

ارائه نرم افزار برای محاسبه شدت جریان هوای مورد نیاز برای تهویه تونل ها

رضا نبی زاده: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر
مهدی پورمحمدی: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر
سیدحسن مدنی: استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

با توجه به اهمیت تهویه تونل ها و حجم زیاد محاسبات برای طراحی تهویه آنها، در این مقاله، نرم افزاری برای طراحی تهویه تونل و محاسبه حجم هوای مورد نیاز برنامه نویسی شد. این برنامه شدت جریان مورد نیاز برای تهویه را در ترافیک روان، ترافیک سنگین و راه‌بندان بر اساس روش‌های کلاسیک که شامل روش آمریکایی، انگلیسی، نروژی، فرانسوی و ژاپنی است محاسبه می‌کند. ساختار اصلی برنامه به‌گونه‌ای است که با در نظر گرفتن شرایط تونل، ترافیک ساعتی وسایل نقلیه سبک و سنگین و همچنین تصحیحات مربوط به ارتفاع از سطح آزاد دریاها، شیب تونل و سرعت حرکت وسایل نقلیه در داخل تونل با استفاده از فرمول‌های ارائه شده، شدت جریان هوای مورد نیاز برای رقیق کردن آلاینده‌ها محاسبه می‌شود. سپس میانگین شدت جریان‌های حاصل از هر یک از موارد به‌عنوان میانگین اولیه در نظر گرفته می‌شود. با محاسبه انحراف معیار شدت جریان‌ها، مواردی از این شدت جریان‌ها که بیش از دو برابر انحراف معیار از میانگین محاسبه شده اختلاف دارند حذف و دوباره از شدت جریان‌های باقی مانده میانگین گرفته شده و به‌عنوان میانگین نهایی و شدت جریان هوای مورد نظر برای تهویه تونل انتخاب می‌شود. این نرم افزار علاوه بر اینکه سرعت محاسبات را بالا می‌برد، هیچ‌گونه خطای محاسباتی و یا اشتباه انسانی ندارد و نتایجی که می‌دهد، دقیق و قابل اعتماد است.

واژه‌های کلیدی: تهویه تونل، شدت جریان تهویه، نرم افزار تهویه

۱- مقدمه

تونل‌های بلند و با ترافیک سنگین این نوع تهویه‌ها موثر نیستند

و تهویه مکانیکی مورد نیاز است. [1]

به‌طور کلی سیستم تهویه در تونل‌ها علاوه بر رقیق‌سازی گازهای سمی و آلاینده‌های منتشره از خودروها در وضعیت‌های مختلف ترافیکی (عادی، متراکم و راه‌بندان)، باید توانایی کنترل دود و گازهای داغ در حالت اضطراری (آتش‌سوزی) را نیز داشته باشد. حجم هوای مورد نیاز برای تهویه در وضعیت‌های مختلف ترافیکی (با توجه به ترافیک عبوری از تونل) و بر مبنای رقیق کردن آلاینده‌های غالب منتشره از خودروها (مونواکسید کربن، دوده و اکسیدهای ازت)، محاسبه شده و میانگین آن مدنظر قرار می‌گیرد. برای محاسبه حجم هوای تازه مورد نیاز برای تهویه در

فرایند تهویه در تونل‌های جاده‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد. امنیت استفاده‌کنندگان از تونل‌های بزرگ شهری، به علت وجود آلاینده‌های منتشره از خودروها و دود و گازهای داغ ناشی از آتش‌سوزی در آن همواره مورد توجه بوده است. اکثر تونل‌هایی که برای عبور وسایل نقلیه موتوری احداث می‌شوند، به تهویه مکانیکی نیاز دارند. البته سیستم‌های تهویه در مورد تونل‌های مختلف متفاوت است. مثلاً در ساده‌ترین حالت جریان هوایی که به‌طور طبیعی در تونل به جریان می‌افتد خود نوعی تهویه است و یا حتی حرکت هوا در نتیجه اثر پیستونی ناشی از حرکت وسایل نقلیه نیز ممکن است تهویه تونل‌های کوتاه را تامین کند. اما در مورد

