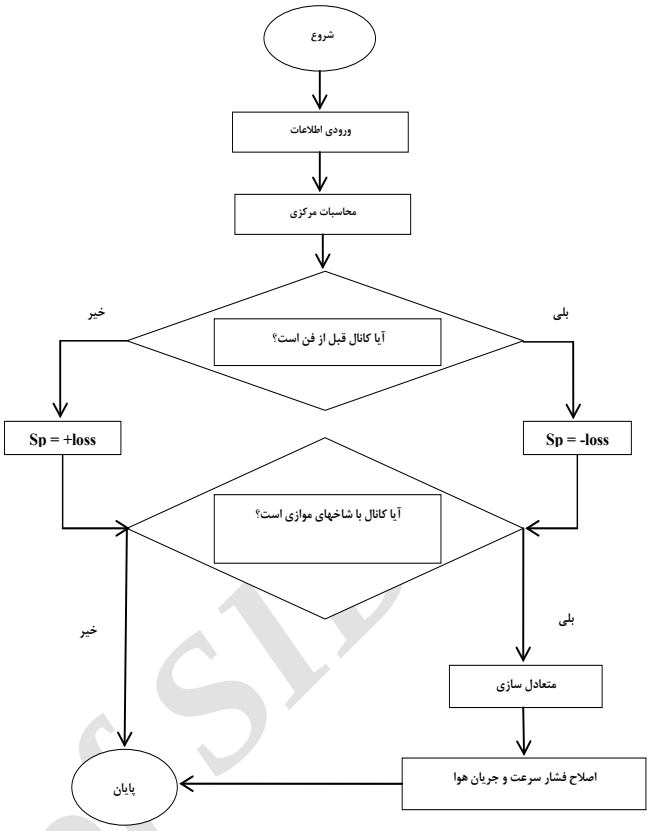
$$\text{[illegible]} = \text{[illegible]}_e \times \text{[illegible]}_p \times \text{[illegible]}_T \times \text{[illegible]}_m \qquad \text{رابطه ۱}$$

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

اعتبارسنجی بسته نرم‌افزاری تهیه‌شده در دو بخش موردمطالعه قرار گرفت. در بخش نخست صحت کدهای تهیه‌شده موردبررسی قرار گرفت. به همین منظور پس از تهیه هر بخش از کدها، برنامه به‌گونه‌ای هدایت شد تا کلیه مراحل پیش‌بینی‌شده 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 موردمطالعه قرار گرفت.

۲. Graphical User Interface

Archive of SID
www.SID.ir



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

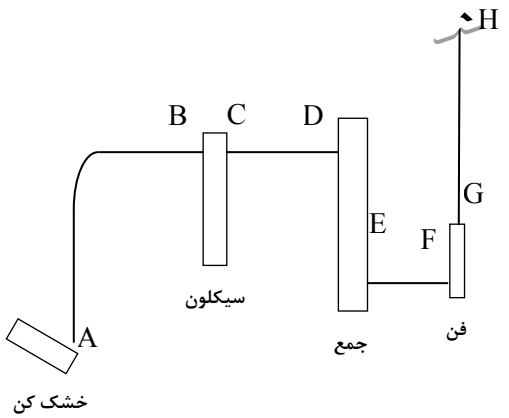
شکل ۲. صفحه اصلی ثبت اطلاعات اولیه در نرم‌افزار

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 داده‌های مندرج در مراجع معتبر از طریق حل تمرینات حل‌شده 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 سه‌گانه توسط هر دو روش رسم گردید. در حین مقایسه نتایج، مشکلات جزئی برنامه مرتفع شد. سپس نمودار بلند- آلتمن برای فشارهای سه‌گانه رسم گردید.

