

## برنامه زمان بندی ارائه مقالات

چهارشنبه ۱۱ آبان - سالن شماره ۴ (طبقه چهارم)

ساعت	عنوان	متینهای الکترونیکی
۰۸:۲۰	BLDC Motor Torque Selection by Analytical Hierarchy Process	بررسی اثر میدان مغناطیس کننده آهنربای دایم بر گشتاور راه اندازی و گشتاور Cogging موتور BLDC تکفار
۰۸:۳۰	Optimal Converter Rating for Brushless Doubly Fed Machines	選定 a best point of Critical Current for the HTS Tapes of an HTS Induction/Synchronous Motor by Analytical Hierarchy Process
۰۹:۰۰	آرایش مغناطیسی بر شاخص نوسان ایجادی در تشخیص غیر انتقال موتورهای القائی	اثر اشاعر مغناطیسی بر شاخص نوسان ایجادی در تشخیص غیر انتقال موتورهای القائی
۰۹:۲۰	ارایه مدل تحلیلی سیستم تحریک واحدهای کاری تبروگاه خام شیابور برای آزمایش های حوزه زمان	ارایه مدل تحلیلی سیستم تحریک واحدهای کاری تبروگاه خام شیابور برای آزمایش های حوزه زمان
۰۹:۴۰	ان تأثیر پارهای فضایی ایجاد شده در عایق به آزاد و لاثامی DC پالس های ولتاژ ادوات الکترونیک قدرت در پیری علیق ماشین های رضا رستمی نیا	ان تأثیر پارهای فضایی ایجاد شده در عایق به آزاد و لاثامی DC پالس های ولتاژ ادوات الکترونیک قدرت در پیری علیق ماشین های رضا رستمی نیا
۱۰:۰۰	سید محمد رضوانی	طراسی ساختار بهینه روتور موتور آهنربای دایم درونی با استفاده از روش مبتنی بر FEM برای کاربرد خودروی برق
۱۰:۲۰	محسن پوررقيق عربانی	انقال افزایی الکترونیکی
۱۰:۴۰	احمد شریعتی	کولری از یک پروژه شاخص
۱۱:۰۰	افsoon پرهیزگار مهرابادی	طراسی سیستم تهیه برای کابل های فشارقوی نصب در توپل
۱۱:۱۰	جواد ظفافت نعمتی	ازربایج و ضعیت و عملکرد نمونه مفرغ های سلیمانی روبری موز استفاده در مشکله فرق توزیع تخفیف استان هر موز کان با استفاده از آزمایش های پرسازی تسریع شده
۱۱:۲۰	امیر شفایی	شناختی پارامترهای الکترونیکی خط انقال با استفاده از اندازه گیری فازوری
۱۱:۴۰	هاشم ملیبور	یک روش گسترش یافته جدید برای محاسبه تراخهای خوبی مربوط به صفتگی در خطوط انقال هوایی بر مبنای نوایانی های ATP و MATLAB
۱۱:۵۰	فرامرز سیبری	تحلیل و برنامه ریزی ارتقاء برنامه های نت (تکه داری و تعمیرات) شکه های انقال و فوق توزیع الکترونیکی ایران
۱۲:۰۰	Masoud Jowkar	بررسی میدانی و تحلیلی علی اتصالی مفرغ های kV ۲۰ در توانی شمال کشور و نقش آن در شاخص های قابلیت اطمینان
۱۲:۲۰	مسعود آساش	انقال افزایی الکترونیکی
۱۲:۴۰	علی اصغر ذکاروتی	تحلیل طراسی و تست دینامیکی چاذب-دمهر ارتعاشات آنولین در خطوط انقال نیرو
۱۳:۰۰	Amir Afroomand	امکان سنجی استفاده از میکرو پالی در فرندسبرون های برج های انقال نیرو
۱۳:۲۰	M. R. Alizadeh Pahlevani	Corona Ring Designation for ۱۰۰ kV AC Transmission Line with Composite Insulators by FEM
۱۳:۴۰	Ali Hasanzadeh	عیسی اسماعیلی هدج
۱۴:۰۰	فرزانه قائمی	ساختار نرم افزاری بهینه جهت ساخت شبیه ساز نیروگاه سیکل ترکیبی
۱۴:۲۰	محمد مطهری فر	شناختی و اعتبار سنجی سیستم تحریک واحدهای کاری تبروگاه داوند با استفاده از آزمایش های حوزه زمان
۱۴:۴۰	عادل زکی پور	A New Heuristic Algorithm for Optimizing PID Controller On AVR Systems
۱۴:۶۰	M. R. Alizadeh Pahlevani	روش جدیدی برای اعمال کنترل کننده گام به گام به عقب در بر شکر کاهنده افزایش
۱۵:۰۰	Ali Hasanzadeh	Comparison between Fuzzy and Adaptive Fuzzy Controllers for Speed Control of BLDC Motors
۱۵:۲۰	محمدرضا مجدوی	روش جدیدی برای اعمال کنترل کننده گام به گام به عقب در بر شکر کاهنده افزایش
۱۵:۴۰	هادی علی آبادی	بررسی فنی و اقتصادی نصب کابل های فشارقوی دفعی در آرایش های تخت و ملتانی
۱۵:۵۰		انقال افزایی الکترونیکی
۱۱:۳۰		تحلیل طراسی و تست دینامیکی چاذب-دمهر ارتعاشات آنولین در خطوط انقال نیرو
۱۱:۴۰		امکان سنجی استفاده از میکرو پالی در فرندسبرون های برج های انقال نیرو
۱۱:۵۰		Corona Ring Designation for ۱۰۰ kV AC Transmission Line with Composite Insulators by FEM
۱۱:۵۰		عیسی اسماعیلی هدج
۱۱:۵۰		ساختار نرم افزاری بهینه جهت ساخت شبیه ساز نیروگاه سیکل ترکیبی
۱۱:۵۰		شناختی و اعتبار سنجی سیستم تحریک واحدهای کاری تبروگاه داوند با استفاده از آزمایش های حوزه زمان
۱۱:۵۰		A New Heuristic Algorithm for Optimizing PID Controller On AVR Systems
۱۱:۵۰		روش جدیدی برای اعمال کنترل کننده گام به گام به عقب در بر شکر کاهنده افزایش
۱۱:۵۰		Comparison between Fuzzy and Adaptive Fuzzy Controllers for Speed Control of BLDC Motors
۱۱:۵۰		Adaptive Digital PID Controller Implemented on 32-bit ARM7 Microcontroller
۱۱:۵۰		انقال افزایی الکترونیکی
۱۱:۵۰		تحلیل طراسی و تست دینامیکی چاذب-دمهر ارتعاشات آنولین در خطوط انقال نیرو
۱۱:۵۰		امکان سنجی استفاده از میکرو پالی در فرندسبرون های برج های انقال نیرو
۱۱:۵۰		Corona Ring Designation for ۱۰۰ kV AC Transmission Line with Composite Insulators by FEM
۱۱:۵۰		عیسی اسماعیلی هدج
۱۱:۵۰		ساختار نرم افزاری بهینه جهت ساخت شبیه ساز نیروگاه سیکل ترکیبی
۱۱:۵۰		شناختی و اعتبار سنجی سیستم تحریک واحدهای کاری تبروگاه داوند با استفاده از آزمایش های حوزه زمان
۱۱:۵۰		A New Heuristic Algorithm for Optimizing PID Controller On AVR Systems
۱۱:۵۰		روش جدیدی برای اعمال کنترل کننده گام به گام به عقب در بر شکر کاهنده افزایش
۱۱:۵۰		Comparison between Fuzzy and Adaptive Fuzzy Controllers for Speed Control of BLDC Motors
۱۱:۵۰		Adaptive Digital PID Controller Implemented on 32-bit ARM7 Microcontroller
۱۱:۵۰		انقال افزایی الکترونیکی

## برنامه زمان بندی ارائه مقالات

چهارشنبه ۱۱ آبان - سالن شماره ۵ (دکتر رنجبر)

