استاندارد ملی ایران
۲۰۸۱۷

چاپ اول
۱۳۹۴

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

INSO
20817
1st. Edition
2016

ارگونومی محیط‌های گرمایی- تعیین میزان سوخت و ساز

Ergonomics of the thermal environment— Determination of metabolic rate

ICS: 13.180

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ارگونومی محیط گرمایی- تعیین میزان سوخت و ساز

رئیس :	**سمت و/ یا نمایندگی**
دائی جواد، حسین (لیسانس مهندسی متالورژی)	کارشناس اداره کل استاندارد استان چهارمحال و بختیاری
دبیر:	
احمدی، حامد (لیسانس مهندسی صنایع)	مدیر تحقیق و توسعه شرکت تشگاز
اعضا: (به ترتیب حروف الفبا)	
احمدی، کریم (لیسانس علوم تجربی)	سرپرست ایمنی و بهداشت شرکت تشگاز
اعرابی، محمد جواد (فوق لیسانس مهندسی مکانیک)	مرکز رشد واحد های فناور
حاذق جعفری، کورش (دکترای دامپزشکی)	کارشناس مسئول گروه پژوهشی مهندسی پزشکی پژوهشکده برق، مکانیک و ساختمان پژوهشگاه استاندارد
داداشی، فریبا (فوق لیسانس مدیریت اجرایی)	شرکت بازرسی کیفیت و استاندارد ISQI
رحمتی، مهرداد (فوق لیسانس مهندسی صنایع)	کارشناس اداره کل استاندارد استان چهارمحال و بختیاری
رسولی هارونی، سلمان (فوق لیسانس مهندسی مکانیک)	مدیر عامل شرکت دانش بنیان کهکشان
سلیمی، مهرداد (فوق لیسانس مکانیک بیوسیستم)	کارشناس پارک علم و فناوری استان چهارمحال و بختیاری

سیف آقایی، فریده (فوق لیسانس بهداشت حرفه‌ای)	وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی (مرکز سلامت محیط کار)
فروتن، فرزاد (لیسانس مهندسی متالورژی)	شرکت مهندسی و تامین قطعات ایران خودرو (ساپکو)
کریمی، مصطفی (فوق لیسانس مهندسی مکانیک)	بنیاد نخبگان استان چهارمحال و بختیاری
محسنی، رسول (فوق لیسانس شیمی پلیمر)	شرکت مهندسی و تامین قطعات ایران خودرو (ساپکو)
محمد اسماعیلی، مرتضی (پزشک)	مرکز تحقیقات وزارت کار و امور اجتماعی
محمد نژاد، نوذر (لیسانس مهندسی مکانیک)	شرکت پویا پرتو تبریز
محمدی، وحید (فوق لیسانس مهندسی مکانیک)	پتروشیمی شازند اراک
مقصودیان، بابک (لیسانس مهندسی صنایع)	شرکت همگام خوردو
ملکی، علی (دکترای مکانیک بیو سیستم)	هیئت علمی دانشگاه شهرکرد

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
فهرست مندرجات		ه
پیش‌گفتار		و
مقدمه		ز
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصول و درستی	۲
۴	سطح۱، غربالگری	۴
۴-۱	جدول تخمین میزان سوخت و ساز به وسیله‌ی شغل	۴
۴-۲	طبقه بندی میزان سوخت و ساز به وسیله دسته‌بندی	۴
۵	سطح۲، مشاهدات	۵
۵-۱	تخمین میزان سوخت و ساز به وسیله‌ی شرایط کاری	۵
۵-۲	میزان سوخت و ساز برای فعالیت‌های عمومی	۵
۵-۳	میزان سوخت و ساز برای یک چرخه کاری	۵
۵-۴	تاثیرات مدت زمان دوره‌های استراحت و کاری	۶
۵-۵	به دست آوردن مقادیر با استفاده از درون‌یابی	۷
۵-۶	الزامات برای به کارگیری جداول میزان سوخت و ساز	۷
۶	سطح۳، آنالیز	۸
۶-۱	اندازه‌گیری میزان سوخت و ساز با استفاده از ضربان قلب	۸
۶-۲	رابطه میان ضربان قلب و میزان سوخت و ساز	۹
۷	سطح۴، اظهار نظر فنی	۱۰
۷-۱	تعیین میزان سوخت و ساز با استفاده از نرخ مصرف اکسیژن	۱۰
۷-۲	روش انرژی دریافت شده با استفاده از آب دو بار نشان‌دار برای اندازه‌گیری در دراز مدت	۱۶
۷-۳	کالری‌سنجی مستقیم- اصول	۱۷
پیوست الف (اطلاعاتی)	ارزیابی میزان سوخت و ساز در سطح۱، غربالگری	۱۸
پیوست ب (اطلاعاتی)	ارزیابی میزان سوخت و ساز در سطح۲، مشاهده	۲۱
پیوست پ (اطلاعاتی)	ارزیابی میزان سوخت و ساز در سطح۳، آنالیز	۲۵
پیوست ت (اطلاعاتی)	ارزیابی میزان سوخت و ساز در سطح۴، اظهار نظر فنی- مثال‌هایی برای محاسبه میزان سوخت و ساز بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده	۲۶

پیش‌گفتار

استاندارد "ارگونومی محیط گرمایی- تعیین میزان سوخت و ساز" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوطه توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در پانصد و شصت و هفتمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی تاریخ ۱۳۹۴/۱۲/۱۷ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و شرایط کاری، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استاندارد ارائه شود، درهنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرارخواهد گرفت. بنابراین برای رجوع به استانداردهای ملی ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده کرد.

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استانداردهای بین‌المللی و استاندارد ملی کشورهای صنعتی پیشرفته هماهنگی ایجاد شود.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 8996:2004, Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate

مقدمه

میزان سوخت و ساز عامل مهم تعیین کننده‌ای در آرامش یا تنش منتج از قرار گرفتن در معرض محیط گرمایی است. در آب وهواهای خیلی گرم، سطوح گرمای حاصل از سوخت و ساز به طور خاصی با فعالیت عضلانی افزایش می‌یابد. مقادیر بالای گرما نیازمند این است که اساساً به وسیله تعرق خارج شود.

ارگونومی محیط گرمایی- تعیین میزان سوخت و ساز

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین میزان سوخت و ساز به عنوان یک تبدیل شیمیایی به انرژی مکانیکی و گرمایی، میزان انرژی ماهیچه‌ای ناشی از بار کاری را اندازه‌گیری کرده و یک شاخص عددی از فعالیت را ارائه می‌کند. میزان سوخت و ساز یک شناسه‌ی مهم برای تعیین آسایش و یا کرنش[1] ناشی از مواجهه با یک محیط حرارتی است. به خصوص در اقلیم‌های گرم، سطوح بالای گرمای حاصل از متابولیسم مرتبط با کار ماهیچه‌ای، استرس حرارتی را تشدید می‌کند. بنابراین نیاز است که مقداری از گرما از بین برود که عمدتاً از طریق تبخیر عرق انجام می‌شود.

در این استاندارد تخمین‌ها، جداول و سایر داده‌ها بر اساس میانگین افراد متمایز زیر بستگی دارد.

یک مرد بالغ با وزن ۷۰kg و قد ۱٫۷۵ m (مساحت سطحی بدن $۱٫۸\ m^2$)

یک زن بالغ با وزن ۶۰kg و قد ۱٫۷۰m (مساحت سطحی بدن $۱٫۶\ m^2$)

بهتر است کاربران هنگام سر و کار داشتن با جمعیّت‌های خاص از جمله بچه‌ها، افراد مسن و افراد ناتوان جسمی و غیره اصلاحات مناسبی را اعمال نمایند.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات نامی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مرجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 9886, Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements[2]

2-2 ISO 15265, Ergonomics of the thermal environment — Risk assessment strategy for the prevention of stressor discomfort in thermal working conditions

---

1- Strain

۲- استاندارد ملی شماره ۱۴۳۵۴: سال ۱۳۹۰، ارگونومی- ارزیابی کرنش حرارتی با اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی

۳ اصول و درستی

اثربخشی مکانیکی کار عضلانی که کار مفید[1] نامیده می‌شود و آن را با W نشان می دهند، پایین است. در بیشتر انواع کارهای صنعتی به قدری پایین است (درصد کمی) که صفر فرض می‌شود. این بدین معناست که کل انرژی مصرفی در حین کار مساوی با تولید گرما فرض می‌شود. برای اهداف این استاندارد، میزان سوخت و ساز مساوی با تولید گرما در نظر گرفته می‌شود.

در جدول۱ فهرستی از روش‌های گوناگونی که برای دست‌یابی به میزان سوخت وساز در این استاندارد آورده شده، ارائه می شود.

این روش‌ها به دنبال دست‌یابی به فلسفه موجود در استاندارد ISO 15265 در خصوص ارزیابی در معرض قرار گرفتن شکل گرفته‌اند. در این جا ۴ سطح در نظر گرفته شده‌اند:

سطح ۱، غربالگری:

غربالگری دو روش ساده و آسان به منظور تشخیص سریع میانگین بارکاری برای شغل یا فعالیت ارائه شده را مورد استفاده قرار می دهد.

_ روش 1A بر اساس شغل طبقه‌بندی می‌شود.

_ روش 1B بر اساس نوع فعالیت طبقه‌بندی می‌شود.

هر دو روش صرفاً تخمین تقریبی که محدوده قابل توجهی از خطاها را نیز به دنبال دارد را نشان می‌دهد. که این روش میزان درستی را به طور قابل توجهی محدود می‌کند. دراین سطح، بازرسی محل کار ضروری نیست.

سطح ۲: مشاهده:

مشاهده دو روش برای افرادی که از شرایط کاری آگاهی کاملی دارند اما لزوماً به برنامه آموزشی ارگونومی مشخص کاری به طور متوسط در زمان خاص نیاز ندارند، این دو روش به شیوه زیر ارائه شده‌اند:

در روش2A : میزان سوخت و ساز با افزودن میزان سوخت و ساز پایه (میزان کالری مصرفی بدن در شرایط ثابت) و میزان سوخت و ساز برای حرکت بدن بسته به سرعت کار (با استفاده از جداول گروه ارزیابی) تعیین می شود.