یافته ها

برای مقایسه نتایج کل برنامه تهیه‌شده با داده‌های معتبر موجود، این نتایج با نتایج حاصل از تمرینات حل‌شده در کتاب تهویه صنعتی مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا 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 محاسبه‌شده 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 قابل‌پذیرش می باشد. به‌عنوان نمونه جهت مقایسه نتایج نرم‌افزار با داده‌های موجود در منابع یکی از مثال های حل‌شده ارائه گردیده است. جریان هوای خروجی از یک خشک‌کن به ابعاد ۲۴×۶۰ فوت برابر ۱۶۰۰۰ فوت مکعب هوای استاندارد در هر دقیقه به‌اضافه رطوبت خارج‌شده می باشد. دمای هوای مکیده شده ۵۰۰ درجه فارنهایت بود. خشک‌کن در هر ساعت ۶۰ تن مواد نم‌دار را با ظرفیت استخراج ۵٪ خشک می کند. فشار مکش در خشک‌کن ۲- اینچ آب و حداقل سرعت انتقال باید ۴۰۰۰ فوت بر دقیقه باشد. برای کنترل آلودگی هوا از سیکلون خشک و جمع‌آوری‌کننده‌تر باانرژی بالا استفاده می شود. شکل ۳، طرح شماتیک سیستم تهویه خشک‌کن در تمرینات کتاب تهویه صنعتی مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا را نشان می دهد.



شکل ۳. طرح شماتیک سیستم تهویه خشک‌کن

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱ ابعاد قطعات مختلف سیستم تهویه را نشان میدهد.

جدول ۱. ابعاد قطعات مختلف سیستم تهویه

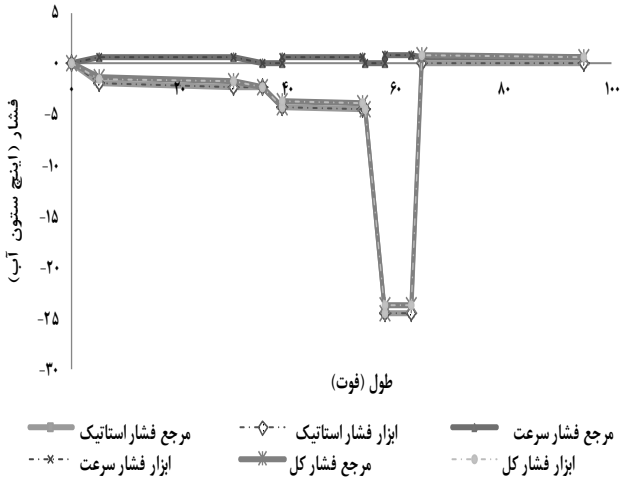
قطعه	طول مستقیم کانال (فوت)	جریان هوای لازم (فوت مکعب هوای استاندارد در هر دقیقه)	زانویی	شاخه فرعی	ضریب اصلاح چگالی
A-B	۳۰	۱۶۰۰۰	۹۰-۱	---	۰/۵۳
B-C	سیکلون	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۵۳
C-D	۱۵	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۵۳
D-E	جمع‌آوری‌کننده‌تر	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۷۶
E-F	۵	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۷۱
G-H	۳۰	۱۶۰۰۰	---	---	۰/۷۶

جدول ۲ نتایج مقایسه محاسبات پارامترهای کلیدی حاصل از حل تمرین با دو روش نرم‌افزار محقق ساخته و کتاب را در قطعات E-F و G-H نشان می دهد. همان‌طور که از نتایج جدول مشخص است کمترین درصد اختلاف صفر درصد میان نرم‌افزار (ابزار) و تمرین حل‌شده در کتاب (مرجع) در پارامترهای محاسبه‌شده، 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 قابل‌پذیرشی مشاهده شد.