ساعت	عنوان	کنترل، ابزار دقیق و اتوماسیون
۰۸:۳۰	ساختار نرم افزاری بهینه جهت ساخت شبیه ساز نیروگاه سیکل ترکیبی	ساختار نرم افزاری بهینه جهت ساخت شبیه ساز نیروگاه سیکل ترکیبی
۰۸:۴۰	شناختی و اعتبار سنجی سیستم تحریک واحدهای کاری تبروگاه داوند با استفاده از آزمایش های حوزه زمان	شناختی و اعتبار سنجی سیستم تحریک واحدهای کاری تبروگاه داوند با استفاده از آزمایش های حوزه زمان
۰۹:۰۰	A New Heuristic Algorithm for Optimizing PID Controller On AVR Systems	A New Heuristic Algorithm for Optimizing PID Controller On AVR Systems
۰۹:۲۰	روش جدیدی برای اعمال کنترل کننده گام به گام به عقب در بر شکر کاهنده افزایش	روش جدیدی برای اعمال کنترل کننده گام به گام به عقب در بر شکر کاهنده افزایش
۰۹:۴۰	Comparison between Fuzzy and Adaptive Fuzzy Controllers for Speed Control of BLDC Motors	Comparison between Fuzzy and Adaptive Fuzzy Controllers for Speed Control of BLDC Motors
۱۰:۰۰	Adaptive Digital PID Controller Implemented on 32-bit ARM7 Microcontroller	Adaptive Digital PID Controller Implemented on 32-bit ARM7 Microcontroller
ساعت	عنوان	مطالعات اقتصادی و اجتماعی
۱۰:۲۰	مدد سازی و تعیین اثر منابع تولید پر اکنده بر هزینه خاموشی مشترکین در شبکه توزیع بندرعباس	مدد سازی و تعیین اثر منابع تولید پر اکنده بر هزینه خاموشی مشترکین در شبکه توزیع بندرعباس
۱۰:۴۰	محاسبه هزینه های نهایی ارزی در نوسان باری پسکی مدل ESM و ارزیابی تغیر ساخت صرف بر هزینه کل سیستم، مطالعه موردنی ایران	محاسبه هزینه های نهایی ارزی در نوسان باری پسکی مدل ESM و ارزیابی تغیر ساخت صرف بر هزینه کل سیستم، مطالعه موردنی ایران
۱۱:۰۰	محاسبه هزینه های نهایی ارزی در بهره برداشتی از پروژه های انقال و فوق توزیع (خطوط و پستها)	محاسبه هزینه های نهایی ارزی در بهره برداشتی از پروژه های انقال و فوق توزیع (خطوط و پستها)
۱۱:۲۰	ارزیابی کارایی شرکت های توزیع برق و تغییرات بهره ورزی کل عوامل به روش تحلیل پوششی داده ها	ارزیابی کارایی شرکت های توزیع برق و تغییرات بهره ورزی کل عوامل به روش تحلیل پوششی داده ها
۱۱:۴۰	خرسرو غلامحسینی	ارزیابی کارایی مربوطه شرکت های توزیع برق ایران
ساعت	عنوان	SEA



## طراحی سیستم تهویه برای کابل‌های فشار قوی نصب در تونل

یاسر دامچی<sup>۱</sup>

دانشجوی دکتری

damchi@ieee.org

جواد ساده<sup>۱</sup>

دانشیار گروه برق

sadeh@ieee.org

احمد شریعتی<sup>۲و۳</sup>

کارشناسی ارشد

shariati@ieee.org

حسن زارعزاده<sup>۳</sup>

h.zarezade@krec.ir

هادی علی‌آبادی<sup>۳</sup>

h.aliabadi@krec.ir

۱. گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. شرکت نفت و گاز پارس (POGC)

۳. معاونت طرح و توسعه، برق منطقه‌ای خراسان، مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: خطوط کابلی فشار قوی، سیستم تهویه تونل، جریان مجاز کابل، دمای هوای تونل

نظر است. در این مقاله سیستم تهویه مناسب برای کابل نصب شده در تونل طراحی شده است. در این طراحی تأثیر طول تونل، وجود زانو و عوارض موجود در مسیر تونل و تعداد میگاری ورودی و خروجی هوا در نظر گرفته شده است.

### ۱- مقدمه

سیستم‌های خنک‌کنندگی تونل کابل‌های زیرزمینی از لحاظ ایجاد شرایط لازم برای تضمین عبور جریان مجاز و نیز تداوم برق رسانی و همچنین به منظور ایجاد شرایط مناسب و قابل تحمل برای پرسنل به منظور نظارت، سرکشی و رفع خطاهای احتمالی، حائز اهمیت می‌باشد.

در سیستم تهویه مورد استفاده، گرمای ایجاد شده بواسطه عبور جریان از کابل توسط یک سیال جذب شده و به محیط بیرون تونل انتقال داده می‌شود. به طور کلی در سیستم‌های

### چکیده

در سال‌های اخیر تمايل به استفاده از کابل‌های فشار قوی زیرزمینی، علیرغم هزینه بالای نصب آنها در مقایسه با خطوط هوایی، به دلیل عدم نیاز به رعایت حریم، حفظ زیبایی شهری و چند کاربری بودن این تونل‌ها رو به رشد می‌باشد. با توجه به هزینه بالای خطوط کابلی زیرزمینی، بهره‌برداری بهینه از این گونه خطوط حائز اهمیت می‌باشد. پارامترهای زیادی در جریان مجاز عبوری از کابل مؤثر می‌باشند که سیستم تهویه از جمله این پارامترها می‌باشد. محاسبه تعداد و قدرت تهویه‌ها بر پایه گرمای تولید شده در درون تونل و نیز دمای هوای مناسب به منظور رفت و آمد پرسنل جهت انجام عملیات نگهداری و تعمیرات انجام می‌گیرد. مهم‌ترین بخش این محاسبات، بدست آوردن میزان دبی هوای مورد نیاز برای کاهش دمای ناشی از تلفات کابل و رساندن آن به حد مورد

مقاله را بر روی یک تونل شامل خط کابلی ۱۵۴ کیلوولتی پیاده‌سازی کرده است.

در مرجع [۳] یک روش محاسباتی جدید برای محاسبه توزیع گرمایی در دو حالت گذرا و ماندگار برای خطوط کابلی نصب شده در تونل پیشنهاد شده است.

رسیدن شرایط حرارتی تونل به حالت دائمی، به شرایط دفن تونل از جمله عمق آن از سطح زمین وابسته می‌باشد. به همین خاطر تونل‌های زیرزمینی با عمق دفن بالا ممکن است نیازمند ثابت زمانی زیادی برای رسیدن به حالت دائمی باشند که بسته به شرایط حفر تونل گاه به چندین سال می‌رسد. این مسئله موضوعی بوده است که در مرجع [۴] مورد بحث قرار گرفته است. در این مرجع، محاسبات خط تونلی مربوط به Canadian Gull Island Transmission Project پرروزه ارائه شده است که به واسطه عمق ۵۳۰ متری حفر تونل از سطح زمین و ثابت زمانی بالای آن از شرایط خاصی برخوردار بوده است. در این مقاله نشان داده شده است که هر چند تهویه مورد استفاده برای این خط ۴۰۰ کیلو ولتی ۱۸ کیلومتری از نوع جابجایی هوا به طور طبیعی می‌باشد، ولی تمام شرایط مطلوب دمایی برآورده شده است.

مدل‌های مورد استفاده برای تحلیل حرارتی تونل‌های زیرزمینی دارای ثوابتی هستند که تعیین آن‌ها نقش قابل توجهی در طراحی سیستم تهویه هارا می‌باشند. در همین راستا، مرجع [۵] دمای تونل را با استفاده از بهینه‌سازی ثوابت مورد نیاز برای محاسبه مدل حرارتی، بدست آورده است. این مرجع برای بهینه نمودن ثوابت اتلاف گرمایی، از اطلاعاتی که به طور پیوسته از تونل‌های در حال بهره‌برداری ثبت شده، استفاده نموده است. محاسبات ارائه شده در این مقاله توسط شرکت Chubu Electric Power به منظور تطبیق سیستم تهویه با توجه به رشد توان سال‌های آتی در سطح ولتاژ ۲۷۵ کیلوولت مورد استفاده قرار گرفته است.

