نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی
Tunneling & Underground Space Engineering (TUSE)
tuse.shahroodut.ac.ir
دوره‌ی ۸- شماره‌ی۲/تابستان ۱۳۹۸

بهینه‌سازی توزیع هوا در شبکه تهویه با به‌کارگیری روش الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: معدن زغال‌سنگ کلاریز شرقی)

رضا شکورشهابی[1*]؛ حسین لاریجانی[2]؛ ابراهیم الهی[3]؛ محمدحسین صادق زاده[2]
۱- استادیار؛ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن؛ دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
۳- عضو هیات‌علمی؛ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

دریافت دست‌نوشته: ۱۳۹۷/۰۵/۱۸؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22044/TUSE.2019.7344.1346

واژگان کلیدی
بهینه‌سازی توزیع هوا
شبکه تهویه
الگوریتم ژنتیک
معدن زغال‌سنگ کلاریز
کمینه‌سازی مصرف انرژی

چکیده

در این تحقیق بهینه‌سازی توزیع هوا در معدن زغال‌سنگ کلاریز شرقی با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک برای جستجوی مقادیر بهینه تخصیص بادبزن‌ها، افت فشار درهای تنظیم‌کننده و شدت‌جریان هریک از شاخه‌های شبکه تهویه انجام گرفته است. با توجه به مدل‌سازی شبکه موجود معدن با نرم‌افزار ونت‌سیم، شدت جریان هوا در تعدادی از شاخه‌ها کمتر از حد مورد نیاز برآورد شده است. بهینه‌سازی توزیع هوا در دو حالت مجزا شامل شرایط فعلی شبکه و نیز رعایت حداقل شدت جریان هوا در کلیه شاخه‌ها انجام گرفته است. نوع جریان نیمه‌کنترل‌شده نوع دوم فرض شد و کدنویسی در نرم‌افزار متلب، بر مبنای کمینه‌سازی انرژی مصرفی، اعمال محدودیت‌های قوانین شدت‌جریان و افت فشار کرشهف، به‌صورت توابع جریمه انجام گرفته است. در حالت اول بدون اعمال حداقل شدت جریان، مصرف انرژی کاهش یافت. در حالت دوم مقدار مصرف انرژی به ۱۳۶۹۶ وات و شدت جریان به ۳۲ مترمکعب در ثانیه به دلیل هوا رسانی به بیش از ۲۲ شاخه معدن افزایش یافته است. تأمین هوا و جبران افت فشار شبکه بسته به شرایط، با ترکیب سری، موازی دو بادبزن *VTS11* موجود معدن انجام می‌گیرد. بررسی تأثیر مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک بر دستیابی به پاسخ بهینه نشانگر افزایش احتمال دستیابی به جواب بهینه با افزایش تعداد جمعیت است. افزایش ضرایب پیوند و جهش موجب کاهش دقت محاسبات و افزایش زمان اجرا گردیده است.

۱- پیشگفتار

عملیات تهویه به‌عنوان یکی از ضروری‌ترین فعالیت‌های پشتیبانی زنجیره تولید در فعالیت‌های معدنی و عمرانی زیرزمینی است که با هدف تأمین و توزیع هوای مورد نیاز بخش‌های مختلف انجام می‌شود. هدف اصلی یک سیستم تهویه، تأمین اقتصادی هوای تازه مورد نیاز با سرعت و میزان کافی برای رقیق کردن سریع و خروج آلاینده‌ها از مناطق کاری است. آلاینده‌ها و عوامل مزاحم در عملیات حفاری و استخراج معدن شامل طیف وسیعی از گازهای قابل اشتعال و مضر، گردوغبار، گازهای سمی حاصل از انفجار مواد منفجره، گرما و رطوبت هستند و مقادیر مجاز این آلاینده‌ها توسط یک سری استانداردها تعیین می‌شود. تهویه ناکافی در طول دوره بهره‌برداری معدن، موجب بروز مشکلات در استخراج و حتی توقف عملیات تولید می‌شود. سیستم‌های تهویه در مرحله طراحی معمولاً بر اساس ملاحظات فنی پایه‌گذاری می‌شوند و به‌ندرت تجزیه‌وتحلیل اقتصادی ملاک تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. مهم‌ترین دلایل این بحث را می‌توان در عدم قطعیت داده‌های عملیاتی شبکه تهویه و نیز تعدد فعالیت‌های مورد نیاز در فاز طراحی بیان کرد *(Hall, 1981)*.

*قزوین؛ دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)؛ دانشکده‌ی فنی و مهندسی؛ گروه مهندسی معدن؛ اتاق ۴۶۹؛ شماره‌ی تلفن: ۳۳۹۰۱۱۱۲-۰۲۸؛ رایانامه: Shahabi@eng.ikiu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

گسترش فعالیت‌ها در طول عمر معدن و افزایش نرخ تولید ماده معدنی باعث افزایش حجم آلاینده‌ها و افزایش فشار بر سیستم تهویه می‌شود. با پیشروی جبهه‌کارهای معدنی، امکان نشت هوا در مسیرهای معدنی و دبی هوای مورد نیاز افزایش می‌یابد. از طرفی هوای تازه باید مسافت بیشتری در بین شاخه‌های شبکه به‌هم‌پیوسته از معدن طی کند؛ لذا نیاز به تأمین فشار بالاتری برای غلبه بر افت فشار اصطکاکی و سایر اقلام افت فشار است (*Kazakov, et al., 2013*).

هزینه‌های سیستم تهویه شامل دو گروه هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های عملیاتی است. هزینه‌های سرمایه‌ای مربوط به عملیات خرید تجهیزات، ساخت و نصب تأسیسات مورد نیاز برای دوره بهره‌برداری است که شامل هزینه خرید و راه‌اندازی اولیه بادبزن‌ها، موتورها و اقلام ضروری توزیع انرژی، هزینه احداث راهروهای عبور هوا یا توسعه مقاطع راهروها، سیستم گرمایش و سرمایش هوا، تأسیسات کنترلی نظیر تنظیم‌کننده‌ها و درهای تهویه است. این‌گونه هزینه‌ها عمدتاً در زمان ساخت است و به مشخصات طراحی شبکه تهویه بستگی دارد. هزینه عملیاتی عمدتاً شامل هزینه انرژی مصرفی سیستم و سایر هزینه‌های دوره بهره‌برداری از قبیل تعمیر و نگهداری سیستم، هزینه پرسنلی نگهداری سیستم، هزینه جابجایی و نصب مجدد دستگاه‌ها و تجهیزات تولید سرمایش و گرمایش و تجهیزات کنترلی است. این هزینه‌ها تا ۲۲ درصد از هزینه‌های عملیاتی معدن زیرزمینی را شامل می‌شوند (*Hall, 1981*) و (*Petrov & Popov, 2004*). هاردکاسل در سال ۲۰۰۲ میزان هزینه‌های سیستم تهویه را برابر ۴۰ درصد کل هزینه‌های معادن عمیق زیرزمینی تخمین زده است (*Hardcastle & Kocsis, 2002*). هزینه انرژی مصرفی به‌عنوان اصلی‌ترین قلم هزینه عملیاتی سیستم تهویه است. مهم‌ترین قدم در طراحی سیستم تهویه، برآورد مقدار بهینه دبی هوای مورد نیاز است. هزینه سرمایه‌ای مورد نیاز عملیات تهویه بر اساس گزاره ۱ قابل تخمین است که در آن C_c هزینه سرمایه‌ای عملیات تهویه و Q دبی هوای تولیدشده، k و n ضرایب ثابت است. مقدار ضریب n در محدوده یک و کمتر از آن است.

$$C_c = kQ^n \qquad (۱)$$

هزینه عملیاتی تهویه نیز تابعی از مقدار انرژی مصرفی بابت تأمین و توزیع هوای در جبهه‌های کاری و دبی هوای تولیدشده تعریف می‌شود (*Hall, 1981*). توزیع بهینه هوا در عملیات معدنی را می‌توان مهم‌ترین راهکار اجرایی برای کاهش توأم هزینه عملیاتی و سرمایه‌ای سیستم تهویه نامید. باید توجه داشت که در بسیاری موارد به‌ویژه طراحی شبکه تهویه معادن، صرفاً تأمین هوای لازم در شاخه‌های شبکه موردتوجه قرار می‌گیرد و جنبه اقتصادی آن کمتر مدنظر است. حال‌آنکه با طراحی بهینه شبکه یعنی به‌گزینی موقعیت و مقاومت درهای تنظیم‌کننده و نیز تعیین صحیح محل و مشخصات بادبزن‌های تقویتی می‌توان انرژی مصرفی را به حداقل رساند (*Madani, 2003*).

طراحی اولیه شبکه تهویه با در نظر گرفتن قوانین شدت جریان و افت فشار کرشهف (*Kirchhoff*) بر مبنای تئوری‌هایی مانند هاردی کراس (*Hardy Cross*)، نیوتن رافسون (*Newton Raphson*) و مسیر بحرانی (*Critical Path Method*) و استفاده از روش‌های دستی و کامپیوتری صورت می‌گیرد. هدف اصلی این طراحی، انتخاب بادبزن اصلی و کمکی مناسب برای دوره بهره‌برداری است. همچنین شبیه‌سازی شبکه در نرم‌افزارهایی مانند ونت سیم (*Ventsim*) صورت می‌گیرد اما برای بهینه‌سازی شبکه‌های تهویه فضاهای زیرزمینی در حال بهره‌برداری، معمولاً از روش برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده می‌کنند و در حل بسیاری از مسائل کاربردی ازجمله بهینه‌سازی تهویه، استفاده از روش قطعی و ابتکاری در عمل امکان‌پذیر نیست زیرا در برخورد با تعداد زیاد متغیرها و تعیین محل نصب و قدرت‌های متفاوت، سرعت انجام محاسبات به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد و رسیدن به جواب، وقت‌گیر خواهد بود. روش‌های فرا ابتکاری معمولاً با مبانی الهام گرفته از رخدادها و قواعد طبیعت، راه‌حل جستجوی مقادیر بهینه را ارائه می‌دهند. ازجمله مزایای این روش‌ها، قدرت تجزیه‌وتحلیل متغیرها به‌طور هم‌زمان است الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یکی از روش‌های فرا ابتکاری پرکاربرد می‌تواند برای حل چنین مسائلی که فضای جستجوی نامشخصی دارند، مناسب باشد (*Lowndes, et al., 2005*) و (*Bashiri, 2011*). هدف اصلی این تحقیق، بررسی کارایی روش‌های فرا ابتکاری برای جستجوی مقادیر بهینه تخصیص بادبزن‌ها، افت فشار درهای تنظیم‌کننده و شدت‌جریان هریک از

www.SID.ir

Archive of SID

شاخه‌های شبکه تهویه بر مبنای تابع هدف کمترین مصرف انرژی و اعتبارسنجی آن است. با توجه به این‌که در حال حاضر، در سیستم تهویه معدن زغال‌سنگ کلاریز شرقی مواردی همچون حداقل هوای موردنیاز در شاخه‌های شبکه تهویه، برای به جریان افتادن هوا در همه شاخه‌ها رعایت نشده است؛ بنابراین هدف حداقل‌سازی میزان مصرف انرژی بادبزن توأم با رفع مشکل برقراری مناسب جریان هوا مورد بررسی قرار می‌گیرد. لذا بهینه‌سازی توزیع هوا در معدن زغال‌سنگ کلاریز در دو حالت مجزا و بدون نیاز به اضافه نمودن تأسیسات جدید ازجمله نصب بادبزن کمکی تقویت‌کننده انجام شده است. در حالت اول شدت جریان مورد نیاز شاخه‌های دسترسی طبق شرایط فعلی معدن است و الزامات حداقل شدت جریان مورد نیاز فقط در کارگاه‌های استخراجی و جبهه کارهای پیشروی رعایت شده است. در حالت دوم، الزام به رعایت حداقل شدت جریان هوا در کلیه شاخه‌های شبکه اعم از مسیرهای دسترسی، کارگاه‌های استخراج و جبهه‌های کاری رعایت شده است. طبیعتاً در حالت دوم، شدت جریان مورد نیاز و به‌تبع آن مقدار انرژی مصرفی، نسبت به حالت اول بالاتر خواهد بود.

۲- مبانی و رویکردهای بهینه‌سازی توزیع هوا در معدن

سیستم تهویه معدن علاوه بر بادبزن‌ها، شامل شاخه‌ها، درهای تنظیم‌کننده و تجهیزات کنترلی است. مهم‌ترین راهکارهای عملی بهینه‌سازی توزیع هوای معدن را می‌توان شامل تنظیم موقعیت صحیح درهای تنظیم‌کننده و بادبزن‌ها برای توزیع واقعی و کافی هوا، نصب بادبزن‌های تقویت‌کننده در موقعیت مناسب برای افزایش دبی هوا در راه‌های هوایی بزرگ، بهبود نگهداری از در تهویه، به حداقل رساندن نشت و هرگونه جریان کنترل نشده هوای معدن و جلوگیری از ایجاد مسیرهای موازی جریان هوا و کاهش افت فشار، برداشتن بادبزن‌های قرارگرفته در مکان‌های نامناسب ذکر کرد. مهم‌ترین الزامات محدودکننده راهکارها شامل رعایت قوانین شدت جریان و افت فشار مطابق قوانین کرشهف، تنظیم حدود شدت‌جریان‌ها، حدود افت فشار درهای تنظیم‌کننده و حدود فشار و شدت‌جریان بادبزن، حفظ سرعت هوا در حدود مجاز آن و رعایت الزامات فنی نصب بادبزن‌های تقویت‌کننده یا درهای تنظیم‌کننده در جاهایی خاص از مسیرهای عبور هوا است. در این حالت انتخاب بادبزن و تجهیزات مناسب با شدت جریان و افت فشار واقعی در فضاهای زیرزمینی صورت می‌گیرد. چالش اصلی در این مسائل، بهینه‌سازی هم‌زمان تعداد زیاد متغیرهای مسئله مانند فشار و سرعت جریان هوایی عبوری از راهروهاست تا بهترین محل نصب بادبزن اصلی، بادبزن تقویتی و درهای تنظیم‌کننده برای دست‌یابی به حداقل مصرف انرژی مشخص شود *(Petrov & Popov, 2000)* و *(Acuña et al., 2010)*، *(Acuña & Lowndes, 2014)*.

