

مطالعات کاربردی تندرستی در فیزیولوژی ورزش

سال هفتم، شماره دوم؛

پاییز و زمستان ۱۳۹۹؛ صفحات ۴۴-۳۶

مقاله پژوهشی

مقایسه تاثیر آلودگی هوا بر پاسخ مالون دی آلدئید و ظرفیت تام آنتی اکسیدانی بزاقی به پروتکل بنگسبو در فضای روباز و سرپوشیده در بازیکنان نوجوان فوتسال

وهاب خان احمدی^۱، علی صمدی^{۲*}، مجید حسن پور عزتی^۳
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۵

چکیده

هدف: علی‌رغم مزایای شناخته شده فعالیت‌های ورزشی، به دلیل افزایش آلودگی هوا هنگام ورزش و بالا بودن غلظت آلاینده‌ها هنگام ناسالم بودن هوا نگرانی‌هایی در مورد اجرای فعالیت ورزشی در هوای ناسالم وجود دارد. لذا، هدف مطالعه حاضر مقایسه تاثیر آلودگی هوا بر پاسخ مالون دی آلدئید (MDA) و ظرفیت تام آنتی اکسیدانی (TAC) بزاقی به یک حلقه فعالیت ورزشی در فضای روباز و سرپوشیده در بازیکنان نوجوان فوتسال است. **روش شناسی:** تعداد ۱۲ فوتسال‌بست پسر نوجوان (۱۶-۱۵ سال)، پروتکل ورزشی بنگسبو را در دو محیط روباز و سرپوشیده و دو کیفیت هوای سالم و ناسالم انجام دادند. نمونه‌های بزاقی آزمودنی‌ها قبل و پس از انجام هر بار پروتکل ورزشی به روش غیرفعال جمع‌آوری شد. مقادیر MDA و TAC بزاقی به روش الیزا و با استفاده از کیت‌های ویژه (زل‌بایو-آلمان) سنجیده شد. داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت ($P < 0.05$). **یافته‌ها:** یافته‌ها تأیید کرد که در مقایسه با هوای سالم، در هوای ناسالم مقادیر پایه و پس از فعالیت ورزشی MDA بزاقی - در هر دوی محیط روباز و سرپوشیده - بیشتر بود ($P < 0.05$). همچنین تغییرات TAC بزاقی در هوای سالم - هر دوی محیط روباز و سرپوشیده - در پاسخ به اجرای پروتکل ورزشی افزایشی بود ($P > 0.05$)، ولی در هوای ناسالم تغییرات آن در پاسخ به اجرای پروتکل ورزشی کاهش بود ($P < 0.05$). همچنین، مقایسه پاسخ MDA و TAC بزاقی به اجرای پروتکل ورزشی در شرایط هوایی ناسالم نشان داد بین محیط‌های سرپوشیده و روباز تفاوت معناداری از نظر تغییرات آن‌ها وجود نداشت ($P > 0.05$). **نتیجه‌گیری:** یافته‌های مطالعه حاضر موید این موضوع است که ناسالم بودن هوا تاثیر منفی بر پاسخ MDA و TAC بزاقی به فعالیت ورزشی دارد. همچنین به نظر می‌رسد انتقال فعالیت ورزشی به محیط سرپوشیده در شرایط هوایی ناسالم باعث کاهش آثار منفی هوای ناسالم بر پاسخ MDA و TAC بزاقی به فعالیت ورزشی نمی‌شود و نیاز به راهکارها و توصیه‌های مبتنی بر شواهد علمی برای کاهش پیامدهای منفی فعالیت ورزشی در هوای ناسالم بر پاسخ سیستم اکسیدانی - آنتی اکسیدانی بدن احساس می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فضای روباز و سرپوشیده، استرس اکسایشی، بازیکنان نوجوان فوتسال، آلودگی هوا.



اسکن QR فوق می‌توانید جزئیات مقاله حاضر را در سایت www.jahssp.azaruniv.ac.ir/ مشاهده کنید

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه شاهد تهران، ایران

۲. استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران. (نویسنده مسئول): a.samadi@shahed.ac.ir

۳. استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

نحوه ارجاع: وهاب خان احمدی، علی صمدی، مجید حسن پور عزتی. مقایسه تاثیر آلودگی هوا بر پاسخ مالون دی آلدئید و ظرفیت تام آنتی اکسیدانی بزاقی به پروتکل بنگسبو در فضای روباز و سرپوشیده در بازیکنان نوجوان فوتسال. *مطالعات کاربردی تندرستی در فیزیولوژی ورزش*، ۱۳۹۹؛ ۷(۲): ۴۴-۳۶.

Original Article

Comparing the Effect of Air Pollution on Salivary Malondialdehyde and Total Antioxidant Capacity Response to a Bangsbo Protocol in Indoor vs. Outdoor Environment in Male Adolescent Futsal Players

Vahab Khan Ahmadi¹, Ali Samadi^{2*}, Majid Hasan Pour Ezzati³

Received 2020 November 15 ; Accepted 2020 July 25

Abstract

Aim: In spite of well-known health promoting benefits of exercise, due to increased ventilation during exercise and higher concentrations of pollutants while the air quality is unhealthy there is increasing concern about exercising in polluted air. Therefore, the present study aimed to compare the effect of air pollutants on salivary malondialdehyde (MDA) and total antioxidant capacity (TAC) response to a bout of exercise in indoor and outdoor environment in male adolescent futsal players. **Methods :** Twelve male adolescent futsal players completed the Bangsbo protocol in two environments (indoor vs. outdoor) at two air quality conditions (Air Quality Index 50-100 = Healthy, and 100 to 150 = Unhealthy). Salivary samples were collected before and immediately after performing the protocol in each condition. MDA and TAC were assessed using specified kits (Zelbio-Germany). Data were analyzed using analysis of covariance test ($P < 0.05$). **Results:** Finding confirmed that in comparison with healthy air condition, the basic and post exercise levels of salivary MDA were higher in unhealthy air condition - both at indoor and outdoor ($P < 0.05$). Moreover, in healthy air condition in response to exercise protocol changes of salivary TAC in -both indoor and outdoor- was incremental ($P > 0.05$) but in unhealthy air condition -both indoor and outdoor- its changes was decremented ($P < 0.05$). **Conclusion:** Findings of present study confirms that unhealthy air condition has negative effect on salivary MDA and TAC response to exercise. Moreover, it seems that relocating the exercise to an indoor environment in unhealthy air condition does not reduce the negative effects of unhealthy air on the salivary MDA and TAC response, and there seems to be need for evidence-base recommendation to reduce the negative effect of unhealthy air on oxidant-antioxidant system response to exercising in unhealthy air condition.