وجود چندین کابل مستقل از هم در یک تونل محاسبات مربوط به سیستم تهویه را پیچیده‌تر می‌کند. در این شرایط روش متداول جهت محاسبات سیستم تهویه تونل که در

تهویه از گردش آب و یا جابجایی هوا جهت خنک کردن کابل‌های نصب شده در تونل استفاده می‌شود. انتخاب سیال مورد نظر به اهمیت خط کابلی، تعداد مدار موجود در تونل و نیز توان انتقالی توسط آن بستگی دارد. هزینه در نظر گرفته شده برای سرمایه‌گذاری به منظور پیاده‌سازی سیستم خنک-

کنندگی نیز در انتخاب نوع سیستم تأثیرگذار خواهد بود. سیستم‌های خنک کنندگی توسط هوا از لحاظ پیاده‌سازی آسان و ارزان هستند اما چون از هوای بیرون به منظور خنک-سازی استفاده می‌کنند، تحت تأثیر دمای هوای محیط قرار می‌گیرند و در نتیجه تفاوت ذاتی در عملکرد آن در فصول مختلف به چشم می‌خورد. این روش اساساً برای خطوط کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر از آنجا ناشی می‌شود که در خطوط کوتاه اختلاف دمای بین دو انتهای تونل کم می‌باشد و همچنین سرعت جابجایی هوای طراحی شده برای سیستم تهویه آنقدر زیاد نیست که موجب آزار کارکنان هنگام عملیات تعمیر و نگهداری شود [۱].

از طرف دیگر سیستم‌های خنک کنندگی آبی که به دو نوع مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند، برای خطوط بلند مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نوع اول کابل‌ها به طور مستقیم توسط آب خنک می‌شوند که در این حالت فشار آب ثابت بوده و نفوذپذیری غلاف خارجی کابل در مقابل آب باید در نظر گرفته شود. در مقابل در روش غیر مستقیم هوای میان لوله‌های آب و کابل‌ها عامل انتقال گرمایی بین این دو می‌باشد. هر چند که در این روش بواسطه جدا بودن لوله‌های آب و کابل‌ها، بازده انتقال حرارت کمتر از حالت مستقیم می‌باشد اما نیازی به کنترل نفوذپذیری کابل در مقابل آب نمی‌باشد [۱].

یکی از مطالعاتی که در زمینه طراحی سیستم‌های خنک-کنندگی خطوط کابلی نصب در تونل ارائه شده است، مرجع [۲] می‌باشد. در این مرجع سیستم خنک کنندگی از طریق آب برای خط کابلی نصب شده در تونل مورد بررسی قرار گرفته است. روش کنترل سیستم خنک کنندگی در این مرجع بر مبنای تغییرات بار توسعه یافته است. شرکت Kansai Electric Power در کشور ژاپن روش پیشنهادی توسط این

## بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

وات بر متر می‌باشدند. علاوه بر این،  $r_i$  و  $W_{di}$  به ترتیب مقاومت هادی بر حسب اهم بر متر، حداقل جریان مجاز عبوری از کابل بر حسب آمپر و تلفات دیالکتریک بر حسب وات بر متدر آمین خط کابلی می‌باشند. همچنین  $P_{si}$  فاکتور تلفات پوسته کابل،  $L_{fi}$  ضریب بار،  $N$  تعداد مدار در داخل تونل،  $R_7$  مقاومت گرمایی خاک بر حسب کلوین-متر بر وات و  $T_0$  دمای خاک محیط اطراف تونل بر حسب درجه کلوین می‌باشند. حال حداقل جریان مجاز عبوری از کابل از رابطه (۳) قابل محاسبه می‌باشد [۱]:

$$I_i = \sqrt{\frac{T_1 - T_7 - T_{di}}{r_i \times R_{thi}}} \quad (3)$$

که در آن  $T_1$  و  $T_{di}$  به ترتیب حداقل دمای مجاز هادی و مقدار افزایش دما در نتیجه تلفات دیالکتریک بر حسب درجه کلوین و  $R_{thi}$  مقاومت گرمایی کل آمین کابل بر حسب کلوین-متر بر وات می‌باشند.

همانطور که مشاهده می‌شود روابط (۱) تا (۳) به یکدیگر وابسته می‌باشند و بنابراین باید به طور همزمان و با استفاده از روش‌های عددی آنها را حل نمود. با حل این معادلات حداقل جریان مجاز عبوری از کابل و نیز دمای هوای تونل به هنگام عبور این جریان بدست می‌آید. با داشتن دمای هوای تونل می‌توان محاسبات مربوط به دبی مورد نیاز برای تهویه و در پی آن افت فشار مسیر تونل و تعداد و قدرت فن مورد نیاز را محاسبه نمود. بنابراین مراحل طراحی یک سیستم تهویه جهت تونل کابل‌های زیرزمینی به صورت زیر می‌باشد:

- بدست آوردن شرایط داخل تونل در سیستم بدون تهویه
- تعیین دمای هوای مورد نظر که نیاز است توسط سیستم تهویه ایجاد شود
- بدست آوردن دبی هوای مورد نیاز برای ایجاد شرایط

مورد نظر در تونل

- بررسی طرح مناسب برای مجاری ورودی و خروجی هوا
- تعیین مشخصات مجاری ورودی و خروجی هوا
- تعیین افت فشار مسیر تونل

مرجع [۶] به آن اشاره شده است، بواسطه استفاده از برخی فرضیات به منظور ساده‌سازی مسأله، چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. در همین رابطه مرجع [۷] به منظور محاسبات سیستم تهویه تونل‌هایی که شامل چند مسیر کابلی مستقل از هم هستند با اعمال یک سری اصلاحات در روش ارائه شده در مرجع [۶]، روشی جدید ارائه نموده است. با استفاده از روش ارائه شده در این مرجع، محاسبات تونل‌های چند مداره با دقت بیشتری انجام می‌شود.

در این مقاله نحوه طراحی سیستم تهویه برای یک تونل شامل کابل زیرزمینی فشارقوی (۱۳۲ کیلوولت) ارائه شده است و تأثیر شرایط مختلف بر آن بررسی گردیده است. به همین منظور در بخش (۲) مراحل طراحی یک سیستم تهویه و روابط مورد نیاز تشریح شده‌اند. بخش (۳) به ارائه نتایج و شبیه‌سازی‌های انجام شده برای طراحی سیستم تهویه تونل مورد نظر پرداخته است. در بخش (۴) نیز نتیجه‌گیری ارائه شده است.

## ۲- طراحی سیستم تهویه

در محاسبات مربوط به سیستم تهویه برای تونل کابل‌های زیرزمینی، محاسبه دمای هوای تونل به هنگام عبور حداقل جریان مجاز کابل اولین گام می‌باشد. یکی از قیودی که باید در این محاسبات در نظر گرفته شود، حداقل دمای مجاز هادی کابل می‌باشد. بدیهی است با مشخص بودن این پارامتر و محاسبه تلفات ناشی از عبور جریان از کابل، دمای هوای تونل به ازای عبور حداقل جریان مجاز بدست خواهد آمد. روابط (۱) و (۲) چگونگی محاسبه دمای هوای تونل و مقدار گرمای آزاد شده در تونل را نشان می‌دهند [۱ و ۸]:

$$T_7 = W \times R_7 + T_0 \quad (1)$$

$$N = 3 \sum_i^N \left\{ r_i \times I_i^2 \times (1 + P_{si}) \times L_{fi} + W_{di} \right\} \quad (2)$$

در این روابط  $T_7$  و  $W$  به ترتیب دمای هوای تونل بر حسب درجه کلوین و تلفات ناشی از عبور جریان بر حسب

سیستم تهویه باید به گونه‌ای طراحی شود که بتواند دبی هوای مورد نیاز را به سیستم تزریق کند.

### ۳-۲- طرح مناسب برای مجاری ورودی و خروجی و مشخصات آن‌ها

تعداد، سطح مقطع و فاصله مجاری ورودی و خروجی هوا از جمله پارامترهایی است که در طراحی سیستم تهویه تأثیرگذار می‌باشد و به دبی مورد نیاز، طول مسیر، مسیر عبور تونل و امکان حفر م جدا برای جابجایی هوا، عمق تونل و سایر شرایط بستگی دارد. بدیهی است که وجود تعداد بیشتری مجاری تهویه سبب یکنواخت‌تر شدن توزیع دما در مسیر تونل می‌شود، اما بهینه‌سازی اقتصادی و مهم‌تر از آن محدودیت‌های حفر م جدا در مسیر عبور تونل از مواردی هستند که سبب حداقل نمودن تعداد مجاری تهویه مورد نیاز برای سیستم تهویه می‌باشند. عبور مسیر تونل در کناره‌های خیابان و از مسیرهایی که صدور مجوز برای حفر م جدا امکان‌پذیر نیست، از جمله مشکلات این طرح هستند.

طراحی مشخصات مجاری ورودی و خروجی هوا از جمله محل و سطح مقطع آن‌ها باید به گونه‌ای باشد که اختلاف دمای بین یک مجرى تهویه تا مجرى بعدی از حد قابل قبولی بیشتر نباشد.