از دیدگاه محاسباتی، مهم‌ترین مسائل سیستم تهویه شامل محاسبه توان بادبزن‌ها، افت فشار مورد نیاز درها و تعیین محل نصب آنها بر مبنای توزیع واقعی و کافی جریان هوا در شبکه تهویه است. برای حل این مسائل باید متغیرهای شبکه و معادلات شبکه مشخص شوند. متغیرهای شبکه تهویه شامل افت فشار و شدت جریان هوا است. معادلات شبکه برگرفته از قوانین جریان و قوانین افت فشار کرشهف است و به دلیل این‌که شکل معادلات شبکه با تغییر مسائل تغییر نمی‌کند تمامی مسائل شبکه می‌تواند توسط معادلات شبکه و متغیرهای شبکه تعریف شود. متغیرهای پایه‌ای شبکه و مرتبط با شاخه‌های شبکه تهویه شامل شدت‌جریان هوا، افت فشار درها و فشار بادبزن هستند*(McPherson,1993)* و *(Hartman, et al.,2012)*. در حالت کلی بهینه‌سازی توزیع هوا، یافتن بهترین شرایط عملکرد مجموع اجزای شبکه برای حداقل رساندن انرژی مصرفی با ترکیب موارد فوق است که می‌توان آن را به دو مسئله فرعی زیر تقسیم کرد:

- توزیع بهینه هوا در شاخه‌ها
- جانمایی بهینه درهای تنظیم‌کننده، بادبزن‌ها و مشخصات آنها

این دو مساله فرعی، نقش اساسی را در حداقل رساندن انرژی مصرفی به عهده دارند *(Lilic & Kuzmanovic, 1994)*. چالش اصلی در این مسائل، بهینه‌سازی هم‌زمان تعداد زیاد متغیرهای مسئله است. ازجمله این متغیرها می‌توان به فشار و سرعت جریان هوایی که باید از راهروهای شبکه تهویه عبور کند تا محل نصب بادبزن اصلی، بادبزن تقویتی و درهای تنظیم‌کننده شبکه

www.SID.ir

Archive of SID

تهویه از بهترین کارایی برخوردار شوند اشاره کرد (*Lowndes et al., 2005*).

اصولاً هوایی که بدون محدودیت و به‌طور طبیعی در یک شبکه بسته توزیع می‌شود از حداقل توان مصرف برخوردار است؛ زیرا برای اجرای این سیستم توزیع هیچ‌گونه مقاومت اضافی در مسیر ایجاد نمی‌شود. به‌عبارت‌دیگر در این حالت برای هیچ‌کدام از شاخه‌های شبکه، تأمین شدت‌جریان مشخصی ضروری نیست اما در حالت کلی، برای بعضی از شاخه‌ها، شدت‌جریان هوای ثابتی موردنیاز است که با آنچه از طریق توزیع طبیعی حاصل می‌شود تفاوت دارد؛ لذا در این حالت، توان مصرفی حداقل نخواهد بود (*Acuña et al., 2010*).

به‌طورکلی مسائل بهینه‌سازی توزیع هوا شامل حالات تقسیم طبیعی هوا (*Free flow Spliting (FS)*)، تقسیم کنترل‌شده (*Flow Controlled*) و تقسیم نیمه کنترل‌شده جریان هوا (*Semi Controlled (SC)*) هستند. در معادن، حالت تقسیم کنترل‌شده که در آن جریان هوای تمامی شاخه‌ها مشخص و تنظیم شده است، به‌ندرت یافت می‌شود. جریان نیمه‌کنترل‌شده خود به دو نوع اول (*SC1*) و نوع دوم(*SC2*) تقسیم می‌شود. جریان نیمه‌کنترل‌شده نوع اول که به درهای تنظیم‌کننده اجازه می‌دهد که فقط در شاخه‌های با جریان ثابت قرار گیرند. در جریان نیمه‌کنترل‌شده نوع دوم به درهای تنظیم‌کننده، اجازه قرارگیری در هر موقعیت ممکن از شاخه‌های شبکه داده می‌شود (*Kozyrev& Osintseva, 2012*) و (*Acuña & Lowndes, 2014*). در جدول ۱، مروری بر انواع توابع هدف و نوع جریان در مطالعات قبلی بهینه‌سازی توزیع هوا در شبکه‌های تهویه آورده شده است.

جدول ۱- گزیده مطالعات در مورد مسائل بهینه‌سازی توزیع هوا در شبکه‌های تهویه (*Acuña & Lowndes, 2014*)

پیشنهاددهنده	تقسیم جریان			نوع تابع هدف		بهینگی
	FS	*SC1*	*SC2*	کاهش هزینه سرمایه‌ای	کاهش انرژی مصرفی	
Calisaya et al (1987)		✓			✓	✓
Wang (1989)			✓		✓	✓
Barnes (1989)			✓		✓	✓
Jacques (1991)			✓		✓	✓
Huang and wang (1993)			✓		✓	✓
Vijaya kumar et al (1995)		✓			✓	✓
Wu and topuz (1998)			✓	✓		✓
Lowndes et al (2005)			✓		✓	✓
Sui et al(2011)			✓		✓	✓
Chen et al (2014)			✓		✓	✓

در خصوص نوع تابع هدف، همگی میزان مصرف انرژی بادبزن را به‌عنوان تابع حداقل سازی انتخاب کرده‌اند، اما مسئله بهینه‌سازی جریان نیمه‌کنترل‌شده نوع دوم (*SC2*) بیش‌ترین مقبولیت را دارد (*Wu & Topuz, 1998*) و (*Acuña & Lowndes,2014*).

لازم به ذکر است که توابع هدف مختلف و روش‌های جدید حل در مسائل مختلف بر مبنای روش‌های مختلف ریاضی، ابتکاری و فرا ابتکاری به تحلیل توزیع مطلوب جریان هوا با ترکیب بهینه محل و قدرت بادبزن اصلی و تقویتی نصب‌شده و درهای تنظیم‌کننده پرداخته شده است.

این مطالعات همگی بر اساس استنتاج تجربی یک رابطه خطی بین فشار بادبزن و مقاومت درهای تنظیم‌کننده ارائه شده‌اند و در عمده موارد نیز، تغییرات شرایط ترمودینامیکی معدن از قبیل دما و رطوبت و تأثیر آن بر پارامترهای تهویه لحاظ نشده است. همچنین در تحلیل نتایج تولیدشده توسط هریک از این روش‌ها، ملاحظات ذیل باید مورد توجه قرار گیرد:

الف- تغییرپذیری نتایج

معمولاً یک بادبزن تقویتی در یک محل از پیش تعریف‌شده

www.SID.ir

Archive of SID

در شبکه تعبیه شده است. فشار این بادبزن در یک محدوده ثابت لحاظ می‌شود و فشار جت‌فن اصلی بیشتر از محدوده فشار داده‌شده است. یک راه‌حل بهینه محلی که به‌عنوان بهترین ترکیب فشار بادبزن اصلی و بادبزن تقویتی برای دستیابی به جریان هوای مطلوب با کمترین هزینه برای بادبزن، ممکن است از نتایج شبیه‌سازی به دست آید. به‌کارگیری این روش موجب می‌شود تا راه‌حل بهینه کلی مشخص گردد و بهترین ترکیب از بادبزن‌ها و درهای تنظیم‌کننده ازنظر موقعیت و میزان فشار با هدف کمینه-سازی هزینه تأمین هوا در شرایط مذکور حاصل می‌شود؛ اما به‌کارگیری همان روش با تغییر موقعیت بادبزن تقویتی یا افزایش میزان فشار بادبزن تقویتی یا اصلی در تکرارهای جدید، نتایج دیگری به دست می‌دهد.

ب- تجزیه‌وتحلیل عملکرد نصب چندین بادبزن تقویتی و درهای تنظیم‌کننده

در این شرایط در مواجهه با تعداد زیاد متغیرها، تعیین محل نصب و قدرت‌های متفاوت، سرعت انجام محاسبات به‌طور چشم‌گیری کاهش و رسیدن به جواب وقت‌گیر خواهد بود. *(Hardcastle & Kocsis, 2004)*، *(Lowndes, et al.,2005)*، *(We, et al., 2007)* و *(Sui, et al., 2011)* با بررسی حالات تقسیم جریان هوا و انواع توابع هدف در بهینه‌سازی توزیع هوا در شبکه تهویه، در این تحقیق تقسیم نیمه‌کنترل‌شده نوع دوم (*SC2*) بر مبنای تابع هدف کمینه-سازی انرژی مصرفی برای توزیع هوا بر اساس روابط پیشنهادی توسط آقای سو (*Sui et al., 2011*) مبنای کدنویسی روابط مربوطه قرار گرفته است.

۳- به‌کارگیری روش‌های فرا ابتکاری در بهینه‌سازی توزیع هوا

بهینه‌سازی یک سیستم معرف دستیابی به بهترین نتیجه در شرایط موجود است و هدف آن، کمینه یا بیشینه کردن تابعی به‌عنوان معیاری از کارایی سیستم است. مسائل بهینه‌سازی به دو دسته بی‌محدودیت و بامحدودیت تقسیم می‌شود اما در اغلب مسائل کاربردی، بهینه‌سازی با محدودیت تعریف می‌گردد که در آن، حداقل سازی و یا حداکثر نمودن تابع هدف با توجه به محدودیت‌های فنی و یا منابع صورت می‌گیرد. الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق (*Exact Algorithms*) و تقریبی (*Approximate Algorithms*) تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی پیچیده ،کارایی چندانی ندارند و زمان حل آنها در این مسائل به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی شامل روش‌های ابتکاری (*Heuristic Algorithms*) و فرا ابتکاری (*Meta heuristic Algorithms*) هستند و قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند این الگوریتم‌ها دارای راهکارهای برون‌رفت از بهینه محلی و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل هستند (*Fatahi, 2011*). در بسیاری از مسائل کاربردی ازجمله بهینه‌سازی تهویه معدن، استفاده از روش دقیق و الگوریتم‌های ابتکاری برای حل معادلات بسیار مشکل و وقت‌گیر است و در عمل امکان‌پذیر نیست؛ زیرا در برخورد با تعداد زیاد متغیرها و تعیین محل نصب و قدرت‌های متفاوت، به‌طور چشم‌گیری سرعت انجام محاسبات و رسیدن به جواب وقت‌گیر خواهد بود (*Yang, et al.,1999*) و(*Chen, & Lin, 2007*) . لذا باید روشی را جستجو کرد که قابلیت بررسی متغیرهای زیاد را به‌طور هم‌زمان برای رسیدن به جواب یک مسئله را داشته باشد. راه‌حل این‌گونه مسائل الگوریتم‌های فرا ابتکاری هستند که چنین قابلیتی را در رسیدن به جواب بهینه در سریع‌ترین زمان دارند. الگوریتم‌های فرا ابتکاری عمدتاً بر اساس الگوگیری از فرآیندهای طبیعی ابداع شده‌اند و معمولاً راه‌حل‌های باکیفیت بالا را در زمان معقولی تولید می‌کنند؛ زیرا واجد ویژگی‌هایی هستند که باعث بهبود سرعت در رسیدن به پاسخ مناسب می‌شوند اما تضمینی برای یافتن راه‌حل بهینه سراسری ندارند (*Bashiri, 2013*). ازجمله این الگوریتم‌ها که در مسائل بهینه‌سازی تهویه به دلیل هم‌خوانی کارکرد آن با نوع مسئله بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته الگوریتم ژنتیک (*Genetic Algorithm*) است که در این تحقیق از آن برای یافتن بهترین جایگشت متغیرهای شبکه تهویه استفاده شده است. با توجه به کاربرد گسترده روش‌های فرا ابتکاری، تعدادی از تحقیقات سال‌های اخیر در زمینه کاربرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری در بهینه‌سازی شبکه تهویه را می‌توان به شرح ذیل نام برد:

www.SID.ir

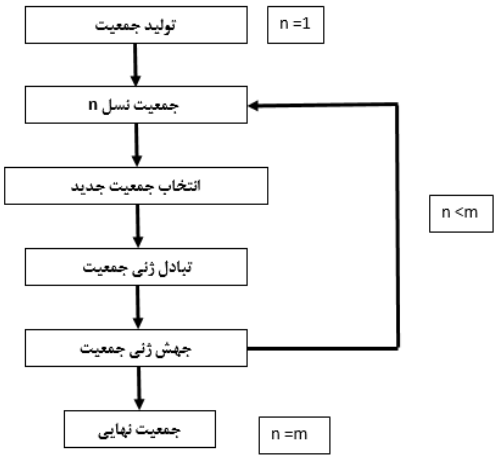
Archive of SID

- تحلیل بهینه‌سازی تهویه معدن و کنترل جریان هوا بر اساس جستجوی هارمونی (*Sui et al., 2011*)
- استفاده از الگوریتم ژنتیک برای کنترل بهینه‌سازی جریان هوا در طول دوره آتش‌سوزی معدن (*Zhong, et al., 2003*)
- استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی طراحی کنترل توزیع هوا در سیستم تهویه معادن اولنی و پارتومکور (*Kozyrev & Osintseva, 2012*)
- بهینه‌سازی سیستم تهویه معدن روی نخلک با استفاده از الگوریتم ژنتیک (*Bahoddiny, 2012*)
- بهینه‌سازی شبکه تهویه معدن بر اساس الگوریتم بیونیک (*Wei, 2011*)

۳-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (*GA*) جزء الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی و برای بهینه‌سازی مسائل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته مناسب است. بر پایه نظریه تکامل داروین یعنی بقای نسل برتر، با استفاده از اعمال مختلف ژنتیکی، نسل جدید ایجاد می‌شود و با توجه به معیارهای شایستگی مشخص، میانگین برتری اعضاء در نسل جدید نسبت به نسل قبل بالاتر می‌رود. یک مجموعه از اشیاء ریاضی که غالباً به‌صورت رشته‌هایی از کاراکترها با طول ثابت هستند که این رشته‌ها را کروموزوم می‌نامند. در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های بهتر، نسل‌های بهتر پدید می‌آیند.

