

تعیین ضریب اصطکاک تهویه تونل عمود بر رگه معدن سرب نخلک^۱فرهاد چینیانی^۲

چکیده:

در این تحقیق با توجه به اینکه یکی از پارامترهای مهم در تعیین افت فشار کارهای معدنی و فشار لازم جهت تهویه هوای معدن، ضریب اصطکاک اتکینسون می باشد و همانطور که می دانیم این ضرایب معمولاً از جداول کتاب های مرجع استخراج می گردد؛ از آنجایی که ضرایب موجود در کتاب های مرجع عمدتاً مربوط به فضاهای حفر شده و نگهداری شده با روش های سنتی بوده است و از طرفی تونل ها و راهرو های امروزی دارای سطح مقطع بسیار بزرگتر و زبری سطح کمتر احداث می شوند؛ تصمیم به روشی برای اندازه گیری این ضرایب با تجهیزات جدیدتر گرفته شد. بدین منظور معدن سرخ نخلک جهت آزمایش دستگاه ها انتخاب و نتایج قابل قبولی پس از استاندارد کردن نتایج با توجه به وزن مخصوص شرایط هوای اندازه گیری بدست آمد.

کلید واژه: ضریب اصطکاک، اتکینسون، افت فشار هوا، سرعت هوا، مقاومت هوا، معدن سرب نخلک

۱. مقدمه

یکی از مهمترین پارامترها در تعیین افت فشار هوای فضاهای زیرزمینی، تعیین ضریب اصطکاک است، این ضریب عمدتاً دستخوش تغییر شکل هندسی راهرو، زبری، نوع نگهداری، ابعاد حفاریات، وسایل باربری مانند نوار نقاله های موجود در راهروها و یا کارگاه ها و همچنین محل های اغتشاش هوا بستگی خواهد داشت. ضریب اصطکاک معمولاً از جداول موجود در کتاب های مرجع مانند ضرایب اصطکاک منتشر شده توسط انجمن معادن آمریکا در سال های ۱۹۳۵ تا ۱۹۹۱ و ضرایب موجود در کتاب تهویه معدن (هارتمن ۱۹۸۲) و یا جداول منتشر شده توسط افراد دیگر اخذ می گردد [۴]. از آنجایی که بسیاری از این اعداد مربوط به حفاریات و سیستم های نگهداری سنتی بوده است و از طرفی دستگاه های اندازه گیری از دقت لازم نسبت به دستگاه های جدید برخوردار نبوده و همچنین محدوده اعداد وسیع و در معادن با شرایط مختلف این ضریب تفاوت خواهد کرد و در نتیجه استفاده از آن ها توسط طراح تهویه، سبب خواهد شد که افت فشار محاسبه شده بسیار بالاتر و یا پایین تر از افت فشار واقعی نشان داده شود که در هر دو صورت طرح از نظر اقتصادی و یا بهداشت محیط معدن دارای اشکال خواهد بود. بنابراین پس از بررسی های لازم در مورد دقت و قیمت فشارسنج و بادسنج های موجود جهت اندازه گیری های لازم برای تعیین ضریب اصطکاک هوا، معدن نخلک که یکی از قدیمی ترین معادن فلزی زیرزمینی کشور و وضعیتی مشابه شرایط ضرایب جدول های موجود را داشت به عنوان محل تحقیق انتخاب گردید.

^۱ - برگرفته از طرح پژوهشی ارائه ضرایب اصطکاک عملی جهت تهویه معدن سرب نخلک

^۲ - عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمه

۱-۱ موقعیت جغرافیای معدن

معدن سرب نخلک در استان اصفهان و حوزه معدن خیز انارک در فاصله ۲۶۳ کیلومتری شمال اصفهان، ۱۲۵ کیلومتری شمال شرق نائین و ۴۸ کیلومتری شمال شرق انارک در حاشیه کویری ایران واقع شده است. از نظر آب و هوایی منطقه گرم و خشک بوده و تغییرات دمای ۹- تا ۴۱ درجه سانتیگراد و میزان بارندگی در فصول بارانی ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی متر گزارش شده است.