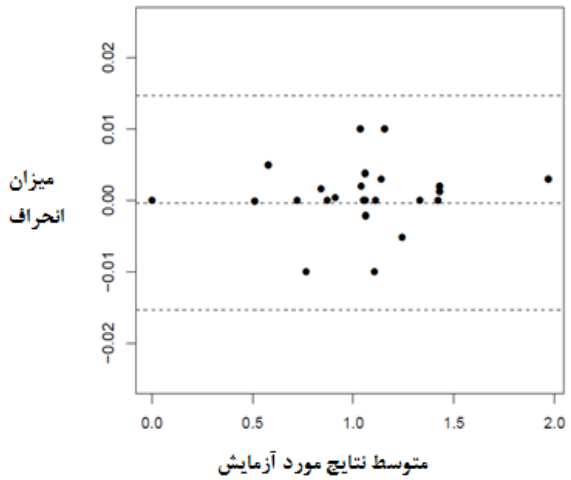
جدول ۲. نتایج مقایسه محاسبات پارامترهای کلیدی حاصل از حل تمرین با دو روش نرم‌افزار و کتاب

قطعه	E-F			G-H		
نتایج	مرجع	ابزار	اختلاف	مرجع	ابزار	اختلاف
دبی (فوت مکعب بر دقیقه)	۲۶۱۷۰	۲۶۳۰۹	-۰/۵۳	۲۴۶۰۰	۲۴۵۷۸	۰/۰۹
قطر محاسبه‌شده (اینچ)	۳۴/۷۳	۷۳/۳۴	۰۰/۰	۳۸/۷۶	۷۶/۳۸	۰/۰۰
قطر (اینچ)	۳۴	۳۴	۰۰/۰	۳۴	۳۴	۰/۰۰
سرعت واقعی (فوت بر دقیقه)	۴۱۵۱	۴۱۷۲	-۰/۵۰	۳۹۰۲	۳۸۹۸	۰/۱۰
فشار سرعت (اینچ آب)	۰/۷۶	۰/۷۷	-۱/۳۱	۷۲/۰	۰/۷۲	۰/۰۰
فشار استاتیک هود (اینچ آب)	۰	۰	-	۰	۰	-
ضریب افت مالشی	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۲	۰۰/۰	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰
ضریب افت زانویی	۰	۰	-	۰	۰	-
افت کانال (اینچ آب)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰۰/۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۰
افت فشار استاتیک کانال (اینچ آب)	۰/۰۲	۰/۰۱۲	۰۰/۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۰
فشار استاتیک تجمعی (اینچ آب)	-۲۴/۴۱	-۲۴/۴۱	۰۰/۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۰

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



شکل ۴. نمودار فشارهای سه‌گانه در طول سیستم



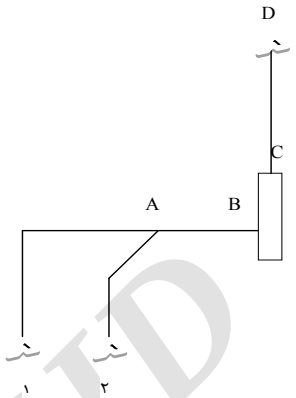
شکل ۵. نمودار بلند- آلتمن برای فشار سرعت

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 محاسبه‌شده کمترین درصد اختلاف مربوط به فشار سرعت، صفر درصد و بیشترین درصد اختلاف مربوط به افت فشار استاتیک کانال ۰/۹ درصد می‌باشد. این اختلاف بسیار اندک بوده و قابل‌پذیرش است. تفاوت قطرهای محاسبه‌شده از طریق برنامه حاضر با نتایج موجود در مراجع و بسته‌های نرم‌افزاری معتبر در دامنه ۰/۴۶- تا ۰/۲۶ درصد میباشد. کمترین اختلاف که در اکثر موارد در محاسبه قطر دیده شد، صفر درصد بود و بیشترین مقدار آن ۰/۴۶- درصد بود. به‌عنوان نمونه مثال حل‌شده توسط نرم‌افزار طراحی‌شده و یک برنامه اعتباربخشی شده ارائه‌شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

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 داده‌شده 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 (مرجع) 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 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

