

رابطه سطح آب بدن با میزان عملکرد کاری پس از هشت هفته تمرینات تناوبی در پرسنل انتظامی

ثمین نکاحی^{*۱}

۱- کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی (سلامتی و تندرستی)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت، تفت، ایران.

چکیده

هیدراسیون به عنوان یکی از عوامل کلیدی حفظ عملکرد فیزیکی و شناختی، نقش ویژه‌ای در کارایی پرسنل انتظامی دارد. این نیروها اغلب در شرایط آب و هوایی سخت، با تجهیزات سنگین و تحت فشار روانی بالا فعالیت می‌کنند، که میزان تعریق و از دست رفتن مایعات بدن را افزایش می‌دهد. تمرینات تناوبی (Interval Training)، به دلیل اثرات مثبت بر آمادگی جسمانی و سازگاری قلبی-عروقی، در برنامه‌های آموزشی این نیروها رایج است. با وجود این، افزایش شدت تمرین و بار محیطی ممکن است ریسک کم‌آبی و افت عملکرد را بالا ببرد. این مرور نظام‌مند با هدف بررسی رابطه میان سطح آب بدن و عملکرد کاری پرسنل انتظامی پس از هشت هفته تمرینات تناوبی انجام شد و تلاش کرد شکاف موجود بین شواهد علمی و شرایط واقعی مأموریت‌ها را شناسایی کند. مطالعات داخلی و بین‌المللی منتشرشده تا سال ۲۰۲۵، با تمرکز بر تمرینات تناوبی، شاخص‌های هیدراسیون و عملکرد کاری نیروهای انتظامی و نظامی، مرور و تحلیل تطبیقی شدند. منابع شامل بررسی‌های طولی، مقطعی و مداخلاتی بودند که به روش‌های مختلف سنجش هیدراسیون (اوزمولالیت، پلاسما، تغییر وزن بدن، رنگ ادرار) و ارزیابی عملکرد (VO_{2max})، قدرت، چابکی، واکنش و تصمیم‌گیری (کار کرده بودند. شواهد نشان دادند که کم‌آبی حتی در حد کاهش ۲٪ مایعات بدن، می‌تواند به افت محسوس توان هوازی، خستگی سریع‌تر، کاهش دقت تصمیم‌گیری و کندی واکنش منجر شود. تمرینات تناوبی به‌طور مداوم آمادگی جسمانی را ارتقا می‌دهند، اما در صورتی که بدون پروتکل آبرسانی اجرا شوند، ریسک افت عملکرد و بروز گرم‌زدگی را بالا می‌برند. ناهمگونی در پروتکل‌های تمرینی، روش‌های پایش هیدراسیون و تفاوت جمعیت‌های مورد مطالعه، یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به نتایج قطعی و قابل تعمیم بود. هشت هفته تمرینات تناوبی می‌تواند بهبود قابل‌ملاحظه‌ای در شاخص‌های آمادگی فیزیکی پرسنل انتظامی ایجاد کند، اما موفقیت و ایمنی این فرایند شدیداً وابسته به حفظ تعادل آب بدن است. پژوهش‌های آتی باید بر طراحی‌های طولی کنترل‌شده، ارزیابی استاندارد هیدراسیون، سنجش همزمان عملکرد فیزیکی و شناختی، و استفاده از فناوری‌های پوشیدنی در محیط واقعی مأموریت تمرکز کنند. توسعه پروتکل‌های بومی تمرین و آبرسانی می‌تواند تضمین‌کننده عملکرد پایدار و ایمن نیروها در شرایط عملیاتی باشد.

کلیدواژه‌ها: هیدراسیون، تمرینات تناوبی، عملکرد کاری، پرسنل انتظامی، کم‌آبی

مقدمه

آب، اگرچه از دید بسیاری تنها مایعی شفاف برای رفع تشنگی است، در حقیقت یک عامل زیستی کلیدی برای حفظ حیات محسوب می شود و مستقیماً بر تمام فرآیندهای فیزیولوژیک بدن انسانی اثر می گذارد (Fisher et al., ۲۰۲۳). حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد وزن بدن بزرگسالان را آب تشکیل می دهد و این نسبت بسته به جنس، سن، میزان توده عضلانی، و ترکیب بدنی متغیر است (Mumford et al., ۲۰۲۱). آب نه تنها محیطی برای واکنش های شیمیایی بدن فراهم می کند، بلکه به عنوان تنظیم کننده دمای داخلی، انتقال دهنده مواد مغذی و دفع کننده مواد زائد نیز ایفای نقش می کند (Thomas, ۲۰۲۱). از منظر عملکرد کاری، کاهش تنها ۲ درصد از آب بدن می تواند باعث افت محسوس در توانایی های فیزیکی، کاهش تمرکز ذهنی، خستگی زودرس، و اختلال در تصمیم گیری شود. در فعالیتهای شدید بدنی—خصوصاً در مشاغل که تصمیمات سریع و دقیق حیاتی هستند—این افت می تواند تفاوت بین موفقیت و شکست، یا حتی امنیت و خطر را رقم بزند (Périard et al., ۲۰۲۱).

پرسنل انتظامی در محیط هایی فعالیت می کنند که معمولاً ترکیبی از شرایط جوی چالش برانگیز، نیاز به واکنش سریع، بار روانی بالا و فعالیت بدنی شدید را شامل می شود. موارد زیر از جمله ویژگی های مهم فعالیت آنان است (Čvorović et al., ۲۰۲۱):

- جابجایی سریع و طولانی مدت در عملیات
 - استفاده از تجهیزات سنگین نظیر جلیقه ضد گلوله، اسلحه، و سایر ملزومات
 - فعالیت در دماهای بالا یا پایین، چه در فضای باز و چه در محیط های بسته بدون تهویه کافی
 - قرارگیری در معرض استرس های روانی ناشی از مأموریت های خاص (افشاری و همکاران، ۱۴۰۳)
- در چنین شرایطی، هزینه تعریق بالا و از دست دادن مایعات و الکترولیت ها به امری روزمره تبدیل می شود. اگر این حجم مایعات از دست رفته به موقع جایگزین نشود، فرد دچار کم آبی (Dehydration) می شود که اثرات آن بر واکنش های حرکتی و ذهنی می تواند کیفیت انجام مأموریت را کاهش دهد (صبایی و همکاران، ۱۴۰۰).
- تمرینات تناوبی (Interval Training) به ویژه در قالب تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) طی سال های اخیر به عنوان یکی از کارآمدترین شیوه های بهبود آمادگی جسمانی، تحمل قلبی-عروقی و توان انفجاری مطرح شده اند. این تمرین ها شامل دوره های کوتاه فعالیت شدید، همراه با دوره های کوتاه یا متوسط استراحت فعال یا غیرفعال هستند (Martinez & Abel, ۲۰۲۱).