۲-۱ مشخصات عمومی معدن

ماده معدنی رگه هیدروترمال در امتداد شرق و غرب قرار گرفته که تا عمق ۳۰۰ متر قابل کار بوده و ذخیره قطعی آن ۱/۶ میلیون تن و ذخیره احتمالی آن ۳/۲ میلیون تن با عیار ۳ تا ۸ درصد سرب برآورد شده است. سنگ های اصلی منطقه را سنگ های آهکی، کنگلومرا، ماسه سنگ و شمیل تشکیل می دهد. کانسنگ در مرز آهک و کنگلومرا تمرکز یافته است. طول رگه های معدنی بعضاً به ۳۰۰ متر و ضخامت آن از چند سانتی متر تا ۴ متر تغییر می کند. جمعا حدود ۳۰ رگه با شیب های ۶۰ تا ۹۰ درجه در کانسار وجود دارد که ۵ رگه آن مهمتر و قابل استخراج است. کانی های اصلی معدن را گالن و سروزیت و کانی های گانگ راعمدتاً کلیست، کوارتز و باریت تشکیل می دهند.

این معدن شامل ۶ حلقه چاه به عمق های مختلف می باشد که عمده فعالیت های استخراجی توسط چاه های شماره ۴ و ۵ انجام می گیرد. شبکه استخراجی معدن از ۵ طبقه در افق های ۵۰-، ۸۴-، ۱۲۵-، ۱۶۵-، ۲۰۰- تشکیل یافته و روش استخراج زیرزمینی آن روش کند و آکند و دیپویی می باشد. چاه های ۳ تا ۶ طبق جدول ذیل در طبقات مختلف با همدیگر ارتباط دارند.

جدول ۱: مشخصات ارتباط طبقات معدن با چاه ها

طبقه	از چاه ۳ به چاه ۴	از چاه ۴ به چاه ۵	از چاه ۵ به چاه ۶	جمع کل متر
۵۰	۲۲۵	۴۱۵	-	۶۴۰
۸۴	۱۹۰	-	-	۱۹۰
۱۲۵	۲۴۵	۱۶۸	۶۰۰	۱۰۱۳
۱۶۵	۲۱۰	۱۷۰	-	۳۸۰
۲۰۰	-	۱۹۵	۶۰۰	۷۹۵

میزان آب خروجی معدن ۲۱۰ متر مکعب در ساعت برآورد شده و این امر باعث رطوبت بالای راهروها شده است. تهویه اصلی معدن در حال حاضر به صورت طبیعی انجام می گیرد و با توجه به فصل زمستان و تابستان و ارتفاع دهانه چاه جهت هوا تغییر می کند [۲].

۲ روش تحقیق

۱-۲ تئوری

رابطه کلی افت فشار مطابق قوانین مکانیک سیالات برابر است با:

$$\Delta P = CV^x \quad (1)$$

ΔP افت فشار

C ضریبی که مقدار آن به مشخصات جریان، مشخصات سیال و ضریب اصطکاک مسیر مربوط است.
 V سرعت متوسط سیال
 X نمایی که در مورد جریان آرام برابر یک و در مورد جریان مغشوش طبق دیاگرام مودی بین ۱ تا ۲ در تغییر است.

در مواردی که عدد رینولدز به اندازه کافی بزرگ باشد X را به می توان با تقریب کافی برابر ۲ در نظر گرفت [۱].

افت فشار اصطکاکی نیز با توجه به رابطه فوق و فرمول داری به صورت زیر توسط اتکینسون تبدیل شده است.

$$\Delta P_f = \frac{C \cdot \gamma \cdot L \cdot P}{g \cdot S} V^2 \quad (2)$$

ΔP_f افت فشار اصطکاکی

C ضریب بدون بعد که نمایشگر زبری نسبی سطح کار معدنی است

γ وزن مخصوص هوا

g شتاب جاذبه

L طول کار معدنی

P محیط کار معدنی

S سطح مقطع کار معدنی

V سرعت هوا

$$\alpha = \frac{C \gamma}{g} = C \cdot \rho \quad (3)$$

$$\Delta P_f = \frac{\alpha \cdot L \cdot P}{S} V^2 \quad (4)$$

α ضریب اصطکاک اتکینسون

α تابعی از جرم مخصوص هواست. از آنجایی که C بدون بعد است. واحد α همان واحد جرم مخصوص خواهد بود و با افزایش جرم مخصوص هوای تونل افزایش می یابد. رابطه بین ضریب زبری و زبری نسبی از معادله ون کارمن^۱ بدست می آید:

$$C = \frac{1}{8[2\text{Log}(\frac{d}{d_0}) + 1.14]^2} \quad (5)$$

$$d = \frac{4S}{P} \quad (6)$$

d_0 زبری کار معدنی

d قطر هیدرولیکی

طبق رابطه فوق ضریب زبری با افزایش ارتفاع ناصافی های سطح راهروها افزایش و با افزایش قطر هیدرولیکی راهرو کاهش می یابد.

$$\Delta P_f = R_f \cdot Q^2 \quad (7)$$

$$R_f = \frac{\alpha \cdot L \cdot P}{S^3} \quad (8)$$

R_f مقاومت اصطکاکی

Q شدت جریان هوا

وزن مخصوص هوا با توجه به رطوبت نسبی هوا و درجه حرارت فشار محیط از روابط ذیل محاسبه می گردد [۶].

$$\Phi = \frac{P_v}{P_g} \quad (9)$$

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \quad (10)$$

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (11)$$

$$\rho_1 = \frac{P_2 \cdot T_1}{P_1 \cdot T_2} \quad (12)$$

که در آن:

Φ : رطوبت نسبی

P_v : فشار جزئی بخار آب

P_g : فشار اشباع

P_a : فشار جزئی هوای خشک

ω : رطوبت مخصوص

R : ثابت عمومی گاز

ρ : جرم مخصوص

T : دما بر حسب کلوین

بنابراین با توجه به رابطه ذیل می توان ضریب اصطکاک اتکینسون بدست آمده در شرایط اندازه گیری را به شرایط استاندارد هوا یعنی دما $15^{\circ}C$ ، رطوبت ۶۰ درصد، فشار ۷۶۰ میلی متر جیوه با جرم مخصوص استاندارد $1/2 \text{ kg/m}^3$ بدست آورد.

$$\alpha_{std} = \alpha_{act} \frac{\rho_{std}}{\rho_{act}} \quad (13)$$

α_{std} ضریب اصطکاک استاندارد

α_{act} ضریب اصطکاک اندازه گیری شده

ρ_{std} جرم مخصوص استاندارد

ρ_{act} جرم مخصوص محاسبه شده در شرایط اندازه گیری

۲-۲ وسایل اندازه گیری

همانطور که از رابطه (۴) ملاحظه می شود، ضریب α به افت فشار اصطکاکی مسیر، طول مسیر، محیط و مساحت متوسط سطح مقطع، سرعت متوسط هوا، وزن مخصوص هوا بستگی دارد. بدین منظور دما و رطوبت هوا توسط ترمومتر و رطوبت سنج HYGRO ساخت کشور آلمان جهت محاسبه وزن مخصوص هوا اندازه گیری شد.

اندازه گیری سطح مقطع، محیط و فاصله توسط متر پارچه ای انجام شد.

به منظور اندازه گیری سرعت هوا از یک دستگاه بادسنج پره ای الکترونیکی به نام VELOCICALC TSI مدل ۵۷۲۵ که دارای دقت ± 1 درصد عدد قرائت شده می باشد و قابلیت پردازش سرعت های لحظه ای و بدست آوردن سرعت متوسط یک مقطع را داراست، استفاده شد.

اندازه گیری مختصات سرچاه ها و همچنین محیط توسط GPS و آلتیمر آن صورت گرفت.

اندازه گیری اختلاف فشار که حساس ترین مرحله کار به شمار می رود، می تواند توسط بارومتر و یا مانومتر و میکرومانومتر صورت پذیرد. در روش اول باید فشار هر نقطه توسط بارومتر اندازه گیری و اختلاف آنها به عنوان اختلاف فشار لحاظ گردد. برای روش دوم کالیبره شده مانومتر یا میکرومانومتر توسط لوله پیوسته بین دو نقطه قرار گیرد و اختلاف فشار مستقیماً توسط فشارسنج قرائت گردد. با توجه به اختلاف فشار کم هوا در این اندازه گیری از روش دوم و با دستگاه میکرومانومتر DP-CALC مدل ۸۷۰۵ ساخت شرکت TSI که دارای دقت $\pm 1\%$ عدد قرائت شده می باشد و این دستگاه نیز می تواند در فواصل زمانی که کاربر تعریف می کند اندازه گیری را به طور مداوم انجام و پس از پردازش داده ها توسط دستگاه از نتایج آن استفاده کرد [۷].

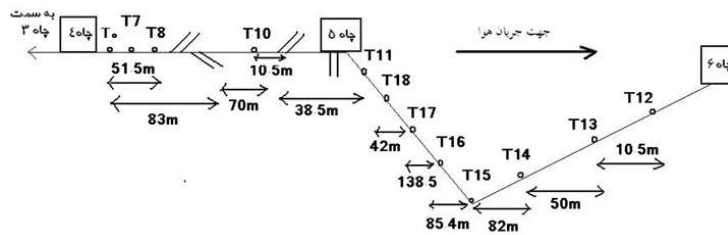
۳-۲ ابزاربندی

مختصات چاه ها طبق جدول ۲ توسط دستگاه GPS اندازه گیری شده است.

جدول ۲: موقعیت چاه های معدن

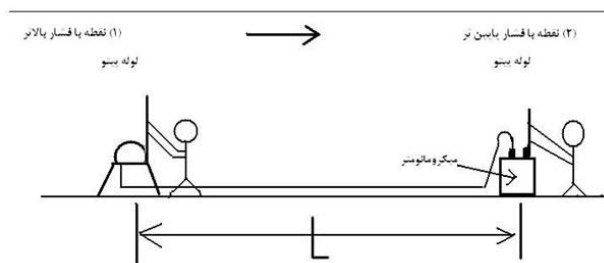
ردیف	چاه	ابعاد (m)	E (m)	N (m)	H (m)
۱	۳	۲/۵ × ۱/۴	۷۶۳۶۸۴	۳۷۱۷۰۴۶	۱۰۵۳/۰۷
۲	۴	۲/۸۶ × ۱/۲	۷۶۳۶۲۴	۳۷۱۷۲۲۱	۱۰۴۱/۸۲
۳	۵	۲/۸ × ۱/۸	۷۶۳۵۱۲	۳۷۱۷۳۵۳	۱۰۳۶
۴	۶	-	۷۶۳۳۷۳	۳۷۱۷۸۵۵	۱۰۲۶/۰۷

برای تعیین دقیق ضریب اصطکاک، راهروهای هوایی انتخاب می شود که حداقل افت تلاطم را داشته باشند. بدین منظور بین چاه شماره ۴، ۵ و ۶ در طبقه ۲۰۰- معدن در نقاط مختلف به صورت کروکی شکل ۱ اندازه گیری های مورد لزوم اشاره شده در بخش ۲-۲ صورت گرفت.



شکل ۱: موقعیت نقاط اندازه گیری در راهروی عمود بر رگه

جهت اندازه گیری اختلاف فشار مطابق شکل ۲ بین هر دو نقطه کروکی شکل ۱ توسط میکرومانومتر و لوله پیوسته برداشت انجام شد [۳].