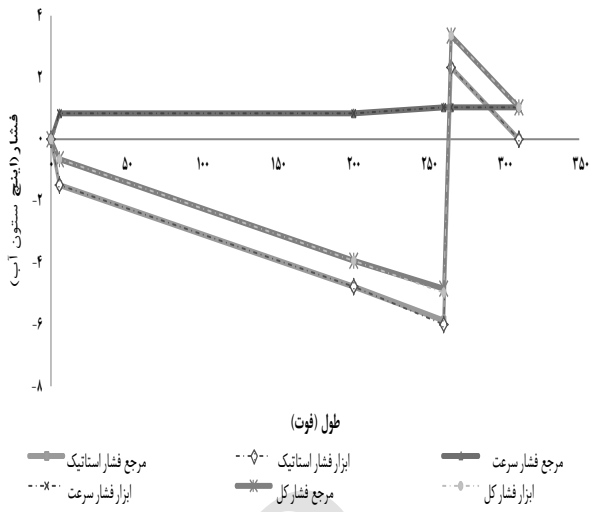
قطعه	طول مستقیم کانال (فوت)	سرعت انتقال (فوت بر دقیقه)	زانویی	شاخه فرعی
1-A	۲۰۰	۳۰۰۰	۱-۹۰	-
2-A	۲۵۰	۳۸۰۰	۱-۶۰	۱-۳۰
A-B	۶۰	-	-	-
C-D	۵۰	-	-	-

همچنین نتایج مطالعه نشان داد که در سیستم‌های با یک هود یعنی درجایی که کانال‌ها به‌صورت سری به هم وصل شده‌اند، بیشترین اختلاف بین نتایج مشابه حاصل از برنامه تهیه‌شده و داده‌های ثبت‌شده در مراجع معتبر ۱/۲۷ درصد و کمترین آن صفر درصد بود. در محاسبات مربوط به طراحی سیستم‌های مرکب یعنی سیستم‌هایی که کانال‌های آن به‌صورت 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 تأییدشده ۱/۷۷ درصد و کمترین آن صفر درصد بود

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

قطعه	1-A			2-A			A-B		
نتایج	مرجع	ابزار	اختلاف٪	مرجع	ابزار	اختلاف٪	مرجع	ابزار	اختلاف٪
دبی (فوت مکعب بر دقیقه)	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۰۰	۵۰۵۱	۵۰۵۱	۰/۰۰
قطر محاسبه‌شده (اینچ)	۰۶/۱۱	۰۶/۱۱	۰/۰۰	۰۳/۱۲	۰۳/۱۲	۰/۰۰	۶۱/۱۵	۶۱/۱۵	۰/۰۰
قطر (اینچ)	۱۰	۱۰	۰/۰۰	۱۲	۱۲	۰/۰۰	۱۵	۱۵	۰/۰۰
سرعت واقعی (فوت بر دقیقه)	۳۶۶۷	۳۶۶۷	۰/۰۰	۳۸۲۰	۳۸۲۰	۰/۰۰	۴۱۱۶	۴۱۱۶	۰/۰۰
فشار سرعت (اینچ آب)	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۰۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۰۰	۰۶/۱	۱/۶۰	۰/۰۰
فشار استاتیک هود (اینچ آب)	۱/۴۹	۱/۴۹	۰/۰۰	۱/۳۶	۱/۳۶	۰/۰۰	۰	۰	-
ضریب افت مالشی	۰/۰۲۳۳	۰/۰۲۳۳	۰/۰۰	۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۸۶	۰/۰۰	۰/۰۱۴۰	۰/۰۱۴۰	۰/۰۰
ضریب افت زانویی	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۰	۰	۰	-	۰	۰	-
ضریب افت انشعاب	۰	۰	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۰	۰	۰	۰/۰۰
افت کانال (اینچ آب)	۴/۱۳	۴/۱۳	۰/۰۰	۴/۵۵	۴/۵۵	۰/۰۰	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۰۰
افت فشار استاتیک کانال (اینچ آب)	۵/۶۲	۵/۶۲	۰/۰۰	۵/۹۱	۵/۹۱	۰/۰۰	۱/۰۶	۱/۰۵	۰/۹
فشار استاتیک تجمعی (اینچ آب)	-۵/۶۲	-۵/۶۲	۰/۰۰	-۵/۹۱	-۵/۹۱	۰/۰۰	-۶/۹۸	-۶/۹۶	۰/۲
دبی اصلاح‌شده (فوت مکعب بر دقیقه)	۲۰۵۱	۲۰۵۱	۰/۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۰۰	-	-	-
فشار سرعت حاصله (اینچ آب)	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۰۴	-	-	-