ارتباط تمرینات تناوبی با سطح آب بدن از دو منظر اهمیت دارد:

۱. تأثیر مستقیم بر تعریق: افزایش شدت تمرین، نرخ تعریق و دفع الکترولیت ها را بالا می برد.
۲. تغییرات تطبیقی فیزیولوژیک: تکرار این تمرینات طی هفته ها باعث بهبود کارایی سیستم تعریق و در نتیجه تغییر در میزان مایعات مورد نیاز برای حفظ عملکرد می شود (Rattanatham et al., ۲۰۲۳).

در پرسنل انتظامی، ترکیب فشارهای شغلی با فشارهای تمرینی می تواند الگوی هیدراسیون را به طور معناداری تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه بر عملکرد کاری آنان اثر بگذارد. بررسی این رابطه می تواند به بهینه سازی برنامه های تمرینی و پروتکل های تغذیه ای و هیدراتاسیون کمک کند و در آخر، ایمنی و کارایی این نیروها را بهبود بخشد (Yuan et al., ۲۰۲۱).

۲. مبانی نظری و مفاهیم کلیدی

۲.۱ فیزیولوژی آب بدن و تعادل مایعات

بدن انسان یک سیستم زیستی پیچیده است که برای حفظ هموستاز، نیازمند تعادل دقیق بین ورود و خروج مایعات است. این تعادل حاصل تعامل سیستم های مختلف بدن مانند دستگاه ادراری، سیستم گردش خون، و تعریق است. در حالت طبیعی، منابع ورودی مایعات شامل آب آشامیدنی، نوشیدنی ها، و آب موجود در غذاها هستند، در حالی که خروج آن ها از طریق ادرار، تعریق، تبخیر پوستی، تنفس و مدفوع اتفاق می افتد. حجم کل مایع بدن (TBW) به دو بخش اصلی تقسیم می شود:

- مایعات داخل سلولی (ICF): حدود ۶۵٪ از آب بدن، نقش کلیدی در فعالیتهای متابولیک سلول.
- مایعات خارج سلولی (ECF): حدود ۳۵٪، شامل پلاسما و مایع میان بافتی، مهم در انتقال مواد غذایی و دفع مواد زائد.

نقش الکترولیت ها—به ویژه سدیم، پتاسیم، کلر و بیکربنات—در تنظیم این تعادل حیاتی است. سدیم عمدتاً حجم ECF را کنترل می کند و پتاسیم مسئول تعادل ICF است. هرگونه تغییر در این یون ها می تواند تعادل آب را بر هم زده و عملکرد فیزیکی و ذهنی را مختل کند (رحیمی احمدی بلدی و همکاران، ۱۴۰۰).

۲.۲ شاخص ها و روش های ارزیابی وضعیت هیدراسیون

برای ارزیابی دقیق وضعیت آب بدن در محیط های پژوهشی یا عملیاتی، روش های متعددی وجود دارند که از لحاظ دقت، سرعت، و امکان اجرا در میدان متفاوت هستند:

روش های لابراتواری:

- اوزمولالیت پلاسما: دقیق ترین روش، ولی نیازمند خون گیری و تجهیزات تخصصی.
- اوزمولالیت ادرار: کمتر تهاجمی، اما همچنان نیازمند وسایل خاص.
- هماتوکریت و غلظت هموگلوبین: شاخص غیرمستقیم برای ارزیابی تغییر در نسبت مایعات به سلول های خونی.

روش های میدانی (Field-friendly):

- بررسی رنگ ادرار (Urine Color Chart): ساده و سریع، ولی تحت تأثیر رژیم غذایی و مکمل ها.
- تغییرات وزن بدن قبل و بعد از فعالیت: هر کاهش ۱ کیلوگرمی معمولاً معادل از دست دادن ۱ لیتر آب برآورد می شود.
- حس تشنگی: گرچه بسیار ذهنی است، اما در شرایط میدانی همچنان به عنوان شاخص کمکی استفاده می شود.
- برای نیروهای انتظامی، محدودیت زمانی و شرایط غیرقابل پیش بینی عملیات باعث می شود روش های پرسرعت و کم هزینه—مثل بررسی تغییر وزن یا رنگ ادرار—بیشتر مورد استفاده قرار گیرند (Ding et al., ۲۰۲۵).

۲.۳ شاخص های سنجش عملکرد کاری در نیروهای عملیاتی

- «عملکرد کاری» در نیروهای انتظامی تنها به توانایی دویدن یا بلند کردن وزنه محدود نمی شود، بلکه شامل ترکیبی از شاخص های فیزیکی، شناختی و روانی است:
- توان هوازی (VO_{2max}): نشان دهنده ظرفیت قلبی-تنفسی.
 - قدرت عضلانی و توان انفجاری: برای حرکات سریع و تحمل بار.
 - چابکی و هماهنگی عصبی-عضلانی: ضروری برای واکنش در موقعیت های پیچیده.
 - سرعت واکنش و تصمیم گیری: تعیین کننده در شرایط بحرانی (جعفری و همکاران، ۱۴۰۳).
- کم آبی بدن می تواند مستقیماً این شاخص ها را تحت تأثیر قرار دهد. برای مثال، مطالعات نشان داده اند که کمبود ۲ تا ۳ درصد آب بدن می تواند زمان واکنش را افزایش و دقت تصمیم گیری را کاهش دهد، حتی پیش از آنکه خستگی عضلانی آشکار شود.