یکی از عوامل تعیین کننده سطح مقطع مجاری ورودی و خروجی، سرعت هوا و در نتیجه صدای ناشی از جابجایی هوا می‌باشد. بدیهی است افزایش بیش از حد سرعت هوا در مجاری، آلودگی صوتی به همراه دارد.

### ۴- محاسبه افت فشار

افت فشار در یک مسیر ناشی از مجرى عبور هوا، تجهیزات موجود در مسیر هوا از جمله صافی‌ها و دریچه‌ها و نیز زانوها و خم‌های موجود در مسیر می‌باشد. جنس دیواره مسیر تونل و اصطکاک هوا با دیواره، نوع، اندازه و تعداد سینی‌های نصب شده برای نگهداری کابل‌ها نیز در افت فشار مسیر تونل تأثیرگذار خواهد بود.

- انتخاب فن با توجه دبی مورد نیاز، افت فشار مسیر تونل و سطح مقطع ورودی و خروجی

در ادامه مراحل طراحی سیستم تهویه تشریح شده‌اند.

### ۲-۱- تعیین شرایط داخل تونل بدون تهویه و دمای هوا مورد نیاز

برای طراحی یک سیستم تهویه ابتدا باید جریان مجاز و در بی آن دمای هوا داخل تونل قبل از نصب سیستم تهویه را تعیین نمود. این محاسبات با استفاده از روابط (۱) تا (۳) قابل انجام است. یکی از قیودی که به هنگام محاسبه حداکثر جریان مجاز کابل و دمای هوا درون تونل باید در نظر گرفته شود، حداکثر دمای مجاز هادی کابل می‌باشد. پس از محاسبه دمای هوای تونل به هنگام عبور حداکثر جریان مجاز از کابل، باید تعیین نمود که این دما نیاز است تا چه مقدار کاهش یابد. به عبارت دیگر، باید تعیین شود در چه دمایی رفت و آمد پرسنل در تونل جهت بازدید و تعمیرات امکان‌پذیر خواهد بود. بدیهی است کاهش دمای هوای تونل به میزان مورد نیاز باید توسط سیستم تهویه ایجاد شود.

### ۲-۲- تعیین دبی مورد نیاز

دبی هوای مورد نیاز برای تهویه تونل وابسته به تلفات ایجاد شده در تونل، طول مجا را تونل و نیز گرمای ویژه هوا می‌باشد. همچنین باید تعیین نمود که اختلاف بین دمای هوا ورودی و خروجی تا چه میزان است. دبی هوای کلی مورد نیاز برای تونل را می‌توان با استفاده از رابطه (۴) تعیین نمود

[۹ و ۱۰]

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{i_i} + P_{d_i}) \times L}{C_p \times \Delta V_k} \quad (4)$$

در این رابطه  $P_i$  و  $P_d$  به ترتیب تلفات الکتریکی و عایقی بر واحد طول بر حسب وات بر متر،  $L$  طول تونل بر حسب متر و  $\Delta V_k$  اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی از کانال می‌باشد.  $C_p$  نیز گرمای ویژه هوا بر حسب  $\text{kJ/Km}^3$  می‌باشد.

## بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

مقدار دبی، تا چه میزان اختلاف فشار ایجاد کند. نمونه‌ای از مشخصه یک فن در پیوست‌های (ب) و (ج) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی فن، مقدار افت فشار جبران شده توسط فن کاهش می‌یابد. بنابراین به هنگام انتخاب فن باید در نظر داشت که در دبی مورد نظر، افت فشار مسیر توسط کدام فن و یا چه تعداد از آن تأمین می‌شود. انتخاب فن با توجه به آرایش قرارگیری آن‌ها انجام می‌شود. عملکرد سری و یا موازی فن‌ها، نحوه تقسیم اختلاف فشار و دبی مورد نیاز بین آن‌ها را مشخص می‌کند.

در این بخش مراحل طراحی سیستم تهویه برای یک تونل خط کابل زیرزمینی ارائه شد. در بخش بعد به ارائه نتایج مربوط به محاسبات یک سیستم تهویه نمونه و اثر پارامترهای مختلف بر آن پرداخته شده است.

### ۳- نتایج طراحی یک سیستم تهویه نمونه

همانطور که در بخش قبل ذکر شد اولین مرحله برای طراحی سیستم تهویه، محاسبه حداکثر جریان مجاز عبوری از کابل و دمای هوای تونل به هنگام عبور آن می‌باشد. محاسبه دبی، انتخاب طرح مجاری ورودی و خروجی هوا، افت فشار و انتخاب فن، تعداد و قدرت آن گام‌های بعدی هستند که در ادامه به محاسبه تمامی آن‌ها پرداخته شده است. این مطالعه بر روی تونل انرژی بین پست‌های بوعلی و سپاد در شهر مشهد انجام شده و مبنای طراحی سیستم تهویه، عبور کابل با سطح مقطع  $1200 \text{ mm}^2$  از تونل بوده است. مشخصات تونل مورد استفاده نیز در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات تونل مورد مطالعه

مقدار	ویژگی
۱۰۰۰ متر	طول تونل
۲*۱/۵	ابعاد طول
بتن	جنس دیواره
۴ عدد	تعداد زانو
۹۰ درجه	زاویه زانو

افت فشار ناشی از اصطکاک هوا با دیواره تونل متناسب با طول تونل و جنس دیواره آن می‌باشد و برای محاسبه آن می‌توان از رابطه (۵) استفاده نمود [۱۱]:

$$\Delta P = R \times L \quad (5)$$

در این رابطه  $\Delta P$  افت فشار بر حسب پاسکال،  $L$  طول کanal بر حسب متر و  $R$  مقاومت اصطکاکی کanal بر حسب پاسکال بر متر می‌باشد. ضریب  $R$  وابسته به جنس دیواره و ضریب زبری آن می‌باشد.

علاوه بر افت فشار بواسطه اصطکاک هوا با دیواره‌ها، وجود عوارضی از جمله زانوهای موجود در طول مسیر نیز سبب افت فشار خواهد شد. افت فشار ناشی از زانوهای به زاویه زانو نیز وابسته می‌باشد. روابط محاسبه افت فشار ناشی از وجود زانو به طور کامل و برای انواع زانو در مرجع [۱۱] ارائه شده است. از آنجا که به طور معمول از زانوهای ۹۰ درجه استفاده می‌شود، رابطه مورد استفاده برای تعیین افت فشار در این نوع زانو در رابطه (۶) ارائه شده است [۱۱]:

$$Z = \xi \times \rho / 2 \times g^2 \quad (6)$$

در این رابطه  $Z$  افت فشار ناشی از زانو،  $\xi$  ضریب افت فشار اتصال،  $g$  سرعت متوسط هوا در کanal بر حسب متر بر ثانیه و  $\rho$  چگالی هوا که برابر با  $1/2 \text{ kg/m}^3$  در نظر گرفته شده است، می‌باشند. ضریب  $\xi$  وابسته به نسبت عرض به طول تونل می‌باشد و از منحنی‌ها و یا جداول که نمونه‌هایی از آن در پیوست (الف) ارائه شده است، قابل محاسبه می‌باشد.

### ۴- انتخاب نوع، تعداد و قدرت فن‌ها

با توجه به آرایش فن‌ها در ابتدا و انتهای تونل، تمام افت فشار ناشی از مسیر تونل، مجرایها و زانوها باید بوسیله فن‌ها جبران شود و به عبارت دیگر، مجموع اختلاف فشار ایجاد شده توسط فن‌ها باید برابر با افت فشار ایجاد شده در تونل باشد. بنابراین با مشخص بودن دبی و اختلاف فشار مورد نیاز می‌توان فن مورد نظر را با توجه به مشخصه آن که توسط سازنده‌ها ارائه می‌شود، انتخاب نمود. با استفاده از منحنی مشخصه فن مشخص می‌شود که این فن قادر است در چه

**۱-۳- محاسبه دبی مورد نظر**

همانطور که در بخش (۱-۲) اشاره شد، حداکثر جریان مجاز عبوری از کابل و نیز دمای هوای تونل با حل روابط (۱) تا (۳) بدست می‌آید. این محاسبات برای کابل با سطح مقطع

جدول (۲): مشخصات حداکثر جریان مجاز، تلفات کابل، دمای هوای تونل و دبی مورد نیاز برای کابل با مقطع (mm<sup>2</sup>) ۱۲۰۰ برای شرایط مختلف