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۷ نمودار فشارهای سه‌گانه در طول سیستم

نتایج نمودار بلند- آلتمن نیز نشان داد که انحراف معیار نتایج حاصل از این برنامه در حل ۳۸ قطعه کانال محاسبه‌شده برای فشار سرعت، فشار استاتیک و همچنین فشار کل در دامنه ۰/۰۱± درصد بود، درنتیجه ابزار تهیه‌شده 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 نرم‌افزار (ابزار) و حل تمرین توسط محاسبات دستی در پارامترهای قطر محاسبه‌شده، قطر، سرعت واقعی، فشار سرعت و افت کانال مشاهده گردید. در مقایسه سایر پارامترها نیز اختلافات اندک و قابل‌پذیرشی مشاهده شد.

بحث

مقایسه درصد اختلاف نتایج حاصل از برنامه طراحی‌شده و داده‌های معتبر و برنامه‌های تأییدشده نشان داد که ابزار تهیه‌شده از اعتبار خوبی برای استفاده در طراحی سیستم‌های تهویه مکنده موضعی برخوردار است. نرم‌افزار موردبررسی بر اساس زبان برنامه نویسی ویژوال‌بیسیک نوشته شد. ویژوال‌بیسیک جزء ۱۰ زبان برتر برنامه‌نویسی در دنیا است و دارای رابط گرافیکی کاربر بوده و تحت ویندوز است و نسبت به زبان های دیگر یادگیری آن ساده تر می باشد. سازگار بودن زبان ویژوال‌بیسیک با مجموعه برنامه‌های Office از محصولات Microsoft خود یکی از ویژگی‌های این بسته نرم‌افزاری به شمار می‌رود (۴، ۷). اغلب برنامه‌های نرم‌افزاری محاسبات تهویه ازجمله برنامه‌های تهیه‌شده در صفحات گسترده نظیر اکسل فقط افت زانویی‌های یک‌تکه را محاسبه می کنند درحالی‌که برنامه حاضر قادر است افت کلیه زانویی‌ها در انواع مختلف را محاسبه نماید. بدین منظور اطلاعات انواع زانویی‌های یک‌تکه، چندتکه، گرد و مستطیل شکل در اختیار کاربر است و کاربر به‌راحتی می تواند نوع زانویی را انتخاب نماید و ضریب افت زانویی‌ها به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار تعیین می گردد. این قابلیت که در سایر برنامه‌های نرم‌افزاری ازجمله برنامه‌های تهیه‌شده در برنامه‌های صفحه گستر نظیر اکسل کمتر دیده می‌شود، یک برتری عمده محسوب می گردد. میزان سرعت انتقال و جریان هوا در کانال‌هایی که دارای هود نیستند مانند سایر برنامه‌های محاسبات تهویه، توسط نرم‌افزار به‌طور 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 هیچ‌یک 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 بخارآب موجود در هوا، فاکتور چگالی (چگالی نسبی) هوا در کانال را محاسبه و اعمال نماید. عمده‌ترین برتری برنامه حاضر نسبت به برنامه‌های نرم‌افزاری موجود ارائه‌شده (۸، ۹) درزمینه محاسبات رایانه‌ای طراحی تهویه صنعتی در نظر گرفتن اصلاح چگالی در هر کانال است. از محدودیت‌های برخی از نرم‌افزارهای ارائه‌شده در مقالات (۸، ۹) محدود بودن تعداد کانال‌های قابل‌محاسبه توسط نرم‌افزار است. به دلیل ظرفیت بالای رایانه‌های امروزی این محدودیت در برنامه حاضر مرتفع شده و نرم‌افزار 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 محاسبه‌شده کمترین درصد اختلاف مربوط به فشار سرعت و بیشترین درصد اختلاف مربوط به افت فشار استاتیک کانال می‌باشد. این اختلاف ناشی از وجود عدد پی (π) و ویژگی‌های ذاتی برنامه‌های رایانه‌ای است. برنامه‌هایی که در محیط ویژوال‌بیسیک 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 کوادروپورو 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. درنتیجه 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 نرم‌افزار تقریباً بر نمودارهای مثال مرجع منطبق بوده و با آن‌هم 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