وضعیت‌های مختلف ترافیکی، روش‌های مختلفی توسط کشورهای انگلیس، آمریکا، نروژ، فرانسه و ژاپن ارائه شده است که در حال حاضر دستورالعمل‌ها، استانداردها و توصیه‌های انجمن جهانی پیارک، مبنای طراحی سیستم‌های تهویه تونل‌ها در بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی است. [۲]

طراحی و اجرای سیستم‌های تهویه، نیاز به حجم بالایی از محاسبات دارد که انجام این محاسبات به صورت دستی زمان‌گیر و همچنین با خطاهای زیادی مانند خطای محاسباتی، انسانی و گرد کردن همراه است. علاوه بر آن، اکثر محاسبات تکراری و خسته‌کننده هستند.

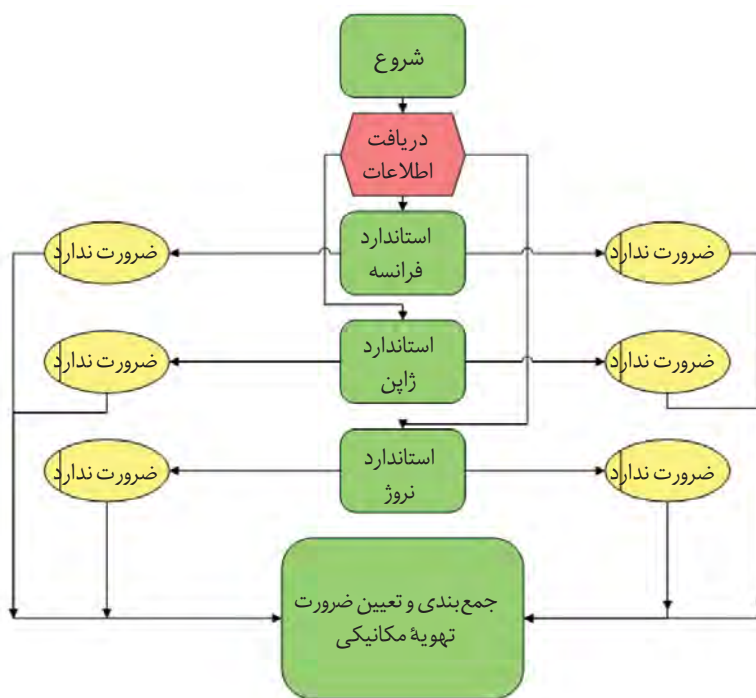
برای رفع این مشکلات با استفاده از برنامه‌نویسی matlab، نرم‌افزاری تهیه شده که هدف از آن، انجام محاسبات در سریع‌ترین

۲- بررسی ضرورت انجام تهویه مکانیکی

بر اساس استانداردهایی که در ارتباط با طول تونل بدون نیاز به تهویه مکانیکی وجود دارد، اگر طول تونل از حدی بیشتر شود، انجام تهویه مکانیکی ضرورت می‌یابد.

برای بررسی ضرورت انجام تهویه مکانیکی در تونل، استانداردهای مختلفی ارائه شده است که این برنامه، با توجه به اطلاعات موجود و رجوع به استانداردهای ارائه شده، ضرورت تهویه مکانیکی را طبق الگوریتم شکل ۱ تعیین می‌کند. [۲]

برای بررسی ضرورت تهویه مکانیکی، برنامه با توجه به اطلاعات موجود ابتدا استاندارد فرانسه سپس استاندارد ژاپن و در نهایت استاندارد نروژ را بررسی می‌کند و برای تونل مورد نظر، ضرورت اجرای تهویه براساس هر یک از استانداردها را در متغیری



شکل ۱- الگوریتم برنامه تعیین ضرورت تهویه مکانیکی

ذخیره می‌کند و برای کاربر نمایش می‌دهد. در نهایت با جمع بندی نتایج هر یک از استانداردها حتی اگر یکی از استانداردها نتیجه ضرورت تهویه مکانیکی را مثبت اعلام کند، برای تونل تهویه مکانیکی ضروری اعلام می‌شود.

زمان ممکن و کاهش خطاها است. این نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات مربوط به مشخصات هندسی تونل و شدت ترافیک و به کمک فرمول‌های مربوط، شدت جریان هوای مورد نیاز برای تهویه تونل‌ها را براساس اطلاعاتی که از کاربر می‌گیرد، محاسبه می‌کند.