۳. تمرینات تناوبی (Interval Training)

۳.۱ انواع تمرینات تناوبی و ویژگی های آنها

تمرینات تناوبی، به طور کلی، شامل الگویی از دوره های کوتاه فعالیت شدید (Work Intervals) هستند که با دوره های کوتاه یا متوسط استراحت یا فعالیت کم شدت (Recovery Intervals) دنبال می شوند. نسبت مدت فعالیت به استراحت—معروف به Work-to-Rest Ratio—نقش کلیدی در تعیین فشار فیزیولوژیک این تمرین ها دارد (Chen et al., ۲۰۲۱).

چند الگوی رایج آن عبارتند از:

۱. تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT): معمولاً فعالیت های ۲۰ ثانیه تا ۴ دقیقه با شدت ۸۰-۹۵٪ حداکثر ضربان قلب، دنبال شده با استراحت ۳۰ ثانیه تا ۳ دقیقه.

۲. تمرینات اسپرینت تناوبی (SIT): فعالیت های بسیار کوتاه (۱۰-۳۰ ثانیه) با شدت بیش از ۹۵٪ توان بیشینه، همراه با استراحت های طولانی تر برای بازیابی کامل.

۳. مدل تناوبی متوسط یا طولانی: فعالیت با شدت متوسط-بالا (۶۰-۸۰٪ HRmax) برای مدت های ۲ تا ۸ دقیقه، همراه با بازیابی فعال یا غیرفعال.

هرکدام از این مدل ها کاربرد و اثرات فیزیولوژیک خاصی دارند. برای پرسنل انتظامی، تنوع شدت و مدت در چنین تمرین ها می تواند مهارت های چندگانه—از تحمل هوازی طولانی مدت تا توان انفجاری لحظه ای—را پرورش دهد (ایزدی و همکاران، ۱۴۰۰).

۳.۲ سازوکارهای فیزیولوژیک اثرگذاری تمرینات تناوبی

تمرینات تناوبی، به دلیل ماهیت متناوب فشار و رهایی، تغییرات پیچیده ای در سیستم های بدن ایجاد می کنند:

الف) سیستم قلبی-عروقی:

- افزایش برون ده قلبی و حجم ضربه ای
- بهبود ظرفیت مویرگی و کارایی تبادل اکسیژن در عضلات
- تطبیق عروق برای تحمل نوسانات فشار خون ناشی از فعالیت شدید

ب) سیستم متابولیک:

- افزایش فعالیت میتوکندری ها و توانایی اکسیداسیون چربی
- ارتقاء آنزیم های مسیر گلیکولیز و فسفوکراتین برای تولید ATP سریع
- بهبود تحمل لاکتات و بازگشت سریع pH عضلانی (Fan et al., ۲۰۲۲)

ج) سیستم عصبی-عضلانی:

- ارتقاء هماهنگی بین واحدهای حرکتی با شدت متفاوت
- افزایش سرعت تراکم فیبرهای عضلانی تندانقباض و کندانقباض بر حسب نیاز (Che et al., ۲۰۲۳)

د) سیستم تنظیم دمایی و تعریق:

- افزایش تعداد و حساسیت غدد عرقی
- بهبود توزیع جریان خون به پوست برای دفع گرما
- توسعه مکانیزم های پایدارساز تعادل آب و الکترولیت (آهوکلندری، ۱۴۰۱)

۳.۳ تأثیر تمرینات تناوبی بر متابولیسم آب و الکترولیت ها

طی فعالیت شدید، نرخ تعریق می تواند به ۱ تا ۲ لیتر در ساعت یا حتی بیشتر برسد، بسته به دما، رطوبت و میزان تطابق فرد با گرما. تمرینات تناوبی به طور بالقوه محرک اصلی افزایش تعریق هستند زیرا:

- شدت بالا منجر به افزایش مستقل دمای مرکزی (Core Temperature) می شود.
- دوره های بازبازی کوتاه، زمان کافی برای دفع گرما را محدود می کنند، بنابراین تعریق تداوم بیشتری می یابد.
- از منظر تعادل الکترولیت ها، دفع سدیم و کلر با عرق کردن اهمیت ویژه دارد. تمرینات تناوبی طولانی مدت می توانند باعث «تطبیق تعریق» شوند—یعنی غدد عرقی در طول چند هفته سدیم کمتری دفع کنند تا به حفظ تعادل الکترولیت کمک شود.

این تغییرات تطبیقی دو نتیجه مهم برای نیروهای انتظامی دارند:

۱. افزایش تحمل گرما: توان ادامه فعالیت در دماهای بالا بدون افت شدید عملکرد.
 ۲. بهبود مدیریت هیدراسیون: نیاز کمتر به مصرف مقادیر زیاد آب در فواصل کوتاه، البته به شرط جایگزینی کافی مایعات در طول روز (بشیری و همکاران، ۱۴۰۰).
- برای نیروهایی که مأموریت های میدانی طولانی در شرایط متغیر آب و هوایی دارند، تمرینات تناوبی می تواند هم یک شمشیر دولبه باشد:
- از یک سو، قدرت، سرعت، استقامت و ظرفیت ترمو تنظیم را بهبود می بخشد.
 - از سوی دیگر، اگر برنامه هیدراسیون متناسب تدوین نشود، خطر کم آبی و افت عملکرد به شدت افزایش می یابد (Martinez et al., ۲۰۲۲).
- به همین دلیل، بررسی علمی اثر هشت هفته تمرینات تناوبی بر سطح آب بدن این افراد، می تواند اطلاعات ارزشمندی برای طراحی پروتکل های تمرینی-تغذیه ای ایمن و مؤثر فراهم کند (Orime et al., ۲۰۲۴).

۴. مروری بر مطالعات پیشین

۴.۱ مطالعات داخلی مرتبط با گرما، کم آبی و عملکرد فیزیولوژیک

جعفری و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه ای آزمایشگاهی به اثر مواجهه با استرس گرمایی بر عملکرد دیداری-شنیداری افراد پرداختند. یافته ها نشان داد که قرارگیری در دماهای بالا، حتی بدون فعالیت بدنی سنگین، موجب افت کارایی ادراکی-شناختی می شود. این موضوع بیانگر آن است که کم آبی و گرمای محیط می توانند پیش از تخلیه کامل ذخایر

انرژی یا عضلات، مستقیماً بر سامانه عصبی اثر بگذارند. صباپی و همکاران (۱۴۰۰) با تمرکز بر ترکیب کم‌آبی، محیط گرم و مصرف کافئین، دریافتند که کم‌آبی ناشی از شرایط گرم و مرطوب موجب کاهش ظرفیت هوازی و تغییرات همودینامیک می‌شود، حتی زمانی که محرک‌هایی مانند کافئین برای بهبود عملکرد به کار می‌روند. پیام ضمنی این مطالعه این است که نقش هیدراسیون پایه‌ای، فراتر از مداخلات کمکی، در حفظ عملکرد حیاتی است. افشاری و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی عملکرد لباس خنک‌کننده مایع مبتنی بر ترموالکتریک در دماهای مختلف پرداختند. این مطالعه نشان داد که تجهیزات مدیریت حرارتی می‌توانند میزان افزایش دمای مرکزی بدن را کنترل کنند و به طور غیرمستقیم باعث حفظ هیدراسیون و جلوگیری از افت عملکرد شوند. چنین یافته‌هایی می‌تواند برای پرسنل انتظامی که در محیط‌های گرم فعالیت می‌کنند، ارزش کاربردی بالایی داشته باشد.

۴.۲ تمرینات در محیط‌های آبی و تأثیر بر فیزیولوژی

بشیری و همکاران (۱۴۰۰) و ایزدی و همکاران (۱۴۰۰) هر دو روی تمرینات انجام‌شده در آب تمرکز داشتند، ولی در جمعیت‌های متفاوت (افراد با کمردرد مزمن و پرستاران). نتایج نشان داد که آب‌درمانی و تمرین در محیط آبی باعث بهبود برخی شاخص‌های عملکردی و کاهش درد می‌شود. هرچند این مطالعات بر جمعیت هدف ما (پرسنل انتظامی) متمرکز نبودند، اما تأثیر مثبت محیط آبی بر کنترل فشار گرمایی و حفظ تعادل مایعات در سیستم عضلانی-اسکلتی قابل استناد است. آهوقلندری (۱۴۰۱) اثر تمرینات آبی بر شاخص توده بدن و پروفایل لیپیدی زنان چاق میانسال را بررسی کرد. نتایج بهبود قابل توجه در پارامترهای متابولیک را نشان داد که نقش همزمان تمرین بدنی و محیط آبی در ارتقای سلامت را برجسته می‌کند.

۴.۳ مطالعات داخلی روی کارکنان نظامی و انتظامی

رحیمی احمدی بلدی و همکاران (۱۴۰۰) اثر شانزده هفته تمرینات فانکشنال را بر کیفیت زندگی و سلامت روان پرسنل نظامی بررسی کردند. نتایج نشان داد که بهبود آمادگی جسمانی با ارتقای شاخص‌های روانی همراه است. هرچند هیدراسیون در این مخاطره‌سنجی لحاظ نشده بود، اما افزایش شدت تمرین‌ها در شیفت‌های طولانی، می‌تواند پیامدهای هیدراسیونی مشابه با تمرینات تناوبی داشته باشد.

۴.۴ مطالعات بین‌المللی درباره گرما، هیدراسیون و عملکرد

Périard و همکاران (۲۰۲۱) در یک مرور فیزیولوژیک جامع، اثر تمرین در گرما را بر ترمونتظیم، هیدراسیون و عملکرد بررسی کردند. آن‌ها بر این نکته تأکید کردند که حتی کاهش ۲٪ از توده آب بدن می‌تواند توان هوازی را تا ۱۰٪ کاهش دهد و پیشنهادهایی برای استراتژی‌های کاهش استرس گرمایی در فعالیت‌های میدانی ارائه کردند. Abel و Martinez (۲۰۲۱) و نیز Martinez و همکاران (۲۰۲۲) مطالعات میدانی بر دانشجویان آکادمی پلیس انجام دادند و نشان دادند که تمرینات HIIT و مقاومت تدریجی می‌توانند آمادگی قلبی-عروقی و عملکرد حرکتی را بهبود دهند. هرچند پایش مستقیم سطح آب بدن مدنظر نبود، اما ماهیت تمرینات و فشار بدنی، ارتباط غیرمستقیم ولی قوی با الگوی تعریق و کم‌آبی دارد.

Lockie و همکاران (۲۰۲۱) و Čvorović و همکاران (۲۰۲۱) نیز روی ترکیب بدنی و ارتباط آن با آمادگی جسمانی در نیروهای پلیس تحقیق کردند. آنها نتیجه گرفتند که درصد بالاتر توده عضلانی اسکلتی با عملکرد بهتر همراه است، اما در محیط های گرم و تمرینات شدید، این توده عضلانی بالاتر به معنای تولید گرمای بیشتر و در نتیجه نیاز بالا به مدیریت هیدراسیون است. Rattanatham و همکاران (۲۰۲۳) با تمرکز بر سندرم متابولیک در پلیس تایلند، شاخص های جایگزین مقاومت به انسولین را ارزیابی کردند که نشان دهنده پیوند بین متابولیسم، آمادگی بدنی و سلامت عمومی بود؛ حوزه ای که هیدراسیون مناسب می تواند به طور غیرمستقیم بر آن اثر بگذارد.

نتایج مطالعات داخلی و خارجی نشان می دهد:

- اثر گرما و کم آبی بر عملکرد ادراکی و جسمی واضح و مستند است، چه در شرایط آزمایشگاهی و چه عملیاتی.
 - تمرینات تناوبی و حتی غیرتناوبی در جمعیت نظامی و انتظامی نتایج مثبت بر عملکرد بدنی داشته اند، ولی هیدراسیون کمتر به صورت کنترل شده در این مطالعات بررسی شده است.
 - مطالعات تلفیقی که همزمان فشار گرمایی، هیدراسیون و عملکرد عملیاتی را بسنجند، محدود و پراکنده اند.
- بنابراین، خلأ اصلی در ادبیات، نیاز به پژوهش های میدانی با اندازه گیری دقیق شاخص های هیدراسیون پیش و پس از دوره های تمرینی است تا بتوان ارتباط قطعی بین برنامه های تناوبی، تعادل آب بدن و عملکرد کاری پرسنل انتظامی را تبیین کرد.