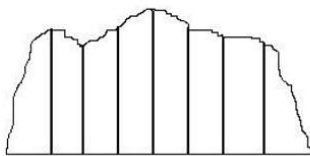
شکل ۲: برداشت توسط میکرومانومتر و شلنگ پیوسته

به منظور اندازه گیری سرعت متوسط هوا بین دو نقطه توسط بادسنج در مقاطع مختلف، به روش تغییر مکان بادسنج در سرتاسر هر مقطع کارمعدنی پروانه دستگاه جابه جا شده و اندازه گیری صورت گرفت. نکته ای که باید رعایت شود این است که باتوجه به سرعت کم هوا در راهروها وجود شخص اندازه گیر در جلوی جریان باعث اختلال جریان خواهد شد. برای جلوگیری از اغتشاش مقطع را مطابق شکل ۳ به دو قسمت تقسیم کرده و آنگاه با قرارگرفتن در قسمت راست تمام مقطع سمت چپ را جارو کرده و سپس با ایستادن در قسمت چپ، بادسنج در تمام نقاط قسمت چپ حرکت داده شد [۱].



شکل ۳: نحوه اندازه گیری سرعت متوسط با تغییر مکان بادسنج [۱]

اندازه گیری سطح مقطع کارمعدنی مطابق شکل ۴ توسط متر در فواصل ۲۵ سانتی متری، تک تک ارتفاع ها اندازه گیری و شکل مقطع، سطح مقطع و محیط آن توسط نرم افزار کد تعیین شد.



شکل ۴: اندازه گیری سطح مقطع کار معدنی به کمک شاغول [۱]

خلاصه اندازه های متوسط در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.

جدول ۳: نتایج برداشت شدت جریان

ردیف	نقطه برداشت	سطح مقطع (m^2)	محیط مقطع (m)	سرعت (m/s)	شدت جریان (m^3/s)
۱	T12	۴/۱۷۰۹	۷/۷۸۴	۰/۸۸	۳/۶۷۰۴
۲	T13	۴/۴۷۸۲	۸/۲۵۳	۰/۸۵	۳/۸۰۶۵
۳	T14	۴/۳۲۸۷	۸/۲۲۲	۰/۸۳	۳/۵۹۲۸
۴	T15	۴/۷۱۱۹	۸/۴۴۵	۰/۸۵	۴/۰۰۵۱
۵	T16	۴/۹۲۶	۸/۴۵۲	۰/۷	۳/۴۴۸۲
۶	T17	۵/۷۲۰۹	۹/۲۰۵	۰/۷۸	۴/۴۶۲۳
۷	T18	۵/۳۷۵۲	۸/۷۹۹	۰/۲۶	۱/۳۹۷۵
۸	T11	۴/۵۹۲۴	۹/۸۱۹	۰/۷۴	۳/۳۹۸۴
۹	T10	۵/۶۵۰۳	۱۰/۳۸۹	۰/۸۶	۴/۸۵۹۳
۱۰	T8	۴/۷۱۰۰	۱۰/۲۶۹	۰/۸۶	۴/۰۵۰۶
۱۱	T7	۵/۸۹۳۹	۱۰/۵۹۸	۰/۶۹	۴/۰۶۷
۱۲	T0	۳/۵۶۹۳	۷/۵۶۳	۱/۱۳	۴/۰۳۳۳

جدول ۴: نتایج برداشت افت فشار اصطکاکی و ضریب اصطکاک اتکینسون

ردیف	نقاط	محیط متوسط (m)	سطح مقطع متوسط (m^2)	فاصله (m)	شدت جریان متوسط (m^3/s)	افت فشار P_a	ضریب اصطکاک
۱	$T_{14} - T_{15}$	۸/۳۳۳	۴/۵۲۰۳	۸۲	۳/۷۹۸۹	۱/۹	18.4×10^{-4}
۲	$T_{14} - T_{16}$	۸/۳۷۳	۴/۶۵۵	۱۶۷/۴	۳/۶۸۲	۳/۲	17.3×10^{-4}
۳	$T_{12} - T_{17}$	۸/۳۹۳	۴/۷۲۳	۳۶۶/۴	۳/۸۳۰۹	۶/۷	15.9×10^{-4}

۳- نتیجه گیری و بحث

با توجه به اینکه نقاط T12 تا T17 به فاصله ۳۶۶/۴ متر و بدون هیچگونه انشعابی از همدیگر قرار گرفته اند از نتایج اندازه گیری آنها جهت تعیین ضریب اصطکاک استفاده شد. شدت جریان میانگین در این فاصله ۳/۸۳۰۹ متر مکعب بر ثانیه بوده است که با توجه به انحراف معیار ۰/۳۶۲۹ متر مکعب بر ثانیه، ضریب تغییرات اندازه گیری حدود ۹/۵ درصد بوده که با توجه به مشکلات اندازه گیری تهویه طبیعی از دقت

بالایی برخوردار است و می توان اظهار داشت که با ضریب اطمینان ۹۵ درصد شدت جریان راهروی عمود بر امتداد رگه در محدوده ۳/۴۵ تا ۴/۲۱ مترمکعب بر ثانیه باشد.