برای به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک ابتدا پارامترهای مسئله به‌صورت رشته‌های باینری کد می‌شوند. هر جواب با یک برازندگی متناظر است که کیفیت جواب را نسبت به سایر اعضای جمعیت مشخص می‌کند. اولین مرحله مشخص کردن تابع هدف (*Cost Function*) است. سپس جمعیت اولیه (*Population*) تولید می‌شود و مقدار تابع هدف به ازای این جمعیت به دست می‌آید. پس از آن درصد برازندگی هر کروموزوم (*Cost value*) به‌طور جداگانه حساب می‌شود. هر چه برازندگی کروموزوم بیشتر باشد شانس آن برای بقا و تولیدمثل بیشتر می‌شود و در نسل‌های بعدی بیشتر ظاهر خواهد شد. حال باید از میان جمعیت مورد نظر افرادی را برای تولید نسل جدید انتخاب کرد که می‌تواند بر اساس سه روش، انتخاب بر اساس چرخ رولت (*Roulette Wheel*)، انتخاب بر اساس تورنمنت (*Tournament*) یا انتخاب کاملاً تصادفی (*Purely Random*) صورت گیرد. پس از انتخاب والدین، عملگرهای تبادل ژنتیکی شامل عملگر پیوند (*Crossover*) و عملگر جهش (*Mutation*) بر روی والدین اعمال می‌شود تا فرزندان جدید تولید شوند. جمعیت شامل والدین و فرزندان است که برترین افراد به تعداد جمعیت اولیه از میان آنها جدا شده و به‌عنوان جمعیت اصلی برای تولید نسل دیگر از آنها استفاده خواهد شد. این مراحل تا جایی که به بهترین پاسخ رسیده شود تکرار می‌شود. درنهایت برای توقف برنامه بر اساس تعداد تکرارها یا همگرایی به یک عدد مشخص صورت می‌گیرد (*Fatahi,2003*)، (*Bodenhofer,2003*) و (*Bashiri,2013*). در الگوریتم ژنتیک با m نسل که در شکل ۱ نشان داده‌شده است، جستجو با یک جمعیت از راه‌حل‌های تصادفی شروع می‌شود و این جمعیت در طی یک سری نسل‌ها با اعمال عملگرهای ژنتیکی بر اعضای جمعیت بر مبنای تکنیک‌های احتمالات تکامل می‌یابد. برای تولید یک جمعیت جدید، اعضای جمعیت فعلی بر اساس برازندگی‌شان برای عملیات تبادل ژنی و جهش انتخاب می‌شوند. تنظیم صحیح نرخ پیوند و جهش، تعداد جمعیت اولیه، ضرایب پیوند و جهش و نیز انتخاب نوع پیوند در الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به پاسخ بهینه مؤثر است و با تکرارهای زیاد همراه با سعی و خطا قابل دستیابی است. شروع فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک نیاز به وارد کردن مقدار اولیه و تعداد جمعیت دارد.



شکل ۱- فلوچارت الگوریتم ژنتیک (m نسل)

www.SID.ir

Archive of SID

در بخش حلقه اصلی، برای بهترین جواب در هر تکرار، یک ماتریس سطری صفر از مرتبه حداکثر تولید نسل تعریف و به تعداد نسل‌ها (از یک تا حداکثر تعداد تولید نسل) عملگرهای تقاطع و جهش اعمال می‌شود تا جمعیت از راه‌حل‌ها به دست آید. برای تولید نسل جدیدی از جواب‌ها، پارامترهای نرخ پیوند و نرخ جهش باید تعیین شود تا بر روی تعداد مشخصی از والدین عمل پیوند و بر روی تعداد مشخصی عمل جهش اعمال شود که این نرخ‌ها، عددی بین صفر و یک هستند. برای اعمال عملگرهای جهش و تقاطع، توابع جداگانه تعریف می‌شود. همچنین داده‌های ورودی مورد نیاز برای عملگر جهش نیز شامل تعداد جمعیت اصلی، تعداد جهش‌ها، تعداد متغیرها و حدود بالا و پایین آنها و فضای ایجادشده برای ذخیره‌سازی نسل‌های تولیدشده از عملگر جهش است. جمعیت کل نیز در هر مرحله شامل جمعیت اصلی، جمعیت تولیدشده حاصل از عملگرهای تقاطع و جهش است.

۴- بهینه‌سازی توزیع هوای معدن کلاریز شرقی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

۴-۱- معدن زغال‌سنگ کلاریز شرقی

معدن زغال‌سنگ کلاریز شرقی در فاصله ۶۰ کیلومتری از شهرستان دامغان واقع شده است. نوع قرارگیری ماده معدنی به‌صورت لایه‌ای است. ذخیره معدن توسط دو اکلن وینچ و نوار بازگشایی شده و سپس عملیات آماده‌سازی و استخراج توسط تونل‌های دنبال لایه و عمود بر لایه و همچنین حفر دویل‌های تهویه، انجام می‌گیرد. روش استخراج ماده معدنی قطری است و برای کنترل سقف کمربالا، عملیات پرکردن دستی انجام می‌شود. لایه‌های استخراجی معدن در حال حاضر شامل *k5, k6, k10, p10* است. بر اساس گزارش‌های اکتشافی، لایه‌های استخراجی این معدن از نظر گازخیزی در کاتاگوری دو و سه قرار دارند و برای رقیق کردن گازهای مضر نیاز به تهویه مصنوعی است.

۴-۲- تحلیل شبکه تهویه معدن کلاریز شرقی

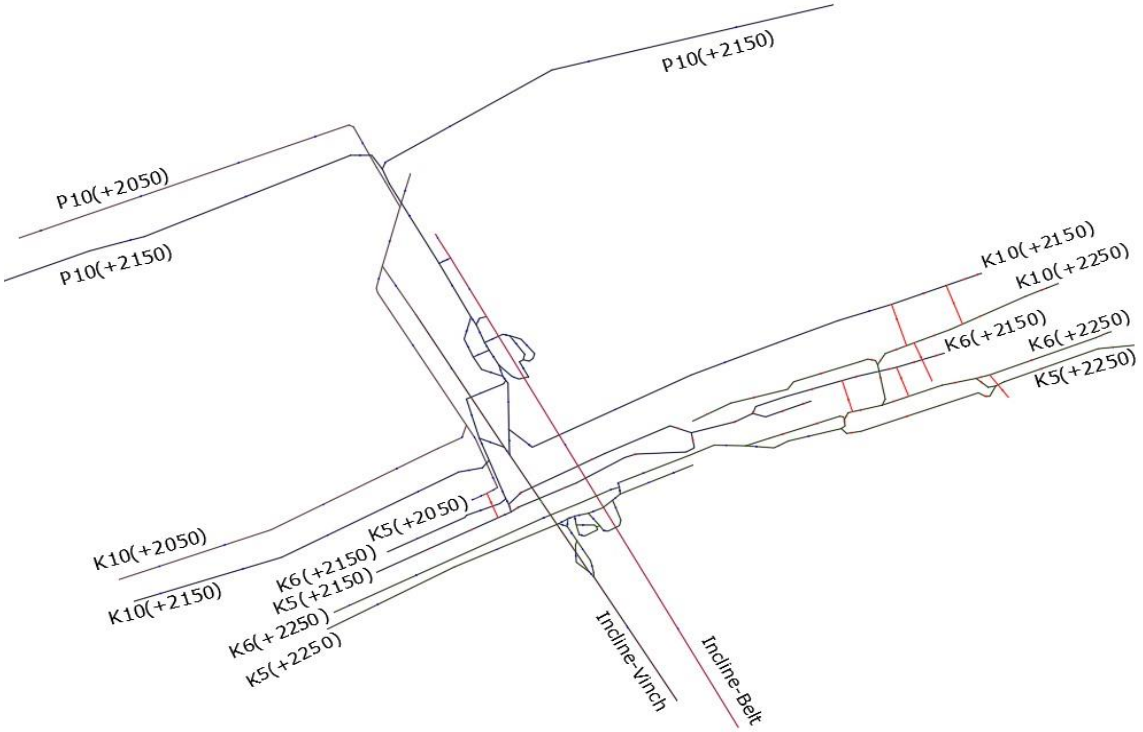
به‌منظور تحلیل شبکه تهویه و به دست آوردن ماتریس‌های تقاطع و بنیادی حلقه، کروکی شبکه تهویه معدن کلاریز شرقی مطابق شکل ۲ که بر مبنای جبهه‌های کاری، کارگاه‌های استخراج و پیشروی معدن در سال ۱۳۹۰ اخذ شد و با تفکیک آن در قالب شبکه‌های سری، موازی و قطری، شبکه ساده‌شده دوبعدی برای مدل‌سازی شبکه تهویه معدن طراحی شد. این شبکه مطابق شکل ۳ از ۴۳ گره مطابق شکل ۳، ۶۱ شاخه (رنگ آبی) و ۲۲ حلقه تشکیل شده است. این شبکه تهویه مطابق جدول‌های ۲ و ۳ از ۳ جبهه‌کار آماده‌سازی و ۷ کارگاه استخراج تشکیل شده است.

حداقل هوای مورد نیاز جبهه‌کارهای آماده‌سازی و کارگاه‌های استخراج با توجه به استانداردهای موجود بر مبنای پارامترهایی همچون رقیق کردن گاز متان، تنفس افراد، گازهای حاصل از آتشباری و حداقل سرعت هوا، محاسبه شد و برای هر جبهه‌کار یا کارگاه بالاترین مقدار هوای مورد نیاز به‌عنوان ملاک عمل قرارگرفته است. مشخصات هر لایه در اعماق مختلف یکسان در نظر گرفته شده است و کارگاه‌های استخراج فعال در شاخه‌های ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۶، ۴۲، ۴۳ و ۴۵ ۴۲ قرار دارند. علاوه بر کارگاه‌های استخراجی در سه شعبه دیگر، سینه‌کارهای پیشروی در شبکه تهویه وجود دارد که انشعابی از شاخه‌های ۳۲، ۳۶ و ۴۲ هستند. طبق جدول ۲ شدت جریان مورد نیاز هر جبهه‌کار آماده‌سازی فعال معادل ۳/۱۸ مترمکعب‌برثانیه برآورد شده است. همچنین طبق جدول ۳ شدت جریان مورد نیاز هر کارگاه استخراج در شاخه‌های ۳۰ و ۳۱ معادل با ۴/۷۲ مترمکعب‌برثانیه، شاخه‌های ۳۲ و ۳۶ معادل با ۶/۱۸ مترمکعب‌برثانیه و شاخه‌های ۴۲، ۴۳ و ۴۵ معادل با ۴/۶۳ مترمکعب‌برثانیه محاسبه شده است. لازم به ذکر است که برای محاسبه شدت جریان هوای مورد نیاز جبهه کارهای آماده‌سازی مقدار ضریب اطمینان معادل با ۱/۱۵ و برای کارگاه‌های استخراج ضریب اطمینان ۱/۱۵ و ضریب نشت ۱/۰۵ اعمال شده است. برای طراحی تهویه موجود معدن کلاریز شرقی از نرم‌افزار ونت سیم (*Ventsim*) استفاده شد. در این نرم‌افزار مشخصات هر شاخه اعم از سطح مقطع، محیط مقطع، ضریب اصطکاک و طول حفاری به‌عنوان بخشی از اطلاعات ورودی منظور شده است و بر این اساس مقاومت معدنی هر شاخه توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود. سپس با معلوم بودن یکی از مشخصات بادبزن اصلی از قبیل افت فشار کلی بادبزن، شدت جریان سایر شاخه‌های شبکه

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه می‌شود.



شکل ۲- کروکی معدن کلاریز شرقی

طبق طرح موجود تهویه، معدن باید دارای حداقل ۱ عدد بادبزن اصلی با حداکثر شدت جریان تولیدی ۲۲ مترمکعب‌برثانیه در شبکه تهویه باشد. بر این اساس بادبزن اصلی معدن، دو دستگاه بادبزن (یک دستگاه رزرو)، مدل روسی از نوع گریز از مرکز با مدل *VTS11* است که مشخصات این بادبزن در جدول ۴ و منحنی مشخصه آن در شکل ۴ ارائه شده است.

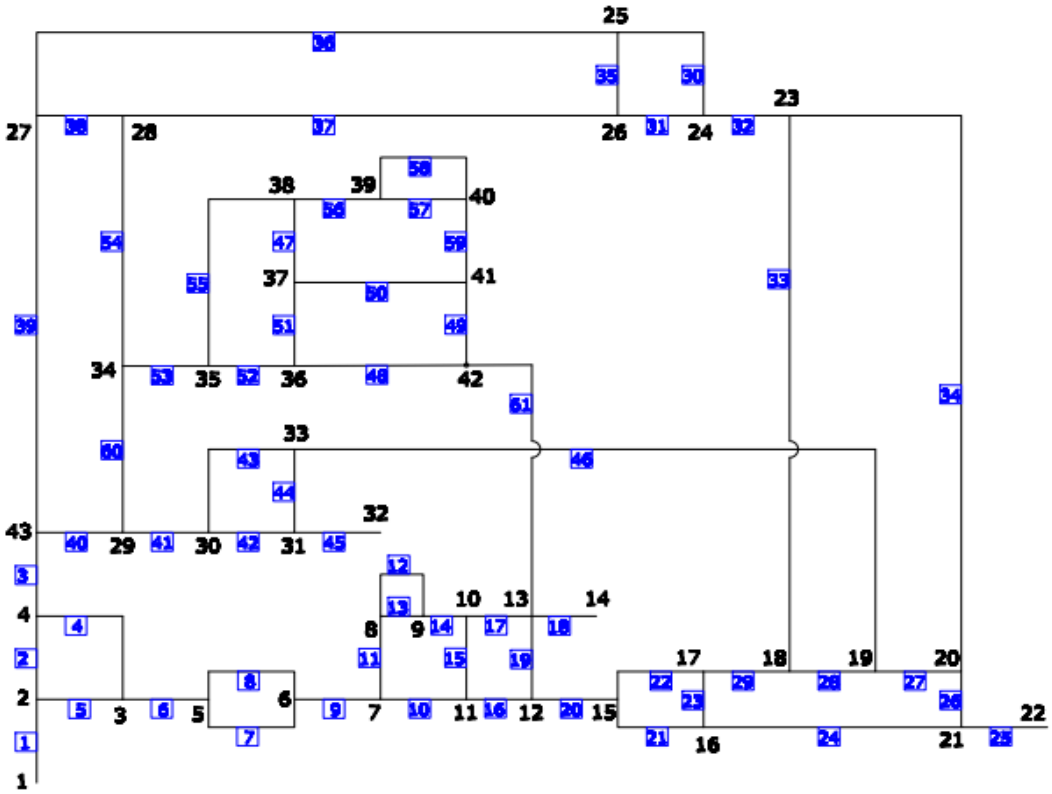
همچنین ۷ در تنظیم‌کننده هوا مطابق جدول ۵، یک مسیر برای ورود هوا به معدن و ۳ مسیر برای خروج هوای آلوده از فضای معدن به سطح زمین لحاظ شده است.

با توجه به طراحی شبکه توسط نرم‌افزار ونت سیم و بررسی خروجی‌های آن، مقادیر مقاومت شاخه‌ها و شدت جریان فعلی محاسبه‌شده شاخه‌های شبکه طبق جدول ۶ و ۷ مشخص شد. جهت جریان و شدت جریان شبکه به همراه جانمایی درهای تنظیمی تعبیه شده (به رنگ آبی) در شکل ۵ آورده شده است.

محاسبه افت فشار هر شاخه از ترکیب اطلاعات جدوهای ۲ و ۳ با جدول ۶ که مربوط به مقاومت شاخه‌ها است قابل انجام است که به دلیل طولانی شدن از آوردن جدول مذکور صرف‌نظر شده است. بر مبنای نتایج محاسبات شبکه، افت فشار شبکه معادل ۵۵۸/۷۸ پاسکال برآورد شده است. برای تأمین دبی و افت فشار مذکور، با توجه به شکل ۴ و برآورد مقدار فشار تولیدی بادبزن معادل ۱۳۰۰ پاسکال در زاویه پره ۱۰ درجه، تعبیه یک بادبزن در شاخه شماره ۱ کافی است، اما در جهت اعمال شرایط عملیاتی و نیز لحاظ کردن امکان تأمین هوا در شرایط توسعه معدن می‌توان با به‌کارگیری دو بادبزن VTS11به‌صورت موازی با زاویه پره ۶۵ درجه در شاخه شماره ۱ جهت تأمین شدت جریان هوای مورد نیاز (۲۲ مترمکعب بر ثانیه) با فشار هر بادبزن معادل ۷۷۵ پاسکال اقدام کرد. در این حالت، با فرسودگی و کاهش بازدهی بادبزن‌ها، افزایش جبهه‌های کاری و دبی مورد نیاز و افت فشار در شبکه، امکان تأمین هوا با کاهش زاویه پره‌ها وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- گره‌ها و شاخه‌های شبکه تهویه ساده‌سازی شده معدن کلاریز شرقی (مشکی=گره و مربع آبی=شاخه)

جدول ۲- عوامل مؤثر بر محاسبه شدت جریان مورد نیاز جبهه‌کارهای آماده‌سازی (مترمکعب بر ثانیه)

شماره شاخه	شرح	معیارهای برآورد هوای مورد نیاز				شدت جریان کلی مورد نیاز هر شاخه
		آتشباری	گازخیزی	نفرات	حداقل سرعت هوا	
۳۲	اشترک شرقی k5 افق ۲۱۵۰+	۲/۷۶۸	۰/۵۸۴	۰/۶	۱/۰۲۵	۳/۱۸
۳۶	اشترک شرقی k10 بعد از گسل افق ۲۲۵۰+	۲/۷۶۸	۰/۵۸۴	۰/۶	۱/۰۲۵	۳/۱۸
۴۲	اشترک شرقی p10 افق ۲۱۵۰+	۲/۷۶۸	۰/۵۸۴	۰/۶	۱/۰۲۵	۳/۱۸

www.SID.ir

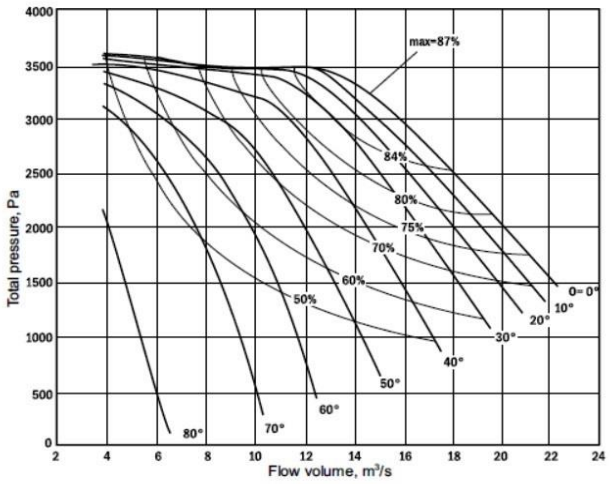
Archive of SID

جدول ۳- عوامل مؤثر بر محاسبه شدت جریان مورد نیاز کارگاه‌های استخراج (مترمکعب‌برثانیه)

شماره شاخه	شرح	معیارهای برآورد هوای مورد نیاز			شدت جریان کلی موردنیاز هر شاخه
		گازخیزی	نفرات	حداقل سرعت هوا	
۳۲	k5 شرقی پیشرو ۳ افق ۲۱۵۰+	۵/۱۲۰	۲/۱	۲/۲۵	۶/۱۸
۳۶	k5 شرقی پسرو ۳ افق ۲۱۵۰+	۵/۱۲۰	۲/۱	۲/۲۵	۶/۱۸
۳۰	K6 شرقی پیشرو ۱ افق ۲۱۵۰+	۳/۹۱۲	۲/۱	۰/۸۱	۴/۷۲
۳۱	K6 شرقی پیشرو ۲ افق ۲۱۵۰+	۳/۹۱۲	۲/۱	۰/۸۱	۴/۷۲
۴۲	K10 شرقی پیشرو ۱ افق ۲۲۵۰+	۳/۸۳۳	۲/۱	۰/۶۳	۴/۶۳
۴۳	K10 شرقی پیشرو ۴ افق ۲۱۵۰+	۳/۸۳۳	۲/۱	۰/۶۳	۴/۶۳
۴۵	K10 شرقی پیشرو ۳ افق ۲۱۵۰+	۳/۸۳۳	۲/۱	۰/۶۳	۴/۶۳

جدول ۴- مشخصات بادبزن اصلی معدن کلاریز شرقی

پارامتر	مقدار	واحد سنجش
قطر چرخ دوار	۱۱۰۰	mm
بازه دبی	۴ تا ۲۲	m^3/s
بازه فشار هوا	۱۵۰ تا ۳۶۰۰	Pa
بازه توان	۲۰ تا ۵۵	KW
بازه زاویه پره	۰ تا ۸۰	Degree



شکل ۴- منحنی مشخصه بادبزن VTS ۱۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵ - مشخصات درهای تنظیم‌کننده موجود معدن

شاخه موقعیت قرارگیری در تنظیم‌کننده	حداکثر افت فشار (pa)
۱۷	۵۰۰
۱۹	۵۰۰
۲۰	۳۰۰
۳۷	۱۵۰
۴۷	۱۰۰
۵۴	۴۰۰
۶۱	۴۰۰

جدول ۶ - محاسبه مقاومت شاخه‌ها در شبکه تهویه معدن کلاریز (Ns^2/m^8)

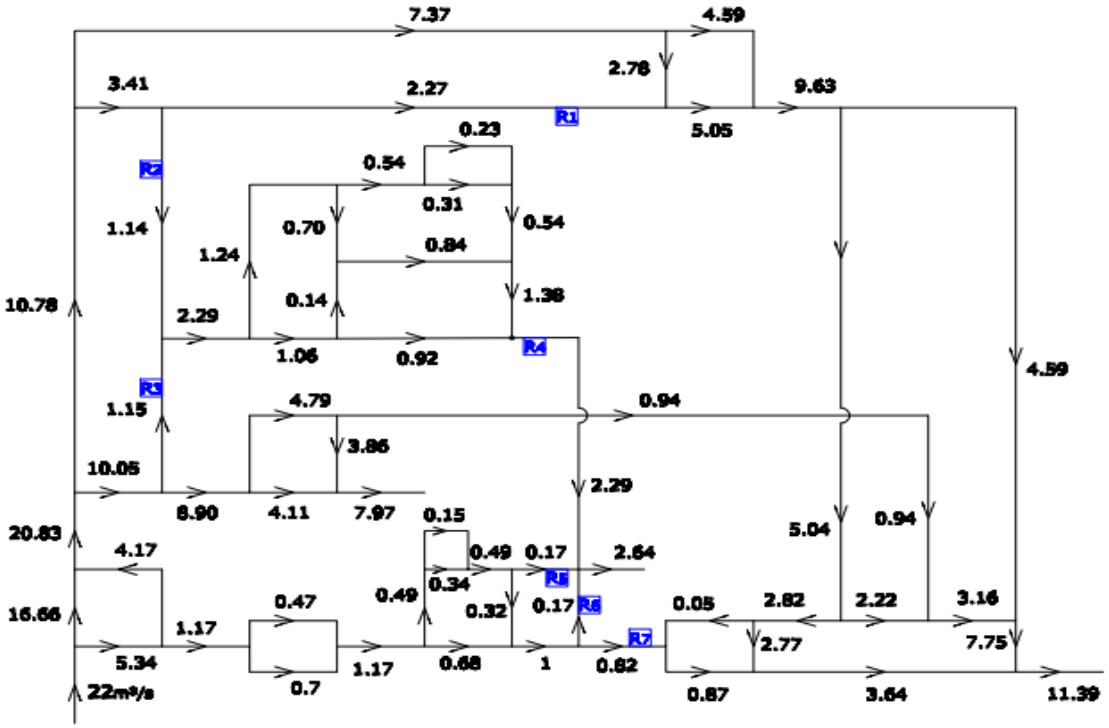
شاخه	مقاومت	شاخه	مقاومت	شاخه	مقاومت	شاخه	مقاومت	شاخه	مقاومت
۱	۰/۲۰۸۳۱	۱۴	۰/۰۲۰۲۲	۲۷	۰/۰۹۶۶	۴۰	۰/۱۸۵۷۱	۵۳	۰/۰۲۶۰۶
۲	۰/۰۳۰۳۵	۱۵	۰/۰۶۰۶۸	۲۸	۰/۰۵۸۱۸	۴۱	۱/۶۶۲۷۳	۵۴	۰/۱۶۰۷۴
۳	۰/۲۰۸۱۳	۱۶	۰/۱۰۱۶۹	۲۹	۰/۸۲۴۳۸	۴۲	۱/۷۲۰۰۱	۵۵	۰/۰۴۶۴۵
۴	۰/۱۷۷۹۳	۱۷	۰/۳۱۱۸۹	۳۰	۰/۶۳۰۶۶	۴۳	۱/۲۴۱۳۶	۵۶	۰/۱۵۴۴۵
۵	۰/۱۸۶۹۶	۱۸	۰/۰۹۹۹۹	۳۱	۰/۵۶۱۹۱	۴۴	۰/۰۳۳۶۶	۵۷	۰/۲۱۸۶۲
۶	۰/۰۶۳۳۸	۱۹	۰/۴۴۳۱۴	۳۲	۰/۳۱۱۸۹	۴۵	۲/۸۳۲۵۹	۵۸	۰/۱۱۰۶۶
۷	۰/۰۳۴۲۵	۲۰	۰/۴۱۸۰۵	۳۳	۰/۸۲۹۸۷	۴۶	۰/۳۷۳۸۷	۵۹	۰/۱۹۲۹۴
۸	۰/۰۷۵۹۷	۲۱	۰/۳۳۳۱۴	۳۴	۱/۰۱۳۸۳	۴۷	۰/۰۷۹۶۹	۶۰	۰/۰۹۸۲۹
۹	۰/۱۲۷۷۴	۲۲	۰/۰۴۱۷۹	۳۵	۰/۰۳۵۰۱	۴۸	۰/۱۹۱۹۱	۶۱	۰/۰۲۱۳۴
۱۰	۰/۰۵۰۰۳	۲۳	۱/۰۴۱۶۴	۳۶	۱/۵۶۳۳۸	۴۹	۰/۰۷۰۹۳		
۱۱	۰/۰۳۸۷۴	۲۴	۱/۲۷۷۹۳	۳۷	۰/۱۶۸۸۴	۵۰	۰/۰۳۷۴۱		
۱۲	۰/۱۳۹۱۶	۲۵	۰/۲۱۹۶۶	۳۸	۰/۱۸۲۴۱	۵۱	۰/۰۶۰۳۱		
۱۳	۰/۰۲۵۷۹	۲۶	۰/۰۹۰۳۶	۳۹	۰/۰۳۸۵	۵۲	۰/۱۲۹۸۲		

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷ - شدت جریان محاسبه شده برای هریک از شاخه‌های شبکه تهویه (مترمکعب‌برثانیه)

شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان
۱	۲۲	۱۴	۰/۴۹	۲۷	۳/۱۶	۴۰	۱۰/۰۵	۵۳	۲/۲۹		
۲	۱۶/۶۶	۱۵	۰/۳۲	۲۸	۲/۲۳	۴۱	۸/۹	۵۴	۱/۱۵		
۳	۲۰/۸۳	۱۶	۱	۲۹	۲/۷	۴۲	۴/۱۱	۵۵	۱/۲۴		
۴	۴/۱۷	۱۷	۰/۱۷	۳۰	۴/۵۹	۴۳	۴/۷۹	۵۶	۰/۸۴		
۵	۵/۳۴	۱۸	۲/۶۴	۳۱	۵/۰۵	۴۴	۳/۸۵	۵۷	۰/۵۴		
۶	۱/۱۷	۱۹	۰/۱۹	۳۲	۹/۶۳	۴۵	۷/۹۷	۵۸	۰/۳۱		
۷	۰/۷	۲۰	۰/۸۲	۳۳	۵/۰۵	۴۶	۰/۹۴	۵۹	۰/۲۳		
۸	۰/۴۷	۲۱	۰/۸۷	۳۴	۴/۵۹	۴۷	۰/۷	۶۰	۰/۵۴		
۹	۱/۱۷	۲۲	۰/۰۵	۳۵	۲/۷۸	۴۸	۰/۹۲	۶۱	۲/۲۹		
۱۰	۰/۶۸	۲۳	۲/۷۷	۳۶	۷/۳۷	۴۹	۱/۳۸				
۱۱	۰/۴۹	۲۴	۳/۶۴	۳۷	۲/۲۷	۵۰	۰/۸۴				
۱۲	۰/۱۵	۲۵	۱۱/۳۹	۳۸	۳/۴۱	۵۱	۰/۱۴				
۱۳	۰/۳۴	۲۶	۷/۷۵	۳۹	۱۰/۷۸	۵۲	۱/۰۶				



شکل ۵- شدت و جهت جریان و جانمایی درهای تنظیم هوا در شبکه تهویه معدن کلاریز شرقی(مترمکعب‌برثانیه)

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به این‌که شبکه تهویه معدن زغال‌سنگ کلاریز شرقی، دارای ۶۱ شاخه و ۴۳ گره است لذا ماتریس تقاطع a_{ij} از مرتبه ۶۱×۴۳ و ماتریس بنیادی حلقه b_{ij} از مرتبه ۶۱×۲۲ تعیین شد. لازم به ذکر است ماتریس تقاطع یک ماتریس از مرتبه n×b است که n تعداد گره‌های شبکه تهویه و b تعداد شاخه‌های شبکه تهویه هستند. در شبکه تهویه اگر شاخه j با گره i تلاقی داشته و جهت حرکت هوا در آن به‌گونه‌ای باشد که از گره i دور شود a_{ij} =1 خواهد شد و در حالتی که جهت هوا عکس آن باشد a_{ij} = -1 در نظر گرفته می‌شود. همچنین اگر شاخه j با گره i تلاقی نداشته باشد a_{ij} = 0 خواهد بود (*Madani, 2003*).

برای به دست آوردن ماتریس بنیادی حلقه، ابتدا باید تعداد حلقه‌های مفید برای برآورده شدن قانون افت فشار حلقه‌ها محاسبه شود که با توجه به تعداد گره‌های سطحی برابر ۴ عدد و تعداد شاخه‌ها معادل با ۶۱ عدد، تعداد حلقه‌ها معادل با ۲۲ خواهد شد.

با توجه به مدل‌سازی شبکه موجود معدن و تحلیل مقادیر شدت جریان هر شاخه با رعایت قوانین مربوطه و مقایسه شدت جریان شاخه شماره ۱ با عملکرد بادبزن و نیز معلوم بودن مشخصات مؤلفه‌های تهویه هریک از شاخه‌ها و مشخص بودن سطح مقاطع هریک از آنها مشخص شد که در طرح فعلی، شدت جریان هوا در تعدادی از شاخه‌ها کمتر از حد مورد نیاز برای برقراری حداقل سرعت جریان هوای مورد نیاز است. به‌عبارت‌دیگر با توجه به مدل‌سازی طرح فعلی معدن، تأمین هوا برای رعایت حداقل سرعت هوا صرفاً در کارگاه‌ها و جبهه‌های کاری لحاظ شده است و در برخی شاخه‌های دسترسی لحاظ نشده است. لازم به ذکر است که هرگاه یکی از شاخه‌های ارتباطی شبکه تهویه معدن به دلیل عدم فعالیت معدنی تعطیل شود نباید شدت‌جریان هوای آن شاخه صفر یا کمتر از حداقل میزان تعیین‌شده برای به جریان افتادن هوا در شاخه شود؛ لذا برآورد حداقل هوای موردنیاز در مکان‌های غیرفعال برای جلوگیری از مستهلک شدن تجهیزات نگهداری در راهروها، باید بر اساس حداقل سرعت هوا تعیین شود که در تهویه مکشی برابر ۰/۵ متربرثانیه و در تهویه دهشی برابر ۰/۲۵ متربرثانیه است. لذا با توجه به دهشی بودن سیستم تهویه معدن و سطح مقطع راهروها برابر ۴/۱ مترمربع، اصولاً شدت جریان همه شاخه‌ها حداقل باید برابر ۱/۲ مترمکعب‌برثانیه باشد. بر این اساس، بهینه‌سازی توزیع هوا در معدن زغال‌سنگ کلاریز با توجه به شرایط خاص تهویه معدن در دو حالت مجزا به شرح ذیل انجام می‌شود:

- حالت اول: شدت جریان مورد نیاز شاخه‌های دسترسی طبق شرایط فعلی معدن است و الزامات حداقل شدت جریان مورد نیاز فقط در کارگاه‌های استخراجی و جبهه کارهای پیشروی رعایت شده است. در این حالت مقدار متغیرهای شدت‌جریان در موقعیت‌هایی غیر از کارگاه استخراجی، برابر با ۰/۱ مترمکعب‌برثانیه لحاظ شد و سایر متغیرها تغییر نمی‌کنند.
- حالت دوم: الزام به رعایت حداقل شدت جریان هوا در کلیه شاخه‌های شبکه اعم از شاخه‌های دسترسی، کارگاه‌های استخراج و جبهه‌های کاری رعایت شده است. بر این اساس و با توجه به دهشی بودن سیستم تهویه معدن کلاریز و سطح مقطع ۴/۱ مترمربع راهروها، شدت جریان در شاخه‌های دسترسی بر اساس حداقل سرعت مجاز هوا در شاخه‌ها (۰/۲۵ متربرثانیه)، برابر (۱/۲) مترمکعب‌برثانیه برآورد شده است. طبیعتاً در این حالت شدت جریان مورد نیاز بالاتر و به‌تبع آن مقدار انرژی مصرفی بالاتر خواهد بود.

۵- بهینه‌سازی توزیع هوا در شبکه تهویه معدن

۵-۱- مدل‌سازی تابع هدف و محدودیت‌ها

با توجه به توضیحات قبلی، بهینه‌سازی توزیع هوا با دو استراتژی به‌ترتیب اولویت انجام می‌گیرد. اولویت اول بهینه‌سازی توزیع هوا در شاخه‌ها با لحاظ کردن مقادیر مورد نیاز در هر شاخه با هدف کمینه کردن کل انرژی مصرفی انجام می‌گیرد و در صورت نبودن امکان تأمین، جابجایی درهای تنظیم‌کننده و تغییر بادبزن‌ها صورت می‌پذیرد اما از اضافه کردن بادبزن جدید یا بوستر صرف‌نظر می‌شود. طبیعتاً نیاز به تعریف توابع هدف و محدودیت‌ها است. تابع هدف در نظر گرفته شده، مدل نیمه‌کنترل‌شده نوع دوم پیشنهادی توسط آقای سو (*SC2*) لحاظ شد (*Sui, et al., 2011*). روابط مربوط به تابع هدف و محدودیت‌ها به شرح گزاره‌های ۲ تا ۴ تعریف گردید. در این گزاره‌ها HF_i ماتریس سطری

www.SID.ir

Archive of SID

فشار بادبزن نصب‌شده در شاخه مربوطه، Q_j، ماتریس قطری شدت جریان شاخه j، a_{ij} ماتریس تقاطع، H_j ماتریس افت فشار کلی شاخه، b_{ij} ماتریس بنیادی حلقه، HR_j ماتریس افت فشار درهای تنظیم‌کننده در ۷ شاخه طبق جدول ۲، n_b تعداد شاخه‌ها معادل با ۶۱، n_f تعداد بادبزن‌ها معادل با یک، n_n تعداد گره‌ها معادل با ۴۳ و m تعداد حلقه‌های شبکه معادل با ۲۲ هستند.

$$\sum_{j=1}^{n_b} a_{ij}\ Q_j = 0 \qquad i = 1,2,\dots,n_n \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{n_b} b_{ij}\ H_j + HR_j - HF_i(Q_i) = 0 \qquad (۳)$$

$$i = 1,2,3,\dots,m \quad j = 1,\dots,n_b \qquad (۴)$$

در این تحقیق مشخصات درهای تنظیم‌کننده، بادبزن و حتی جریان هوای شاخه‌های دسترسی و جبهه‌های کاری به‌عنوان متغیرهای مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شد؛ لذا محدودیت‌های مسئله شامل حدود بالا پایین شدت‌جریان شاخه‌ها و فشار هوای بادبزن، حدود بالا و پایین افت فشار درهای تنظیم‌کننده در قالب محدودیت‌های مسئله تعیین شد. درنتیجه مقادیر شدت جریان هر شاخه Q_j برای رعایت استانداردهای سرعت و هوای مورد نیاز جبهه کار در محدوده حداقل و حداکثر شدت جریان مورد نیاز شاخه طبق گزاره ۵ قابل تغییر است. همچنین سرعت محاسبه‌شده با حداکثر سرعت استاندارد در کارگاه‌های استخراج که معادل ۴ متربرثانیه است کنترل می‌شود. حدود بالا و پایین متغیرها از نظر ایمنی، فیزیکی، شرایط عملیاتی و مقررات نظارتی تعیین می‌شوند. معرفی حدود متغیرها به‌منظور تسهیل تخصیص مقادیر موردنیاز و امکان انعطاف برای تطبیق موقعیت‌های مختلف در تهویه معدن است. همچنین فشار هر بادبزن در شاخه قرارگیری آن در محدوده مقادیر حداقل و حداکثر فشار تولیدی بادبزن طبق منحنی عملکرد بادبزن به‌کارگیری گزاره ۶ است و حداقل مقدار افت فشار درهای تنظیم‌کننده HR_j در شاخه مربوطه معادل با صفر (بدون در) خواهد بود (گزاره ۷).

$$Q_{min} \le Q_j \le Q_{max} \qquad j = 1,\dots,n_b \qquad (۵)$$

$$HF_{min} \le HF_i \le HF_{max} \qquad i = 1,\dots,n_f \qquad (۶)$$

$$HR_j \ge 0 \quad j = 1,\dots,n_b \qquad (۷)$$

معادلات شبکه در نظر گرفته‌شده در این تحقیق دقیقاً مطابق قوانین شدت‌جریان و فشار کرشهف در تجزیه‌وتحلیل شبکه‌های معمولی است. با توجه به نظریه گراف، n_b معادله مستقل برای شبکه تهویه به دست می‌آید که بر اساس تعداد شاخه‌های شبکه است. با توجه به این‌که متغیرهای شبکه از معادلات شبکه بیشتر است، راه‌حل متفاوتی برای حل ارائه شده است. مسئله بهینه‌سازی در این تحقیق سیستمی از n_b معادله با تعداد بیشتری متغیر قابل تغییر است. با حل مسئله بهترین ترکیب از متغیرها را که حداقل انرژی را مصرف می‌کند ارائه می‌دهد. برای پیاده‌سازی مدل در قالب یک تابع واحد برای به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک، محدودیت‌های این مسئله با استفاده از روش جریمه کردن به تابع هدف الحاق گردید. برای هر انحراف از قوانین کیرشهف یک مقدار جریمه اختصاص داده‌شده است. برای مشاهده میزان انحراف هر گره در محدودیت قانون گره‌ها و تخلف هر حلقه در محدودیت قانون حلقه‌ها یک پارامتر تعریف شد. بدین منظور ضرایب کاهنده α، β و γ برای هریک از محدودیت‌ها و به‌صورت اعداد بزرگ جریمه برای کنترل تغییرات محدودیت‌ها به تابع هدف قبلی (*Berhe,2009*) و (*Zhao, et al.,2012*) اضافه شد و تابع هدف جدید (Z') به‌صورت گزاره (۸) تبدیل می‌شود. حال امکان بررسی توأم تغییرات تابع هدف در عین رعایت محدودیت‌ها در قالب یک تابع واحد فراهم می‌شود.

$$\begin{aligned} Z' = \sum_{i=1}^{N_F} HF_i\ .\ Q_i + \alpha \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{b} b_{ij}\left(r_j {Q_j}^2 + HR_j\right. \\ \left. - HF_j\right) + \beta \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{b} a_{ij}\ Q_j \\ + \gamma \sum_{j=1}^{b} \left| min(0,\ Q_{max} - Q_j)\right. \\ \left. + min(0, Q_j \right. \\ \left. - Q_{min})\right| \end{aligned} \qquad (۸)$$

محدودیت‌های اجرایی شامل محدودیت سرعت جریان هوا در راه‌های زیرزمینی و همچنین مجاز نبودن الحاق هوای بازگشتی به هوای تازه (جدا بودن مسیر هوای رفت‌وبرگشت) است.