دبی های تونل (m <sup>3</sup> /s)	دبی های مورد نیاز درجه سانتی گراد	تلفات عایقی برای هر فاز (W/m)	تلفات اهمیک برای هر فاز (W/m)	حداکثر جریان مجاز (آمپر)	تعداد مدار	جنس هادی
۶۷۰۲	۷۵/۳	۰/۵۱	۱۹/۸۲	۹۸۷/۲	تک مداره	
۶۷۸۴	۸۱/۵	۰/۵۱	۱۱/۰۳	۷۳۵/۷	دو مداره	مس
۷/۶۰۸	۷۵/۲	۰/۵۱	۱۹/۷۷	۷۸۵/۵	تک مداره	
۷/۵۸۹	۸۱/۳	۰/۵۱	۱۱	۵۸۵/۵	دو مداره	آلومینیوم

دبی هوای مورد نیاز برای تهویه بررسی شده است. حالات متفاوتی که برای این منظور در نظر گرفته شده است، در شکل (۱) مشاهده می‌شود. حالت نشان داده شده در شکل (۱-الف) ساده‌ترین طراحی از لحاظ پیاده‌سازی می‌باشد و برای شرایط مناسب است که تونل بواسطه عبور از مسیر خیابان و یا اماکنی که امکان حفاری در آن‌ها نیست، تنها می‌تواند در ابتدا و انتهای تونل، مجرای تهویه هوا داشته باشد. در این حالت مطابق جدول (۳-الف) تمامی دبی مورد نیاز باید از یک مجراء داخل و از دیگری خارج شود.

استفاده از سه مجرای خروجی میانی به منظور تهویه، آرایشی است که برای مسیرهایی با طول متوسط و دبی نسبتاً زیاد پیشنهاد می‌شود. افزایش تعداد مجرای به پنج عدد نیز برای تونلهایی با مسیر طولانی است که نیاز به یکنواخت ساختن دمای هوا در مسیر تونل می‌باشد. دو حالت اخیر به ترتیب در شکل‌های (۱-ب) و (۱-ج) نشان داده شده‌اند و نتایج مربوط به آن‌ها در جداول (۳-ب) و (۳-ج) ارائه شده است.

با در دست داشتن دمای هوای تونل و تلفات و نیز استفاده از رابطه (۴) می‌توان دبی مورد نیاز را بدست آورد. در این مطالعه متوسط دمای هوای محیط برابر ۳۰ درجه و حداکثر دمای هوای تونل به منظور امکان رفت و آمد کارکنان برابر با ۳۷ درجه فرض شده است بنابراین  $\Delta V_k = 7$  می‌باشد. در نتیجه محاسبه دبی برای کابل با هادی مس بصورت زیر است:

$$Q = \frac{(19.82 + 0.51) \times 3 \times 1000}{1.3 \times 10^3 \times 7} = 6.702 \quad (m^3/s)$$

تأثیر نوع هادی کابل و تعداد مدار نصب شده در تونل نیز در جدول (۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، از آنجا که تلفات برای حالت تک مداره با مجموع تلفات حالت دو مداره نزدیک می‌باشد، دمای هوای تونل و دبی مورد نیاز نیز به یکدیگر نزدیک می‌باشند.

**۲-۳- طرح مناسب برای مجاری ورودی و خروجی**

در این بخش حالات متفاوت طراحی مجاری ورودی و خروجی هوا مورد مطالعه قرار گرفته است و تأثیر آن‌ها بر

## بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول (۳): محاسبات دبی عبوری از هر مجرأ  
مجاری ورودی و خروجی مشابه شکل (۱-الف)

دبی هوای مورد نیاز (m³/s)	تعداد مدار	جنس هادی
ورودی	خروجی	
۶/۷۰۲	۶/۷۰۲	تک مداره
۷/۶۰۸	۷/۶۰۸	دو مداره
۶/۶۸۴	۶/۶۸۴	تک مداره
۷/۵۸۹	۷/۵۸۹	دو مداره

مجاری ورودی و خروجی مشابه شکل (۱-ب)

دبی هوای مورد نیاز (m³/s)	تعداد مدار	جنس هادی
ورودی	خروجی	
۲/۲۳۴	۳/۳۵۱	تک مداره
۲/۵۳۶	۳/۸۰۴	دو مداره
۲/۲۲۸	۳/۳۴۲	تک مداره
۲/۵۲۹	۳/۷۹۴	دو مداره

مجاری ورودی و خروجی مشابه شکل (۱-ج)

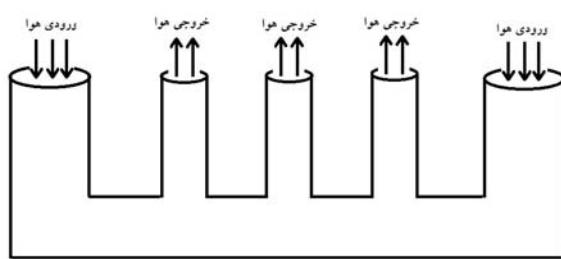
دبی هوای مورد نیاز (m³/s)	تعداد مدار	جنس هادی
ورودی	خروجی	
۱/۳۴	۳/۳۵۱	تک مداره
۱/۵۲۲	۳/۸۰۴	دو مداره
۱/۳۳۶	۳/۳۴۲	تک مداره
۱/۵۱۸	۳/۷۹۴	دو مداره

مجاری ورودی و خروجی مشابه شکل (۱-د)

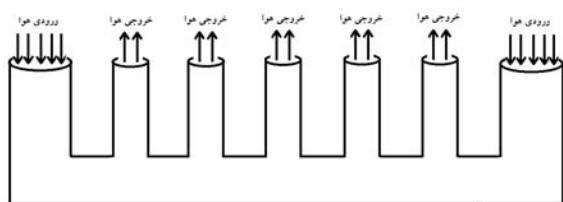
دبی هوای مورد نیاز (m³/s)	تعداد	جنس هادی
ورودی	مدار	
خروجی میانی	کناری	
۲/۲۳۴	۱/۱۱۷	۳/۳۵۱
۲/۵۳۶	۱/۲۶۸	۳/۸۰۴
۲/۲۲۸	۱/۱۱۴	۳/۳۴۲
۲/۵۳	۱/۲۶۵	۳/۷۹۴



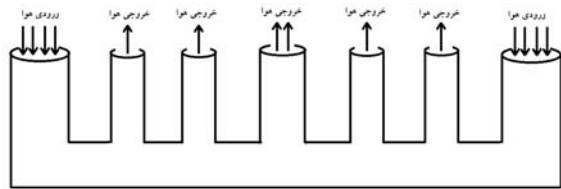
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل (۱): حالات مختلف طراحی ورودی و خروجی هوا برای سیستم تهویه تونل

همانطور که در شکل (۱-د) نشان داده شده است، در بعضی شرایط به واسطه دبی زیاد مورد نیاز و نیز مسیر طولانی تونل، امکان افزایش دمای تونل در میانه‌های آن وجود دارد. در این شرایط طراحی بهینه ایجاد می‌کند که مجرای میانی سطح مقطع بیشتری داشته باشد و بتواند دبی بیشتری را نسبت به مجرای کناری جابجا کند. دبی جابجا شده توسط هر کدام از مجرای کناری و میانی برای این حالت در جدول (۳-د) نشان داده شده است.

## بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

مقطع تونل مستطیل شکل است، برای استفاده از منحنی پیوست (الف) باید قطر معادل تونل را با استفاده از رابطه (۷) بدست آورده [۱۱]:

$$d_{gl} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} \quad (7)$$

که در آن  $a$  و  $b$  ابعاد تونل می‌باشند. بنابراین قطر معادل تونل مورد مطالعه با ابعاد  $2 * 1/5 = 1/5$  متر برابر خواهد بود با:

$$d_{gl} = 2 * 2000 * 1500 / (3500) = 1714 \text{ mm}$$

حال می‌توان افت فشار ناشی از اصطکاک دیواره‌های تونل با هوا را محاسبه نمود. همچنین مجاری ورودی و خروجی هوا نیز سبب افت فشار می‌شوند که مشابه مسیر تونل محاسبه می‌شود.

علاوه بر این، با توجه به اینکه نسبت عرض به طول تونل برابر با  $0.75/0.0 = 75/0$  می‌باشد، بنابراین ضریب  $\beta$  مورد استفاده در رابطه (۶) نیز با توجه به پیوست (الف) برابر با  $1/4$  خواهد بود. با مشخص بودن این ضریب و استفاده از رابطه (۶)، افت فشار ناشی از زانوهای مسیر نیز قابل محاسبه است. تمامی افتخارات ذکر شده در این بخش برای حالات مختلف در جدول (۴) ارائه شده است.