۳- محاسبه شدت جریان هوای لازم

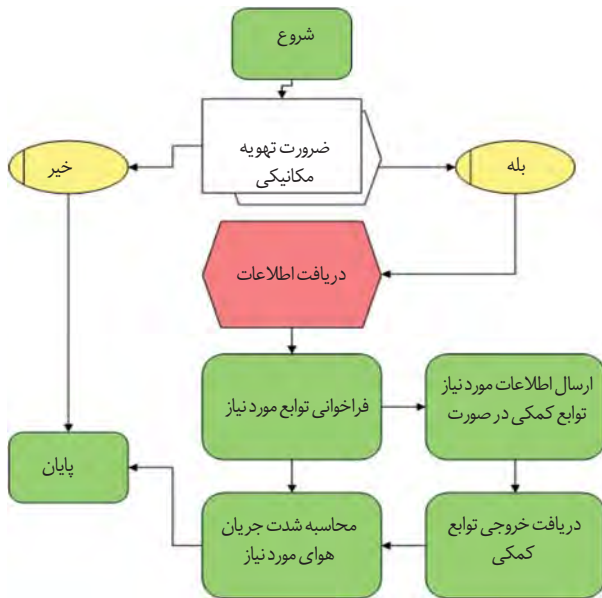
اولین قدم، محاسبه شدت جریان هوای تازه مورد نیاز برای تهویه تونل است. میزان هوای تازه مورد نیاز به عوامل زیادی مانند حداکثر مقدار مجاز تعیین شده برای مونواکسید کربن، دوده و اکسیدهای ازت، تعداد وسایل نقلیه بنزینی و دیزلی در هر ساعت، سرعت وسایل نقلیه، شیب جاده و ارتفاع از سطح دریا بستگی دارد [۳].

برای محاسبه حجم هوای مورد نیاز و رقیق کردن مونواکسید کربن، دوده و اکسیدهای ازت در وضعیت‌های مختلف، روش‌هایی تحت عنوان روش‌های کلاسیک به وسیله کشورهای انگلیس، آمریکا، نروژ، فرانسه و ژاپن ارائه شده است. گرچه معمولاً شدت جریانی که برای رقیق کردن مونواکسید کربن محاسبه می‌شود، برای رقیق کردن دوده و اکسیدهای ازت نیز کافی است، ولی در حالت کلی باید هوای لازم برای هر یک از این موارد، به‌طور جداگانه محاسبه و بررسی شود. برای هر یک از موارد یاد شده فرمول‌هایی ارائه شده است که در این نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرند و از تشریح آنها صرف نظر می‌شود.

۴- الگوریتم محاسبه شدت جریان هوای لازم در نرم‌افزار

در این نرم‌افزار، شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل، بر اساس معیارهای مختلف محاسبه شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۲).

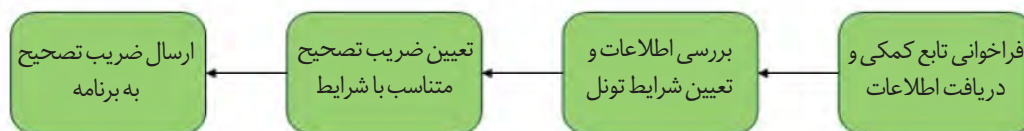
همان‌طور که در الگوریتم شکل ۲ مشاهده می‌شود، نرم‌افزار بعد از تعیین ضرورت تهویه مکانیکی و دریافت اطلاعات مورد نیاز، توابع لازم برای محاسبه شدت جریان لازم برای تهویه تونل را در روش‌های مختلف فراخوانی می‌کند، سپس برای اعمال ضریب‌های تصحیح مربوط به ارتفاع از سطح دریا، شیب تونل و سرعت وسایل نقلیه، توابع کمکی مربوط به هر روش، درون



شکل ۲- الگوریتم کلی برنامه

همان روش فراخوانی و ضریب تصحیح مورد نظر اعمال شده خروجی هر روش که مبین شدت جریان مورد نیاز برای تهویه تونل است، در متغیری ذخیره می‌شود.