۵-۲- کدنویسی مدل و تنظیم پارامترهای (GA)

کاربرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری و به‌خصوص روش الگوریتم ژنتیک (*GA*) به دلیل سهولت به‌کارگیری و قابل‌استفاده بودن برای مسائل مختلف در حوزه‌های مختلف مهندسی و بهینه‌سازی مسائل افزایش چشم‌گیری داشته است.

www.SID.ir

Archive of SID

کدنویسی مسئله در نرم‌افزار متلب (*Matlab R2014*) و در دو مرحله شامل کدنویسی تابع هدف و الگوریتم ژنتیک انجام شد که با استفاده از روش جریمه به یک تابع کلی تبدیل شده است. در بخش اجرای الگوریتم ژنتیک، تابع هدف مربوطه از قسمت اول فراخوانی شد و بسته به تعداد متغیرهای مسئله، اندازه ماتریس متغیرها مشخص گردید. برای بهینه‌سازی، تنظیماتی در الگوریتم ژنتیک کدشده، مطابق با تابع هزینه انجام می‌گیرد؛ لذا ترتیب حدود بالا و پایین متغیرها، تعداد جمعیت، حداکثر تکرارها، درصد تقاطع و تعداد تقاطع، درصد جهش، تعداد جهش‌ها و ماتریس حدود بالا و پایین متغیرها در کدنویسی مربوطه وارد می‌شود. برای شروع اجرای الگوریتم ژنتیک نیاز به یک مقدار اولیه و تعداد جمعیت موردنظر دارد. این مقدار را می‌توان به‌صورت تصادفی ایجاد کرد یا یک مقدار اولیه را خودبه‌خود تولید و به تعداد جمعیت، برای الگوریتم ژنتیک تعریف نمود. (*Bodenhofer, 2003*). در این مسئله خروجی نرم‌افزار ونت‌سیم به‌عنوان راه‌حل اولیه وارد و با اجرای برنامه، به تعداد نسل‌ها (از یک تا حداکثر تعداد تولید نسل) اعمال می‌شود تا با ترکیب مقادیر ممکن پارامترها، به‌عنوان جمعیت جدیدی از راه‌حل‌ها که حاصل عملگر پیوند (تقاطع) و جهش است به دست آید. برای اعمال هر یک از عملگرهای جهش و تقاطع، به‌طور جداگانه یک تابع تعریف می‌شود که برای اجرای آنها، پارامترهای موردنیاز به‌عنوان داده‌های ورودی به تابع ارجاع داده می‌شود. حال با شناسایی جمعیت برتر بر مبنای کمترین ارزش حاصله از تابع هدف (با توجه به تابع هدف کمینه‌سازی مسئله) و جداسازی آن، جمعیت جدید شکل می‌گیرد و فرآیند تکرار می‌شود. برای کدنویسی عملگر پیوند نیاز به دو والد است که به‌طور تصادفی از بین جمعیت انتخاب می‌شوند. برای مسائل بهینه‌سازی اکثراً از پیوند یکنواخت استفاده می‌شود تا طیف بیشتری از متغیرها را تغییر دهد و سریع‌تر به جواب بهینه برسد. برای کدنویسی عملگر جهش به‌صورت تصادفی و به تعداد جهش‌ها افرادی از جمعیت انتخاب‌شده و تغییرات لازمه برای جهش ژنی اعمال می‌شود. مقدار ضریب جهش به‌منظور پیدا کردن بهترین مقدار برای رسیدن به جواب مطلوب قابل تغییر لحاظ شد (*Stender, 1993*) و (*Bodenhofer, 2003*). تعداد متغیرهای عملی مسئله برابر با ۶۹ است که شامل شدت جریان عبوری از هریک از شاخه‌های شبکه، مقدار شدت جریان و فشار بادبزن، مقادیر افت فشار شاخه‌ها و جایگذاری درها در نظر گرفته شد.

با توجه به تعداد شاخه‌های شبکه، برای شدت‌جریان شاخه‌ها نیز یک ماتریس [۶۱ ۱] تعریف شد. برای افزایش انعطاف‌پذیری مسئله در *GA*، برای هریک از ماتریس‌های بادبزن و درهای تنظیم‌کننده یک ماتریس سطری از مرتبه شدت‌جریان‌ها معادل [۶۱ ۱] در نظر گرفته شد. اولین آرایه ماتریس فشار هوای بادبزن با توجه حدود متغیرها، بین ۹۰ تا ۷۵۰ پاسکال و مابقی آرایه‌ها صفر است. برای ماتریس درهای تنظیم‌کننده، حدود مقادیر آرایه‌های ۳۰، ۳۱، ۳۶، ۴۲، ۴۳ و ۴۵ بین صفر و حداکثر ظرفیت افت فشار درب مورد نظر و برای مابقی برابر صفر در نظر گرفته شد. در بهینه‌سازی با *GA*، برای هر تخلف از قوانین کرشهف یک مقدار جریمه اختصاص داده‌شده است. جهت مشاهده میزان تخلف هر گره در محدودیت قانون گره‌ها و تخلف هر حلقه در محدودیت قانون حلقه‌ها یک پارامتر تعریف شد.

برای مقداردهی اولیه به الگوریتم ژنتیک، مقادیر شدت جریان شاخه‌ها، مشخصات بادبزن و مشخصات درهای شبکه تهویه فعلی معدن به‌عنوان جمعیت اولیه به برنامه داده شد. پارامترهای روش الگوریتم ژنتیک با توجه به ویژگی‌های مسئله، به‌صورت نرخ پیوند برابر با (pc = ۰/۶)، نرخ جهش معادل با (pm= ۰/۳)، تعداد جمعیت (n_{pop}) برابر با (۲۰۰) و ضرایب جهش و پیوند نیز معادل با (۰/۰۱) تعیین شد. فاکتورهای تابع جریمه برای هر محدودیت (ضرایب α، β و γ) برابر با (۱۰۰۰) و نوع پیوند، یکنواخت در نظر گرفته شد. شرط پایان اجرای برنامه در الگوریتم ژنتیک، بر اساس حداکثر تعداد تکرار معادل با ۵۰۰۰ بار لحاظ شده است. خروجی‌ها و پارامترهای کنترلی مدل نیز شامل مؤلفه‌های زیر است:

- مقدار شدت‌جریان شاخه‌ها پس از بهینه‌سازی
- مقدار فشار هوای بادبزن نصب‌شده در شاخه اول (فشار مورد نیاز بادبزن)
- مقدار افت فشار درهای تنظیم‌کننده
- میزان خطای مربوط به قوانین گره‌ها و حلقه‌ها

هدف از اجرای مدل در هر حالت، پیدا کردن ترکیبی بهینه از شدت‌جریان‌ها، افت فشار درهای تنظیم‌کننده و فشار مورد

www.SID.ir

Archive of SID

نیاز بادبزن‌ها با کمترین مصرف انرژی است.

علاوه بر محدودیت‌های اعمال‌شده ناشی از قوانین تهویه و رعایت استانداردهای سرعت هوا، محدودیت‌های دیگر بهینه‌سازی تهویه معدن مجاز نبودن ملحق شدن هوای بازگشتی به هوای تازه و گردش مجدد هوا در مسیر شبکه است. هرگاه هریک از محدودیت‌ها نقض شود، مقدار تابع هدف برای این رشته از راه‌حل‌های خاص تا حد بالایی افزایش می یابد و درنتیجه احتمال انتخاب راه‌حل در *GA* بسیار کم می‌شود. لذا با استفاده از روش تابع جریمه، جواب نهایی عملی و تا حدی قابل اطمینان به دست می‌آید (*Lowndes, et al., 2005*).

۶- نتایج اجرای مدل بهینه‌سازی توزیع هوا

برای شناسایی حالت بهینه توزیع هوا در حالت اول (وضع موجود معدن)، با اجرای کمتر از ۲۰۰ بار تکرار با تکنیک الگوریتم ژنتیک مطابق شکل ۶ و جستجوی مقادیر بهینه، شدت جریان بادبزن برابر ۲۲ مترمکعب‌برثانیه و فشار بادبزن برابر ۴۵۶٫۳۶ پاسکال به دست آمد و مقدار مصرف انرژی پس از بهینه‌سازی از ۱۰۰۵۴ به ۱۰۰۴۰ وات کاهش یافت. لازم به ذکر است که دلیل مقدار عددی اولیه بالای تابع هدف(معادل ۲۶۰۰۰)، وجود تعدادی خطا در عدم رعایت قانون حلقه‌ها در شبکه فعلی معدن کلاریز بود اما پس از بهینه‌سازی، علیرغم این‌که خطاهای شبکه تهویه به صفر رسیده بود اما در قسمت اول تابع هزینه یعنی مقدار شدت‌جریان و فشار بادبزن و درنهایت میزان مصرف انرژی کاهش قابل‌توجهی مشاهده نشد. مقادیر شدت جریان و مقایسه‌ای افت فشار درهای تنظیم‌کننده پس از بهینه‌سازی در جدول‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است.

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که طرح تهویه فعلی معدن در سطوح پایین مصرف انرژی بادبزن و نزدیک بهینه طراحی شده است؛ لذا بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک، موجب کاهش جزئی مصرف انرژی عملیات تهویه و بهبود جزئی عملکرد شبکه با رفع خطاهای جزئی موجود در طراحی شده است.

۶-۱- بهینه‌سازی در حالت دوم

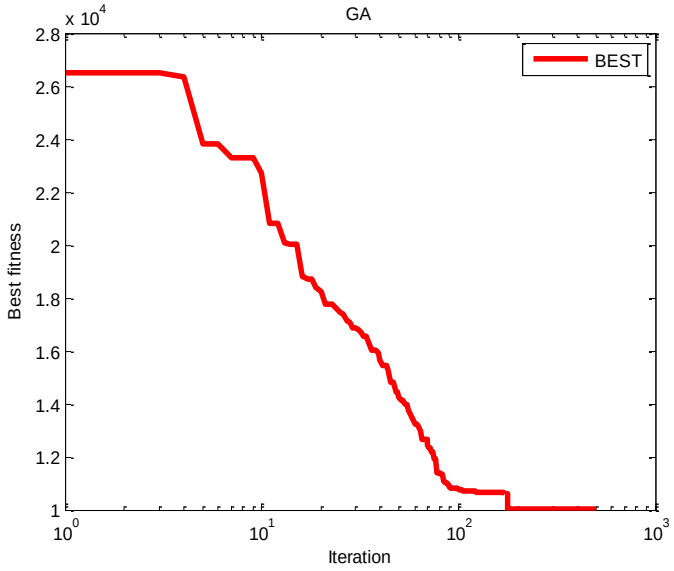
پس از تغییر مؤلفه‌ها و اجرای مدل در حالت دوم، برنامه دچار واگرایی شد و دلیل آن نیز تفاوت بسیار زیاد مقادیر جمعیت اولیه با جواب مسئله است؛ زیرا اگر حدس اولیه با جواب‌های نهایی تفاوت فاحش داشته باشد، امکان واگرایی بسیار زیاد می‌شود. از طرفی سیستم تهویه معدن کلاریز در ۲۲ شاخه حداقل شدت‌جریان را رعایت نکرده است؛ لذا برای رعایت حداقل شدت‌جریان این ۲۲ شاخه، نیاز به‌شدت جریان بالاتری نسبت به حالت اول دارد و شدت‌جریان‌ها در تمامی شاخه‌ها تغییرات زیادی دارد. برای فرار از بهینه‌های محلی، یک‌بار برنامه بدون محدودیت قانون حلقه‌ها اجرا شد و توزیع جدید هوا که قانون گره‌ها در آن رعایت شده است به‌عنوان جمعیت اولیه به الگوریتم ژنتیک اعمال شد. پس از بهینه‌سازی تابع هدف طبق شکل ۷، مقدار مصرف انرژی از ۱۰۰۵۴ به ۱۳۶۹۶ وات افزایش یافت و شدت جریان بادبزن ۳۲ مترمکعب‌برثانیه و فشار بادبزن ۴۲۸ پاسکال است. دلیل افزایش مصرف انرژی، نیز هوارسانی به بیش از ۲۲ شاخه از شبکه تهویه است که شدت جریان مورد نیاز برای تأمین حداقل سرعت جریان هوا، قبلاً در آنها رعایت نشده بود. برای بهینه‌سازی توزیع هوا در حالت دوم، تغییر اجزای شبکه تهویه شامل اضافه شدن درهای تنظیم‌کننده در چهار شاخه ۲، ۱۶، ۳۴ و ۳۹ طبق مشخصات جدول ۱۰ و حذف در تنظیم‌کننده موجود در شاخه ۳۷ از شبکه تهویه باید انجام گیرد. همچنین در این حالت تغییرات شدت جریان هوا مطابق جدول ۱۱ برای تأمین شدت جریان مورد نیاز همه شاخه‌ها، قابل توجه است. میزان خطاها نیز طبق جدول ۱۲ ، نشانگر دقت بهینه‌سازی در حالت دوم است.