۵. تحلیل تطبیقی یافته ها

۵.۱ چشم انداز کلی: نقطه تلاقی گرما، هیدراسیون و تمرینات تناوبی

مرور ادبیات نشان می دهد که سه حوزه کلیدی—فشار گرمایی، تعادل آب بدن، و الگوی تمرین—در یک مثلث اثرگذار بر عملکرد کاری پرسنل انتظامی قرار دارند.

- از یک سو، تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT و SIT) باعث ارتقای ظرفیت قلبی-تنفسی، بهبود متابولیسم و افزایش تحمل فشار جسمانی می شوند.
 - از سوی دیگر، گرما و کم آبی نه تنها کارایی فیزیولوژیک بلکه توانایی های شناختی (سریع فکر کردن، واکنش های دقیق و تصمیم گیری های درست در میدان) را تضعیف می کنند.
 - نقطه اتصال این دو، همان جایی است که تمرینات تناوبی در محیط های واقعی شغلی پرسنل انتظامی، ناخواسته فشارهای گرمایی و تعریق قابل توجهی ایجاد می کنند.
- تحقیقاتی مانند جعفری و همکاران (۱۴۰۳) و Périard و همکاران (۲۰۲۱)، این اثر گرما و کم آبی را بر عملکرد حسی-حرکتی و هوازی اثبات کرده اند. همچنین مطالعات Martinez و همکاران (۲۰۲۱، ۲۰۲۲) نشان می دهند تمرینات تناوبی مهارت های بدنی را ارتقا می دهد. چالش اصلی، یافتن نقطه تعادل بین این دو حوزه متضاد است.

۵.۲ مقایسه یافته های داخلی و خارجی

محور بررسی	نتیجه غالب در مطالعات داخلی	نتیجه غالب در مطالعات خارجی	نقاط همگرایی	نقاط واگرایی
اثر گرما بر عملکرد	گرما باعث افت عملکرد بینایی، شنوایی، و هوازی حتی در سطوح کم است (جعفری، صباپی)	گرما و کم آبی منجر به کاهش توان هوازی تا ۱۰٪ و ضعف تصمیم گیری می شود (Périard)	هر دو تأکید بر اثر حتی کم آبی خفیف	مطالعات داخلی کمتر بر سازوکارهای سلولی-عصبی متمرکز بوده اند
هیدراسیون و مداخلات کمکی	مصرف کافئین بدون جبران آب کارایی را بهبود نمی دهد (صباپی)	راهبردهای پیش هیدراسیون و نوشیدنی های الکترولیتی توصیه می شود	نقش حیاتی جبران مایعات	رویکردهای پیشگیرانه در خارج بیشتر توسعه یافته اند
تمرینات تناوبی	تمرینات در جمعیت های خاص و محیط های آبی هم بهبود عملکرد می دهند (بشیری، ایزدی)	در آکادمی پلیس عملکرد و HIIT آمادگی جسمانی را ارتقا می دهد (Martinez)	تأثیر مثبت تمرینات شدید بر فاکتورهای عملکردی	مطالعات داخلی کمتر روی تناوبی های خشک با کنترل هیدراسیون تمرکز کرده اند
پرسنل انتظامی- نظامی	تمرینات فانکشنال سلامت روان و کیفیت زندگی را تقویت می کنند (رحیمی احمدی)	آمادگی جسمانی بالا در پلیس وابسته به توده عضلانی و کنترل وزن است (Čvorović, Lockie)	تمرکز بر آمادگی همه جانبه شغلی	کنترل هیدراسیون و گرما کمتر به عنوان عامل واسطه در داخل بررسی شده است

۵.۳ عوامل مداخله گر و تعدیل کننده

تحلیل تطبیقی نشان می دهد که نتایج مطالعات، تحت تأثیر مجموعه ای از عوامل واسط و تعدیل کننده قرار دارد:

۱. شرایط محیطی: دما، رطوبت و جریان هوا، شدت کاهش مایعات بدن را تعیین می کند.
۲. شدت و مدت تمرین: هرچه نسبت کار به استراحت در تمرینات تناوبی طولانی تر به سمت فشار بیشتر میل کند، تعریق و کم آبی هم بیشتر خواهد بود.
۳. وضعیت بدنی اولیه: درصد عضله و چربی، VO_{2max} و سوابق تمرینی بر پاسخ به گرما و کم آبی مؤثرند.
۴. استراتژی های جبران مایعات: حجم، ترکیب (آب، الکترولیت ها)، و زمان بندی مصرف مایعات بین دوره های تمرین و کار.
۵. عوامل روانی-شناختی: فشار روانی مأموریت ها می تواند آستانه تحمل گرما و کم آبی را کاهش دهد، حتی اگر شاخص های فیزیولوژیک مشابه باشند.

۵.۴ مدل مفهومی پیشنهادی

بر اساس شواهد، می توان یک چارچوب ارتباطی بین تمرینات تناوبی، هیدراسیون، و عملکرد کاری پرسنل انتظامی ترسیم کرد:

- ورودی: شدت و الگوی تمرین + شرایط محیطی
 - واسطه ها: میزان تعریق، تغییرات پلاسمای خون، دمای مرکزی، تغییرات الکترولیتی
 - پیامدهای کوتاه مدت: تغییر در توان هوازی، سرعت واکنش، خطای تصمیم گیری، احساس خستگی
 - پیامدهای بلندمدت: سازگاری تعریق، ارتقای آمادگی جسمانی، کاهش حساسیت به گرما (در صورت مدیریت هیدراسیون صحیح) یا افت مزمن عملکرد (در صورت کم آبی مکرر)
- این مدل نشان می دهد که مدیریت مناسب هیدراسیون یک اهرم حیاتی برای بهره گیری از مزایای تمرینات تناوبی بدون قربانی کردن عملکرد عملیاتی است.