Archive of SID
www.SID.ir

در هنگام متعادل نمودن و درزمانی که لازم است مقدار دبی اصلاح شود منجر به برآورد جریان هوای متفاوت در یک شاخه از طریق دو برنامه محاسباتی می شود؛ زیرا در رابطه با اصلاح هوا نسبت فشار استاتیک کل در انتهای دوشاخه موازی ظاهر می شود که می تواند سبب این اختلاف در محاسبات گردد. بخشی دیگری از این اختلاف می تواند 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 نرم افزاری معتبر، ۰/۹۴- تا ۰/۳۸ درصد بود. بیشترین اختلاف ۰/۹۴- درصد و کمترین آن صفر درصد بود که در بیشتر شاخه‌ها مشاهده می شد. سرعت هوا از تقسیم گذر حجمی هوا بر سطح کانال به دست می آید 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، می باشد. 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 می آید 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 می رسد. چون در محاسبه فشار استاتیک تمام افت‌های گذشته لحاظ می گردند درنتیجه 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. درصورتی‌که میانگین تفاوت‌ها برابر صفر باشد، نشان‌دهنده عدم اختلاف نتایج ۲ روش است. به عبارتی وقتی نقاط، روی محور میانگین تفاوت‌ها و یا در ۲ طرف محور و بافاصله اندک نسبت به آن قرار گیرند، بدین معنی است که نتایج حاصل از ۲ روش باهم اختلاف اندکی دارند. درصورتی‌که 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 جمع کننده‌ها به‌صورت اتوماتیک وجود ندارد و کاربر باید به‌صورت دستی مقدار این افت را وارد نماید، در این مطالعه امکان استفاده از کانال‌های غیر گرد وجود ندارد و البته این مطلب در حین این‌که می تواند به‌عنوان ضعف کار بیان شود می تواند به‌عنوان نقطه مثبت کار نیز دیده شود چون در مطالعات انجام‌شده ثابت گردیده است استفاده از کانال‌های گرد در تهویه صنعتی، به‌مراتب بهتر از کانال غیر گرد می باشد (۱۰) و در این مطالعه در نظر گرفتن فقط یک هواکش برای سیستم امکان‌پذیر می باشد.

نتیجه این که اضافه و کم نمودن شاخه در طراحی توسط این نرم‌افزار بسیار سریع و آسان انجام می گیرد. با توجه به هوشمند بودن نرم‌افزار حاضر و تشخیص شاخه‌های موازی و ایجاد تعادل به‌طور خودکار بین آن‌ها، طراحی توسط این نرم‌افزار بسیار آسان می باشد. نرم‌افزار مزبور به دلیل اینکه با آخرین تغییرات طراحی تهویه مطابقت دارد نسبت به بقیه نرم‌افزارهای موجود برتری دارد. به دلیل محاسبات دقیق‌تر ویژوال‌بیسیک نسبت به اکسل و استفاده از خود اعداد به‌دست‌آمده و گرد نکردن اعداد، نتایج به‌دست‌آمده توسط این نرم‌افزار، بااین که بسیار به اعداد اکسل نزدیک هستند، دقیق‌تر می باشند. 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 می دارند.

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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

Development and validation of software for designing industrial ventilation systems

Jafari MJ[1], Abbas Gohari F[2*], Omidi L[3], Izadi SK[4], Khoshghovah MH [5]

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 ± 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:** faezehabbasgohari@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir