

محیط‌های حرارتی و انسان

تأثیر محیط‌های گرم، متوسط و سرد بر سلامتی، راحتی و عملکرد انسان

جلد اول، ویرایش سوم

تألیف

کی. سی. پارسونز

ترجمه

دکتر فریده گلبابایی

دکتر حمیدرضا حیدری

دکتر محمد حاج آقازاده

دکتر مهدی زارع

دکتر فرهاد فروهر مجد



فهرست مطالب

ذ	پیشگفتار ویرایش سوم
ش	مقدمه
۱	فصل اول - محیط‌های حرارتی انسان
۱	مقدمه
۳	انتقال گرما
۴	هدایت
۵	همرفت
۵	اعداد بی‌بعد
۱۰	انتقال گرمای همرفتی در هوا و آب
۱۳	تبخیر
۱۵	تابش
۱۷	پارامترهای اصلی
۱۷	دما
۱۷	دمای هوا
۱۸	دمای تابشی
۱۹	میانگین دمای تابشی
۱۹	دمای تابشی سطحی (T_{pr})
۲۰	تابش خورشیدی
۲۱	کمیت: تراز تابش خورشیدی
۲۲	کیفیت: محتوای طیفی تابش خورشیدی
۲۳	طول موج (میکرومتر)
۲۴	تابش خورشیدی و بدن انسان
۲۵	تابش خورشیدی مستقیم
۲۵	تابش خورشیدی انتشاری
۲۶	مقیاس‌ها و چارت‌های دما
۲۶	مقیاس‌های کاربردی
۲۷	مقیاس دمای مطلق (K)

۲۸.....	سرعت جریان هوا (v).....
۲۹.....	رطوبت.....
۳۱.....	انتقال گرما برای یک استوانه.....
۳۱.....	هدایت در سیلندرها.....
۳۶.....	نقش تئوری انتقال گرما در ارزیابی محیط‌های حرارتی انسان.....
۳۷.....	فصل دوم - معادله تعادل حرارتی بدن و ممیزی حرارتی.....
۳۷.....	مقدمه.....
۳۸.....	معادله نظری.....
۳۸.....	واحدها.....
۳۸.....	سطح بدن فرد.....
۴۰.....	معادله تبادل حرارتی کاربردی.....
۴۱.....	تولید گرما در بدن (M-W).....
۴۱.....	اتلاف گرمای محسوس (C+R).....
۴۳.....	اتلاف گرما از راه پوست به روش تبخیر E_{sk}
۴۵.....	اتلاف گرما از راه تنفس ($C_{res} + E_{res}$).....
۴۵.....	ممیزی حرارتی.....
۴۶.....	پارامترهای اصلی.....
۴۶.....	محاسبات ساده.....
۴۷.....	ضریب انتقال حرارت.....
۴۷.....	محاسبه اجزای معادله تعادل حرارتی.....
۴۹.....	تعادل گرما و تهویه لباس.....
۵۰.....	تعادل گرمایی و بار خورشیدی.....
۵۱.....	تخمین کارشناسی ممیزی حرارتی.....
۵۲.....	آنالیز.....
۵۲.....	گرمای حاصل از متابولیسم.....
۵۲.....	انتقال گرمای خشک.....
۵۲.....	اتلاف گرما از پوست به روش تبخیر.....
۵۳.....	اتلاف گرما از طریق تنفس.....
۵۳.....	ارزیابی محیطی با استفاده از ممیزی حرارتی.....
۵۴.....	مثال ۱-۲ کارگران در یک خط تولیدی.....
۵۶.....	مثال ۳-۲ کارکنان اداری.....

مثال ۲-۴	سالمندان در منزل.....	۵۷
مثال ۲-۵	کشاورزان در معرض تابش خورشید.....	۵۸
مثال ۲-۶	کشاورزان در سایه.....	۵۹
مثال ۲-۷	کودکانی که با آب‌وهوای سرد مواجه‌اند.....	۶۰
مثال ۲-۸	فردی در بیابان با لباس عربی.....	۶۱
۶۲	خلاصه.....	
۶۵	فصل سوم - فیزیولوژی دمای بدن و تنظیم دمای بدن انسان	
۶۶	خواص ترموفیزیکی بدن انسان.....	
۶۷	اثر جریان خون.....	
۶۹	تنظیم حرارت بدن انسان.....	
۷۳	مدل نرونی.....	
۷۵	سلسله‌مراتب سیستم‌ها.....	
۷۵	پاسخ‌های فیزیولوژیک.....	
۷۵	سنسورهای حرارتی.....	
۷۶	اجزای مرکزی.....	
۷۶	انبساط عروق، انقباض عروق و مسیر جریان خون.....	
۷۸	سیخ شدن موها.....	
۷۸	تولید گرما از طریق لرز.....	
۷۹	تعریق.....	
۸۱	تنظیم دما از طریق رفتار.....	
۸۲	دمای بدن.....	
۸۴	دمای عمقی.....	
۸۴	دمای سطحی.....	
۸۵	میانگین دمای بدن.....	
۸۵	آسایش به‌منزله یک متغیر تنظیم‌شده.....	
۸۹	فصل چهارم - پاسخ‌های روانشناختی و رفتار انسان	
۸۹	مقدمه.....	
۹۲	مدل‌های روان‌شناختی.....	
۹۶	احساس حرارتی.....	
۹۷	دریافت حرارتی.....	

۹۷.....	پایانه‌های عصبی.....
۱۰۳.....	دردناک (بسیار گرم).....
۱۰۳.....	روان - فیزیک.....
۱۰۴.....	پاسخ‌های تمام بدن.....
۱۰۶.....	معناشناسی، مدل‌های روانشناسی و مقیاس چندبعدی.....
۱۰۷.....	مقیاس‌های احساس گرمایی.....
۱۰۸.....	خلق و خو، پرخاشگری، افسردگی و سایر واکنش‌های روانشناختی.....
۱۱۱.....	پاسخ‌های رفتاری.....
۱۱۴.....	تهدید، انتظار و خشنودی.....
۱۱۵.....	بحث.....
۱۱۷.....	فصل پنجم - روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی.....
۱۱۷.....	مقدمه.....
۱۱۷.....	دمای هوا (t_a).....
۱۲۰.....	میانگین دمای تابشی (t_r).....
۱۲۳.....	دمای تابشی سطحی و نامتقارن بودن دمای تابشی.....
۱۲۶.....	تابش خورشید.....
۱۲۷.....	سرعت جریان هوا.....
۱۳۳.....	دمای تعادل برای سنسورهای خشک و تر.....
۱۳۶.....	کیت‌های اندازه‌گیری و وسایل مرکب.....
۱۳۶.....	جعبهٔ دریاداری.....
۱۳۶.....	آنالیزکنندهٔ آب‌وهوای محیط‌های داخلی.....
۱۳۷.....	وسایل دیگر.....
۱۳۸.....	سنجه‌های مستقیم انتقال حرارت.....
۱۳۹.....	مانکن‌های حرارتی.....
۱۳۹.....	اندازه‌گیری پاسخ‌های فیزیولوژیک.....
۱۳۹.....	دمای پوست.....
۱۴۲.....	اندازه‌گیری دمای داخلی بدن.....
۱۴۳.....	دمای پردهٔ صماخ.....
۱۴۳.....	دمای مجرای گوش.....
۱۴۴.....	دمای پیشانی.....
۱۴۴.....	دمای دهان.....

فهرست مطالب □ خ

۱۴۵	دمای مری
۱۴۵	دمای تحت ترقوه‌ای
۱۴۵	دمای داخلی شکم
۱۴۶	دمای مقعد
۱۴۷	دمای ادرار
۱۴۷	دمای عمقی زیرپوست
۱۴۷	روش ارزیابی ارجح برای تعیین دمای داخلی بدن
۱۴۸	اندازه‌گیری اثر گرما بر ضربان قلب
۱۵۰	اندازه‌گیری جرم از دست‌رفته بدن
۱۵۱	سیستم‌های پایش فردی
۱۵۱	مشخصات دستگاه‌های پایش فیزیولوژیکی
۱۵۲	اندازه‌گیری پاسخ‌های روان‌شناختی
۱۵۲	اندازه‌گیری‌های ذهنی
۱۵۸	سنجش‌های رفتاری و مشاهده‌ای
۱۶۰	شاخص حرارتی - یک تکنیک ارزیابی
۱۶۱	شاخص‌های منطقی
۱۶۲	شاخص‌های تجربی
۱۶۲	شاخص‌های مستقیم
۱۶۳	فصل ششم - از دست رفتن آب بدن و نیازمندی‌های بدن به آب
۱۶۳	مقدمه
۱۶۴	آب بدن
۱۶۶	کنترل آب بدن
۱۶۷	اندازه‌گیری میزان کاهش آب بدن
۱۷۲	ارزیابی از طریق بررسی تعریق
۱۷۲	ارزیابی از طریق بررسی خون
۱۷۲	ارزیابی از طریق بررسی ادرار
۱۷۳	وضعیت پوست
۱۷۵	تشنگی
۱۷۷	تحلیل امپدانس بیوالکتریکی
۱۷۸	حدود کاهش حجم آب بدن (دهیدراسیون)
۱۸۱	توصیه‌های کاربردی برای نوشیدن

۱۸۷	نوشیدن آب بیش از اندازه
۱۸۹	فصل هفتم - مدل‌های حرارتی
۱۸۹	مقدمه
۱۹۰	مدل‌های حرارتی
۱۹۱	مدل‌های تجربی
۱۹۱	مدل گیووننی / گلدمن
۱۹۲	محاسبه M_{net} (بار گرمای متابولیسم)
۱۹۳	بار گرمایی محیطی (R + C)
۱۹۳	فرمول پیش‌گویانه
۱۹۴	الگوی زمانی در حالت استراحت تحت شرایط استرس گرمایی
۱۹۴	الگوی زمانی افزایش دما در طول کار
۱۹۴	الگوی زمانی دمای مقعدی در دور بازیابی بعد از کار
۱۹۵	معتبر سازی فرمول پیش‌گویانه
۱۹۶	مدل‌های بانک اطلاعاتی
۱۹۷	مدل‌های حرارتی منطقی
۱۹۸	مدل ۲۵ گره‌ای استالویک و هاردی
۲۰۱	مدل دو گره‌ای پیرس
۲۰۵	مدل ویسلر
۲۰۵	مدل ورنر
۲۰۶	مدل فیالا
۲۰۷	مدل فیالا - شاخص اقلیم حرارتی جهانی (UTCI)
۲۰۹	مدل ISO
۲۱۰	مدل‌های دیگر
۲۱۴	آیا مدل‌ها مؤثرند؟
۲۱۹	مدل‌های مرکب
۲۱۹	طراحی به کمک کامپیوتر
۲۲۳	منابع