Keywords: Indoor and Outdoor Environment, Oxidative Stress, Adolescent Futsal Players, Air Pollution



Scan this QR code to see the accompanying video, or visit jahssp.azaruniv.ac.ir

1. MSc in Exercise Physiology, Shahed University, Tehran, Iran

2. Physical Education and Sport Sciences Department, Faculty of Humanities, Shahed University, Tehran, Iran. (Corresponding Author): a.samadi@shahed.ac.ir

3. Biology Department, Faculty of Basic Sciences, Shahed University, Tehran, Iran.

Cite as: Khan Ahmadi, Vahab, Samadi, Ali, Hassan Pour Ezzati, Majid. Comparing the effect of air pollution on salivary malondialdehyde and total antioxidant capacity response to a Bangsbo protocol in indoor vs. outdoor environment in male adolescent futsal players. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2020; 7(2): 36-44.



مقدمه

شهرنشینی در دنیای کنونی به شدت در حال رشد است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ دو سوم جمعیت جهان (۶/۵ میلیارد نفر) در مراکز شهری زندگی کنند. شهرنشینی با رشد و توسعه صنعتی همراه است و در کنار بهبود کیفیت زندگی و برخی مزایا، چالش‌هایی را نیز به همراه دارد (۱). یکی از بزرگ‌ترین این چالش‌ها، آلاینده‌هایی هستند که از منابع مختلف شامل فرآیندهای طبیعی و نیز منابع صنعتی در مراکز شهری (شامل نیروگاه‌ها، کارخانه‌ها، سوختن، سوخت‌های فسیلی و حمل و نقل) تولید شده و موجب آلودگی هوا می‌شوند (۲-۴). طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۸۰ درصد ساکنان مناطق شهری که پیش‌گفته‌ها در آنجا انجام می‌شود، در معرض هوایی هستند که سطح آلودگی آن بالاتر از مقادیر توصیه شده است (۵). آلودگی هوا خطرات سلامتی فراوانی به همراه دارد مطالعات نشان داده‌اند دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) ازن (O_3)، ذرات با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) آلاینده‌های اصلی هوا هستند که با افزایش شیوع بیماری‌های تنفسی و همچنین افزایش مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و ریوی و بروز برخی انواع سرطان‌ها ارتباط دارند. آمارها نشان می‌دهند سالانه حدود ۷ میلیون نفر در سراسر دنیا بر اثر زندگی در مناطق آلوده و استنشاق هوای آلوده جان خود را از دست می‌دهند (۶-۹).

هرچند آلودگی هوا می‌تواند به واسطه سازوکارهای گوناگونی بر سلامت تاثیر بگذارد یکی از سازوکارهای مهم تاثیر منفی آلودگی هوا بر سلامت استرس اکسایشی است. استرس اکسایشی حاصل از بین رفتن تعادل فیزیولوژیک بین اکسیدان‌ها (رادیکال‌های آزاد) و آنتی‌اکسیدان‌ها است که تداوم آن می‌تواند موجب آسیب اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌های سلولی شود که در نهایت آسیب و مرگ تدریجی سلول‌ها را به دنبال خواهد داشت (۱۰). اکسیدان یا رادیکال آزاد اتم یا ملکولی است که در مدار ظرفیت خود یک الکترون جفت نشده دارد لذا واکنش‌پذیری بالایی دارد. از سوی دیگر آنتی‌اکسیدان‌ها مولکول‌هایی هستند که با اکسید کردن خود اکسیداسیون مولکول‌های دیگر را مهار می‌کنند و بدلیل توانایی خنثی کردن رادیکال‌های آزاد نقش بسیار مهمی در توقف اثرات مخرب ناشی از آن‌ها دارند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پایین می‌تواند نشان‌دهنده استرس اکسایشی یا افزایش حساسیت به آسیب اکسایشی باشد (۱۱). در راه‌های هوایی افزایش استرس اکسایشی ناشی از آلاینده‌های موجود در هوا باعث فعال شدن عامل هسته‌ای^۱ (NF- κ B) کاپا-B و تحریک تولید لنفوسیت‌های T کمکی نوع ۱ ($Th1$) می‌شود. همچنین، استرس اکسایشی با تحریک ماکروفاژهای آلوئولار و سلول‌های اپیتلیال به افزایش بیان سیاتوکاین‌های پیش التهابی در مجاری هوایی منجر می‌شود، سلول‌های دندریتیک را به مهاجرت به غدد لنفاوی موضعی تحریک کرده، باعث نکروز و آپوپتوز سلول می‌شود، به آزاد سازی و فعال شدن تله‌های خارج سلولی نوتروفیل^۲ (NETs) کمک می‌کند و نیز با افزایش سطح اینترلوکین ۱۷ و اینترلوکین ۲۳ همراه است (۱۲). لذا از راه این سازوکارها استرس اکسایشی التهاب سیستمیک و عدم تعادل سیستم ایمنی را تشدید می‌کند (۱۳، ۱۴).

تاثیرات مثبت فعالیت ورزشی بر سلامت انسان توجه زیادی را به خود جلب کرده است و باعث افزایش محبوبیت انجام فعالیت‌های ورزشی و تفریحی در هردوی محیط‌های روباز و سرپوشیده شده است. مطالعات نشان داده‌اند در مقایسه با محیط سرپوشیده انجام فعالیت‌های بدنی و ورزشی در فضای روباز با کاهش افسردگی و درک فشار فعالیت همراه بوده است (۷). با وجود این

انجام فعالیت‌های ورزشی به ویژه در فضاهای روباز با افزایش قرارگیری در معرض آلاینده‌های محیطی همراه است و به دلیل افزایش افزایش تهویه هوا هنگام ورزش هوا نگرانی‌هایی در مورد اجرای فعالیت ورزشی در هوای آلوده وجود دارد (۳). لذا هرچند مشخص شده است انجام منظم فعالیت‌های بدنی و ورزشی می‌تواند به ارتقا سلامت کمک کند، همزمان افزایش میزان تهویه و قرارگرفتن در معرض آلاینده‌ها هنگام فعالیت‌های بدنی و ورزشی می‌تواند به طور بالقوه ورود آلاینده‌ها به عمق ریه را افزایش دهد که می‌تواند تاثیری منفی بر سلامت فرد داشته باشد، لذا دوگانگی در مورد انجام فعالیت‌های بدنی و ورزشی هنگام ناسالم بودن هوا با ویژه در فضاهای روباز مطرح شده است (۷، ۱۵). شماری از پژوهش‌های انجام شده نیز گزارش کرده‌اند انجام فعالیت ورزشی در هوای ناسالم با افزایش غلظت سرب (۲) و کربوکسی‌هموگلوبین (۱۶)، افزایش همولیز سلول‌های خون (۱۷) و اختلال عملکرد اندوتلیال (۱۸) همراه بوده است. همچنین، لوینسکی^۳ و همکارانش گزارش کردند نوجوانان فعال‌تر در معرض مقادیر بیشتر ذرات کربن سیاه بودند و همچنین آثار مثبت فعالیت ورزشی بر التهاب مجاری هوایی به واسطه افزایش قرارگیری در معرض ذرات کربن سیاه در آنان کاهش یافت (۱۹). با وجود این، به تازگی واگنر^۴ و همکارانش (۲۰۱۹) گزارش کردند تفاوت بالینی معناداری در میزان نیتریک اکساید، پروتئین واکنشی C و شاخص‌های عملکرد ریوی پس از ۲۰ دقیقه رکاب زدن در وضعیت هوای با $PM_{2.5}$ کم و زیاد وجود نداشت (۲۰). همچنین، اخیراً لین^۵ و همکارانش (۲۰۲۰) در یک پژوهش اپیدمیولوژیک بر روی ۱۸۹۷۷۱ نفر نشان دادند که انجام فعالیت بدنی و ورزشی با شدت متوسط و زیاد در وضعیت هوای با $PM_{2.5}$ یا PM_{10} کم یا زیاد با کاهش خطر بیماری قلبی عروقی (CVD) همراه بوده است و آلودگی هوا تاثیری منفی بر آثار مثبت سلامتی فعالیت ورزشی بر سلامت نداشته است (۲۱).

عموماً هنگام آلوده و ناسالم بودن هوا توصیه می‌شود که قرارگیری در معرض هوای ناسالم کاهش یافته و فعالیت بدنی و ورزشی در فضاهای سرپوشیده انجام شود (۲۲)؛ در مدارس نیز در زمان ناسالم بودن هوا زنگ ورزش عموماً تعطیل است و برخی از مدارس که از امکانات بهتری برخوردارند کلاس ورزش خود را به فضاهای سرپوشیده انتقال می‌دهند با این تصور که محیط‌های سرپوشیده وضعیت هوایی بهتری نسبت به محیط‌های روباز دارند، با وجود این به دلیل عدم وجود دستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در محیط‌های سرپوشیده الزاماً نمی‌توان گفت که سالن‌ها و فضاهای ورزشی سرپوشیده نسبت به فضای روباز محیط آلوده، سالم‌تر هستند. همچنین به دلیل روی آوردن جوانان به ورزش‌های مختلف به خصوص رشته فوتبال و فوتبال، تقاضا برای احداث اماکن و زمین ورزشی در سطح شهرها زیاد شده است، که برخی از این اماکن در حاشیه اتوبان‌های اصلی شهرها احداث شده‌اند که کیفیت هوای این اماکن سرپوشیده نیز مورد سوال قرار گرفته است. با وجود این بنا به بررسی محقق اطلاعات انتشار یافته‌ای در مورد تاثیر روباز یا سرپوشیده بودن محیط به هنگام ناسالم بودن هوا بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی به فعالیت ورزشی به ویژه مالون دی آلدئید (MDA) و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC) - به عنوان شاخص‌های استرس اکسایشی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی - وجود ندارد. لذا، هدف مطالعه حاضر مقایسه تاثیر آلودگی هوا بر پاسخ مالون دی آلدئید (MDA) و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC) بزاقی به یک حله فعالیت ورزشی در فضای روباز و سرپوشیده در بازیکنان نوجوان فوتسالست بود.