در روش2B: میزان سوخت و ساز با استفاده از مقادیر جداول که برای فعالیت‌های مختلف وجود دارد تعیین می‌شود.

روش اجرایی برای ثبت فعالیت‌ها با زمان انجام آن‌ها و محاسبه میانگین میزان سوخت و ساز میانگین وزن‌دار زمان فعالیت‌ها و با استفاده از داده‌های روش‌های بالا محاسبه می‌شود.

احتمال خطا بالاست، برای تعیین میزان سوخت و ساز در وضعیت‌های کاری که با چرخه‌ای از فعالیت‌های مختلف درگیر است مطالعه زمان و حرکت لازم است.

سطح ۳: آنالیز، روشی است که افراد آموزش دیده در بهداشت شغلی و ارگونومی‌های محیط گرمایی را مخاطب قرار می دهد. میزان سوخت و ساز از ثبت ضربان قلب در بازه مشخص زمانی تعیین می‌شود. این روش برای تعیین غیر مستقیم میزان سوخت و ساز بر پایه نسبت بین جذب اکسیژن و ضربان قلب در شرایط خاص تعریف می شود.

1- Useful work

سطح ۴: اظهار نظر فنی:

اظهار نظر فنی در این سطح سه روش معرفی شده‌اند که نیاز به اندازه‌گیری‌های بسیار خاص توسط متخصصین نیاز دارند:

- در روش 4A، اکسیژن مصرفی در طول دوره‌های کوتاه مدت (۱۰min تا ۲۰ min) اندازه‌گیری می‌شوند. (یک مطاله دقیق زمان و حرکت برای نشان دادن دوره اندازه‌گیری معرف، لازم است)
- روش 4B، به اصطلاح ، روش آب دوبار نشان‌دار شده[1] با هدف مشخص کردن میانگین میزان سوخت و ساز در دوره‌های زمانی بیش از (۱ تا ۲ هفته) است.
- روش 4C، یک روش کالری‌متری (گرماسنجی) مستقیم می‌باشد.

عوامل اصلی مؤثر بر درستی برآورد به شرح زیر می‌باشند:

- تنوع فردی؛
- تفاوت در تجهیزات کاری؛
- تفاوت در سرعت کار؛
- تفاوت در فن‌آوری کار و مهارت؛
- تفاوت‌های جنسیتی و ویژگی‌های تن سنجی؛[2]
- تفاوت‌های فرهنگی؛
- هنگام استفاده از جداول، تفاوت بین ناظران و سطح آموزش آن‌ها.
- هنگام استفاده از سطح ۳، درستی ارتباط بین ضربان قلب و میزان جذب اکسیژن و سایر عوامل تنشی که برروی ضربان قلب تاثیر می‌گذارند، بررسی می‌شود.
- در سطح ۴، درستی اندازه‌گیری (تعیین حجم گاز و کسری از اکسیژن) بررسی می‌شود.

درستی نتایج، در واقع هزینه مطالعات را از سطح ۱ تا سطح ۴ افزایش می‌دهد. اندازه‌گیری سطح ۴ بیشترین دقت را به همراه دارد و تا حد ممکن است بهتر است دقیق ترین روش مورد استفاده قرار گیرند.

1 - Doubly labelled water
2- Anthropometric

جدول۱- سطوح تعین میزان سوخت و ساز

سطح	روش	درستی	بازرسی محیط کار
۱ غربالگری	1A : طبقه بندی بر اساس شغل	اطلاعات خام	ضرورتی ندارد لیکن اطلاعات نیازمند تجهیزات فنی و سازمان‌دهی کار می باشند
	1B : طبقه بندی بر اساس فعالیت	ریسک با خطای بالا	
۲ مشاهدات	2A : جدول ارزیابی گروه	ریسک با خطای بالا درستی ± 20%	زمان و حرکت مطالعه ضروری است
	2B : جداول برای فعالیت‌های ویژه		
۳ آنالیز	اندازه‌گیری ضربان قلب تحت شرایط معین	ریسک با خطای متوسط درستی ± 10%	مطالعه نیازمند مشخص کردن یک دوره‌ی آزمون است
۴ اظهار نظر فنی	4A: اندازه‌گیری مصرف اکسیژن	خطاها درون محدوده‌های درستی و یا در محدوده‌ی زمان و حرکت درستی: ± 5%	زمان و حرکت مطالعه ضروری است
	4B: روش آب دو بار نشان‌دار شده		بازرسی محیط کار ضروری نیست اما در اوقات فراغت باید فعالیت‌ها ارزیابی شوند
	4C: کالری‌سنجی مستقیم		بازبینی محیط کار ضروری نیست

۴ سطح ۱، غربالگری

۴-۱ جدول تخمین مقدار میزان سوخت و ساز بر اساس شغل

جدول الف-۱ پیوست الف این استاندارد میزان سوخت و ساز برای مشاغل مختلف را نشان‌می دهد. مقادیر مذکور، به طور متوسط مقادیری برای شغل تمام وقت بدون در نظر گرفتن اوقات استراحت طولانی‌تر (به عنوان مثال وقت ناهار) هستند. ممکن است به دلیل تفاوت در تکنولوژی، اجزاء کاری، سازمان‌دهی کاری و غیره نوسانات معنی داری به وجود آیند.

۴-۲ طبقه‌بندی میزان سوخت و ساز بر اساس طبقه‌بندی

میزان سوخت و ساز می‌تواند به صورت تقریبی با استفاده از طبقه‌بندی که در پیوست الف این استاندارد ارائه شده تخمین زده شود. جدول الف-۲ پیوست الف این استاندارد پنج طبقه از میزان سوخت و ساز که عبارتند از استراحت، پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا است را مشخص می‌کند. برای هر طبقه، یک میانگین و محدوده‌ای از میزان سوخت و ساز با مثال‌های آن ارائه شده است. این فعالیت‌ها به گونه‌ای فرض می‌شوند که استراحت‌های کوتاه مدت را در بر می‌گیرند. مثال‌های ارائه شده در جدول الف-۲ پیوست الف این استاندارد طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

۵ سطح ۲، مشاهده

۵-۱ تخمین میزان سوخت و ساز بر اساس الزامات وظایف کار[1]

در اینجا، از مشاهدات زیر میزان سوخت و ساز تخمین زده می‌شود.

- قسمت‌های بدن درگیر با کار: دو دست، یک بازو، دو بازو و کل بدن؛
- بار کاری برای قسمت‌های مختلف بدن: سبک، متوسط، سنگین که به طور نظری به وسیله افراد مشاهده کننده قضاوت شده است؛
- حالت بدن: نشسته، روی زانو، خمیده، ایستاده و ایستاده قوزکرده؛
- سرعت کاری.

جدول ب-۱ پیوست ب این استاندارد میانگین مقادیر و محدوده میزان سوخت و ساز برای یک فرد استاندارد در حالت نشسته به عنوان تابعی از قسمت‌های درگیر بدن و بار کاری درگیر را نشان می‌دهد. جدول ب-۲ اصلاحاتی که بایداضافه گردد هنگامی که وضعیت به غیر از حالت نشسته است. اضافی هنگام نشستن در حالت‌های گوناگون را ارائه می دهد.

۵-۲ میزان سوخت و ساز برای فعالیت‌های نوعی

جدول ب-۳ پیوست ب این استاندارد مقادیر میزان سوخت و ساز برای فعالیت‌های نوعی را نشان می‌دهد. این مقـادیر بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در بسیاری از آزمایشگاه‌های مختلف به دست آمده است.

۵-۳ میزان سوخت و ساز برای یک چرخه‌کاری

مشخص کردن میزان سوخت و ساز کلی چرخه کاری به اجرای مطالعه زمان و حرکت که شرح جزئیات کار را در بر می گیرد، نیاز دارد. این میزان با طبقه‌بندی هر فعالیت و به حساب آوردن عواملی نظیر مدت زمان هر فعالیت، مسافت پیموده شده، بالا رفتن از ارتفاع، برداشتن وزنه، تعداد فعالیت‌های انجام شده و غیره به دست می‌آید.

میانگین میزان سوخت و ساز وزنی زمانی[2] برای یک چرخه کاری می‌تواند از طریق میزان سوخت و ساز فعالیت مربوطه و مدت زمان خاص این فعالیت از طریق رابطه زیر به دست آید:

رابطه (۱)

$$M = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} M_i t_i$$

که در آن:

M میانگین میزان سوخت و ساز برای چرخه‌ی کاری بر حسب وات بر متر مربع؛

M_i میزان سوخت و ساز برای فعالیت i بر حسب وات بر متر مربع؛

t_i مدت زمان فعالیت i بر حسب دقیقه؛

1- Task requirements
2- Time-weighted

T مدت زمان انجام فعالیت بر حسب دقیقه، که در چرخه‌ی کاری لحاظ شده است و برابر مجموع زمان‌های جزئی t_i است.