پیشگفتار ویرایش سوم

از زمان ویرایش دوم کتاب محیط‌های حرارتی انسان در سال ۲۰۰۳ جهان درگیر ارتباطات الکترونیکی شده است و این امر جهانی‌شدن واقعی از موضوع را فراهم کرده است. ارتباطات و همکاری‌های بین‌المللی بین دانشمندان همیشه وجود داشته است، اما این ارتباط و همکاری اکنون به یک ضرورت و عمل طبیعی و مورد انتظار تبدیل شده است. راه‌های بسیاری برای ارتباطات وجود دارد که شامل روش‌های سنتی همچون مقاله علمی (که در آن هنوز مقاله و یا شکل الکترونیکی، منبع محترم دانش است) تا کنفرانس‌های علمی در دسترس بسیار گسترده، سایت‌های اینترنتی متنوع و متعدد، شبکه‌های اجتماعی، و بسیاری از راه‌های دیگر است. دانشمندان و علاقه‌مندان از تبادل اطلاعات سود می‌برند و به بهترین شکل در جهان عمل می‌کنند و این نقش مستمری را برای این کتاب فراهم می‌کند که به‌منزله یک مجموعه جامع و اساسی و رفرنس رایج مطرح است. ویرایش سوم این کتاب به‌روزترین و جامع‌ترین پوشش در دسترس از اصول و مبانی پاسخ انسان به محیط‌های حرارتی را فراهم می‌کند.

همه فصل‌های کتاب در این ویرایش بازنگری و به‌روز شده‌اند و افزوده‌های درخور توجهی به آنها وجود دارد. همچنین بخش‌ها و فصل‌های جدیدی درمورد تست و توسعه لباس؛ مدل‌های تطبیقی؛ آسایش حرارتی برای جمعیت‌های خاص؛ آسایش حرارتی برای محیط‌های خاص؛ محیط‌های فوق‌العاده، آب‌وهوا، محیط‌های روباز و تغییر اقلیم در این نسخه از کتاب افزوده شده است.

فصل اول تا هفتم اصول پایه‌ای را ارائه می‌کند. فصل اول شش متغیر اصلی و نقش‌آفرین در محیط‌های حرارتی انسان و اصول اساسی انتقال گرما بین فرد و محیط اطرافش را توضیح می‌دهد. فصل دوم چگونگی استفاده از آن اصول را در ایجاد معادله تعادل گرمایی برای فرد در محیط حرارتی توضیح می‌دهد و اینکه چطور انجام یک ممیزی حرارتی می‌تواند تفسیر شود تا پاسخ‌های افراد به محیط‌های گرم، خنثی و سرد را پیش‌بینی و ارزیابی نماید. فصل سوم و چهارم پاسخ‌های فیزیولوژیکی و روانشناختی را بررسی می‌کند. افکار و تحقیقات جدیدی در این فصول ارائه می‌شوند و توسعه تنظیم حرارتی رفتاری که پیشگام روش‌های جدید و مدل‌های تطبیقی است گرایش و فعالیت بیشتری را در جهان ایجاد کرده است. در فصل پنجم کتاب به روش‌های اندازه‌گیری پرداخته شده است و شامل مشخصات دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری محیطی، سیستم‌های پایش محیطی و مشخصات تجهیزات فیزیولوژیکی است. به دمای تر طبیعی و پیش‌بینی آن، و نیز اندازه‌گیری‌های هواشناسی و بانک‌های اطلاعاتی موجود و در دسترس در اینترنت توجه شده است. فصل ششم با دهیدراسیون و نیازمندی‌های

آب بدن در پاسخ به محیط‌های حرارتی انسان در ارتباط است. کنترل آب بدن، شاخص‌های دهیدراتاسیون و توصیه‌های کاربردی برای نوشیدن مایعات با ملاحظات بیشتری در فعالیت‌های ورزشی نسبت به ویرایش‌های قبلی کتاب، در این فصل ارائه شده است. فصل هفتم همه اصول اساسی را به‌طور یکجا و باهم در مدل‌های حرارتی گرد هم می‌آورد تا همان‌طور که در ویرایش‌های قبلی پیش‌بینی می‌شد، به یک بخش اساسی و جامع ارزیابی تبدیل شود و به‌عنوان پایه و اساس برای روش عمومی ارزیابی در نظر گرفته شود. مدل‌های حرارتی جای خود را به‌عنوان یک بخش جامع فعالیت فرد باز نموده‌اند و نقش آنها در طراحی‌های محیطی به کمک کامپیوتر به اثبات رسیده است. در این فصل یک ابتکار جدید ارائه شده است برای فراهم کردن مدل استاندارد سازمان بین‌المللی (ISO)، همراه با پیشرفت‌هایی در مدل که به ایجاد شاخص جدیدی بنام شاخص اقلیم حرارتی جهانی (UTCI) منجر شده است.