۴. Wagner

۵. Lin

1. Nuclear factor kappa B

2. Neutrophil extracellular traps

3. Lovinesky



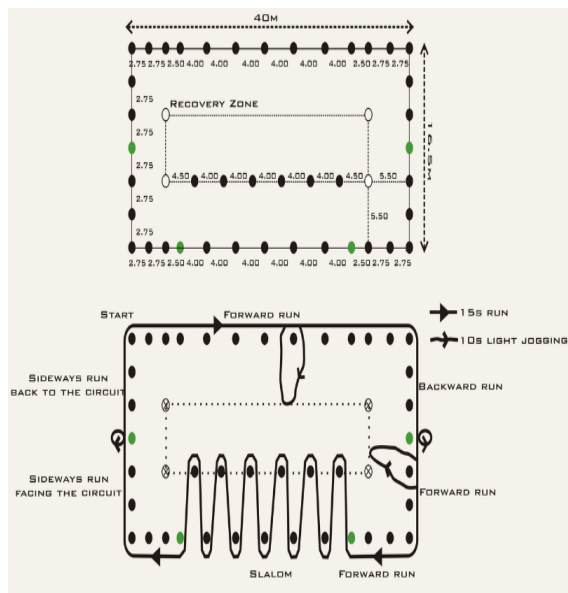
روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی است و در آن گروه تجربی با طرح پیش-آزمون-پس آزمون در چهار مرحله مورد ارزیابی قرار گرفت. جامعه آماری این پژوهش بازیکنان رده نوجوانان پسر لیگ دسته برتر فوتسال کشور (در فصل مسابقاتی ۱۳۹۷-۱۳۹۸) بود که از بین آن‌ها بازیکنان تیم شهید سرخه‌ای به صورت نمونه در دسترس به عنوان نمونه انتخاب شدند. پس از پر کردن پرسشنامه پیشینه پزشکی، پرسشنامه آمادگی برای ورود به فعالیت ورزشی (PAR-Q) و دریافت توضیحات درباره اهداف و محدودیت‌های مطالعه، وارد مطالعه شدند. آزمودنی‌ها و والدین آن‌ها فرم رضایت‌نامه آگاهانه را مطالعه و امضا کردند. سه هفته پیش از انجام پروتکل اصلی آزمون میدانی رفت و برگشت یویو از آزمودنی‌ها به منظور ارزیابی میزان اکسیژن مصرفی بیشینه (VO_{2max}) گرفته شد. این آزمون شامل دویدن ۲ مسافت ۲۰ متری متوالی به شکل رفت، دور زدن و برگشت به نقطه شروع است که لحظه شروع و پایان رفت و برگشت با صدای بوق تعیین می‌شود. در پشت خط شروع مخروطی به فاصله ۵ متر قرار داده شده بود که آزمودنی‌ها ۱۰ ثانیه فرصت داشتند پس از هر رفت و برگشت، به منظور بازیافت، ۲ مسافت ۵ متری را با دوی نرم بدوند. زمانی که آزمودنی‌ها با شنیدن صدای بوق، ۲ مرتبه ناتوان از رسیدن به خط شروع می‌شدند آزمون خاتمه می‌یافت. در پایان VO_{2max} با استفاده از فرمول زیر و بر اساس کل مسافت پیموده شده محاسبه شد (۲۳).

$$VO_{2max}(ml/min/kg) = (m) \times \text{مسافت پیموده شده در آزمون یویو} \\ 0.0136 + 45.3$$

پروتکل ورزشی بنگسبو^۱

آزمودنی‌ها پروتکل ورزشی بنگسبو را دو کیفیت هوای سالم و ناسالم و دو محیط روباز و سرپوشیده شامل: ۱. هوای سالم محیط روباز (شاخص کیفیت هوای= ۸۶)، ۲. هوای سالم محیط سرپوشیده (شاخص کیفیت هوای= ۹۴)، ۳. هوای ناسالم محیط روباز (شاخص کیفیت هوای= ۱۴۶) و ۴. هوای ناسالم محیط سرپوشیده (شاخص کیفیت هوای= ۱۴۹) انجام دادند و قبل و بعد از هر بار اجرای پروتکل نمونه‌های بزاقی جمع‌آوری شد. این پروتکل در محیطی انجام می‌شود که طول و عرض آن با محدوده مجاز زمین فوتسال برابر است. مناطق کناری و گوشه‌های محیط آزمون با تیرک‌های چوبی مشخص می‌شود. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است مخروط‌های شماره ۱۵ و ۳۹ به تغییر مسیر حرکت و مخروط‌های ۲۱ و ۳۳ به ابتدا و انتهای اسلالم مربوط می‌شوند (این مخروط‌ها با رنگ‌های متفاوت از دیگر موانع متمایز می‌شود). مخروط‌های (۰، ۱۲، ۱۸، ۳۶) و مخروط‌های مرتبط با اسلالم (۲۱ و ۳۳) ۱/۲ متر ارتفاع دارند و مخروط‌های دیگر می‌توانند کوتاه‌تر باشند. افراد در این پروتکل ۱۶۰ متر را با شدت بالا طی می‌کنند که ۴۰ متر به جلو، ۸/۲۵ متر به عقب، ۹۵/۲۵ متر به جلو و پس از ۲ چرخش ۱۲۰ درجه‌ای به سمت مرکز محوطه ۸/۲۵ متر تغییر مسیر می‌دهند. در طول دوره‌های با شدت کم بازیکنان به سمت مرکز محوطه پروتکل برمی‌گردند. بخش مرکزی با مخروطی مشخص می‌شود که رسیدن به این مخروطی نشانه پایان دویدن با شدت بالا است (۲۴). این آزمون در یک زمان ۱۶/۵ دقیقه‌ای انجام شد و برای همسان سازی وضعیت بزاقی یک لیوان آب قبل از شروع در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت.



شکل ۱. پروتکل ورزشی بنگسبو (۲۴)

جمع‌آوری نمونه‌های بزاقی

برای جمع‌آوری نمونه‌های غیرفعال بزاقی، ابتدا آزمودنی‌ها بر روی صندلی نشسته و هیچ تلاشی برای ترشح بزاق خود نداشتند. بزاقی که در دهانشان ترشح می‌شد از طریق ساکشن دندان‌پزشکی رومیزی مکیده و در لوله‌های فالتکونی استریل جمع‌آوری می‌شد. در هر نوبت از آزمودنی‌ها ۳ سی‌سی بزاق گرفته و پس از هر بار نمونه‌گیری لوله متصل به دستگاه با اسپری استریل ضد عفونی می‌شد. آزمودنی‌ها دو سر ساکشن مکنده بزاق و لوله پلاستیکی رابط مخصوص به خود داشتند که در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون از آن‌ها به طور جداگانه استفاده گردید. نمونه‌ها بلافاصله پس از پایان کار به آزمایشگاه منتقل و تا زمان سنجش در یخچال ۷۰- درجه نگهداری شدند. سنجش مقادیر مالون دی آلدئید و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی در آزمایشگاه به روش الایزا و با استفاده از کیت سنجش MDA و TCA (هر دو ساخت شرکت زیلبیو آلمان^۲) انجام شد. به دلیل مشکلات نمونه‌گیری و خطای سنجش، داده‌های سه نفر از آزمودنی‌ها حذف شد و تحلیل نهایی بر روی داده‌های ۹ آزمودنی در هر مرحله انجام گرفت.

سنجش MDA و TAC

به منظور سنجش میزان MDA دژ نمونه‌های بزاقی کیت سنجش MDA، با میزان ۰.۱ میلی‌مولار حساسیت و ضریب تغییرات درون سنجی ۵.۸٪ و ضریب تغییرات برون سنجی ۷.۶٪ و با دامنه تغییرات ۵۰-۰.۷ میلی‌مولار و به روش الایزا مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای سنجش میزان TAC کیت سنجش TAC، با میزان ۰.۱ میلی‌مولار حساسیت با ضریب تغییرات درون سنجی ۴.۲٪ و ضریب تغییرات برون سنجی ۳.۴٪ و با دامنه تغییرات ۲-۰.۱۲۵ میلی‌مولار و به روش الایزا مورد استفاده قرار گرفت. کیت‌ها و بزاق‌های مورد آزمایش پس از قرار گیری در دمای اتاق، بر طبق دستورالعمل شرکت سازنده کیت، مورد استفاده قرار گرفتند.

روش آماری

داده‌های جمع‌آوری شده با روش‌های آماری توصیفی و استنباطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای توصیف داده‌ها از شاخص‌های گرایش مرکزی و پراکندگی استفاده شد. از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. برای مقایسه بین گروهی (شرایط هوایی سالم - ناسالم و محیط روباز - سرپوشیده) با توجه به تفاوت قابل توجه در مقادیر پایه متغیرهای سنجیده شده (MDA و TAC) از آزمون آنکوا استفاده شد و پیش آزمون به عنوان عامل کووریت (هم‌پراش) در نظر گرفته شد. سطح معنی‌داری $P \leq 0/05$ در نظر گرفته شد و تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel 2013 انجام گرفت.

یافته‌ها

مشخصات فردی آزمودنی‌ها (شامل: سن، قد، وزن، شاخص توده بدن، و اکسیژن مصرفی بیشینه (VO₂max) در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها در هر مرحله توزیع طبیعی داشتند.

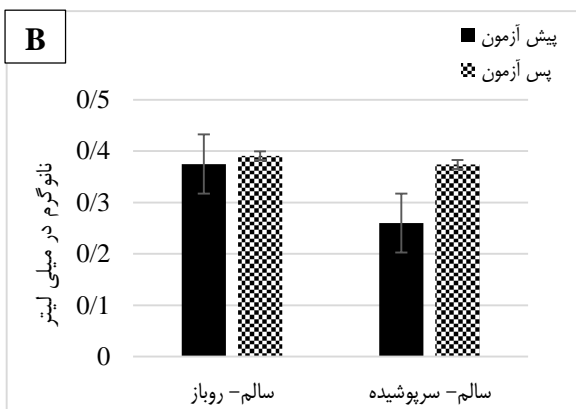
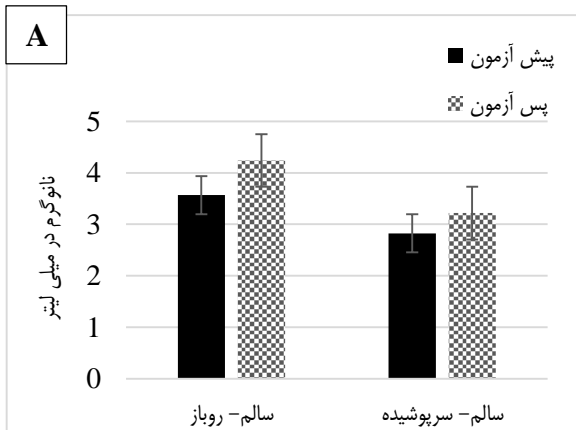
جدول ۱. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌های پژوهش (میانگین ± انحراف معیار)

شاخص توده بدنی (kg/m ²)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی‌متر)	سن (سال)	VO ₂ max (ml/kg/min)
۲۱/۳۲ ± ۰/۹۷	۶۳/۷۷ ± ۶/۰۳	۱۷۲/۵ ± ۶/۳۷	۱۵/۶۵ ± ۰/۱۳	۶۱/۸۳ ± ۲/۹۷

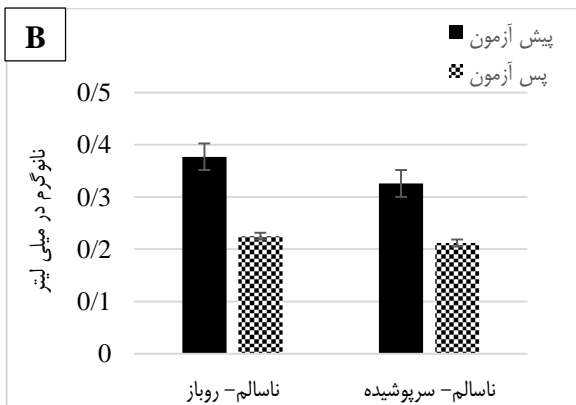
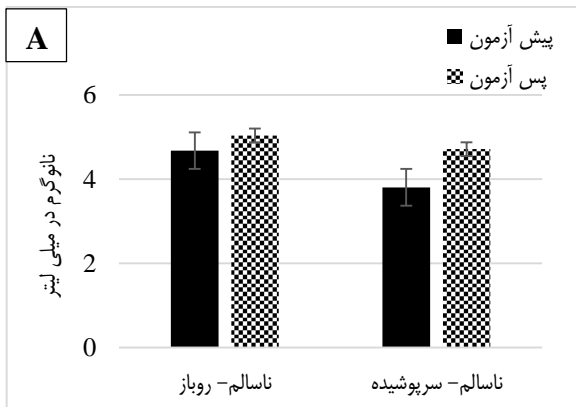
میانگین و انحراف معیار

همانطور که نمودار ۱-A و ۱-B نشان می‌دهد در هوای سالم در هر دوی محیط روباز و سرپوشیده به ترتیب مقادیر MDA و TAC بزاقی بر اثر پروتکل ورزشی افزایش یافت، با وجود این تفاوت معناداری از نظر میزان تغییرات آن‌ها در محیط روباز و سرپوشیده وجود نداشت (به ترتیب، $P=0/498$ و $P=0/050$) که نشان می‌دهد وقتی هوا سالم است پاسخ این دو متغیر به فعالیت ورزشی در محیط روباز و سرپوشیده تقریباً یکسان است.