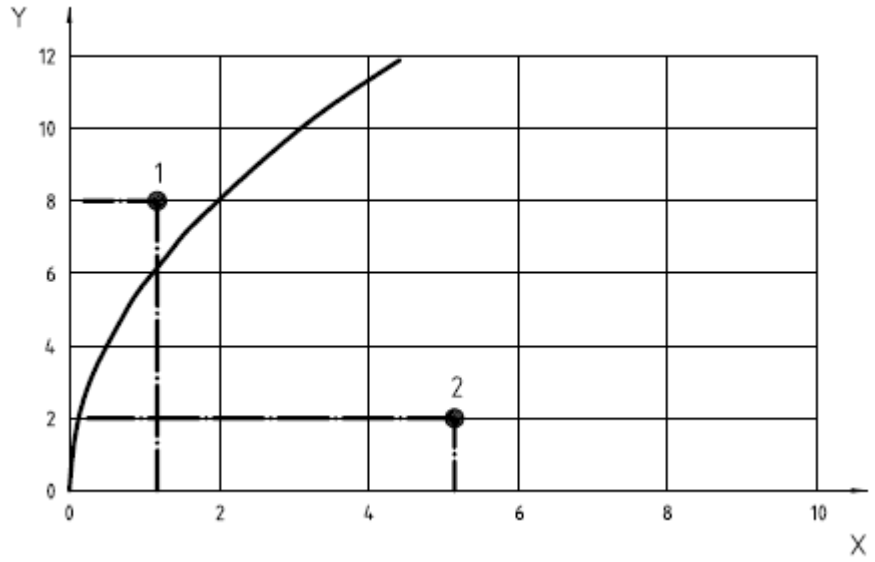
ثبت فعالیت‌های شغلی و مدت زمان انجام آن‌ها برای یک روز کاری و یا برای یک دوره خاص ممکن است با استفاده از یادداشت‌های روزانه به سهولت در جداول ب-۴ و ب-۵ پیوست ب این استاندارد بیان شود.
هنگامی که فعالیت‌ها با استفاده از کد طبقه‌بندی برگرفته از جداول تخمین میزان سوخت و ساز به وسیله وظایف کار تغییر داده می‌شوند، ثبت می شوند. تعداد وظیفه‌ها به پیچیدگی نوع فعالیت، بستگی دارد.
روش اجرایی به شرح زیر است:
الف- نام و سایر جزئیات فرد مورد مطالعه را پر کنید؛
ب- کار شخص مورد مطالعه (را حداقل برای ۲ تا ۳ ساعت) مشاهده کنید؛
پ- هر وظیفه کار را به طور جداگانه و مطابق میزان سوخت و ساز تخمین زده شده از جداول ب-۱ و ب-۲ و ب- ۳ تعیین کنید؛
ت- همیشه هنگام تغییر وظیفه کاری آن را در یادداشت روزانه پر کنید؛
ث- کل مدت زمان سپری شده در هر وظیفه کاری را محاسبه کنید؛
ج- مدت زمان سپری شده در هر وظیفه کاری بر حسب مطابقت با میزان سوخت و ساز را ضرب کنید؛
چ- مقادیر را بیافزایید؛
ح- حاصل جمع را بر کل مدت زمان دوره مشاهده تقسیم کنید.
فرم‌های ارزیابی در جداول ب-۴ و ب-۵ ارائه شده است.

۴-۵ تأثیر طول زمان دوره‌های استراحت و کاری

جداول پیوست ب نمی‌توانند برای ارزیابی میانگین میزان سوخت و ساز برای شرایط کاری با توالی متناوب در دوره‌های کوتاه مدت فعالیت و دوره‌های استراحت دراز مدت مورد استفاده قرار گیرد. در این مورد، تکنیک بیان شده در زیربند ۵-۳ میزان سوخت و ساز ناچیزی که به اثر سیمونسون[1] مشهور است را نشان می‌دهد. حدود تایید ترکیبی از دوره‌های کار و استراحت به صورت منحنی در شکل۱ نشان داده شده است. مثال ۱ یک چرخه ۸ دقیقه استراحت و یک دقیقه کار را نشان می‌دهد. در این مورد، تکنیک بیان شده در زیربند ۵-۳ یک میزان سوخت و ساز ناچیز را مطرح می‌کند و از جداول پیوست ب این استاندارد نمی‌توان استفاده نمود. برای چرخه‌های کار- استراحت مانند مثال ۲ جداول می‌توانند با درستی نشان داده شده مورد استفاده قرار گیرند.
شکل۱ فقط در صورتی که هیچ‌گونه بار کاری فیزیکی در مدت زمان دوره‌های استراحت وجود نداشته باشد به کار برده می‌شود.

1- Simonson effect

افزایش میزان سوخت و ساز از طریق تاثیر آن بر نوع کار و گروه‌های عضلات مورد استفاده بستگی دارد. از آن جایی که در این سطح از ارزیابی پیچیدگی کار و افزایش میزان سوخت و ساز ارتباط اندکی وجود دارد. اطلاعات بیشتر در خصوص این مسئله در اینجا ارائه نشده است.



راهنما

X طول دوره کاری، بر حسب دقیقه

Y طول وقت استراحت، بر حسب دقیقه

1 مثال ۱

2 مثال ۲

شکل ۱- منحنی نمایش تأیید حدود ترکیبی از دوره‌های کار و استراحت در تخمین میزان سوخت و ساز

۵-۵ به دست آوردن مقادیر به وسیله درون‌یابی

به دست آوردن مقادیر میزان سوخت و ساز از طریق درون یابی امکان پذیر است. در زمانی که سرعت کار با مقادیر ارائه شده در جداول پیوست ب این استاندارد متفاوت است تنها درون‌یابی در گستره ٪۲۵± از سرعت‌های نشان داده شده ارائه شده است.

۵-۶ الزامات جداول مربوط به شرایط مرتبط با میزان سوخت و ساز

اجازه دهید مقادیر حاصل از منابع گوناگون و مقادیر گزارش شده در جداول موجود در پیوست‌های الف و ب را با رعایت کار فرد استاندارد در یک محیط گرمایی راحت مقایسه شود.

میزان سوخت و ساز برای شخصی که وظیفه‌ای به او محوّل شده ممکن است بین حدود معینی پیرامون مقدار میانگین که در جداول داده شده از طریق تأثیر بر فاکتورهایی که در بند ۳ آمده است تغییر کند.

به هر حال، می‌تواند از طریق زیر تخمین زده شود:

- برای یک کار و تحت شرایط یکسان کاری میزان سوخت و ساز از شخصی به شخص دیگر حدود ٪۵± تغییر می کند.

- برای یک شخص که در یک فعالیت آموزش دیده میزان تغییر تحت شرایط آزمایشگاهی حدود ٪۵ می‌باشد.
- در شرایط واقعی کار یعنی وقتی که فعالیت دقیقاً از یک آزمون به آزمون دیگر یکسان نباشد تغییری حدود ٪۲۰ را می‌توان انتظار داشت.

با در نظر گرفتن میزان ریسک این خطا این موضوع به طور طبیعی قابل توجیه نیست و در این سطح ارزیابی باید قد و جنسیت را در نظر گرفت.

با لحاظ کردن وزن شرکت‌کنندگان در آزمون تنها می‌توان فعالیت‌هایی مانند حرکات کل بدن مانند راه رفتن، بالا رفتن، برداشتن وزنه را مورد آزمون قرار داد.

در شرایط خیلی گرم به دلیل افزایش ضربان قلب و میزان تعرق یک بیشینه افزایش ۵ $W.m^{-2}$ به ۱۰$W.m^{-2}$ مورد انتظار است.

از سوی دیگر در شرایط سرد افزایش تا ۲۰۰ $W.m^{-2}$ ممکن است در حالت لرزیدن مشاهده شود. پوشیدن لباس‌های سنگین ممکن است میزان سوخت و ساز را افزایش خواهد داد و میزان سوخت و ساز را با کاهش سهولت در حرکت و افزایش وزن مواجه سازد.

۶ سطح ۳، آنالیز

۶-۱ تخمین میزان سوخت و ساز با استفاده از ضربان قلب

ضربان قلب در یک بازه‌ی زمانی از حاصل جمع چندین وظیفه به دست می‌آید:

رابطه (۲) $$HR=HR_O+\Delta HR_M+\Delta HR_S+\Delta HR_T+\Delta HR_N+\Delta HR_E$$

که در آن:

HR_O ضربان قلب، تپش در دقیقه، استراحت در وضعیت طاق باز در شرایط گرمایی خنثی؛

ΔHR_M افزایش ضربان قلب، تپش در دقیقه، ناشی از حجم دینامیکی عضلات تحت شرایط(حرارتی) خنثی؛

ΔHR_S افزایش ضربان قلب، تپش در دقیقه، ناشی از کار عضلانی استاتیکی (این وظیفه به رابطه بین نیروی استفاده شده و بیشینه نیروی فرد داوطلب در گروه عضلانی کاری بستگی دارد)؛

ΔHR_T افزایش در ضربان قلب، تپش در دقیقه، ناشی از استرس حرارتی (وظیفه دما در استاندارد ملی شماره ۱۴۳۵۴به بحث گذاشته شده است)؛

ΔHR_N افزایش ضربان قلب، تپش در دقیقه، ناشی از بار کاری فکری؛

ΔHR_E تغییر ضربان قلب، تپش در دقیقه، ناشی از سایر عوامل از قبیل اثرات تنفسی، ریتم‌های شبانه‌روزی، تبخیر آب بدن.

در مورد کار جنبشی که عضلات نقش به سزایی دارند با کارهایی که عضلات در آن ساکن و یا در حالت استاتیک هستند و در نبود تنش گرمایی و ذهنی میزان سوخت و ساز ممکن است به وسیله اندازه‌گیری ضربان قلب حین کار به وجود بیاید. در چنین شرایطی رابطه خطی بین میزان سوخت و ساز وضربان قلب به وجود می‌آید. اگر محدودیت‌هایی که در بالا ذکر شد در نظر گرفته شوند، این روش می‌تواند درست‌تر از روش تخمین سطح ۱ و ۲ باشد (به جدول ۱

مراجعه شود) و نسبت به اندازه‌گیری اکسیژن مصرفی که بیشترین درستی نتایج را فراهم می‌کند، پیچیدگی کمتری دارد.

ضربان قلب ممکن است به طور مداوم به عنوان مثال با استفاده از تجهیزات دورسنجی[1] ثبت شود یا با تقلیل بیشتر در درستی به طور دستی به وسیله محاسبه ضربان سرخرگ اندازه‌گیری می‌شود. (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۳۵۴ مراجعه شود).