همانطور که جداول (۳-۲) و (۳-۳) نشان می‌دهد تغییر طراحی مجاری ورودی و خروجی هوا سبب تغییر دبی جابجا شده در مجاری و در نتیجه تغییر نوع فن می‌شود. انتخاب هر کدام از طرح‌های یاد شده بر مبنای صرفه اقتصادی سیستم تهویه مورد نیاز برای هر کدام از حالات، نرخ تغییرات دمای هوا در مسیر تونل و دبی مورد نیاز و همچنین با توجه به قیود حفر ماجرا در مسیر تونل تعیین می‌شود. در این مطالعه به جهت اینکه طول مسیر تونل  $1000$  متر بیشتر نبوده و در مسیر آن امکان حفر ماجرا برای تهویه وجود نداشته است، حالت اول با یک ماجرا در ابتدا و انتهای انتخاب شده است.

## ۳-۳-۳- محاسبه افت فشار

طول تونل مورد مطالعه برابر با  $1000$  متر و دارای چهار زانوی  $90^\circ$  درجه در مسیر خود می‌باشد. با توجه به رابطه (۶)، برای محاسبه افت فشار ناشی از اصطکاک هوا با دیواره تونل، ابتدا باید ضریب  $R$  را با توجه به شرایط مسیر از پیوست (الف) استخراج نمود و سپس آن را در ضریب تصحیحی که با توجه به جنس دیواره تونل از پیوست (الف) بدست می‌آید، ضرب نمود. با توجه به اینکه دیواره تونل موردنظر از جنس بتن است، زبری مطلق بین  $1$  تا  $3$  می‌باشد که در این مطالعه برابر با  $1/5$  در نظر گرفته شده است. البته از آنجا که سطح

جدول (۴): نتایج افت فشار در حالات مختلف

جنس هادی	تعداد مدار	دبی هوای مورد نیاز ( $m^3/s$ )	مقاومت اصطکاکی ( $Pa/m$ )	افت فشار (Pa)	زنو	مجرا	تونل	مجرا	تونل
مس	تک مداره	۶/۷۰۲	$0/1352 = 1/3 * 0/104$	$0/749 * 1/7 = 1/2733$	۱۲/۸۴	۱۲/۷۳	۱۳۵/۲		
دو مداره	۷/۶۰۸	$0/175 = 1/4 * 0/125$	$0/833 * 1/75 = 1/457$	$0/75 * 1/7 = 1/525$	۱۶/۵۶	۱۴/۵۷	۱۷۵		
تک مداره	۶/۶۸۴	$0/1341 = 1/3 * 0/1032$	$0/73 * 1/7 = 1/241$	$0/75 * 1/7 = 1/525$	۱۲/۷۷	۱۲/۴۱	۱۳۴/۱		
آلومینیوم	۷/۵۸۹	$0/1694 = 1/4 * 0/121$	$0/825 * 1/74 = 1/435$	$0/825 * 1/74 = 1/435$	۱۶/۴۷	۱۴/۳۵	۱۶۹/۴		

مورد نظر را با توجه به مشخصه آن که توسط سازنده‌ها ارائه می‌شود انتخاب نمود. حال با توجه به منحنی ارائه شده در پیوست (ب) و در نظر داشتن قطر ۱ متر برای دهانه مجرای DR1000-8 عبور هوا، فن انتخابی برای تونل تک‌مداره مدل ۸/۰۰۱ DR است که توان نامی آن برابر با  $2/2$  کیلو وات می‌باشد. این فن قادر است در دبی  $6/70\ 2\ m^3/s$  اختلاف فشاری در حدود  $120$  پاسکال ایجاد کند که بیشتر از نصف فشار مورد نیاز  $(212/2=106)$  می‌باشد و هدف طراح را تأمین می‌کند. همانطور که با دقت در پیوست (ب) مشخص می‌شود، نمی‌توان از این مدل فن برای تونل با کابل دو مداره استفاده نمود.

#### ۴-۴- انتخاب فن، تعداد و قدرت آن

با توجه به آرایش فن‌ها در ابتدا و انتهای تونل، تمام افت فشار ناشی از مسیر تونل، مجراهای و زانوها باید بوسیله فن‌ها جبران شود. افت فشار کلی در جدول (۵) ارائه شده است. از آنجا که دو فن یکی در مجرای ورودی هوا در ابتدای تونل و دیگری در مجرای خروجی هوا در انتهای تونل نصب شده است، بنابراین مجموع اختلاف فشار ایجاد شده توسط فن‌ها باید برابر با افت فشار ایجاد شده در تونل باشد. در نتیجه هر کدام از فن‌ها باید نصف افت فشار کلی را جبران سازد درحالیکه دبی مورد نیاز را نیز فراهم می‌کند. بنابراین با مشخص بودن دبی و اختلاف فشار مورد نیاز می‌توان فن

جدول (۵): نتایج افت فشار کلی و انتخاب فن

مشخصات هر فن		افت فشار (Pa)		تعداد مدار دبی هوا ( $m^3/s$ )	جنس هادی
مدل	توان (kW)	کلی (۲ عدد مجراء، تونل و ۴ عدد زانو)			
DR1000-8	$2/2$	$135/2+12/73*2+12/84*4=212$	$6/70\ 2$	تک مداره	مس
AXB100LF-633A	$4$	$175+14/57*2+16/56*4=270/38$	$7/60\ 8$	دو مداره	
DR1000-8	$2/2$	$134/1+12/41*2+12/77*4=210$	$6/68\ 4$	تک مداره	آلومینیوم
AXB100LF-633A	$4$	$169/4+14/35*2+16/47*4=263/98$	$7/58\ 9$	دو مداره	

از  $180$  پاسکال را ایجاد کند که بیشتر از افت فشار در نصف مسیر تونل است، بنابراین این فن  $4$  کیلوواتی قادر است خواسته طراح را تأمین کند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

تعیین دبی مورد نیاز اولین گام برای طراحی یک سیستم تهویه می‌باشد که نحوه محاسبه آن برای تونل کابل‌های فشار قوی زیرزمینی در این مقاله ارائه شده است. همچنین تأثیر جنس هادی کابل و تعداد مدار نصب شده در تونل در محاسبه دبی مورد نیاز در نظر گرفته شده است. علاوه بر این،

علت این امر با دقت به منحنی مشخصه فن مشخص می‌شود. دبی مورد نیاز برای تونل دو مداره برابر با  $7/60\ 8\ m^3/s$  می‌باشد که فن‌های ارائه شده در پیوست (ب) حداقل قادر به ایجاد  $85$  پاسکال اختلاف فشار در دبی مورد نظر خواهند بود که این مقدار بسیار کمتر از نصف افت فشار در تونل  $(135/19 / 2=270/38)$  می‌باشد. بنابراین باید از فن با مدل دیگری استفاده کرد. منحنی ارائه شده در پیوست (ج) محصول شرکت دیگری می‌باشد و از قدرت بیشتری برخوردار است. با دقت در منحنی فن مشخص می‌شود که این فن قادر است در دبی  $7/60\ 8\ m^3/s$  اختلاف فشاری بیش

- [5] T. Matsui, N. Morimoto, H. Suzuki, K. Kumagai, Y. Sakaguchi and H. Higashi, "The Temperature Rising characteristics of 275kV Cables and GILs in Tunnels", IEEE Power engineering society winter meeting, vol.2 , pp. 1354-1359, 7 August 2002.
- [6] Working Group 08 of Study Committee 21, "Calculation of Temperatures in Ventilated Cable Tunnels," Electra, vol. 143, pp. 38-59, Aug. 1992.
- [7] J.A. Pilgrim, D.J. Swaffield, P.L. Lewin, S.T. Larsen, F. Waite and D. Payne, "Rating Independent Cable Circuits in Forced-Ventilated Cable Tunnels", IEEE Transactions on Power Delivery, Issue 99, pp. 1-8, 29 July 2010.
- [8] "Calculation of Permissible Current in Cables at Steady State Rating", International Electrotechnical Commission (IEC) 60287.
- [9] محمد بانکیان، شرکت سیم و کابل ابهر، کتاب کابل (دانشنامه صنعت کابل)، چاپ اول. ۱۳۸۲.
- [10] L. Heinhold, Power Cables and Their Application, Siemens Aktiengesellschaft, 1970.
- [11] حسین بیرانوند، دوره تأسیسات بخش تهویه، جلد سوم، چاپ دوم، پاییز ۸۶
- [12] airtechnics company catalogue, available at : <http://www.airtechnics.com>
- [13] nuairgroup company catalogue, available at : <http://www.nuairgroup.com>

انواع متفاوت طرح‌های مناسب برای مجاري ورودی و خروجی هوا بررسی گردید. محاسبه افت فشار ناشی از مسیر تونل، زانوهای موجود در مسیر و نیز مجاري ورودی و خروجی هوا نیز بخش دیگری از این مطالعه را به خود اختصاص داده است. در پایان با توجه به دبی مورد نیاز و نیز افت فشار ایجاد شده و همچنین با استفاده از مشخصه‌های دبی - فشار فن، سیستم تهویه مورد نیاز طراحی شده است. کامل و کاربردی بودن روابط، محاسبات و طرح‌های پیشنهادی، از جمله ویژگی‌های این مطالعه به شمار می‌آید.