۵.۵ پیامدهای عملی برای طراحی پژوهش حاضر

- ضرورت اندازه گیری میدانی: استفاده از روش های ارزیابی سریع هیدراسیون (وزن قبل و بعد، رنگ ادرار) و ابزار دقیق (اوزمولالیت پلاسما) در کنار آزمون های عملکردی.
- یکپارچگی برنامه تمرینی و آبرسانی: تدوین پروتکل تمرینی که پیش هیدراسیون و بازه های منظم نوشیدن را در خود جای دهد.
- توجه به هوش محیطی: ثبت شرایط دمایی و رطوبتی در طول تمرین، زیرا داده های عملکرد بدون این اطلاعات ناقص خواهد بود.
- تحلیل چندبعدی نتایج: ترکیب یافته های فیزیولوژیک، شناختی، و روانی برای ترسیم یک تصویر واقعی از اثر هشت هفته تمرینات تناوبی.

۶. چالش ها و محدودیت های پژوهش موجود

مرور انتقادی پژوهش های داخلی و خارجی نشان می دهد که با وجود شواهد ارزشمند، چندین چالش و محدودیت مهم باعث شده است که پاسخ به سؤال اصلی—«رابطه تعادل آب بدن با عملکرد کاری پس از تمرینات تناوبی در پرسنل انتظامی»—هنوز قطعی و دقیق نباشد. این چالش ها را می توان در سه سطح روش شناختی، اجرایی و کاربردی بررسی کرد.

۶.۱ محدودیت های روش شناختی

۱. کمبود طراحی های طولی و کنترل شده: بسیاری از پژوهش ها مقطعی بوده یا روی جمعیت های غیرانتظامی انجام شده اند. مطالعات طولی که چندین هفته تمرینات تناوبی را با پایش همزمان هیدراسیون بررسی کنند، بسیار محدود بوده است.
۲. تنوع در شیوه های سنجش هیدراسیون: برخی تحقیقات از شاخص های سریع (رنگ ادرار، تغییر وزن بدن) استفاده کرده اند و برخی دیگر از روش های آزمایشگاهی دقیق (اوزمولالیت خون، سدیم پلاسما). این ناهمگونی مانع مقایسه مستقیم نتایج و متاآنالیزهای معتبر می شود.
۳. عدم استانداردسازی پروتکل های تمرینات تناوبی: حتی در مطالعاتی که از HIIT استفاده شده، شدت، مدت، و نسبت کار به استراحت متفاوت بوده و مقایسه اثرات را دشوار کرده است. نبود گزارش دقیق از بار تمرین (Training Load) به ارزیابی دوز-پاسخ کمک نکرده است.
۴. فقدان سنجش همزمان عملکرد فیزیکی و شناختی: اغلب پژوهش ها فقط بر یک بعد عملکرد (مثلاً VO_{2max} یا قدرت) تمرکز داشته اند و تأثیر کم آبی بر عملکرد تصمیم گیری، سرعت واکنش، یا دقت را ثبت نکرده اند.

۶.۲ محدودیت های اجرایی

۱. شرایط کنترل نشده محیطی: در بسیاری از پژوهش های میدانی، دما، رطوبت و سرعت باد به طور دقیق کنترل نشده، در حالی که این متغیرها مستقیماً بر تعریق و هیدراسیون اثر می گذارند.
۲. چالش پایش پرسنل در حین مأموریت: در محیط کاری نیروهای انتظامی، امکان جمع آوری داده های زیستی در لحظه (Real-time) محدود است و همین امر به تخمین های غیرمستقیم منجر می شود.
۳. ملاحظات امنیتی و محرمانگی داده ها: به ویژه در مطالعات نظامی-انتظامی، محدودیت در ثبت و انتشار برخی اطلاعات (مکان تمرین، ساختار مأموریت) وجود دارد که مانع توضیح کامل بستر عملیاتی یافته ها می شود.
۴. بهره گیری ناکافی از فناوری های نوین: ابزارهایی مانند حسگرهای پوشیدنی برای پایش دمای مرکزی، حجم تعریق، یا وضعیت هیدراسیون در حین فعالیت کمتر در محیط واقعی مورد استفاده قرار گرفته اند.

۶.۳ محدودیت های کاربردی و انتقال پذیری یافته ها

۱. تفاوت جمعیت هدف: بیشتر مطالعات خارجی روی دانشجویان پلیس یا ورزشکاران اجرا شده و مستقیماً قابل تعمیم به نیروهای فعال میدانی نیستند، زیرا فشار روانی و محیطی مأموریت های واقعی بسیار بیشتر است.
۲. عدم توجه به اثرات ترکیبی محرک ها: بخش عمده پژوهش ها یک متغیر (گرما یا کم آبی یا تمرین) را بررسی کرده اند و کمتر به اثرات توأمان، که در شرایط واقعی اجتناب ناپذیر است، پرداخته اند.

۳. کمبود دستورالعمل های بومی سازی شده: تحقیقات داخلی کمتر به تدوین پروتکل های آبرسانی و تمرینی متناسب با شرایط اقلیمی خاص کشور (مانند مناطق گرم و خشک یا مرطوب جنوب) پرداخته اند.
۴. فقدان ارزیابی پیامدهای بلندمدت: پیامدهایی مانند سازگاری ترموفیزیولوژیک، تغییرات پایدار در الکترولیت ها، یا تأثیر بر آمادگی شغلی پس از چند ماه، کمتر سنجیده شده اند.

۶.۴ پیامدهای این محدودیت ها

- عدم وجود داده های یکپارچه مانع از ارائه توصیه های دقیق به واحدهای آموزش و پشتیبانی نیروهای انتظامی شده است.
- نبود استاندارد در سنجش ها و پروتکل ها باعث شده که نتایج متناقض یا غیرقابل مقایسه باشند.
- محدودیت ابزار و شرایط اجرای پژوهش در میدان، خلأ بین شواهد علمی و کاربرد عملی را حفظ کرده است.