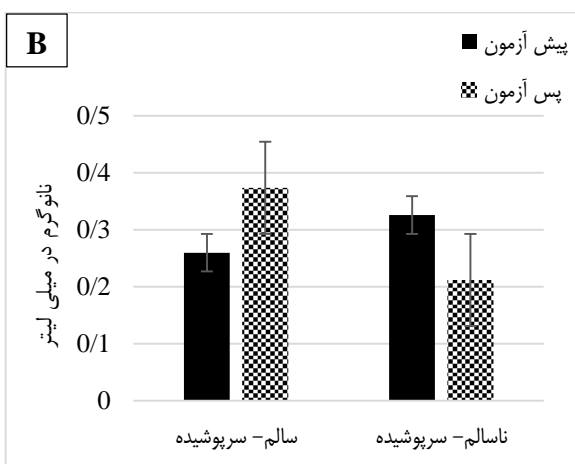
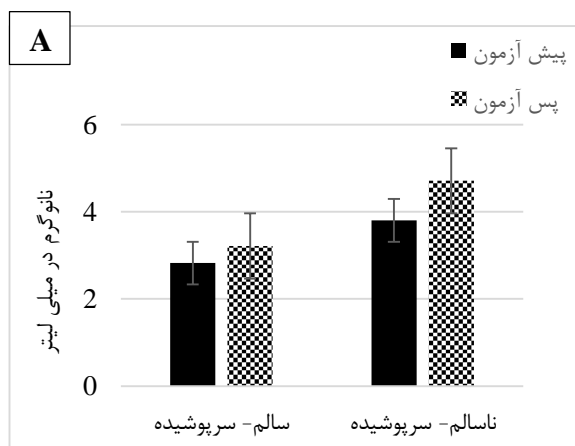
همانطور که در نمودار ۲-A ارائه شده است مقادیر MDA بزاقی در محیط ناسالم در هردوی محیط روباز و سرپوشیده بر اثر اجرای پروتکل ورزشی افزایش یافت، با وجود این در هوای ناسالم تفاوت معناداری بین تغییرات MDA بزاقی بین محیط روباز و سرپوشیده وجود نداشت ($P=0/976$). همچنین بررسی تغییرات TAC بزاقی (۲-B) نشان داد در هوای ناسالم مقادیر TAC بزاقی پس از اجرای پروتکل ورزشی در هر دوی محیط روباز و سرپوشیده کاهش یافت، و تفاوت معناداری از نظر میزان تغییرات TAC بین دو محیط وجود نداشت ($P=0/483$).



نمودار ۱. مقایسه تغییرات MDA (A) و TAC (B) بزاقی بر اثر اجرای پروتکل در هوای سالم (محیط روباز و سرپوشیده)



تاثیر منفی هوای ناسالم بر پاسخ TAC بزاقی به فعالیت ورزشی حتی در محیط سرپوشیده است.



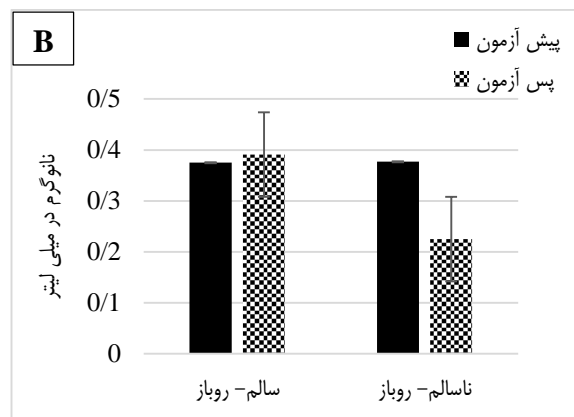
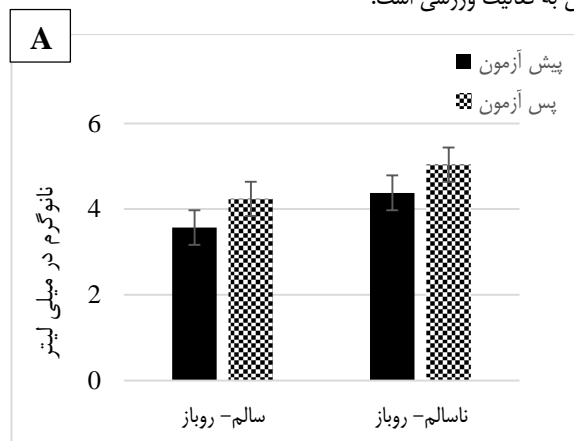
نمودار ۴. مقایسه تغییرات MDA (A) و TAC (B) بزاقی بر اثر اجرای پروتکل ورزشی در محیط سرپوشیده (هوای سالم و ناسالم)

بحث و نتیجه گیری

هدف مطالعه حاضر مقایسه تاثیر آلودگی هوا بر پاسخ مالون دی آلدئید (MDA) و ظرفیت تام آنتی اکسیدانی (TAC) بزاقی به یک حله فعالیت ورزشی (پروتکل بنگسبو) در فضای روباز و سرپوشیده در بازیکنان نوجوان فوتسالیست بود. این پژوهش برای نخستین بار نشان داد که مقادیر پایه و پس از فعالیت ورزشی MDA در شرایط هوای ناسالم (هردوی محیط روباز و سرپوشیده) نسبت به شرایط هوای سالم (هردوی روباز و سرپوشیده) بیشتر بود که در درجه اول تایید کننده این موضوع است که آلودگی هوا تاثیری منفی بر مقادیر MDA بزاقی دارد و همچنین نشان می دهد انجام فعالیت ورزشی در هوای ناسالم تاثیر منفی مضاعفی بر پاسخ اکسایشی بدن به فعالیت ورزشی دارد. علاوه بر این یافته ها نشان داد هنگام ناسالم بودن هوا، انجام فعالیت ورزشی در محیط سرپوشیده موجب کاستن از آثار منفی آلودگی هوا بر پاسخ MDA بزاقی به فعالیت ورزشی نمی شود. پژوهش هایی که در زمینه آلودگی هوا صورت گرفته است بیشتر بر روی تأثیر انواع آلاینده ها و فعالیت های ورزشی بر سلامت عمومی ورزشکاران و غیرورزشکاران بوده است. حاجیان و محقق در مقاله مروری خود به این جمع بندی رسیدند که آگاهی از آثار فعالیت بدنی و ورزشی

نمودار ۲. مقایسه تغییرات MDA (A) و TAC (B) بزاقی بر اثر اجرای پروتکل در هوای ناسالم (محیط روباز و سرپوشیده)

همانطور که در نمودار ۳-۳ نشان داده شده است، در هوای ناسالم مقادیر پایه و پس از فعالیت ورزشی MDA بزاقی در هردوی محیط روباز و سرپوشیده بیشتر از هوای سالم بود، همچنین در محیط روباز بر اثر اجرای پروتکل ورزشی مقادیر MDA بزاقی در هر دوی هوای سالم و ناسالم افزایشی بود و تفاوت معناداری از نظر میزان افزایش بین دو شرایط هوایی وجود نداشت ($P=0/277$). با وجود این، نتایج نشان داد در محیط روباز مقادیر TAC بزاقی (۳-۳) بر اثر اجرای پروتکل ورزشی در هوای سالم افزایش و در هوای ناسالم کاهش یافت و تفاوت معناداری بین تغییرات TAC بزاقی بین دو وضعیت سالم و ناسالم وجود داشت ($p<0.01$) که نشان دهنده تاثیر منفی هوای ناسالم بر پاسخ TAC بزاقی به فعالیت ورزشی است.



نمودار ۳. مقایسه تغییرات MDA (A) و TAC (B) بزاقی بر اثر اجرای پروتکل ورزشی در محیط روباز (هوای سالم و ناسالم)

همانطور که نمودار ۴-۴ نشان می دهد در محیط سرپوشیده بر اثر اجرای پروتکل ورزشی مقادیر MDA بزاقی در هردوی هوای سالم و ناسالم افزایشی بود و هرچند مقادیر پایه و پس از فعالیت ورزشی در هوای ناسالم زیاده تر بود تفاوت معناداری از نظر میزان تغییرات MDA بزاقی بر اثر اجرای پروتکل ورزشی وجود نداشت ($P=0/748$). با وجود این، نتایج نشان داد در محیط سرپوشیده مقادیر TAC بزاقی (۴-۴) در پاسخ به اجرای پروتکل ورزشی در هوای سالم افزایش یافت، ولی در هوای ناسالم کاهش یافت و بین دو گروه از نظر میزان تغییرات تفاوت معناداری وجود داشت ($P=0/011$) که نشان دهنده

همسو با نتایج پژوهش فرهات^۲ و همکارانش بود که پاسخ آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گلوکوتاتیون پراکسیداز^۳ (GPX) و وضعیت تام آنتی اکسیدانی^۴ (TAS) را به آلودگی هوا در حین و بعد از بازی‌های المپیک ۲۰۰۸ پکن (در ۲۰۱ نفر) مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که در مقایسه با افزایش سطح آلودگی هوا پس از بازی‌ها نسبت به هوای نسبتاً پاک حین انجام مسابقات، زنان، افراد غیر سیگاری و شرکت کنندگان جوان‌تر با افزایش فعالیت TAS و کاهش GPX روبرو بودند؛ در حالی که مردان سیگاری و شرکت کنندگان مسن‌تر کاهش مداوم فعالیت TAS را نشان دادند (۲۶). علاوه بر این، وه^۵ و همکارانش در پژوهشی بر روی مسافرانی که دائماً از آلمان به چین در حال تردد بودند نشان دادند در داوطلبان مورد بررسی که در معرض سطوح بالای PM2.5 بودند، غلظت بیومارکرهای ادراری استرس اکسایشی زیاده بود، لذا آن‌ها نتیجه‌گیری کردند قرار گرفتن در معرض هوای ناسالم می‌تواند باعث استرس اکسایشی و آسیب شود (۲۷).

در پژوهش حاضر هر دوی اجرای پروتکل ورزشی در هوای ناسالم در محیط روباز و سرپوشیده به افزایش مشابهی در مقادیر MDA و کاهش TAC منجر شد. در انگلستان پژوهشی توسط کارلیسل و شارپ^۶ بر روی ورزشکارانی که دوندگان استقامتی بودند صورت گرفت، آن‌ها شش آلاینده اصلی هوای شهری را در حین انجام فعالیت بدنی هوای مورد بررسی قرار دادند (مونوکسید کربن (CO)، اکسیدهای ازت (NOX)، ازن (O₃)، ذرات معلق (PM10)، دی اکسید گوگرد (SO₂) و ترکیبات آلی فرار (VOCs)) پیشنهاد آن‌ها این بود که ورزشکاران و مربیان باید از برگزاری انجام ورزش در کنار جاده‌ها خودداری کنند حتی اگر سطح آلاینده‌های هوا به مرحله هشدار نرسیده باشد. مخصوصاً ازن که در میانه روز و در هوای گرم در مناطق شهری به بالاترین غلظت خود می‌رسد برای ورزشکاران بسیار مضر است (۲۸). در پژوهشی مشابه وجویک^۷ و همکارانش دو منطقه شهری در صربستان و در مجاورت مناطق صنعتی را از نظر انتشار آلودگی هوا مورد مطالعه قرار دادند و تعداد ۱۲۴ دانش آموز سالم (۱۲ تا ۱۵ سال) را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند، در کودکانی که در معرض آلودگی‌های صنعتی قرار دارند میزان استرس اکسایشی افزایش می‌یابد و دفاع آنتی اکسیدانی تضعیف می‌شود. افزایش غلظت MDA سرم و کاهش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) پلاسما در کودکان قرار گرفته در معرض آلودگی می‌تواند یک واکنش غیرمستقیم سلول‌ها به افزایش چالش اکسایشی ناشی از آلودگی هوا باشد. این یافته‌ها این دیدگاه را تأیید می‌کنند که آلودگی هوا استرس اکسایشی را افزایش می‌دهد (۲۹). همچنین نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند با پژوهشی که شنیدر^۸ و همکاران بر روی هفده جوان ورزشکار سالم انجام دادند نزدیک باشد، که ۷ نفر از آن‌ها را در گروه بی‌تمرین و ۹ نفر را در گروه افراد ورزشکار جای دادند و گزارش کردند که پس از فعالیت بدنی در میزان سه شدت (کم، متوسط، زیاد) در گروه بی‌تمرین نسبت به ورزشکاران میزان TAC و پراکسیداسیون لیپید افزایش پیدا می‌کند و همچنین کاتالاز و گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) در خون در همین گروه نسبت به افراد ورزشکار بالاتر بود (۳۰). علاوه بر این، مورگانس^۹ و همکارانش پژوهشی بر روی