میانگین ضربان قلب HR ممکن است در یک بازه زمانی ثابت محاسبه شود، به عنوان مثال یک دقیقه در چرخه‌های کاری گوناگون یا زمان کلی تغییر.

در حضور بار گرمایی قابل ملاحضه، کار استاتیکی و کار دینامیک با گروه‌های عضلات کوچک و/یا بارهای ذهنی، شیب و فرم ضربان قلب نسبت به میزان سوخت و ساز می‌تواند تغییر به سزایی داشته باشد. روش اجرایی مورد استفاده در اصلاح اندازه‌گیری ضربان قلب برای اثرات گرمایی در استاندارد ملی شماره ۱۴۳۵۴ بیان شده است.

۶-۲ رابطه بین ضربان قلب و میزان سوخت و ساز

رابطه بین ضربان قلب و میزان سوخت و ساز می‌تواند با ثبت ضربان قلب در مراحل گوناگون بار عضلانی تعریف شده حین آزمایش در محیط خنثی[2] اندازه‌گیری شود. ضربان قلب و مطابق با اکسیژن مصرفی یا انجام کار فیزیکی در حین کار عضلانی جنبشی در مراحل باری گوناگون اندازه‌گیری می‌شود. از آن جایی که نوع کار (چرخه ارگومتر، تست پله و تردمیل) و توالی و مدت زمان مراحل بار روی هر دو پارامتر تأثیرگذار است، لازم است از روش اجرایی استاندارد کردن استفاده شود.

به طور کلی، رابطه خطی برای گسترده‌های زیر نیز در نظر گرفته می‌شود؛

- از محدوده‌های پایین‌تر از ۱۲۰ bpmضربان در هر دقیقه زیرا وظیفه ذهنی می‌تواند نادیده گرفته شود.
- تا ۲۰ ضربان زیر بیشینه ضربان قلب، ضربان قلب بالای این مقادیرتمایل به هم ترازی دارد.

در این محدوده، رابطه بین ضربان قلب و میزان سوخت و ساز به صورت زیر می‌باشد:

$$HR = HR_O + RM \times (M - M_O)$$ رابطه (۳)

که در آن:

M میزان سوخت و ساز برحسب وات بر متر مربع؛

M_O میزان سوخت و ساز در استراحت بر حسب وات بر متر مربع؛

RM افزایش ضربان قلب در هر واحد میزان سوخت و ساز؛

HR_O ضربان قلب در استراحت، تحت شرایط گرمایی خنثی.

این رابطه برای نتیجه‌گیری میزان سوخت و ساز از ضربان قلب مورد استفاده قرار می گیرد.

1- Telemetric

2- Neutral climatic

وقتی این رابطه بر اساس اندازه‌های M و HR در طول یک آزمایش محاسبه می‌شود، دقت می‌تواند تا حدود ٪۱۰ تخمین زده شود.

با افت بیشتر درستی تعبیر می‌تواند از این تخمین مشتق شود:

- ضربان قلب در حالت استراحت تحت شرایط گرمایی خنثی HR_O؛

میزان سوخت و ساز در استراحت M_O (برابر با ۵۵ وات بر متر مربع)؛

- بیشینه ظرفیت کاری MWC[1] با استفاده از رابطه‌های زیر با متغیر سن (A به سال) و وزن با متغیر (P به کیلوگرم).

رابطه (۴) مرد: $MWC=(41.7-0.22A)P^{0.666}W.M^{-2}$

رابطه (۵) زن: $MWC=(35.0-0.22A)P^{0.666}W.M^{-2}$

- بیشینه ضربان قلب HR_{max} با استفاده از رابطه زیر:

رابطه (۶) $HR_{max}=205-0.26A$

- رابطه (۷) $RM=(HR_{max}- HR_O)/(MWC-M_O)$

جدول پ-۱ در پیوست پ به طور مستقیم رابطه‌ی HR-M برای سنین ۲۰ تا ۶۰ سال و وزن ۵۰ تا ۹۰ کیلوگرم را تخمین زده شده است. دقت در این شرایط، بیشتر کاهش می‌یابد.

۷ سطح۴، اظهار نظر فنی

۷-۱ تعیین میزان سوخت و ساز با اندازه‌گیری میزان اکسیژن مصرفی

۷-۱-۱ روش‌های جامع و جزئی

میزان سوخت و ساز می‌تواند به دو روش اصلی زیر تعیین شود:

- روش جزئی، مورد استفاده برای کارهای سبک و نیمه سنگین
- روش جامع، مورد استفاده برای کارهای سنگین در مدت کوتاه مدت

استفاده از این دو روش اصلی به صورت زیر توجیه است:

در شرایط کار سبک و نیمه سنگین، میزان اکسیژن دریافت شده در یک حالت پایدار مساوی با اکسیژن مورد نیاز بعد از یک دوره کوتاه کاری است.

در خصوص کار سنگین، اکسیژن مورد نیاز بالاتر از حدود توان هوازی دراز مدت و در مورد کارهای بسیار سنگین بالاتر از بیشینه توان هوازی است. در حین کار سخت اکسیژن دریافتی نمی‌تواند اکسیژن مورد نیاز را جبران کند.

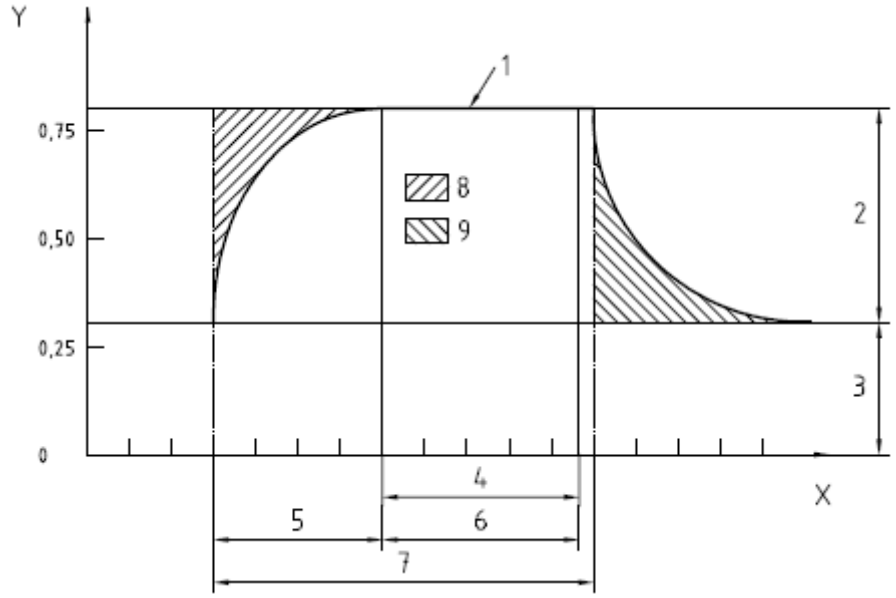
1- Maximum working capacity

کمبود اکسیژن بعد از توقف کار موازنه می‌شود بنابراین اندازه‌گیری شامل مدت زمان انجام کار و مدت زمان استراحت متعاقب آن است. روش کامل برای محاسبه میزان اکسیژن مصرفی بیش از ۶۰ لیتر در هر ساعت که برابر با ۱ لیتر در هر دقیقه است باید مورد استفاده قرار بگیرد.

شکل ۲ روش اجرایی به دنبال استفاده از روش جزئی را نشان می‌دهد.

از آن جایی که حالت ثابت تنها بعد از ۳ یا ۵ دقیقه به دست می‌آید مجموع هوای بازدم پس از حدود ۵ دقیقه (دوره مقدماتی) بدون توقف کار محاسبه می‌شود.

کار برای ۵ یا ۱۰ دقیقه (دوره اصلی) ادامه می‌یابد. مجموع هوا می‌تواند یا به صورت کامل (برای مثال کیسه دوگلاس[1]) یا به صورت نمونه برداری منظم (برای مثال با گاز سنج) به دست آید. این روند پس از اتمام کار، متوقف می‌شود.



راهنما

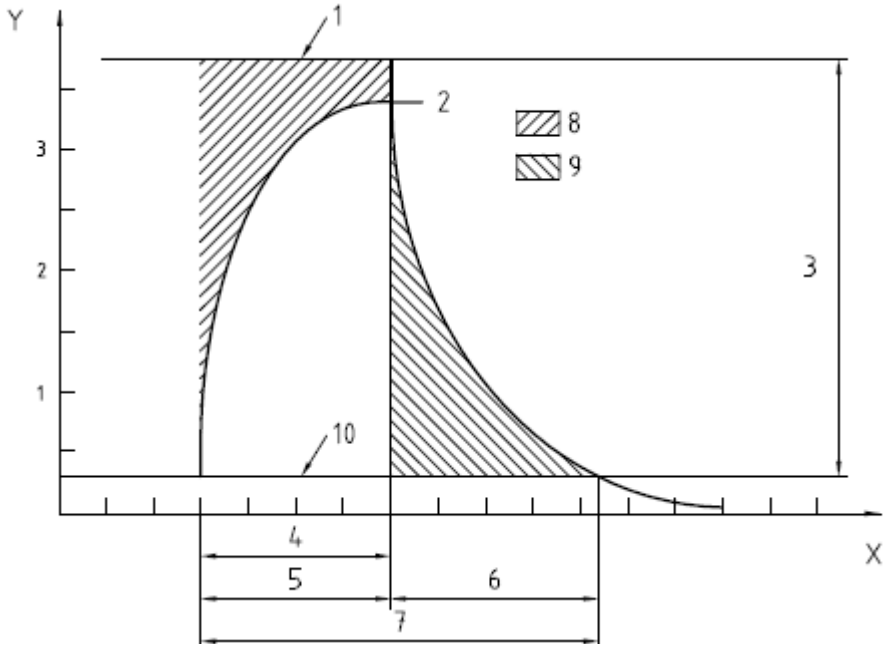
X	زمان بر حسب دقیقه	۵	دوره‌ی مقدماتی
Y	جذب اکسیژن بر حسب $l.min^{-1}$	۶	دوره‌ی اصلی
۱	اکسیژن مورد نیاز	۷	دوره‌ی کار
۲	افزایش میزان سوخت و ساز ناشی از کار	۸	کمبود اکسیژن
۳	خط مبنا میزان سوخت و ساز	۹	جبران کمبود اکسیژن
۴	دوره اندازه‌گیری		

شکل ۲ – اندازه‌گیری میزان سوخت و ساز با استفاده از روش جزئی

1- Douglas bag

به وسیله روش جامع (به شکل ۳ مراجعه شود)، مجموع هوای بازدم بلافاصله بعد از شروع دوره کاری و ادامه دوره کار در زمانی معین، که معمولاً بیش از ۲ یا ۳ دقیقه نیست، (دوره اصلی) می باشد. در انتهای دوره کاری از شرکت کننده در آزمایش درخواست می‌شود که بنشیند و مجموع هوا تا زمان استراحت محاسبه می‌شود. در مدت زمان بازیابی کسری اکسیژن در حین کار جبران می‌شود. از آن جایی که اندازه‌گیری‌ها شامل کار (دوره اصلی) و فعالیت نشستن (دوره بازیابی) است که میزان سوخت و ساز مورد نیاز برای نشستن از تفاضل مقدار اندازه‌گیری شده به منظور به دست آوردن میزان سوخت و ساز وابسته به کار به طور مجزا به دست می‌آید.