در بهینه‌سازی شبکه تهویه در حالت دوم با توجه به الزام به رعایت حداقل جریان هوا، تهویه فعلی معدن با به‌کارگیری فقط یک بادبزن قادر به تأمین نیازهای اساسی معدن نیست که ازجمله می‌توان به نیازمندی برای توزیع بهینه و کافی هوا در تمامی شاخه‌های معدن جهت جلوگیری از افزایش غلظت گاز متان و پیشگیری از آتش‌سوزی احتمالی در معدن و رسیدن هوای تمیز به کارگاه‌های استخراجی جهت تنفس افراد و کار ماشین‌آلات معدنی اشاره کرد. راهکار مناسب به‌کارگیری دو بادبزن به‌صورت سری با زاویه پره ۴۵ درجه است که می‌تواند موجب تأمین شدت جریان مورد نیاز با فشاری حدود ۱۰۰۰ پاسکال باشد. لذا با رعایت این موارد و بهینه‌سازی تهویه معدن کلاریز، اگرچه میزان مصرف انرژی سیستم تهویه

www.SID.ir

Archive of SID

معدن افزایش می‌یابد ولی سیستم تهویه این معدن تا حد زیادی ایمن شد و در تمامی شاخه‌ها حداقل شدت جریان موردنیاز (۱/۲ مترمکعب بر ثانیه) جهت به جریان افتادن کافی هوا فراهم گردید.



شکل۶- تغییرات مقدار تابع هدف در حالت اول

جدول ۸ - مقادیر شدت‌جریان به‌دست‌آمده پس از بهینه‌سازی در حالت اول(مترمکعب‌برثانیه)

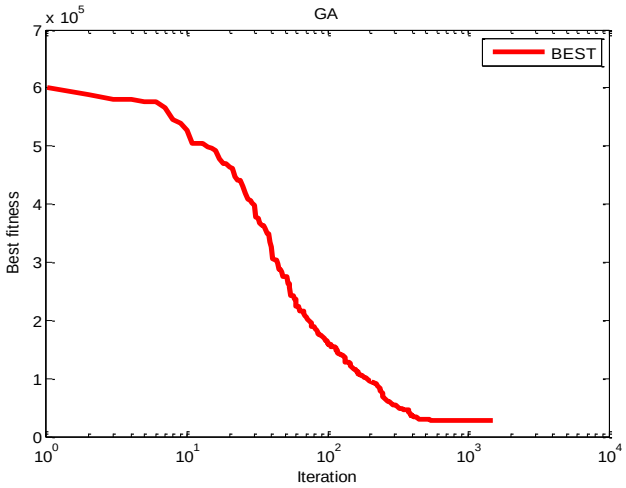
شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان
۱	۲۲	۱۴	۰/۴۹۵۷	۲۷	۳/۱۶۰	۴۰	۱۰/۰۴۳۸	۵۳	۲/۲۸۹۲
۲	۱۶/۶۵۱۱	۱۵	۰/۳۰۹۸	۲۸	۲/۲۵۸۵	۴۱	۸/۹۰۰۸	۵۴	۱/۱۴۷۷
۳	۲۰/۸۱۲۶	۱۶	۰/۹۹۴۷	۲۹	۲/۷۹۳۶	۴۲	۴/۶۳۰۱	۵۵	۱/۲۴۸۳
۴	۴/۱۶۶۲	۱۷	۰/۱۷۸۵	۳۰	۴/۷۲۳۷	۴۳	۴/۷۹۷۷	۵۶	۰/۷۴۳۰
۵	۵/۳۵۴۶	۱۸	۲/۶۴۴	۳۱	۵/۰۴۵۰	۴۴	۳/۸۴۵۰	۵۷	۰/۵۰۳۹
۶	۱/۱۸۰۱	۱۹	۰/۱۷۶	۳۲	۹/۶۵۴۱	۴۵	۷/۹۴۰۶	۵۸	۰/۳۱۵۸
۷	۰/۶۹۹۶	۲۰	۰/۸۱۸۵	۳۳	۵/۰۴۳۴	۴۶	۰/۹۳۵۵	۵۹	۰/۲۱۸۰
۸	۰/۴۸۲۴	۲۱	۰/۸۷۳۸	۳۴	۴/۵۸۶۹	۴۷	۲/۲۸۶۷	۶۰	۰/۵۳۴۶
۹	۱/۱۸۰۱	۲۲	۰/۱	۳۵	۲/۷۸۳۲	۴۸	۰/۹۱۰۶	۶۱	۱/۱۵۲۴
۱۰	۰/۶۷۹۶	۲۳	۲/۷۳۵۹	۳۶	۷/۳۶۹۰	۴۹	۱/۳۶۶۳		
۱۱	۰/۴۹۴۱	۲۴	۳/۶۲۹۹	۳۷	۲/۲۶۸۰	۵۰	۰/۸۴۶۸		
۱۲	۰/۱۲۳۹	۲۵	۱۱/۳۴۵	۳۸	۳/۴۱۴۵	۵۱	۰/۱۳۲۱		
۱۳	۰/۳۵۲۶	۲۶	۷/۷۵۴۲	۳۹	۱۰/۷۸۰۱	۵۲	۱/۰۶۷۲		

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹ - مقادیر افت فشار دربهای تنظیم‌کننده پس از بهینه‌سازی در حالت اول

شماره شاخه	حداکثر افت فشار (pa)	افت فشار درب در حالت بهینه‌سازی شده(pa)
۱۷	۵۰۰	۴۵۰/۴۷۸
۱۹	۵۰۰	۴۵۰/۲۷۴
۲۰	۳۰۰	۲۷۲/۴۸۰
۳۷	۱۵۰	۸۲/۰۹۳
۴۷	۱۰۰	۲۱/۰۸۹
۵۴	۴۰۰	۳۲۸/۰۷
۶۱	۴۰۰	۳۱۶/۴۳۰



شکل۷ - تغییرات مقدار تابع هدف در حالت دوم

جدول ۱۰ - مقادیر افت فشار دربهای تنظیم‌کننده پس از بهینه‌سازی در حالت دوم

شماره شاخه	حداکثر افت فشار *(pa)*	افت فشار درب در حالت بهینه‌سازی شده *(pa)*
۱۷	۵۰۰	۳۸۸/۲۰۲
۱۹	۵۰۰	۲۸۶/۰۹۱۱
۲۰	۳۰۰	۱۷۷/۴۵۹
۳۷	۱۵۰	حذف
۴۷	۱۵۰	۱۲۱/۲۹۳
۵۴	۴۰۰	۱۰۶/۴۳۸۱
۶۱	۴۰۰	۱۰۰
۲	جدید	۴۱/۲۷۰
۱۶	جدید	۱۰۰/۴۳۰
۳۴	جدید	۲۶/۱۷۱
۳۹	جدید	۱۱/۲۳

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱ - مقادیر شدت‌جریان به‌دست‌آمده پس از بهینه‌سازی در حالت دوم(مترمکعب‌برثانیه)

شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان	شاخه	شدت‌جریان
۱	۳۲	۱۴	۳/۶۱	۲۷	۳/۲۸۴	۴۰	۱۰/۰۷۴	۵۳	۶/۱۶۱
۲	۱۷/۳۹۶۱	۱۵	۲/۴۴۶	۲۸	۲/۱	۴۱	۸/۹۴۸	۵۴	۵/۲۵۹
۳	۲۳/۴۸۰	۱۶	۷/۳۸۶	۲۹	۲/۳۱۸	۴۲	۴/۶۶	۵۵	۳/۶۵۲
۴	۶/۰۲۲	۱۷	۱/۲۰۹	۳۰	۴/۵۶	۴۳	۴/۸۳۹	۵۶	۱/۲
۵	۱۴/۵۷۲	۱۸	۳/۶۳۰	۳۱	۴/۷۲۱	۴۴	۴/۵۵۷	۵۷	۲/۳۵۷
۶	۸/۶۵۹	۱۹	۱/۲۲۳۵	۳۲	۷/۴۶۲	۴۵	۱۰/۴۹۷	۵۸	۱/۲۲۴
۷	۵/۱۴۲	۲۰	۲/۰۰۱	۳۳	۴/۶۶۸	۴۶	۱/۲	۵۹	۱/۲۰
۸	۳/۴۶	۲۱	۲/۳۲۹	۳۴	۲/۷۰۲	۴۷	۵/۷۹۵	۶۰	۲/۴۱۶
۹	۸/۶۳۹	۲۲	۱/۲	۳۵	۱/۹۸۵	۴۸	۱/۲۵۲	۶۱	۴/۸۳۹
۱۰	۴/۹۸۷	۲۳	۱/۲	۳۶	۶/۱۸۹	۴۹	۴/۵۹۹		
۱۱	۳/۵۶۳	۲۴	۳/۴۳۲	۳۷	۲/۶۶۲	۵۰	۲/۳۲		
۱۲	۱/۲	۲۵	۶/۸۱۲	۳۸	۸/۰۲۸	۵۱	۱/۲		
۱۳	۲/۴۵۵	۲۶	۷/۳۱۶	۳۹	۱۲/۹۴۳	۵۲	۲/۴۰۹		

جدول ۱۲- خطای قانون حلقه‌ها در حالت دوم

حلقه	خطای حلقه	حلقه	خطای حلقه
۱	۱/۵۶	۱۲	۰
۲	۰	۱۳	۰
۳	۰	۱۴	-۲/۸۰۶۴
۴	۰	۱۵	۰
۵	۱/۴۰۵۴	۱۶	۰
۶	۱/۳۹۳۹	۱۷	۰
۷	۰	۱۸	۲/۴۴۳۶
۸	۰	۱۹	۰
۹	۳/۰۳۶۴	۲۰	۰
۱۰	۰	۲۱	۰
۱۱	۰	۲۲	۰

۷- تحلیل تأثیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک بر اجرای مدل

ساختار کلی روش الگوریتم ژنتیک در تمامی مسائل بهینه‌سازی ثابت است اما این الگوریتم دارای پارامترهای تنظیمی برای دستیابی به جواب بهینه است که بسته به نوع مسئله بهینه‌سازی، دارای مقادیر بهینه متفاوت است. دستیابی به مقدار دقیق این پارامترها کاملاً تجربی است و با تکرار زیاد مسئله بهینه‌سازی و مقایسه عملکرد تأثیرات تغییر هرکدام بر سرعت دستیابی به جواب و بهترین عملکرد آنها برای رسیدن به بهترین پاسخ و احتمال گیرکردن در بهینه‌های محلی مشخص می‌شود. بدین منظور پنج پارامتر نرخ جهش، نرخ پیوند، ضریب پیوند، ضریب جهش و تعداد جمعیت انتخاب و تحلیل حساسیت مدل به تغییرات پارامترهای مذکور انتخاب و تأثیر آنها پس از ۳۰ بار اجرای برنامه بررسی شد. در جدول ۱۳ تأثیر تغییرات پارامترهای نرخ پیوند و نرخ جهش در دفعات رسیدن به جواب بهینه آورده شده است طبق نتایج تحقیق، نرخ جهش ۰/۳ و نرخ پیوند ۰/۶ بهترین ترکیب برای تولید نسل بود که دارای سرعت بهتر و درصد بالاتر رسیدن به جواب بهینه نسبت به سایر ترکیب‌ها بیشتر بود. لازم به ذکر است که در پژوهشی که توسط پروفسور لاوندس در سال ۲۰۰۵ در سیستم تهویه معدن ال ایندیو (*El Indio*) شیلی انجام شده است، مقدار بهینه نرخ‌های جهش و پیوند به ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۶ پیشنهاد شده است (*Lowndes, et al., 2005*)

همچنین تأثیر پارامترهای ضریب پیوند و ضریب جهش در رسیدن به جواب بهینه در جدول ۱۴ آورده شده

www.SID.ir

Archive of SID

است. بر این اساس در حالت ضریب جهش و پیوند ۰/۰۱، تعداد دفعات رسیدن به پاسخ و هم سرعت رسیدن به پاسخ بیشتر است. همچنین در جدول ۱۵ تأثیر پارامتر تعداد جمعیت بر رسیدن به جواب بهینه آورده شده است جمعیت ۲۰۰ را به‌عنوان جمعیت اولیه مناسب برای مدل انتخاب شد. با افزایش جمعیت اولیه، تعداد دفعات رسیدن به جواب بهینه افزایش و تعداد تکرارهای لازم کاهش می‌یابد اما سرعت اجرای برنامه نیز کاهش می‌یابد. تأثیر افزایش جمعیت اولیه در سرعت مدل‌های با متغیرهای بیشتر و بهینه‌سازی شبکه‌های بزرگ‌تر، یقیناً بیشتر خواهد شد.