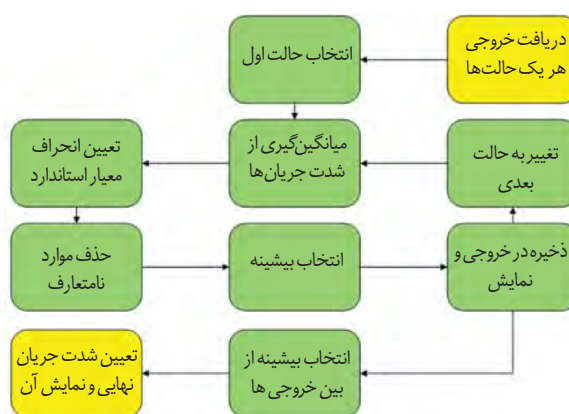
ضرایب تصحیحی که در هر یک از روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند به صورت مجزا و مستقل کد نویسی شده‌اند تا در صورت لزوم در همه قسمت‌های برنامه قابل استفاده باشند، به این صورت که در صورت نیاز با اجرای دستور فراخوانی تابع مورد نظر، اطلاعات مورد نیاز مربوط به تابع کمکی، هم‌زمان با فراخوانی ارسال و در داخل تابع، مستقل از برنامه در حال اجرا، عملیات تعیین ضریب تصحیح انجام می‌شود. خروجی به‌عنوان ضریب تصحیح، به برنامه فرستاده می‌شود و برنامه با دریافت این ضریب، آن را در محاسبات اعمال می‌کند. الگوریتم کلی توابع کمکی ضریب تصحیح‌ها به صورت نمودار شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- الگوریتم تابع کمکی

۵- انتخاب شدت جریان نهایی

پس از محاسبه شدت جریان هوای لازم بر اساس هریک از پارامترهای یاد شده، میانگین آنها محاسبه و به کمک آن انحراف معیار مشخص می‌شود. از بین اعداد محاسبه شده، آنهایی که بیش از دو برابر انحراف استاندارد با میانگین اختلاف دارند، کنار گذاشته می‌شوند و متوسط‌گیری اعداد باقی مانده، شدت جریان مورد نیاز بر اساس آن پارامتر (مثلاً منواکسیدکربن) را به دست می‌دهد. این عمل در مورد تمام پارامترها و حالت‌ها تکرار می‌شود و سرانجام بزرگ‌ترین عدد حاصله به عنوان شدت جریان هوای لازم برای تهویه تونل انتخاب می‌شود. شکل ۴ الگوریتم کلی انتخاب شدت جریان نهایی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- الگوریتم تعیین شدت جریان نهایی

۶- برنامه نویسی روش‌های کلاسیک

این نرم‌افزار برای انجام سریع محاسبات مربوط به تهویه تونل‌های راه طراحی شده است و برای تشخیص ضرورت انجام تهویه مکانیکی و محاسبه شدت جریان مورد نیاز برای تهویه تونل‌های راه، می‌توان از آن استفاده کرد. این نرم‌افزار در محیط matlab کدنویسی شده است. نرم‌افزار برای شروع کار، اطلاعات مربوط به حجم ترافیک را از فایل‌های اکسل موجود می‌خواند و بقیه اطلاعات مربوط به تونل را از کاربر دریافت می‌کند. اطلاعات ورودی به شرح زیر است:

۱- ارتفاع متوسط از سطح آب‌های آزاد

۲- طول تونل

۳- شیب تونل بر حسب درصد

۴- دمای هوای داخل تونل

۵- سرعت تردد وسایل نقلیه

۶- عیار مجاز منواکسید کربن، دوده و اکسیدهای ازت خروجی برنامه، شدت جریان هوای مورد نیاز برای تهویه تونل است.

هر کدام از روش‌ها به‌طور جداگانه در تابعی از نرم‌افزار matlab برنامه‌نویسی و ضرایب تصحیح نیز هر کدام به‌طور جداگانه با دقت ۳ رقم اعشار به‌طور جداگانه کد نویسی شده است که در صورت لزوم برای استفاده از هر کدام از ضرایب تصحیح، تابع مربوط به همان ضریب باید بازخوانی شود تا ضریب تصحیح مورد نظر اعمال شود. در نهایت خروجی نرم‌افزار در صفحه نهایی نرم‌افزار نمایان می‌شود.