فصل‌های هشتم تا دهم با گرمای متابولیسمی و لباس در ارتباط است. فصل هشتم به این می‌پردازد که چگونه تولید گرمای متابولیکی اندازه‌گیری و برآورد می‌گردد. فصل نهم ویژگی‌های حرارتی لباس را بررسی کرده است و فصل جدید دهم تست و توسعه لباس را مطرح می‌کند.

فصل‌های یازدهم تا پانزدهم مباحث آسایش حرارتی، استرس گرمایی و استرس سرمایی را پوشش می‌دهد که همگی تغییرات ویرایشی درخور ملاحظه‌ای نسبت به ویرایش‌های قبلی داشته‌اند. در حال حاضر سه فصل در خصوص اهمیت آسایش حرارتی وجود دارد. فصل یازدهم اصول اساسی و روش‌های ارزیابی آسایش حرارتی را فراهم می‌کند. این فصل شامل مدل‌های تطبیقی و روش‌ها و دیدگاه‌های جدید در مورد آسایش حرارتی است. پاسخ‌ها به محیط‌های ویژه در فصل دوازدهم بحث می‌شود. همین‌طور پاسخ‌های افراد و جمعیت‌های خاص در فصل سیزدهم آورده شده است. در فصل چهاردهم پیشرفت‌های جدید در ارزیابی استرس گرمایی ارائه شده است که شامل پیشرفت‌ها در روش ارزیابی با استفاده از شاخص WBGT و شاخص استرس گرمایی پیش‌بینی‌شده (PHS) است که هر دو را استاندارد ISO پذیرفته است. فصل پانزدهم پاسخ‌ها به سرما را توضیح داده است و شامل دمای خنک‌کنندگی باد جدید و نیز پیشرفت‌ها در اقدامات کاری است.

فصل شانزدهم عملکرد انسان را در محیط‌های حرارتی توضیح می‌دهد و با توصیف مطالعات و روش‌های اخیر از دیدگاه جهانی افزایش یافته است. فصل هفدهم به‌روز شده است و سوختگی‌های ناشی از تماس با سطوح داغ، احساس ایجاد شده از تماس با سطوح متوسط، و ناراحتی، درد و افت عملکرد ناشی از تماس با سطوح سرد را بررسی می‌کند. این فصل همین‌طور یکی از درمان‌های محدود جامع و در دسترس در این حوزه را در خود جای داده است. فصل هجدهم سهم بسیار عمده‌ای را در کاربرد موضوع با انتشار، بازنگری و توسعه استانداردهای بین‌المللی دارد که مباحث آن به‌ویژه از سال ۲۰۰۳

پیشگفتار ویرایش سوم □ ز

ضرورت و اهمیت بیشتری یافته است. فصل جدید نوزده به موضوعات آب‌وهوا، محیط‌های روباز و تغییر اقلیم می‌پردازد. این حوزه‌ها موضوعات مهمی در آینده‌اند و نیازمند آن‌اند که دریابیم چگونه افراد به محیط‌های حرارتی غیرمعمولی که در گذشته با آن مواجه نبوده‌اند، پاسخ می‌دهند. فصل جدید بیست گرما و سرمای بیش‌ازاندازه را پوشش می‌دهد و از اصول ارائه‌شده پیشتر در این کتاب استفاده می‌کند تا توضیح دهد افراد چگونه به شرایط کوه‌های مرتفع، هوای پرفشار، بیابان، نواحی یخ‌زده و برف، باران، باد و سیل واکنش نشان می‌دهند. این فصل همچنین محیط‌هایی همچون کار در فضا، تونل‌ها، کار در آب، زیرآب و اماکن پرازدحام را بررسی می‌کند. این فصل مأموریت‌های اکتشافی و اعزامی و نیز چشم اندازه‌های جهانی را نیز پوشش می‌دهد. این مباحث مکمل مواد جدید در مسابقات ورزشی، دویدن‌های تفریحی، سرمای ناگهانی و زودگذر و امواج گرمایی است که در فصل‌های قبلی ارائه شده است.