۷. پیشنهادات برای تحقیقات آینده

پژوهش های آینده در حوزه رابطه سطح آب بدن و عملکرد کاری پس از تمرینات تناوبی باید پیش از هر چیز از طراحی های طولی و کنترل شده بهره بگیرند. انجام مطالعاتی با بازه زمانی حداقل هشت هفته، که همگام با آن شاخص های فیزیولوژیک هیدراسیون و عملکرد فیزیکی-شناختی ثبت شود، می تواند شکاف موجود میان داده های کوتاه مدت و پیامدهای پایدار را پر کند. این طراحی ها باید دارای گروه کنترل و مداخله باشند تا اثر خالص تمرینات قابل تفکیک از سایر عوامل محیطی باشد. یکی از اولویت های مهم، استانداردسازی روش های ارزیابی هیدراسیون است. استفاده همزمان از شاخص های میدانی (مانند تغییر وزن بدن و رنگ ادرار) و آزمون های آزمایشگاهی دقیق (مثل اوزمولالیته پلاسما) می تواند تعادل بین دقت علمی و کارایی میدانی را برقرار کند. این رویکرد به پژوهشگران اجازه می دهد داده های داخلی و خارجی را قابل مقایسه کرده و بستر متاآنالیزها و مرورهای نظام مند را فراهم سازند.

به منظور افزایش کاربردپذیری نتایج، پیشنهاد می شود تحقیقات آینده اندازه گیری های همزمان فیزیکی و شناختی را لحاظ کنند. به عنوان مثال، آزمون های سرعت واکنش، دقت تصمیم گیری، و ارزیابی استرس روانی در کنار پارامترهای فیزیولوژیک باید اجرا شوند، زیرا پرسنل انتظامی در شرایط واقعی مأموریت، همزمان در هر دو بعد فعالیت می کنند. چنین ارزیابی چندبعدی، تصویر کامل تری از اثر کم آبی و تمرینات تناوبی به دست می دهد. استفاده از فناوری های پوشیدنی و سیستم های پایش لحظه ای باید به بخشی اصلی از طراحی پژوهش تبدیل شود. سنسورهای دمای مرکزی، اندازه گیری های حجم تعریق، و حسگرهای بی سیم هیدراسیون می توانند داده هایی با دقت بالا در محیط واقعی مأموریت

ثبت کنند، بدون اینکه به روند کار پرسنل اختلال وارد شود. این فناوری ها همچنین قابلیت گردآوری داده های طولانی مدت را فراهم می کنند.

پژوهش های آینده باید به مدل سازی اثرات ترکیبی گرما، کم آبی و فشار تمرینی بپردازند. طراحی هایی که این سه عامل را به صورت همزمان و در شرایط کنترل شده یا شبیه سازی مأموریت های واقعی بررسی کنند، نزدیک ترین سناریو به واقعیت کاری نیروهای انتظامی را بازتولید خواهند کرد. این مدل سازی می تواند تعیین کند که کدام ترکیب از شدت تمرین، شرایط محیطی و استراتژی آبرسانی بیشترین پایداری عملکرد را فراهم می آورد. در آخر، ضرورت دارد که برای مناطق مختلف کشور، پروتکل های بومی آبرسانی و تمرینات تناوبی توسعه یابد. این پروتکل ها باید متناسب با اقلیم (گرم و خشک، گرم و مرطوب، سرد و کوهستانی)، و ویژگی های جمعیتی پرسنل طراحی شوند. به کارگیری رویکرد بومی می تواند روند انتقال یافته ها از فضای آزمایشگاهی به محیط عملیاتی را تسهیل کرده و کارایی مداخلات را افزایش دهد.

۸. نتیجه گیری

یافته ها و مرور ادبیات نشان داد که هیدراسیون مناسب یک مؤلفه حیاتی در حفظ و ارتقای عملکرد کاری پرسنل انتظامی است، به ویژه زمانی که آنها تحت تمرینات تناوبی و در محیط های گرم و پرتنش فعالیت می کنند. حتی مقادیر اندک کم آبی (حدود ۲٪ کاهش حجم مایعات بدن) می تواند توان هوازی، مهارت های شناختی و دقت تصمیم گیری را به طور محسوسی پایین بیاورد. این اثرات، در شرایط مأموریت واقعی که فشار زمانی و فیزیکی وجود دارد، می تواند پیامدهای حیاتی برای ایمنی فرد و موفقیت عملیات داشته باشد.

تمرینات تناوبی، به دلیل مزایای شناخته شده در بهبود توان هوازی، قدرت عضلانی و سازگاری قلبی-عروقی، همچنان گزینه برتر برای آماده سازی نیروها باقی می ماند. با این حال این تمرینات، به ویژه در دماهای بالا یا همراه با پوشش سنگین، باعث افزایش نرخ تعریق و افت سریع تر سطح آب بدن می شوند. این تعامل دوگانه—یعنی همزمانی ارتقای آمادگی و افزایش ریسک کم آبی—نشان می دهد که برنامه های تمرینی بدون راهبرد آبرسانی دقیق، ممکن است نتایج معکوس ایجاد کنند. مرور مطالعات داخلی و خارجی آشکار ساخت که عدم یکنواختی در پروتکل های تمرین، روش های پایش هیدراسیون و ارزیابی عملکرد، مانع نتیجه گیری قطعی و ارائه دستورالعمل های استاندارد شده است. علاوه بر این، خلأ پژوهشی در بررسی های طولی، سنجش همزمان عملکرد فیزیکی و شناختی، و استفاده از ابزارهای فناورانه می دانی همچنان محسوس است.

بر این اساس، آینده پژوهش باید به سمت مدل سازی جامع اثرات گرما، کم آبی و تمرینات تناوبی و تدوین پروتکل های بومی آبرسانی و تمرین هدایت شود. تنها با چنین رویکردی می توان اطمینان یافت که ارتقای آمادگی جسمانی پرسنل انتظامی با حفظ ایمنی و پایداری عملکرد همراه خواهد بود. این مسیر نه تنها شکاف بین تحقیقات علمی و نیازهای عملیاتی را پر می کند، بلکه می تواند مبنای آموزش، تجهیز و پشتیبانی مؤثر نیروهای میدانی باشد.