۷- اعتبارسنجی نرم‌افزار

برای ارزیابی نرم‌افزار، از اطلاعات موجود در پروژه انجام شده، تحت عنوان "طراحی سیستم تهویه تونل توحید تهران در زمان بهره‌برداری" استفاده شده است. اطلاعات ورودی به شرح زیر است:

جدول ۱- ورودی برنامه

ردیف	ورودی	مقدار	واحد
۱	تعداد وسیله نقلیه سبک	۵۱۳۰	-
۲	تعداد وسیله نقلیه سنگین	۲۷۰	-
۳	ارتفاع از سطح آب‌های آزاد	۱۲۰۰	متر
۴	طول تونل	۲۱۳۶	متر
۵	شیب تونل غربی	۳٫۳	درصد سرازیری
۶	شیب تونل شرقی	۳٫۳	درصد
۷	عیار مجاز منواکسید کربن	۷۰	ppm
۸	عیار مجاز دوده	۱٫۰۶۴	میلی گرم بر مترمکعب
۹	عیار مجاز اکسیدهای ازت	۵	ppm
۱۰	دمای داخل تونل	۴۲	درجه سانتی‌گراد
۱۱	تعداد خطوط عبوری از تونل	۳	-
۱۲	سطح مقطع تونل	۸۸	مترمربع

جدول ۵- شدت جریان هوای مورد نیاز تونل شرقی توحید براساس دوده

استاندارد	نرم افزار	پروژه
آمریکا	۱۲۳	۱۲۴
انگلیس	۱۰۶۸	۱۰۲۷
نروژ	۱۳۰۹	۱۲۴۹
فرانسه	۱۵۰۲	۱۴۲۸
ژاپن	۷۲۸	۷۲۹
واحد	مترمکعب در ثانیه	

جدول ۶- شدت جریان هوای مورد نیاز تونل غربی

استاندارد	نرم افزار	پروژه
بر اساس اکسیدهای ازت	۲۳۲	۲۳۳
در هنگام راه پندان	۱۱۹۲	۱۱۷۵
واحد	مترمکعب در ثانیه	

جدول ۷- شدت جریان هوای مورد نیاز تونل شرقی

استاندارد	نرم افزار	پروژه
بر اساس اکسیدهای ازت	۹۴۰	۹۴۳
به هنگام راه پندان	۱۱۹۲	۱۱۷۵
واحد	مترمکعب در ثانیه	

دستی است، همچنین ضرایب تصحیح استفاده شده در محاسبات دستی عمدتاً به صورت چشمی از نمودارها استخراج می شود و احتمال خطا بالا است. به همین دلیل خطای ناشی از محاسبات در روش دستی نسبت به محاسبات نرم افزار، بالاتر است.

در نهایت، شدت جریان تهویه با نرم افزار برای تونل غربی، ۱۵۵۲ مترمکعب در ثانیه و برای تونل شرقی، ۲۲۳۲ مترمکعب در ثانیه تعیین شد.

۸- جمع بندی

با توجه با این که محاسبات لازم برای تعیین شدت جریان هوای مورد نیاز برای تهویه تونل حجم بسیار بالایی دارد و انجام این محاسبات به صورت دستی از دقت خوبی برخوردار نیست، ممکن است در محاسبات به صورت دستی خطاهای محاسباتی و یا انسانی پیش بیاید. با استفاده از این نرم افزار، خطاهای انسانی و محاسباتی به حداقل ممکن کاهش می یابد و نتایج دقیق و قابل

بعد از وارد کردن اطلاعات فوق در نرم افزار تهیه شده، نتایج مربوط به اعتبارسنجی نرم افزار به صورت جدول های ۲ تا ۷ ارائه شده و نتایج مربوط به نرم افزار با نتایج تحقیق های انجام شده، مقایسه شده است.