K.C. Parsons
Loughborough, 2013

مقدمه

حفظ و ارتقای سلامتی شاغلان و پیشگیری از بیماری‌ها و حوادث شغلی ایجاب می‌کند تا محیط‌های کار از جنبه‌های گوناگون آلودگی ارزیابی پایش و در صورت لزوم کنترل شوند. یکی از مشکلات بهداشتی جدی مواجهه با استرس‌های حرارتی است. شاغلان در بسیاری از فرایندهای تولیدی و خدماتی در محیط‌های سرپوشیده و روباز در معرض استرس‌های حرارتی‌اند. این مشکل به‌ویژه در مناطق گرمسیر نظیر کشور ایران چشم‌گیرتر است. اقلیم‌های گوناگون و تنوع آب‌وهوا در کشور ما، تنوع فرایندهای گرمازا، فرهنگ‌های گوناگون پوشش، الگوی تغذیه، نحوه انجام دادن کار، میزان آگاهی شاغلان، وضعیت جسمانی، میزان سازش آنان با آب‌وهوای گرم، میزان حساسیت‌های فردی، وجود اختلالات زمینه‌ای، مصرف دارو و موارد متعدد دیگر سبب شده است که شاغلان به درجات گوناگون در معرض این استرس قرار گیرند.

در صورتی که میزان مواجهه با گرما و مدت‌زمان در معرض آن قرار گرفتن در حدی باشد که بتواند تعادل حرارتی بدن را بر هم زند، سبب تغییرات چشمگیر در پاسخ‌های فیزیولوژیک و در ادامه تغییرات بیوشیمیایی در بدن شود و به ایجاد اختلال و آسیب‌های گرمایی، بیماری‌های ناشی از گرما، تضعیف عملکرد شناختی، کاهش بهره‌وری، افزایش میزان خطای انسانی، افزایش احتمال رخداد حوادث شغلی، آثار روانی منجر می‌شود.

به‌ویژه آنکه معمولاً در محیط‌های کار صرفاً آلاینده‌های موجود منحصر به استرس‌های حرارتی نیست و وجود استرس‌های گوناگون احتمال اثرهای زیان‌آور بر سلامتی را چند برابر می‌کنند. لذا آشنایی با پارامترها و عوامل اصلی مؤثر بر شرایط جوی و استرس‌های حرارتی، پاسخ‌های فیزیولوژیک و روانشناختی در برابر استرس حرارتی، تکنیک‌های اندازه‌گیری و ارزیابی استرس‌های حرارتی، متابولیسم و لباس برای ارزیابی دقیق استرس‌های حرارتی ضروری است. از این رو مجموعه حاضر بر اساس این ضرورت ترجمه و تدوین شده است. جلد اول این مجموعه، که ترجمه هفت فصل از ویرایش دوم کتاب بوده است، در سال ۱۳۹۳ منتشر شد و نسخه حاضر ترجمه هفت فصل از ویرایش سوم کتاب است که مؤلف آن را در سال ۲۰۱۳ منتشر کرده است. سایر مطالب اساسی به فصول ۸ تا ۲۰ در جلد‌های دوم و سوم کتاب ارجاع داده می‌شود که امید است به یاری خداوند بزرگ به‌زودی منتشر و در اختیار علاقه‌مندان قرار گیرد. منابع ارائه‌شده در جلد اول، به‌صورت کامل، منابع به‌کاررفته در کتاب (فصل‌های ۱ تا ۲۰) را شامل می‌شود.

با سپاس
مترجمان