لازم است که مطالعه حرکت و زمان ثبت شود و تداوم فعالیت‌های مکرر برای ارزیابی بیشتر نتایج و مقایسه میزان سوخت و ساز با داده‌ها در مطالعات قبلی مورد استفاده قرار بگیرد. مثال‌هایی از محاسبه میزان سوخت و ساز در پیوست ت این استاندارد آمده است.



راهنما

X	زمان بر حسب دقیقه	۵	دوره‌ی اصلی
Y	جذب اکسیژن بر حسب $l.min^{-1}$	۶	دوره بازفت
۱	اکسیژن مورد نیاز	۷	دوره اندازه‌گیری
۲	بیشینه توان هوازی	۸	کمبود اکسیژن
۳	افزایش میزان سوخت و ساز ناشی از کار	۹	جبران کمبود اکسیژن
۴	دوره کاری	۱۰	خط مبنا میزان سوخت و ساز

شکل ۳- اندازه‌گیری میزان سوخت و ساز با استفاده از روش جامع

۷-۱-۲ تعیین میزان سوخت و ساز از میزان مصرف اکسیژن

از آن جایی که بدن انسان می‌تواند مقدار خیلی کمی اکسیژن ذخیره کند با تنفس مداوم باید اکسیژن را از هوا دریافت کند. ماهیچه‌ها می‌تواند برای مدت کوتاهی بدون اکسیژن کار کنند (کار بی هوازی)[1] اما برای مدت طولانی‌تر سوخت وساز هوازی منبع اصلی انرژی است.

با اندازه‌گیری میزان اکسیژن مصرفی، میزان سوخت و ساز می‌تواند تعیین شود. معادل انرژی اکسیژن برای تبدیل میزان مصرف اکسیژن به میزان سوخت و ساز استفاده می‌شود. رابطه انرژی به نوع سوخت و سازی که به وسیله خارج قسمت تنفسی (RQ)[2] نشان داده شده، بستگی دارد. در تعیین میزان سوخت و ساز استفاده از میانگین ضریب تنفس RQ ۰٫۸۵و معادل انرژی (EE) ۵٫۶۷W.h/l، غالباً کافی است. در مواردی که اندازه‌گیری میزان تولید دی اکسید کربن مورد نیاز نیست بیشینه خطای ممکن ٪۳/۵± بوده و به طور کلی خطا از یک درصد بیشتر نمی‌شود.

میزان سوخت و ساز می‌توانند از رابطه‌های زیر بدست آیند:

رابطه (۸)
$$RQ = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}}$$

رابطه (۹)
$$EE=(0.23RQ+0.77)5.88$$

رابطه (۱۰)
$$M=EE\times V_{O_2}\times\frac{1}{A_{DU}}$$

که در آن:

RQ نسبت تنفسی؛

$\dot{V}_{O_2}$ میزان مصرف اکسیژن، برحسب لیتر اکسیژن در ساعت؛

$\dot{V}_{CO_2}$ میزان تولید دی اکسید کربن، برحسب لیتر دی اکسید کربن در ساعت؛

EE معادل انرژی، برحسب وات ساعت در لیتر اکسیژن ($W.h/lO_2$)؛

M میزان سوخت و ساز، برحسب وات به متر مربع؛

A_{DU} ناحیه سطح بدن، در هر متر مربع که به وسیله رابطه Du Bois به دست می‌آید:

رابطه (۱۱)
$$A_{DU} = 0.202 \times W_b^{0.425} \times H_b^{0.725}$$

که در آن:

W_b وزن بدن، برحسب کیلوگرم؛

H_b قد، برحسب متر.

1- Anaerobic work

2 – Respiratory quotient

۷-۱-۳ تعیین جذب اکسیژن

روش تعیین جذب اکسیژن در زیر بندهای زیر بیان شده است.

۷-۱-۳-۱ محاسبه فاکتور کاهش، STPD

برای تعیین جذب اکسیژن مورد نیاز داده‌های زیر اندازه‌گیری و ثبت شود:

الف- اطلاعات شخصی: جنس، وزن، قد و سن؛

ب- روش اندازه‌گیری؛

پ- مدت زمان اندازه‌گیری: روش جزئی یا روش کلی مطابق با آن‌چه در زیربند ۷-۱-۱ بیان شده است؛

ت- فشار هوای؛

ث- حجم هوای مصرفی؛

ج- دمای هوای مصرفی؛

چ- کسر اکسیژن در هوای مصرفی؛

ح-کسر دی اکسید کربن در هوای مصرفی اگر میزان RQ مورد نیاز باشد.

حجم گاز باید در $\theta = 0°c$ و فشار جو نرمال $p=101.3kpa$ برای یک گاز خشک (یعنی شرایط در دما و فشار استاندارد هوای خشک) از آنجا که مجموع هوا با میزان آب تبخیری اشباع می‌شود (فشار اشباع تابعی از دما است) و دمای آن به وسیله دمای محیط معین می‌شود (شرایط ATPS، فشار و دمای هوای اشباع شده) فاکتور کاهش f می‌تواند از رابطه زیر با استفاده از فشار جزئی بخار آب محاسبه شود (به جدول ۲ مراجعه شود).

رابطه (۱۲)

$$f = \frac{273 \times (p - pH_2o)}{(273 + \theta) \times 101.3}$$

که در آن:

f فاکتور کاهش؛

p میزان فشار هوا، برحسب کیلو پاسکال؛

θ دمای هوای مصرفی، بر حسب درجه سلسیوس، اندازه‌گیری با کنتور گاز- متر یا دمای فرضی محیط در زمانی که کیسه دوگلاس استفاده می‌شود؛

PH_2o فشار جزئی بخار آب اشباع شده، برحسب کیلو پاسکال، مطابق با دمای θ (به جدول ۲ مراجعه شود).

جدول۲- فشار بخار آب اشباع شده (kpa) برای دمای بین°C ۱۰ تا °C ۳۷(با تفکیک پذیری °C۱)

دما (°C)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	۱٫۲۳	۱٫۳۱	۱٫۴۰	۱٫۵۰	۱٫۶۰	۱٫۷۰	۱٫۸۲	۱٫۹۴	۲٫۰۶	۲٫۲۰
۲۰	۲٫۳۴	۲٫۴۹	۲٫۶۴	۲٫۸۱	۲٫۹۸	۳٫۱۷	۳٫۳۶	۳٫۵۶	۳٫۷۸	۴٫۰۰
۳۰	۴٫۲۴	۴٫۴۹	۴٫۷۵	۵٫۰۳	۵٫۳۲	۵٫۶۲	۵٫۹۴	۶٫۲۷	-	-

اگر مجموع هوای مصرفی به وسیله محیط به دمای بالاتر **°C** ۳۷ برسد، از فشار آب بخار اشباع شده از ۶٫۲۷kpa در دمای ۳۷°C باید استفاده شود.

۷-۱-۳-۲ محاسبه حجم مصرفی، STPD

رابطه (۱۳)

$$V_{ex}STPD=V_{ex}ATPS\times f$$

که در آن:

$V_{ex}STPD$ حجم مصرفی، برحسب لیتر، در STPD؛

$V_{ex}ATPS$ حجم مصرفی، برحسب لیتر، در ATPS؛

f در زیر بند ۷-۱-۳-۱ تعیین شده است.

۷-۱-۳-۳ محاسبه میزان جریان حجمی

رابطه (۱۴)

$$\dot{V}_{ex} = \frac{V_{ex}STPD}{t}$$

که در آن:

$\dot{V}_{ex}$ میزان جریان حجمی، برحسب لیتر در ساعت؛

t مدت زمان آزمون در هر ساعت یعنی دوره اصلی برای روش جزئی و دوره‌های اصلی و بازیابی برای روش جامع.

۷-۱-۳-۴ محاسبه میزان اکسیژن مصرفی

رابطه (۱۵)

$$\dot{V}_{o2} = \dot{V}_{ex} \times (0209 - F_{o2})$$

که در آن:

$\dot{V}_{o2}$ میزان اکسیژن مصرفی، برحسب لیتر اکسیژن در ساعت؛

F_{o2} کسری از اکسیژن در هوای مصرفی.

۷-۱-۳-۵ محاسبه میزان تولید دی اکسید کربن

رابطه (۱۶)

$$\dot{V}_{co2} = \dot{V}_{ex} \times (F_{co2} - 0.0003)$$

که درآن:

$\dot{V}_{co2}$ میزان تولید دی‌اکسیدکربن، بر حسب لیتر دی‌اکسیدکربن در ساعت؛

F_{co2} کسری از دی‌اکسیدکربن در هوای مصرفی.