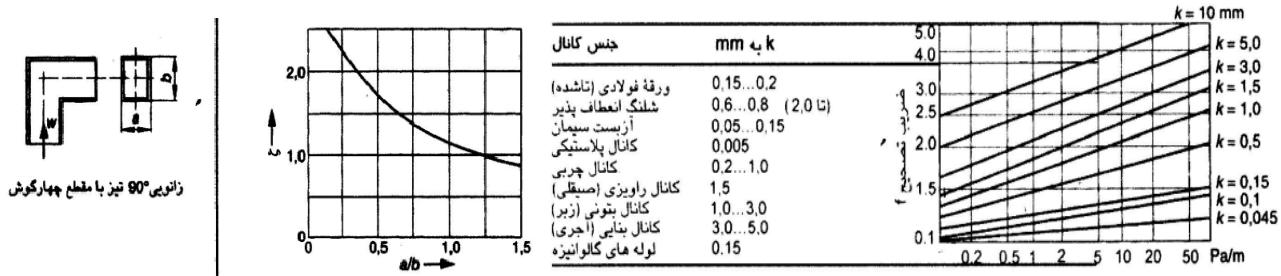
## مراجع

- [1] M. Matsumura, K. Fukuda, E. Fujiwara, T. Shiro, M. Watanabe, Y. Sakaguchi and T. Ooimo "Transmission Capacity Design of Underground Power Cables installed in Deep Tunnel" IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.
- [2] M. Hayashi, K. Uchida, W. Kumai, K. Sajno, M. Mitani, N. Ichiyanagi and T. Goto, "Development of Water Pipe Cooling System for Power Cables in Tunnels" IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 4, no. 2, April 1989.
- [3] J.A. Pilgrim, D.J. Swaffield, P.L. Lewin, S.T. Larsen and D. Payne, "Towards A More Flexible Rating Method For Cables in Tunnels", the 11<sup>th</sup> international Electrical Insulation Conference, pp. 198-203, Birmingham, UK, May 2009.
- [4] B. M. Weedy, "Air Temperatures in a Deep Cable Tunnel", Electric Power Systems Research, Vol. 15, pp. 229-232, 1988.

## پیوست

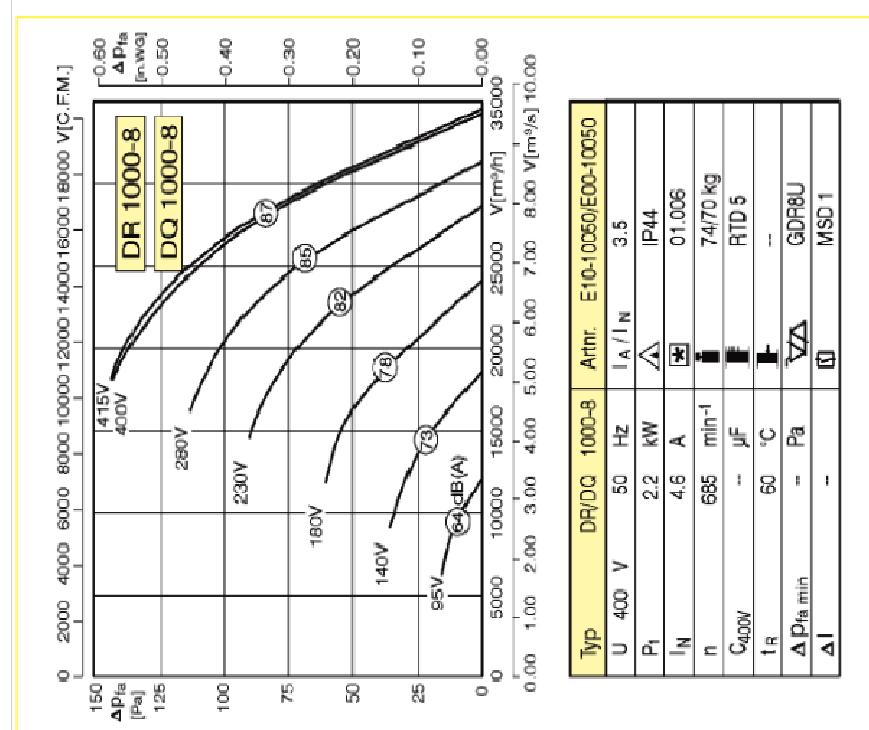
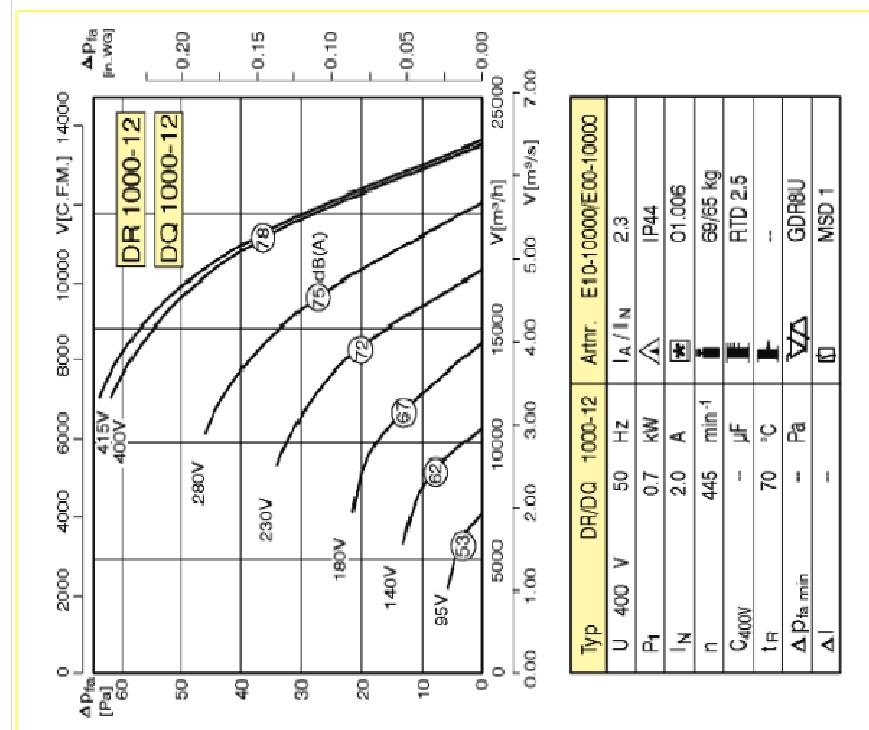
پیوست (الف): ضریب زبری دیواره تونل و افت فشار زانو [۱۱]

زبری مطلق  $k$  (زبری نسبی =  $d/k/d = mm$ ) و ضرایب تصحیح ( $f$ ) برای مواد مختلف