جدول ۲- شدت جریان هوای مورد نیاز تونل غربی توحید براساس منواکسید کربن

استاندارد	نرم افزار	پروژه
آمریکا	۱۵۵۲	۱۵۳۰
انگلیس	۱۵۲۵	۱۵۲۷
نروژ	۹۳۵	۹۳۳
فرانسه	۱۳۰۲	۱۲۶۸
ژاپن	۱۲۲۰	۱۲۱۷
واحد	مترمکعب در ثانیه	

جدول ۳- شدت جریان هوای مورد نیاز تونل شرقی توحید براساس منواکسید کربن

استاندارد	نرم افزار	پروژه
آمریکا	۲۲۳۲	۲۲۰۰
انگلیس	۲۱۹۵	۲۱۹۵
نروژ	۱۶۰۵	۱۵۹۸
فرانسه	۱۷۸۳	۱۷۳۸
ژاپن	۲۰۹۲	۲۰۸۷
واحد	مترمکعب در ثانیه	

جدول ۴- شدت جریان هوای مورد نیاز تونل غربی توحید براساس دوده

استاندارد	نرم افزار	پروژه
آمریکا	۱۲۳	۱۲۴
انگلیس	۲۴۸	۲۳۷
نروژ	۴۰۳	۳۸۵
فرانسه	۳۰۴	۲۹۴
ژاپن	۱۶۹	۱۶۹
واحد	مترمکعب در ثانیه	

همان طور که در جدول های ۲ تا ۷ مشاهده می شود، خروجی محاسبات نرم افزار با نتایج پروژه انجام شده هم خوانی داشته و نتایج قابل قبولی دارد. اختلاف جزئی که در بعضی از نتایج مشاهده می شود به دلیل دقت بالاتر محاسبات نرم افزار نسبت به محاسبات

اعتماد را به کاربر ارائه می دهد.

محاسبات به سریع ترین حد ممکن می رسد.

ب - خطای محاسباتی کاملاً حذف می شود و جواب های به دست آمده، دقت بالایی دارند.

۹- نتیجه گیری

با ایجاد برنامه و استفاده از آن در محاسبات:
الف - سرعت محاسبات افزایش می یابد و زمان انجام ولی نرم افزار به سهولت تمام محاسبات را انجام می دهد.
ج - محاسبات تهویه، حجم بالایی دارد و خسته کننده است

منابع

- [۱] مدنی، حسن، تونل سازی جلد دوم، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) ۱۳۷۷.
- [۲] خویشوند، محمد، طراحی سیستم تهویه تونل توحید تهران در زمان بهره برداری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) ۱۳۸۹.
- [۳] الماسی، سید نجم الدین و همکاران، طراحی سیستم تهویه تونل امیرکبیر، کنفرانس مهندسی معدن ایران، ۱۳۸۳.
- [4] PIARC (1983); "Technical Committee on Road Tunnels" 17th World Road Congress, Sydney, Australia.
- [۵] بری دیزجی، رضا و مدنی، حسن، طراحی سیستم تهویه تونل خلیج فارس در مرحله بهره برداری، پنجمین کنفرانس تونل ایران، ۱۳۸۰.



مرحوم مهندس مهدی پورصالح، کارآفرین برتر و با اخلاق و دکتر احمد خاکزاد، استاد گرانقدر و نام آور، دوستانی بودند که در بهار سال ۱۳۹۷ جمع ما را ترک و به دیار باقی شتافتند. غم از دست دادن این عزیزان چنان سنگین و جانسوز است که به دشواری به باور می نشیند.

نتایج زحمات و تلاش های بی دریغ و اثر بخشی این بزرگواران، همواره در فعالیت های معدنی کشور باقی و مشهود خواهد بود و از خاطر جامعه معدنی کشور نمی رود.

دکتر احمد خاکزاد، یار و یاور همیشگی و یکی از بنیانگذاران سازمان نظام مهندسی معدن بود که از ابتدای تشکیل تاکنون همواره در کنار خانواده بزرگ نظام

مهندسی معدن انجام وظیفه می کرد.

این ماتم جانگداز را به خانواده مرحومان و جامعه معدنی کشور تسلیت گفته و یاد و خاطر شان را گرامی می داریم.

روحشان شاد و قرین رحمت الهی باد.



مرحوم مهندس مهدی پورصالح



مرحوم دکتر احمد خاکزاد