۷-۱-۳-۶ اثر انقباضی حجم بازدمی

اگر رابطه RQ≠1 باشد حجم‌های دم و بازدم شده هم اندازه نیستند. اثر انقباضی می‌تواند از رابطه‌های زیر در نظر گرفته شود:

رابطه (۱۷)

$$\dot{V}_{o2} = \dot{V}_{ex}[0.265\ (1 - F_{o2} - F_{co2}) - F_{o2}]$$

رابطه (۱۸)

$$\dot{V}_{co2} = \dot{V}_{ex}\left[F_{co2} - (1 - F_{o2} - F_{co2})0.380 \times 10^{3}\right]$$

۷-۱-۴ محاسبه میزان سوخت و ساز

۷-۱-۴-۱ روش جزئی

میزان سوخت و ساز از طریق جذب اکسیژن و معادل انرژی آن با استفاده از رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

۷-۱-۴-۲ روش کلی

روش محاسباتی زیر در استفاده از روش انتگرال‌گیری زمانی‌که صرفاً اختلاف بین میزان سوخت و ساز کل اندازه‌گیری شده و میزان سوخت و ساز معین فعالیت مشخصی در طی دوره بازیابی موجود است، مانند عمل نشستن که مرتبط با خود کار است مورد استفاده قرار گیرد.

در ابتدا، میزان سوخت و ساز از روش جزئی مشتق می‌شود و سپس تبدیل زیر صورت می‌گیرد.

رابطه (۱۹)

$$M = \left(M_P \times \frac{t_m + t_r}{t_m}\right) - \left(M_S \times \frac{t_r}{t_m}\right)$$

که در آن:

M میزان سوخت و ساز، برحسب وات بر متر مربع؛

M_P میزان سوخت و ساز، برحسب وات بر متر مربع برای روش جزئی؛

M_S میزان سوخت و ساز، برحسب وات بر متر مربع در زمان وضعیت نشسته؛

t_m طول دوره‌ی اصلی، برحسب دقیقه؛

t_r طول دوره‌ی بازیابی، برحسب دقیقه.

۲-۷ روش استفاده از آب دو بار نشان‌دار شده برای اندازه‌گیری‌های بلند مدت

زیر مجموعه‌ها فقط اصول روش را بیان می‌کنند.

فرد میزان درست و مشخص وزنی با دز معینی از آب $^{2}H_2{}^{18}O$ را می‌نوشد. سپس ادرار او تاحد معینی به عنوان حجم نمونه جمع آوری می‌گردد.

ایزوتروپ دوتریوم (^{2}H) برچسب ذخیره آب بدن و میزان دفع آب از بدن ($k2$) یک اندازه‌گیری از برگشت آب را تأمین می‌کند (rH_2O).

برچسب ^{18}O(k_{18}) نشانگر توده بی‌کربنات و آب در توازن سریع واکنش به دی هیدرات شدن کربن است.

میزان دفع ^{18}O مقیاسی از باقیمانده آب و بی‌کربنات را نشان می‌دهد بنابراین باقی‌مانده بی‌کربنات (یعنی میزان تولید دی‌اکسیدکربن می‌تواند از طریق تفاوت بین دو مقدار متوالی ^{18}O به دست آید.

میزان تولید دی‌اکسیدکربن که می‌تواند به انرژی تبدیل شود با استفاده از محاسبه معمول کالری‌متری غیر مستقیم به دست آید. دقت اولیه ایزوتروپ‌ها نشان‌دهنده اندازه‌گیری فضاهای ^{2}H و ^{18}O است که برای محاسبه ترکیبات بدن به کار می‌رود. این روش نیازمند اندازه‌گیری حداقل ۲ نیمه عمر ایزوتروپ زیست شناختی می‌باشد که در خردسال‌ها کمینه تست ۶ روز و در بزرگسالان حدود ۱۲تا ۱۴ روز است و در افراد مسن می‌تواند بیشتر باشد.

بر خلاف کالری سنجی کل بدن و فرآیندهای بالانس و دریافتی در بسیاری از مطالعات روش (DLW) از چند لحاظ مورد تایید قرار گرفته است. در هیچکدام از این‌ها، تفاوت چندانی بین روش (DLW) و روش مقایسه‌گر در شرایط ثابت ثبت نشده است دقت کلی این روش حدود ٪۵± است که این میزان به شرایط پایدار هم بستگی دارد.

گرچه تکنیک (DLW) از لحاظ مفهومی ساده است، اما جزئیات پیچیده‌ای دارد که در حین استفاده می‌توان به آن‌ها پی برد.

۳-۷ کالری‌متری مستقیم- اصول

اندازه‌گیری کالری‌متری مستقیم میزان انرژی که گرما از بدن به محیط انتقال می‌دهد را محاسبه می‌کند. گرما از طریق غیرتبخیری (مانند تشعشع، همرفت و رسانش) و از طریق تبخیر آب منتقل می‌شود. کالری‌سنجی مستقیم معمولاً یک اندازه‌گیری کلی از بدن است که در محدوده مشخصی که از یک سیستم تعویض گرمای بدن استفاده می‌شود. وظایف غیر تبخیری تبادل گرما به طور غیرفعال در غالب شیب دما در طول دیواره‌های یک اتاقک عایق هستند و یا به طور فعال با اندازه‌گیری میزان گرمایی که باید از یک اتاقک خارج شود گرما از یک دیواره‌ی نارسانا عبور نکند، جلوگیری شود. تأثیرات از دست دادن گرما به صورت تبخیری بر رطوبت محیط تأثیر می‌گذارد و نیازمند اندازه‌گیری‌های جداگانه است که یا با متراکم‌سازی آب در یک اتاقک انجام می‌شود و محتوی آب پنهان در هوا بدون تراکم محاسبه شود یا گرمای پنهان همراه با تبخیر نیز محاسبه می‌گردد. از دست دادن گرما به طور کلی به عنوان مجموعه عناصر تبخیر شونده و غیر تبخیر شونده تخمین زده می‌شود.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

ارزیابی میزان سوخت و ساز در سطح۱، غربالگری

این پیوست اطلاعاتی برای استفاده ساده و آسان ویژگی‌های بار کاری برای شغل یا برای فعالیت ارائه شده مطابق با دو روش برای سطح ۱ در اختیار شما قرار می‌دهد.

روش الف-۱ : طبقه بندی بر اساس شغل

جدول الف-۱- میزان سوخت و ساز برای شغل‌های مختلف

شغل		میزان سوخت و ساز ($W.m^{-2}$)
کار اداری	کار نشسته	۵۵ تا ۷۰
	کارمنشی‌گری	۷۰ تا ۱۰۰
	سرایدار	۸۰ تا ۱۱۵
کارهای مهارت دستی	بنایی	۱۱۰ تا ۱۶۰
	نجاری	۱۱۰ تا ۱۷۵
	شیشه‌بر	۹۰ تا ۱۲۵
	نقاش	۱۰۰ تا ۱۳۰
	نانوا	۱۱۰ تا ۱۴۰
	قصاب	۱۰۵ تا ۱۴۰
	تعمیر کار ساعت	۵۵ تا ۷۰
صنعت استخراج معدن	اپراتور ترابری	۷۰ تا ۸۵
	کارگر زغال سنگ	۱۱۰
	کارگر کوره کک سازی	۱۱۵ تا ۱۷۵
صنعت آهن و فولاد	کارگر انفجار	۱۷۰ تا ۲۲۰
	کارگر کوره	۱۲۵ تا ۱۴۵
	قالب‌سازی دستی	۱۴۰ تا ۲۴۰
	قالب‌سازی با ماشینی	۱۰۵ تا ۱۶۵
	ریخته‌گری	۱۴۰ تا ۲۴۰
صنعت آهن و فلزکاری	آهنگر	۹۰ تا ۲۰۰
	ذوب فلز	۷۵ تا ۱۲۵
	تراشکار	۷۵ تا ۱۲۵
	اپراتور دریل‌کار	۸۰ تا ۱۴۰
	مکانیک ظریف‌کار	۷۰ تا ۱۱۰

جدول الف-۱- (ادامه)

شغل		میزان سوخت و ساز ($W.m^{-2}$)
شغل‌های مربوط به صنعت چاپ	حروف‌چین	۷۰ تا ۹۵
	صحاف	۷۵ تا ۱۰۰
کشاورزی	باغچه‌بان	۱۱۵ تا ۱۹۰
	راننده تراکتور	۸۵ تا ۱۱۰
حمل و نقل	راننده ماشین	۷۰ تا ۱۰۰
	راننده اتوبوس	۷۵ تا ۱۲۵
	راننده لوکوموتیو	۸۰ تا ۱۱۵
	اپراتور جرثقیل	۶۵ تا ۱۴۵
شغل‌های مختلف	دستیار آزمایشگاه	۸۵ تا ۱۰۰
	معلم	۸۵ تا ۱۰۰
	دستیار فروش	۱۰۰ تا ۱۲۰
	منشی	۷۰ تا ۸۵