از طرف دیگر ضریب اصطکاک اتکینسون با توجه به افت های فشار در بین نقاط مختلف برابر 17.1×10^{-4} با انحراف معیار 0.966×10^{-4} بدست می آید که با ضریب اطمینان ۹۵ درصد و با توجه به نمونه ها و در دمای متوسط 24°C و رطوبت ۸۰ درصد و فشار جو ۶۸۷ میلی متر جیوه در فاصله 14.6×10^{-4} تا 19.6×10^{-4} قرار خواهد داشت ضریب تغییرات اندازه گیری حدود ۴/۵ درصد است.

چون شرایط اندازه گیری استاندارد نبوده است ضریب اصطکاک های بدست آمده با توجه به جرم مخصوص هوا باید استاندارد گردد. در شرایط اندازه گیری ، با فرض کامل بودن هوا ، جرم مخصوص عملی ۱/۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب خواهد بود. بنابر این طبق رابطه ۱۳ اعداد بدست آمده ، استاندارد خواهد شد.

$$\alpha_{std} = 17.1 \times 10^{-4} \times \frac{1.2}{1.05} = 19.5 \times 10^{-4}$$

$$16.7 \times 10^{-4} \leq \alpha_{std} \leq 22.4 \times 10^{-4} \quad (\text{ضریب اطمینان } 95 \text{ درصد})$$

همانطور که ملاحظه می گردد اعداد بدست آمده فقط کمی از اعداد جدول مرجع [۵] که محدوده را $(13-17) \times 10^{-4}$ ارائه داده است بیشتر می باشد. بنابراین اگر این روش را برای سایر معادن و تونل های حفر شده کشورمان بکار ببریم، می توان نتایج بسیار دقیق تری در مورد تونل هایی که با روش های جدید حفر و نگهداری می شوند بدست آورد و با اعمال این ضرایب دقیق در مدل های طراحی کامپیوتری تهویه تونلها، دقت طرح را بالاتر و از ایجاد فشار هوای بیشتر و یا کمتر که هر دو از نظر بهداشت هوای فضاها، زیرزمینی مشکل ساز است ، اجتناب به عمل آورد.

سپاسگزاری

از کلیه پرسنل مجتمع معدنی سرب نخلک خصوصاً آقایان علیرضا شبان و مهندس حمید منتظری هدش که امکان انجام این طرح تحقیقاتی را فراهم نمودند و همچنین استاد گرانقدر آقای مجتبی ایزدی و دانشجویان عزیز آقایان محمدرضا ایلایی و مهدی خدابخش که بدون مساعدت آنها انجام این طرح ممکن نبود، تشکر و قدردانی می شود.

منابع:

- ۱- مدنی حسن، [۱۳۸۱]: "تهویه در معادن"
- ۲- مجتمع معدنی سرب نخلک؛ گزارشات
- 3- Brian S, Ian M. Loomis; "Measurment of Frictional Pressure Differentials During a Ventilation Survey"
- 4- Ian J. Duckworth, Brian; "An Analysis of the Data obtained from Ventilation Studies of longwall panels"
- 5- Shochinsky A, Komarov V [1969]; "Mine ventilation"; Mir publishers

-
- 6- Sonntag, Borgankke, Van wylen, 2003; "Fundamentals of thermodynamics, 6th ed
7- TSI,2006; "Energy and comfort ventilation testing operation and service manual of
VELOCICALC Air velocity meter model 5725 and model 8705 DP-CALC
Micromanometer"