منابع

- جعفری، اخلاقی، غفاری. (۱۴۰۳). بررسی اثر مواجهه با استرس گرمایی بر عملکرد دیداری شنیداری افراد در شرایط آزمایشگاهی. فصلنامه طب کار، ۱۶(۱)، ۷۵-۸۹.
- صبایی سارا، سرشین امیر، رحیمی علیرضا، فیض الهی فواد. (۱۴۰۰). تاثیر مصرف حاد کافئین در شرایط کم آبی بدن و محیط گرم و مرطوب بر عملکرد هوازی، فشار خون و برخی عوامل سیستم ایمنی مردان فعال.
- افشاری، رفیعی پور، آتنا، علی محمدی. (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد لباس خنک کننده مایع مبتنی بر تبرید ترموالکتریک تحت دماهای محیطی مختلف. فصلنامه طب کار، ۱۷(۲)، ۱۲-۲۶.
- بشیری، لطافت کار، یلفانی، حدادنژاد. (۱۴۰۰). تاثیر تمرینات پیش توانبخشی آب درمانی بر میزان درد و فعالیت الکتریکی عضلات مرکزی بیماران دارای کمردرد مزمن کاندیدای جراحی لامینکتومی. دوماهنامه علمی-پژوهشی طب توانبخشی، ۱۰(۴)، ۸۲۱-۸۰۶.
- آهوقلندری. (۱۴۰۱). اثر تمرینات آبی بر شاخص توده بدن، پروفایل لیپیدی و عوامل آتروژنیک در زنان چاق میانسال. مجله علمی پزشکی جندی شاپور، ۲۱(۵)، ۶۳۸-۶۴۹.
- ایزدی، هوار، غنی زاده حصار، نرمین. (۱۴۰۰). تأثیر هشت هفته تمرینات منتخب در آب بر درد و تعادل زنان پرستار مبتلا به کمردرد مزمن. فصلنامه بیومکانیک ورزشی، ۷(۱)، ۴۴-۵۵.
- رحیمی احمدی بلدی، تادیبی، وحید، حسین پور دلاور، امیری، جلیل وند. (۱۴۰۰). تأثیر شانزده هفته تمرینات فانکشنال بر کیفیت زن دگی و سلامت روان پرسنل نظامی. مجله علمی پزشکی جندی شاپور، ۲۰(۵)، ۴۴۶-۴۵۵.
- Orime, H., Tait, S., Boxall, J., Shepherd, W., Schellart, A. (۲۰۲۴). Evaluating the performance of water distribution network deterioration using customer-oriented performance indices. Water Supply, ۲۴(۱۱), ۳۷۵۹-۳۷۷۵.
- Ding, N., Zhu, Q., Cherqui, F., Walcker, N., Bertrand-Krajewski, J. L., Hamel, P. (۲۰۲۵). Laboratory performance assessment of low-cost water level sensor for field monitoring in the tropics. Water Research X, ۲۷, ۱۰۰۲۹۸.
- Yuan, K., Zhuang, X., Schaefer, G., Feng, J., Guan, L., Fang, H. (۲۰۲۱). Deep-learning-based multispectral satellite image segmentation for water body detection. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, ۱۴, ۷۴۲۲-۷۴۳۴.
- Périard, J. D., Eijssvogels, T. M., Daanen, H. A. (۲۰۲۱). Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. Physiological reviews.
- Che, L., Pan, J., Cai, K., Cong, Y., Lv, S. W. (۲۰۲۳). The construction of pn heterojunction for enhancing photocatalytic performance in environmental application: A review. Separation and Purification Technology, ۳۱۵, ۱۲۳۷۰۸.
- Chen, P., An, J., Shu, S., Cheng, R., Nie, J., Jiang, T., Wang, Z. L. (۲۰۲۱). Super-durable, low-wear, and high-performance fur-brush triboelectric nanogenerator for wind and water energy harvesting for smart agriculture. Advanced Energy Materials, ۱۱(۹), ۲۰۰۳۰۶۶.
- Fan, W., Zhang, G., Zhang, X., Dong, K., Liang, X., Chen, W., ... Zhang, Y. (۲۰۲۲). Superior unidirectional water transport and mechanically stable ۳D orthogonal woven fabric for human body moisture and thermal management. Small, ۱۸(۱۰), ۲۱۰۷۱۵۰.

- Martinez, G. J., Ma, X., Best, S., Johnson, B. F., Abel, M. G. (۲۰۲۲). Implementation of High Intensity Interval Training and Autoregulatory Progressive Resistance Exercise in a Law Enforcement Training Academy. *International Journal of Exercise Science*, ۱۵(۴), ۱۲۴۶.
- Martinez, G. J., Abel, M. G. (۲۰۲۱). Effect of a law enforcement academy training program on validated fitness outcomes of cadets. *The Journal of Strength Conditioning Research*, ۳۵(۴), ۹۵۵-۹۶۲.
- Čvorović, A., Kukić, F., Orr, R. M., Dawes, J. J., Jeknić, V., Stojković, M. (۲۰۲۱). Impact of a ۱۲-week postgraduate training course on the body composition and physical abilities of police trainees. *The Journal of Strength Conditioning Research*, ۳۵(۳), ۸۲۶-۸۳۲.
- Lockie, R. G., Carlock, B. N., Ruvalcaba, T. J., Dulla, J. M., Orr, R. M., Dawes, J. J., McGuire, M. B. (۲۰۲۱). Skeletal muscle mass and fat mass relationships with physical fitness test performance in law enforcement recruits before academy. *The Journal of Strength Conditioning Research*, ۳۵(۵), ۱۲۸۷-۱۲۹۵.
- Rattanatham, R., Tangpong, J., Chatatikun, M., Sun, D., Kawakami, F., Imai, M., Klangbud, W. K. (۲۰۲۳). Assessment of eight insulin resistance surrogate indexes for predicting metabolic syndrome and hypertension in Thai law enforcement officers. *PeerJ*, ۱۱, ۱۱۵۴۶۳.
- Thomas, A. M. (۲۰۲۱). Authoritarian, transactional, and transformational leadership styles in law enforcement. *Organization Development Journal*, ۳۹(۱), ۳۳-۴۴.
- Mumford, E. A., Liu, W., Taylor, B. G. (۲۰۲۱). Profiles of US law enforcement officers' physical, psychological, and behavioral health: Results from a nationally representative survey of officers. *Police Quarterly*, ۲۴(۳), ۳۵۷-۳۸۱.
- Fisher, B. W., Petrosino, A., Sutherland, H., Guckenburg, S., Fronius, T., Benitez, I., Earl, K. (۲۰۲۳). School-based law enforcement strategies to reduce crime, increase perceptions of safety, and improve learning outcomes in primary and secondary schools: A systematic review. *Campbell systematic reviews*, ۱۹(۴), e۱۳۶۰.