روش ب-۱: طبقه بندی بر اساس نوع فعالیت

جدول الف-۲- طبقه‌بندی میزان سوخت و ساز بر اساس طبقه‌بندی

طبقه	میانگین میزان سوخت و ساز (با محدوده در پرانتز)		مثال‌ها
	W	$W.m^{-2}$	
۰ استراحت	۶۵ (۵۵ تا ۷۰)	۱۱۵ (۱۰۰ تا ۱۲۵)	خوابیده، نشسته در حالت راحت
۱ میزان سوخت و ساز پایین	۱۰۰ (۷۰ تا ۱۳۰)	۱۸۰ (۱۲۵ تا ۲۳۵)	کار دستی سبک (نوشتن، تایپ، طراحی، خیاطی و کتابداری)، کار دست و بازو (کار با اسباب روی میز، بازرسی، سوار کردن دسته-بندی مواد سبک) کار بازو و پا (شرایط طبیعی در رانندگی وسایل، استفاده از سوئیچ و پدال)- مته کاری در حالت ایستاده (قسمت‌های کوچک)؛ ماشین آسیاب (قسمت‌های کوچک)؛ آرماتور بادی کوچک؛ ماشین‌کاری با اسباب کم پودر؛ راه رفتن (با سرعت تا $۲/۵\ kmh^{-1}$)
۲ میزان سوخت و ساز متوسط	۱۶۵ (۱۳۰ تا ۲۰۰)	۲۹۵ (۲۳۵ تا ۳۶۰)	کار با دست و بازو به طور مداوم (چکش زدن به میخ، سوهان کاری) کار با بازو و پا (کار با کامیون‌ها، تجهیزات ساخت و ساز یا تراکتورها) کار با دست و بالا تنه (کاربا چکش بادی) مونتاژ ماشین، گچ کاری، کار با دست متناوب با مواد سنگین، چمن‌زنی، بیل‌زنی، برداشت میوه و سبزیجات، هل دادن و کشیدن فرغون، راه رفتن با سرعت $۲/۵km.h^{-1}$ تا $۵/۵km.h^{-1}$؛ بر سندان کوبیدن

جدول الف-۲- (ادامه)

طبقه	میانگین میزان سوخت و ساز (با محدوده در پرانتز)		مثال‌ها
	W	$W.m^{-2}$	
۳ میزان سوخت و ساز بالا	۲۳۰ (۲۰۰ تا ۲۶۰)	۴۱۵ (۳۶۰ تا ۴۶۵)	کار شدید بازو و بالا تنه، حمل وسایل سنگین، بیل زدن، کار با پتک، اره کردن، بریدن چوب‌های سخت، چمن زنی، حفاری، راه رفتن با سرعت $5/5\ km.h^{-1}$ تا $7\ km.h^{-1}$، هل دادن و کشیدن فرغون‌های با بار سنگین، تراشکاری، حمل بلوک‌های بتونی
۴ میزان سوخت و ساز بسیار بالا	۲۹۰ (بزرگ‌تر از ۲۶۰)	۵۲۰ (بزرگ‌تر از ۴۶۵)	فعالیت‌های خیلی شدید با بیشینه نرخ حرکت؛ کار با تبر؛ حفاری یا بیل زدن شدید؛ بالا رفتن از پله‌ها؛ نردبان یا رمپ؛ راه رفتن سریع با قدم‌های کوچک؛ دویدن؛ راه رفتن با سرعتی بیش از $7\ km.h^{-1}$

پیوست ب
(اطلاعاتی)
ارزیابی میزان سوخت و ساز در سطح ۲، مشاهده

این پیوست اطلاعات مورد استفاده برای ویژگی میانگین یک موقعیت کاری در یک زمان مشخصی بر طبق دو روش ارائه شده برای سطح ۲، مشاهده را فراهم می‌کند.

روش الف- میزان سوخت و ساز با افزودن میزان سوخت و ساز مبنا بر حسب حالت بدن معین می‌شود، میزان سوخت و ساز برای نوع کار و برای حرکت بدن مرتبط با سرعت کار (با استفاده از جدول ارزیابی گروهی)

روش ب- میزان سوخت و ساز به وسیله میانگین مقادیر جدول بندی برای فعالیت‌های گوناگون معین می‌شود.

جدول ب-۱- میزان سوخت و ساز (بر حسب $W.m^{-2}$) برای حالت نشسته به عنوان حالت کاری و قسمت‌های بدن درگیر

قسمت‌های بدن		بار کاری		
		سبک	متوسط	سنگین
دو دست	میانگین	۷۰	۸۵	۹۵
	محدوده	کمتر از ۷۵	۷۵ تا ۹۰	بیشتر از ۹۰
یک بازو	میانگین	۹۰	۱۱۰	۱۳۰
	محدوده	کمتر از ۱۰۰	۱۰۰ تا ۱۲۰	بیشتر از ۱۲۰
بازوها	میانگین	۱۲۰	۱۴۰	۱۶۰
	محدوده	کمتر از ۱۳۰	۱۳۰ تا ۱۵۰	بیشتر از ۱۵۰
بدن	میانگین	۱۸۰	۲۴۵	۳۳۵
	محدوده	کمتر از ۲۱۰	۲۱۰ تا ۲۸۵	بیشتر از ۲۸۵

جدول ب-۲- ضمیمه میزان سوخت و ساز (بر حسب $W.m^{-2}$) برای حالات بدن

وضعیت بدن		میزان سوخت و ساز (بر حسب $W.m^{-2}$)
نشسته	Sitting	۰
زانوزده	Kneeling	۱۰
حالت قوزکرده	Crouching	۱۰
ایستاده	Standing	۱۵
ایستاده قوزکرده	Standing stooped	۲۰

جدول ب-۳- میزان سوخت و ساز برای فعالیت‌های خاص

$W.m^{-2}$	فعالیت‌های خاص	
۴۰	Sleeping	خوابیده
۴۵	Reclining	لم داده شده
۵۵	At rest, sitting	استراحت در حالت نشسته
۷۰	At rest, standing	استراحت در حالت ایستاده
	Walking on the level, even path, solid	راه رفتن روی سطح
۱۱۰	با $۲\ km.h^{-1}$	بدون بار
۱۴۰	با $۳\ km.h^{-1}$	
۱۶۵	با $۴\ km.h^{-1}$	
۲۰۰	با $۵\ km.h^{-1}$	
۱۸۵	$۴\ km.h^{-1}$ ،۱۰kg	با بار
۲۵۰	$۴\ km.h^{-1}$ ،۳۰Kg	
		راه رفتن در شیب به سمت بالا
۱۸۰	$۴\ km.h^{-1}$ ،شیب °۵	بدون بار
۲۱۰	$۳\ km.h^{-1}$ ،شیب °۱۵	
۳۰۰	$۳\ km.h^{-1}$ ،شیب °۲۵	
۲۷۰	$۴\ km.h^{-1}$ ،شیب °۱۵	با بار ۲۰kg
۴۱۰	$۴\ km.h^{-1}$ ،شیب °۲۵	
۱۳۵	شیب °۵	راه رفتن به سمت پایین بدون بار با سرعت $۵\ kmh^{-1}$
۱۴۰	شیب °۱۵	
۱۸۰	شیب °۲۵	
		نردبان با شیب °۲۵، بالا رفتن در محدوده‌ی $۱۱/۲\ m.min^{-1}$
۲۹۰		بدون بار
۳۶۰		همراه با بار ۲۰kg
		هل دادن یا کشیدن گاری، $۳/۶\ km.h^{-1}$ ، مسیر هموار، سطح سخت
۲۹۰		نیروی فشار: ۲۰kg
۳۷۵		نیروی کشش: ۱۶ kg
۲۳۰		هل دادن فرغون، مسیر هموار، $۴/۵\ km.h^{-1}$، نوع لاستیک، بار ۱۰۰kg
۱۰۰	۴۲ ضربه در دقیقه	آهن توپر
۱۹۰	۶۰ ضربه در دقیقه	
۲۹۰		کار با چکش، دو دست، جرم چکش ۴/۴kg، ۱۵ ضربه/دقیقه
۲۲۰	اره دستی	کار نجاری
۱۰۰	اره ماشین	
۳۰۰	کار دستی	
۱۷۰		آجرکاری، ۵ خشت/دقیقه

جدول ب-۳- (ادامه)

$W.m^{-2}$	فعالیت‌های خاص	
۱۰۰	Screw driving	آچارکشی ماشین
۲۹۰	Digging a trench	حفر یک سنگر
۷۰	Sedentary activity (office, dwelling, school, laboratory)	فعالیت‌های اداری
۹۵	Standing, light activity (shopping, laboratory, light industry)	فعالیت های ایستاده سبک
۱۱۵	Standing, medium activity (shop assistant, domestic work, machine work)	فعالیت های ایستاده متوسط
	Work on a machine tool	کار کردن بر روی وسایل ماشین
۱۰۰	Light (adjusting, assembling)	سبک
۱۴۰	Medium (loading	متوسط
۲۱۰	Heavy	سنگین
	Work with a hand tool	کار با یک ابزار دستی
۱۰۰	Light (light polishing)	سبک (صیقل دادن اندک)
۱۶۰	Medium (polishing)	متوسط (صیقل دادن)
۲۳۰	Heavy (heavy drilling)	سنگین (مته‌زنی سنگین)

جدول ب-۴- دفتر روزانه برای ثبت فعالیت‌ها

تاریخ	
موضوع	
محل کار	
دمای هوا، °c	
دمای گوی سیاه، °c	
رطوبت هوا، %RH	
جریان هوا، m/s	
پوشاک	

جدول ب-۵- جدول نتایج خلاصه شده در دفتر روزانه

شغل/ وظیفه کاری .....تاریخ.....						
طبقه		M		زمان		مجموع
		$W.m^{-2}$		دقیقه		
۱	وظیفه ۱	M_1	×		=	
۲	وظیفه ۲	M_2	×		=	
...	...	...	×		=	
i	کار تحمیل شده i	M_i	×		=	
...	...	...	×		=	
n	وظیفه n	M_n	×		=	
	مجموع			.....		.....
	میانگین میزان سوخت و ساز دارای وزنی زمانی بلند مدت					.....

پیوست پ
(اطلاعاتی)
ارزیابی میزان سوخت و ساز در سطح۳ – آنالیز

این پیوست اطلاعات مورد استفاده برای تخمین میزان سوخت و ساز از طریق ثبت ضربان قلب در یک دوره معین بر طبق روش ارائه شده در سطح ۳، آنالیز را در اختیار شما قرار می‌دهد.