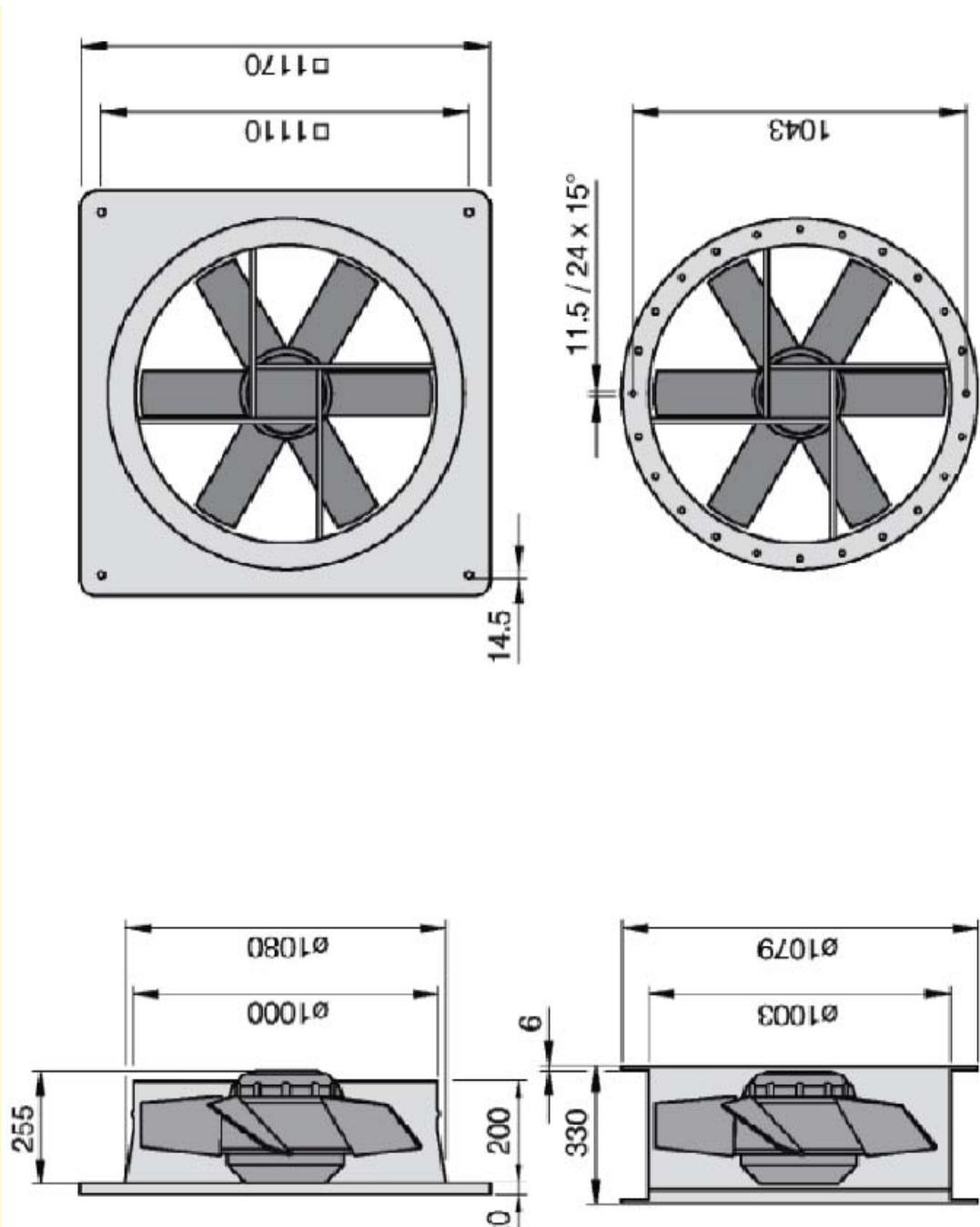


**بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق**

پیوست (ب) : مشخصات فن مدل DR1000-8



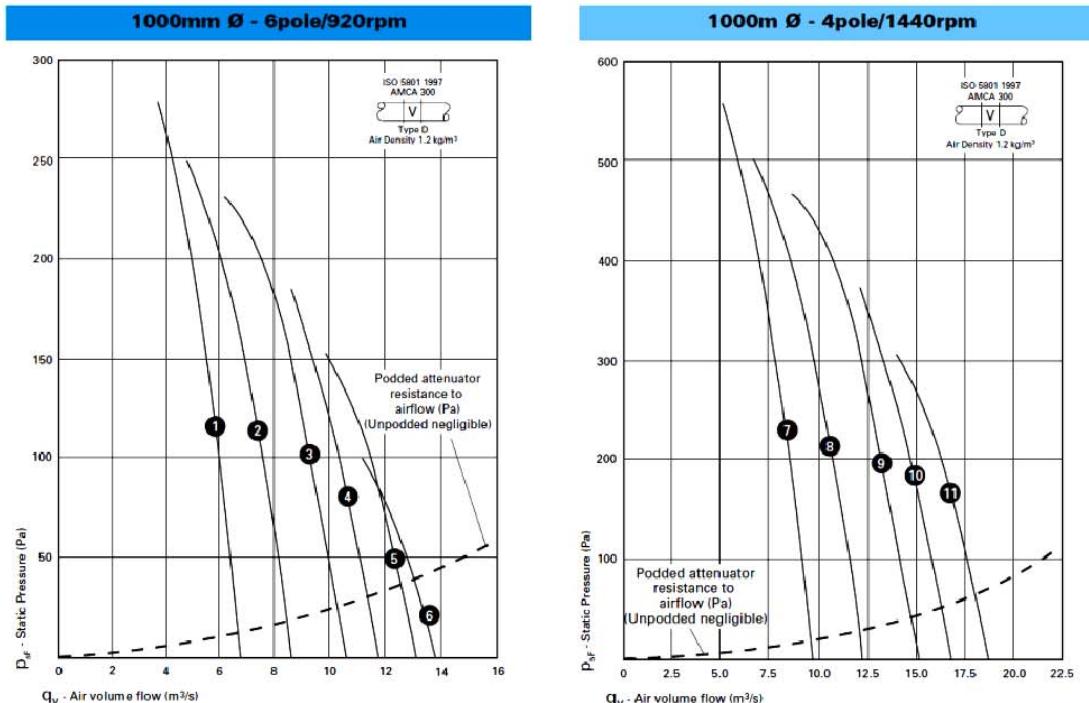
بوست (ب) : مشخصات فن مدل DR1000-8



## پیوست (ج): مشخصات فن مدل AXB100LF-633A

axial fans bifurcated axial flow | technical information

## Bifurcated Axial Flow - 1000mm Ø



General							Electrical/Motor						Noise/Sound								
Curve No.	Unit Code	Blade Angle	Speed RPM	Unit Set	Motor frame size		1 Phase (230V-50Hz)	3 Phase (400V-50Hz)		1 Phase (230V-50Hz)	3 Phase (400V-50Hz)		In-duct sound power levels dB re 1pW inlet	Octave band mid frequency Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<b>1000mm Ø - 6pole/920rpm</b>																					
1	AXB100LF-613A	10°	945	258	NAV4	112	-	-	-	2.2	5.9	23.6	85	89	92	92	89	86	77		
2	AXB100LF-623A	15°	950	287	NAV6	132	-	-	-	3	6.6	39.6	86	92	92	90	87	84	75		
3	AXB100LF-633A	20°	960	299	NAV6	132	-	-	-	4	9	*16.2	87	94	93	89	85	83	72		
4	AXB100LF-643A	25°	950	299	NAV6	132	-	-	-	5.5	12.3	*21.5	91	95	93	90	86	84	76		
5	AXB100LF-653A	30°	970	371	NAV49	160	-	-	-	7.5	16	*36.8	95	95	94	91	87	85	79		
6	AXB100LF-663A	35°	970	371	NAV49	160	-	-	-	7.5	16	*36.8	102	98	95	93	89	86	80		
<b>1000mm Ø - 4pole/1440rpm</b>																					
7	AXB100LF-413A	10°	1440	299	NAV6	132	-	-	-	7.5	14.5	*34.8	94	98	101	101	98	95	87		
8	AXB100LF-423A	15°	1460	351	NAV49	160	-	-	-	11	20	*40.0	95	101	101	99	96	94	84		
9	AXB100LF-433A	20°	1460	351	NAV49	160	-	-	-	11	20	*40.0	96	103	102	98	94	92	81		
10	AXB100LF-443A	25°	1465	371	NAV49	160	-	-	-	15	27	*64.8	100	104	103	99	95	93	85		
11	AXB100LF-453A	30°	1465	414	NAV50	180	-	-	-	18.5	34	*71.4	104	105	103	100	96	94	88		



Mounting Brackets (pair)

Code: CMB100



Matching Flange (single)

Code: CMF100



Flexible Connector (Single)

Code: CFC100



Anti-Vibration Mounts (for fan only)

Codes: See table



Attenuator (standard, long &amp; podded options)

Code: CA100S, CA100L, CA100SP, CA100LP



Guard

Code: CGD100



Inlet Cone

Code: CIC100



Backdraught Damper

Code: CBD100



Inverter Speed Controls

## Notes relating to the table

The electrical and sound information in the table is nominal.

\* Start currents ( $I_{SC}$ ) are DOL other than for motors of 4kW and above which are Star Delta. (highlighted for clarity)