جدول۱۳ - تأثیر مقادیر نرخ پیوند و جهش بر اجرای مدل

نرخ جهش pm	نرخ پیوند pc	تعداد دفعات رسیدن به جواب در ۳۰ بار اجرای مدل	میانگین تعداد تکرارها در هر اجرا
۰/۶	۰/۱۵	۲۴	۲۵۰
۰/۱۵	۰/۶	۲۵	۲۴۰
۰/۵	۰/۵	۲۶	۲۳۰
۰/۳	۰/۶	۲۷	۲۲۰
۰/۶	۰/۳	۲۸	۲۰۰

جدول۱۴ -تأثیر مقادیر ضریب پیوند و جهش بر اجرای مدل

ضریب پیوند	ضریب جهش	تعداد دفعات رسیدن به جواب در ۳۰ بار اجرای مدل	میانگین تعداد تکرارها در هر اجرا
۰/۱	۰/۱	۱۴	۵۵۰
۰/۰۱	۰/۰۱	۲۸	۲۰۰
۰/۵	۰/۵	۹	۷۰۰
۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۲۰	۳۰۰

جدول۱۵ -تأثیر مقادیر تعداد جمعیت بر اجرای مدل

تعداد جمعیت	تعداد دفعات رسیدن به جواب در ۳۰ بار اجرای مدل	میانگین تعداد تکرارها در هر اجرا
۵۰	۲۰	۵۰۰
۱۰۰	۲۵	۳۰۰
۲۰۰	۲۸	۲۰۰
۴۰۰	۲۸	۱۸۰

www.SID.ir

Archive of SID

۸- نتایج و پیشنهادات

توزیع بهینه هوا در عملیات معدنی را می‌توان مهم‌ترین راهکار اجرایی برای کاهش توأم هزینه عملیاتی و سرمایه‌ای شبکه تهویه نامید که با انتخاب صحیح موقعیت و مقاومت درهای تنظیم‌کننده و نیز محل و مشخصات بادبزن‌های تقویتی برای توزیع واقعی و کافی جریان هوا در شبکه می‌توان به آن دست یافت.

هدف این تحقیق بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک برای جستجوی مقادیر بهینه تخصیص بادبزن‌ها، افت فشار درهای تنظیم‌کننده و شدت‌جریان هر یک از شاخه‌های شبکه تهویه بر مبنای تابع هدف کمترین انرژی مصرفی است. بدین منظور بهینه‌سازی توزیع هوا در معدن زغال‌سنگ کلاریز در دو حالت مجزا شامل شرایط فعلی معدن و نیز رعایت حداقل شدت جریان هوا در کلیه شاخه‌های شبکه انجام گرفت. برای مدل‌سازی شبکه، نوع جریان نیمه‌کنترل‌شده نوع دوم تعیین گردید و کدنویسی تابع هدف در نرم‌افزار متلب، بر مبنای حداقل‌سازی انرژی مصرفی و اضافه نمودن محدودیت‌های مربوط به قوانین شدت جریان و افت فشار کرشهف، به‌صورت توابع جریمه انجام گرفت. نتایج اجرای مدل در حالت اول نشانگر کاهش جزئی مصرف انرژی از ۱۰۰۵۴ به ۱۰۰۴۰ وات است. بر این اساس شبکه موجود تهویه در این حالت در شرایط نزدیک بهینه در حال فعالیت است و بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک، موجب کاهش اندک هزینه‌های انرژی معدن کلاریز و بهبود عملکرد تهویه و رفع خطای جزئی موجود در طراحی سیستم گردیده است، لیکن حداقل سرعت جریان هوا در تعدادی از شاخه‌ها رعایت نشده است.

با انجام بهینه‌سازی در حالت دوم و رعایت حداقل سرعت جریان در همه شاخه‌های شبکه و با تأمین هوا به میزان ۳۲ مترمکعب‌برثانیه، حداقل شدت‌جریان موردنیاز (۱/۲ مترمکعب‌برثانیه) در تمامی شاخه‌ها جهت به جریان افتادن بهینه هوا با استفاده سری از دو بادبزن موجود معدن با زاویه پره ۴۵ درجه فراهم می‌گردد لیکن مقدار مصرف انرژی به ۱۳۶۹۶ وات افزایش یافت که دلیل آن هوارسانی به بیش از ۲۲ شاخه معدن است که در حالت اول حداقل سرعت جریان هوا در آنها رعایت نشده بود. لذا با در نظر گرفتن الزام مذکور، بادبزن فعلی معدن در صورت استفاده به‌صورت تکی قادر به تأمین کامل هوای مورد نیاز معدن نیست. در ادامه کارایی الگوریتم ژنتیک در تحلیل عملکرد بهینه بادبزن‌ها و مقدار افت فشار مورد نیاز درهای تنظیم‌کننده مشخص گردید. در ادامه تأثیر مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک (نرخ جهش و نرخ پیوند) به همراه اندازه جمعیت بر دستیابی به پاسخ بهینه بررسی گردید. بر این اساس افزایش تعداد جمعیت تا حد معینی، احتمال دستیابی به جواب بهینه را افزایش می‌دهد. هرچه ضرایب پیوند و جهش بزرگ‌تر شوند از دقت محاسبات کاسته شده و زمان رسیدن به پاسخ بهینه نیز افزایش می‌یابد.

به‌منظور تکمیل تحقیق، پیشنهاد می‌شود تا کدنویسی الگوریتم ژنتیک به‌صورت ترکیبی با روش هاردی کراس برای طراحی بهینه توزیع هوا در یک شبکه تهویه معدن مورد بررسی قرار گیرد. همچنین می‌توان از سایر روش‌های فرا ابتکاری ازجمله الگوریتم بهینه‌سازی ذرات (*PSO*)، به‌منظور بهینه‌سازی توزیع هوا استفاده نمود. برای تکمیل تابع هدف بهینه‌سازی تهویه معدن می‌توان هزینه‌ی سرمایه‌ای را به تابع هدف مصرف انرژی بادبزن به‌ویژه در مواردی که احتمال اضافه شدن در تنظیم‌کننده و بادبزن تقویتی به شبکه تهویه است اضافه نمود و بررسی دقیق‌تری در این خصوص انجام داد.

۹- مراجع

Acuña, E., Hall, S., & Lowndes, I. (2010). *Free and Semi Controlled Splitting Network Optimisation using Gas to justify the use of Regulators.* Paper presented at the International Conference on Mining Innovation (4th: Santiago, Chile, 2010).

Acuña E. I., & Lowndes, I. S. (2014). A Review of Primary Mine Ventilation System Optimization. *Interfaces, 44*(2), 163-175. Retrieved from https://doi.org/10.1287/inte.2014.0736

Berhe, H. W. (2012). Penalty Function Methods using Matrix Laboratory (MATLAB). *African Journal of*

www.SID.ir

Archive of SID

Mathematics and Computer Science Research, *5*(13), 209-246 .Retrieved from https://doi.org/10.5897/AJMCSR12.027

Bodenhofer, U. (2003). Genetic Algorithms: Theory and Applications: Lecture notes, Fuzzy Logic Laboratorium Linz-Hagenberg, Winter.

H.Bahoddiny, R. D. (2012). *Optimization of the Performance of the Ventilation System of the Nakhlak Lead Mine using GeneticAlgorithm.* The First Conference on Mining Technologies, Iran-Yazd.

Hall, C. J. (1981). Mine Ventilation Engineering .Socity of *Mining. Engineering. AIMM, New York*.

Hardcastle, S., & Kocsis, C. (2002). The Ventilation Challenge–A Canadian Perspective on Maintaining a Good Working Environment in Deep Mines. In *Proceedings of the ACG Deep Mining Symposium, November* 4-9.

Hardcastle, S., & Kocsis, C. (2004). The Ventilation Challenge. *CIM(Canadian Mining and Metallurgical) Bulletin, 97*(1080), 51-57 .

Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., Ramani, R. V., & Wang, Y. (2012). Mine Ventilation and Air Conditioning: John Wiley & Sons Publication.

Kozyrev, S., & Osintseva, A. (2012). Optimizing Arrangement of Air Distribution Controllers in Mine Ventilation System. *Journal of Mining Science, 48*(5), 896-903 .Retrieved from https://doi.org/10.1134/S1062739148050140

Li, J., Chen, K.-y., & Lin, B. q. (2007). Genetic Algorithm for the Optimization of Mine Ventilation Network. *Journal of China University of Mining and Technology, 36*(6), *789 .793*.

Lowndes, I., Fogarty, T., & Yang, Z. (2005). The Application of Genetic Algorithms to Optimise the Performance of a Mine Ventilation Network: The Influence of Coding Method and Population Size. *Soft Computing, 9*(7), 493-506 .https://doi.org/10.1007/s00500-004-0364-9

Bashiri.M (2013). *Application of Innovative and Meta Heuristic Algorithms in the Design of Industrial System,* Shahed University Publication (in persian).

Madani, H., 2003. *Mines Ventilation,* Vol. 2, Tehran: Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic) Press, Iran (In Persian).

McPherson, M. J. (1993). Ventilation Network Analysis, *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering* , Springer Science & Business Media.

Fatahi.P (2011). *Meta-Algorithms*. Hamedan: Bu-Ali Sina University(in persian).

Petrov, N & Popov, N. (2004). Ways of Improving Economy and Reliability of Mine Ventilation. *Journal of Mining Science, 40*(5), 531-536 . Retrieved from https://doi.org/10.1007/s10913-005-0040-1

www.SID.ir

Archive of SID

Stender, J. (1993). *Parallel Genetic Algorithms: Theory and Applications* (Vol. 14): IOS press.

Sui, J., Yang L., Zhu, Z., Fang, H., & Hua. Z,. (2011). Mine Ventilation Optimization Analysis and Airflow Control based on Harmony Annealing Search. *Journal of Computers, 6*(6), 1270-1277. Retrieved from https://doi.org/10.4304/jcp.6.6.1270-1277

Wei, G. (2011). Optimization of Mine Ventilation System based on Bionics Algorithm. *Procedia Engineering, 26*, 1614-1619 Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2345

Wei, L. j., Wang, D. M., Wang, Q., & GE, P. (2007). Study on Some Key Issues of Constructing Visual Mine Ventilation Simulation System . *Safety in Coal Mines, 7*, 6-9 .

Yang, Z., Lowndes, I., & Denby, B. (1999). Genetic Algorithm Optimization of a Large UK Coal Mine Ventilation Network: *U.S. Mine Ventilation Symposium*. Retrieved from https://scholarsmine.mst.edu/usmvs/8usmvs/8usmvs-theme16/5

Zhao, D., Liu, J., Pan, J. t., & Ma, H. (2009). Hybrid Genetic Algorithm for the Optimization of Mine Ventilation Network. *Journal of Coal Science and Engineering (China), 15*(4), 389-393 . Retrieved from https://doi.org/10.1007/s12404-009-0409-x

Zhong, M., Xing, W., Weicheng, F., Peide, L., & Baozhi, C. (2003). Airflow Optimizing Control Research based on Genetic Algorithm During Mine Fire Period. *Journal of Fire Sciences, 21*(2), 131-153. Retrieved from https://doi.org/10.1177/0734904103021002003 .

www.SID.ir

tuse.shahroodut.ac.ir

Tunneling & Underground Space Engineering

(TUSE)

Volume 8-Issue 2\Summer 2019

نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی

Optimization of Air Distribution in Mine Ventilation Networks Based on Genetic Algorithm (A Case Study: Kalariz Coal Mine)

R.Sh.Shahabi[1]; H.Laijani[2]; E. Elahi[3]; M.H.Sadeghzadeh[2]

1- Assistant Professor; Mining Engineering Department, Engineering Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- MSc Graduated in Mining Engineering; Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3- Department of Mining Engineering; University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Received: 09 Aug 2018; Accepted: 02 July 2019
DOI: 10.22044/TUSE.2019.7344.1346

Keywords

Air Distribution Optimization
Ventilation Networks
Genetic Algorithm
Minimum Air Consumption Energy
Kalariz Coal Mine

Extended Abstract

Summary

In this research, an investigation on the genetic algorithm efficiency to determine the optimal air distribution in the ventilation networks and the optimal fan performance and required pressure drop for the regulator doors is carried out. The objective function of the model is the minimization of energy consumption.

Introduction

The optimal air distribution in mine ventilation networks is the most effective solution to reduce the operation and capital cost of the ventilation system that is achieved by choosing the correct allocation and characteristics of the ventilation fans. Due to the multiplicity and variations of ventilation networks parameters, achieving the optimum value is time-consuming. Applying metaheuristic techniques such as genetic algorithm (GA) can help to solve this problem and find optimal values of ventilation networks.

Methodology and Approaches

The simulation of Kalariz coal mine ventilation network was performed by considering 43 nodes, 61 branches and 22 loops. Then, values of the intersection and fundamental matrices of the loops were determined. After simulation of the current design using Ventsim software, the air flow rate in some branches was identified to be less than the minimum required level of air flow. Therefore, the optimization of air distribution by GA in the Kalariz coal mine was conducted in two separate conditions including the current conditions of the network and supplying the minimum standard air flow in all branches of the network. For the network modeling, the semi-controlled flow type II was determined. Then, implementation of mine ventilation constrains and objective function by considering the flow rate and the pressure losdes of the Kirchhoff's laws was performed in MATLAB R2014.software based on the minimization of energy consumption Moreover, the effect of the GA parameters (mutation rate and crossover rate) along with the population size on the optimal response was investigated.

Results and Conclusions

The implementation of the model in current condition of the ventilation network of Kalariz coal mine indicates a reduction in the energy consumption from 10054 to 10040 watts. In the second considered condition, the energy consumption increases to 13696 watts and the required air flow of 32 m^3/second is obtained. These values are obtained due to increasing the flow rate of 22 branches while in the first case the minimum required air flow is not observed. Supply of the required air is provided by combining 2 existing VTS11 fans in the mine. The efficiency of the GA technique for the analysis of the optimal fan performance and the amount of pressure drop required for the regulator doors has been investigated. As the values of crossover and mutation rate become larger, the accuracy of the calculation decreases and the time to finding the optimal solution increases.

www.SID.ir