جدول پ-۱- رابطه بین میزان سوخت و ساز ($W.m^{-2}$) و ضربان قلب (ضربان در دقیقه)، پیش‌بینی نقش سن و وزن (برای زنان و مردان)

(برای به دست آوردن میزان سوخت و ساز، ضربان قلب HR که در سمت چپ ارائه شده را در هر مورد ضرب کرده و سپس از مقادیر سمت راست تفریق کنید)

سن (سال)	وزن (کیلوگرم)				
	۵۰ کیلوگرم	۶۰ کیلوگرم	۷۰ کیلوگرم	۸۰ کیلوگرم	۹۰ کیلوگرم
زنان					
۲۰	۲٫۹×HR−۱۵۰	۳٫۴×HR−۱۸۱	۳٫۸×HR−۲۱۰	۴٫۲×HR−۲۳۷	۴٫۵×HR−۲۶۳
۳۰	۲٫۸×HR−۱۴۳	۳٫۳×HR−۱۷۳	۳٫۷×HR−۲۰۱	۴٫۰×HR−۲۲۸	۴٫۴×HR−۲۵۴
۴۰	۲٫۷×HR−۱۳۶	۳٫۱×HR−۱۶۵	۳٫۵×HR−۱۹۲	۳٫۹×HR−۲۱۸	۴٫۳×HR−۲۴۴
۵۰	۲٫۶×HR−۱۲۷	۳٫۰×HR−۱۵۵	۳٫۴×HR−۱۸۲	۳٫۷×HR−۲۰۷	۴٫۱×HR−۲۳۲
۶۰	۲٫۵×HR−۱۱۷	۲٫۹×HR−۱۴۵	۳٫۲×HR−۱۷۰	۳٫۶×HR−۱۹۵	۳٫۹×HR−۲۱۹
مردان					
۲۰	۳٫۷×HR−۲۰۱	۴٫۲×HR−۲۳۸	۴٫۷×HR−۲۷۳	۵٫۲×HR−۳۰۷	۵٫۶×HR−۳۳۹
۳۰	۳٫۶×HR−۱۹۷	۴٫۱×HR−۲۳۳	۴٫۶×HR−۲۶۸	۵٫۱×HR−۳۰۱	۵٫۵×HR−۳۳۳
۴۰	۳٫۵×HR−۱۹۲	۴٫۰×HR−۲۲۸	۴٫۵×HR−۲۶۲	۵٫۰×HR−۲۹۵	۵٫۴×HR−۳۲۶
۵۰	۳٫۴×HR−۱۸۶	۴٫۰×HR−۲۲۲	۴٫۴×HR−۲۵۶	۴٫۹×HR−۲۸۸	۵٫۳×HR−۳۱۹
۶۰	۳٫۴×HR−۱۸۰	۳٫۹×HR−۲۱۵	۴٫۵×HR−۲۴۹	۴٫۸×HR−۲۸۰	۵٫۲×HR−۳۱۱

پیوست ت
(اطلاعاتی)
ارزیابی میزان سوخت و ساز درسطح ۴، اظهار نظر فنی- نمونه‌هایی از محاسبه میزان سوخت و ساز بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده

نمونه‌ای از محاسبه میزان سوخت و ساز برای هر دو روش جزئی و کلی در زیر ارائه شده است. یک گازسنج برای جمع‌آوری گازهای مصرفی مورد استفاده قرار گرفته است.

ت-۱ محاسبه میزان سوخت و ساز به وسیله روش جزئی

ت-۱-۱ اطلاعات شخصی

جنسیت: مرد

سن: ۳۵ سال

قد: ۱٫۷۵ متر

وزن: ۷۵ کیلوگرم

A_{DU}: ۱٫۹۰ m^2

ت-۱-۲ طول زمان اندازه‌گیری

دوره مقدماتی: ۰٫۰۵ ساعت (۳ دقیقه)

دوره اصلی: ۰٫۲ ساعت (۱۲ دقیقه)

ت-۱-۳ فشار هوا

P=100.8 kpa

ت-۱-۴ مقادیر اندازه‌گیری شده

ت-۱-۴-۱ گاز سنج

فاکتور اصلاحی برای گاز سنج، ۰٫۹۹۸

دمای گازسنج (به طور مثال دمای هوای مصرف شده θ)، ۲۶٫۸°c

قرائت پایانی گازسنج، ۷۹۸۱٫۲ لیتر

قرائت اولیه گازسنج، ۷۷۷۵٫۰ لیتر

تهویه هوا، ۲۰۶٫۲ لیتر

ت-۱-۴-۲ کسری از اکسیژن و دی اکسید کربن در هوای مصرفی

کسر اکسیژن Fo_2: ۰/۱۶۲

کسر دی اکسید کربن Fco_2 : ۰/۰۴۲

ت-۱-۵ محاسبه حجم مصرفی

حجم مصرفی V_{ex}ATPS از تهویه و فاکتور اصلاح گازسنج محاسبه می‌شود:

$V_{ex}ATPS$= ۲۰۶/۲ ×۰/۹۹۸=۲۰۵/۸ litres

فاکتور کاهش STPD از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$f = \frac{273 \times (100.8 - 3.52)}{(273 + 26.8) \times 101.3} = 0.874$$

بنابراین

$$VexSTPD = VexATPS \times f = ۲۰۵/۸ \times ۰/۸۷۴ = ۱۷۹/۹ \text{ litres}$$

ت-۱-۶ محاسبه نرخ جریان حجمی

$$Vex = VexSTPD / t = 179.9 / 0.2 = 899.5 l/h$$

ت-۱-۷ محاسبه نرخ اکسیژن مصرفی

$$V_{O2} = V_{ex} \times (0.209 - F_{O2}) = 899.5(0.209 - 0.162) = 42.3 I^{O_2}/h$$

ت-۱-۸ محاسبه نرخ تولید دی اکسید کربن

$$Vco_2 = V_{ex} \times (Fco_2 - 0.0003) = 899.5(0.042 - 0.0003) = 37.5 I^{co_2}/h$$

ت-۱-۹ برررسی نرخ افت حجم مصرفی

$$Vo_2 = V_{ex}[0.265(1 - Fo_2 - Fco_2) - Fo_2]$$

$$= 899.5[0.265(1 - 0.162 - 0.042) - 0.162] = 44.0 I^{O_2}/h$$

$$Vco_2 = V_{ex}[Fco_2 - 0.00038(1 - Fo_2 - Fco_2)]$$

$$= 899.5[0.042 - 0.000038(1 - 0.162 - 0.02)] = 37.5 I^{co_2}/h$$

ت-۱-۱۰ محاسبه میزان سوخت و ساز

$$RQ = \frac{Vco_2}{Vo_2} = 37.5 \Big/ 44.0 = 0.852$$

$$EE = (0.23\,RQ + 0.77) \times 5.88 = 5.68\ W.h \Big/ I\,O_2$$

$$M = EE \times Vo_2 \times \frac{1}{A_{DU}} = 5.68 \times 44.0 \Big/ 1.9 = 131.5 W.m^{-2}$$

به دلیل محدودیت‌های درستی قابل توجه، نتیجه ممکن است به ۱۳۲ $W.m^{-2}$ گرد شود.

ت-۲ محاسبه میزان سوخت و ساز با استفاده از روش کلی

در این مثال حجم مصرفی و محاسبه‌ی RQ با استفاده از محصولات CO_2 حذف شده است.

ت-۲-۱ اطلاعات شخصی: مشابه ت-۱-۱

ت-۲-۲ طول مدت اندازه‌گیری

دوره اصلی: ۰٫۰۵ h (۳ دقیقه)
دوره بازیابی: ۰٫۱۵ h (۹ دقیقه)
مدت زمان آزمون: ۰٫۲ h (۱۲ دقیقه)

ت-۲-۳ فشار جو: p=100.8kpa

ت-۲-۴ مقادیر اندازه‌گیری شده

ت-۲-۴-۱ گازسنج

فاکتور تصحیح برای گازسنج، ۰/۹۹۸
دمای گازسنج (به طور مثال دمای هوای مصرفی θ)، ۲۶٫۸°C
قرائت پایانی گازسنج، ۵۸۷۷٫۵ لیتر
قرائت اولیه گازسنج، ۵۷۰۷٫۰ لیتر
تهویه هوا، ۱۷۰٫۵ لیتر

ت-۲-۴-۲ کسر اکسیژن در هوای مصرفی

کسر اکسیژن Fo_2=۰٫۱۵۵

ت-۲-۵ محاسبه حجم مصرفی

حجم مصرف شده $V_{ex}STPD$ محاسبه شده از فاکتور اصلاح و تهویه گازسنج:

$$V_{ex}\,ATPS = 170.5 \times 0.998 = 170.2\,liters$$

فاکتور کاهش $STDP$ مقادیری مشابه با زیربند ت-۱-۵ دارد. بنابراین

$$V_{ex}\,STDP = V_{ex}\,ATPS \times f = 170.2 \times 0.874 = 148.8\,liters$$

ت-۲-۶ محاسبه نرخ جریان حجمی

$$V_{ex} = {}^{V_{ex}\,STPD}\big/_{t} = {}^{148.8}\big/_{0.2} = 774.0\,l/h$$

ت-۲-۷ محاسبه نرخ مصرف اکسیژن

$$Vo_2 = V_{ex} \times (0.209 - Fo_2) = 40.2\,l\,o_2/h$$

ت-۲-۸ محاسبه میزان سوخت و ساز

با استفاده از میانگین RQ، ۰٫۸۵ و یک رابطه انرژی ۵٫۶۸W.h/l O_2 نتیجه زیر بدست می‌آید:

$$M = EE \times \frac{1}{A_{DU}} = 5.68 \times 40.2/1.9 = 120.2\,W.m^2$$

به منظور رابطه میزان سوخت و ساز در دوره معین، تبدیل مطابق با رابطه (۱۸) انجام می‌شود.

میزان سوخت و ساز برای حالت نشسته ۵۵W.m^2

$$M = 120.2 \times 0.2/0.05 - 55.0 \times 0.15/0.05 = 318.8\,W.m^2$$

به لحاظ حدود درستی قابل دسترس، نتیجه ممکن است تا W.m^2 گرد شوند.