در محیط‌های سرپوشیده که به هنگام آلوده بودن هوا و سایر عوامل محیطی انتخاب رایج برای انجام فعالیت‌های بدنی و ورزشی است به همان اندازه فضای روباز حائز اهمیت است و اشاره کردند که محیط‌های سرپوشیده نیز می‌توانند منشأهای آلودگی گوناگونی داشته باشند و الزماً سرپوشیده بودن محیط نمی‌تواند اطمینانی برای سالم بودن هوای محیط باشد لذا آن‌ها پیشنهاد کردند استفاده از مصالح ساختمانی با انتشار کم، پاکیزه کردن محیط داخلی سالن به طور مرتب، استفاده از کفپوش‌هایی با جذب گرد و غبار کم‌تر، سیستم‌های تهویه کارآمد، تهویه مطبوع و همچنین میزان تهویه‌ی هوای تازه به اندازه کافی می‌تواند موجب کنترل میزان آلاینده‌های داخلی و خارجی در مراکز ورزشی سرپوشیده شود (۲). با وجود این در بسیاری از محیط‌های سرپوشیده ورزشی توصیه‌های فوق به درستی رعایت نمی‌شود و پاسخ مشاهده شده در پژوهش حاضر نیز ممکن است مربوط به عدم رعایت دقیق توصیه‌های فوق باشد. راموس^۱ و همکارانش (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند فعالیت ورزشی در مراکز تناسب اندام در مناطق آلوده در سطح شهر نمی‌تواند به طور حتم مکان ایمنی برای تمرینات ورزشی باشد. این مطالعه در ۱۱ مرکز ورزشی سرپوشیده در مناطق مختلف شهر انجام شد و در آن ۲۰ ورزشکار تمرینات هوازی و قدرتی (اعمال اضافه بار بر روی ترمیل با افزایش میزان شدت دوییدن) مشابهی را در این مراکز انجام دادند. توصیه نهایی محققان در این پژوهش این بود که با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد مراکز تناسب اندام (موقعیت جغرافیایی نامناسب و نزدیکی آن‌ها به مراکز آلودگی مانند اتوبان‌ها، فضای کوچک، تهویه نامناسب)، زیاده‌تر بودن ورزشکاران در این مراکز نسبت به فضای و حساسیت بالاتر افراد به هنگام فعالیت ورزشی نسبت به آلاینده‌های هوا (به دلیل افزایش تهویه ریوی)، بهتر است متخصصین علوم ورزشی به منظور به حداقل رساندن عوارض جانبی سلامتی و تقویت فواید فعالیت بدنی، تحقیقات بیشتری در این خصوص انجام دهند (۲۵). همچنین، در کنار موارد مذکور با توجه به نبود دستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا در محیط‌های سرپوشیده، علت احتمالی نتایج پژوهش حاضر مبنی بر عدم تفاوت در میزان افزایش MDA در فضای روباز و سرپوشیده به هنگام ناسالم بودن هوا را می‌توان به دام افتادن هوای آلوده در فضای سرپوشیده، عدم تهویه مناسب یا ناکارآمدی دستگاه‌های تهویه در این فضاها و یا آلودگی با منشأ داخلی خود محیط سرپوشیده نسبت داد.

همچنین یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد در هوای سالم، در هردوی فضای روباز و سرپوشیده مقادیر TAC در پاسخ به فعالیت ورزشی افزایش یافت که نشان‌دهنده‌ی پاسخ سازشی بدن برای مقابله با استرس اکسایشی است. با وجود این بر اثر اجرای پروتکل فعالیت ورزشی در هوای ناسالم، در هردوی فضای روباز و سرپوشیده مقادیر TAC بزاقی پس از فعالیت کاهش یافت که این را می‌توان نشان از نوعی مهار یا عدم توانایی سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی برای مواجهه با استرس به واسطه ترکیب فعالیت ورزشی و هوای ناسالم دانست. بنا به بررسی محقق پژوهش مستقیمی به بررسی تاثیر اجرای فعالیت ورزشی در محیط روباز و سرپوشیده و در هوای سالم و ناسالم بر مقادیر MDA و TAC پرداخته باشد، یافت نشد. با این حال نتایج پژوهش حاضر

6 Carlisle & Sharp
7 Vujovic
8 Schneider
9 Margonis

1 Ramos
2 Farhat
3 Glutathione peroxidase
4 Total Antioxidant status
5 Wu



5. Ritchie H, Roser M. Air pollution 2017 [updated April. Available from: [OurWorldInData.org.https://ourworldindata.org/air-pollution](https://ourworldindata.org/air-pollution).

6. Orru H, Ebi K, Forsberg B. The interplay of climate change and air pollution on health. *Current environmental health reports*. 2017;4(4):504-13.

7. Qin F, Yang Y, Wang ST, Dong YN, Xu MX, Wang ZW, Zhao JX. Exercise and air pollutants exposure: A systematic review and meta-analysis. *Life sciences*. 2019;1(218):153-64.

8. Gong X, Lin Y, Bell ML, Zhan FB, Ji E. Associations between maternal residential proximity to air emissions from industrial facilities and low birth weight in Texas, USA. 2018;120:181-98.

9. Simpson IJ, Marrero JE, Batterman S, Meinardi S, Barletta B, Blake DR, et al. Air quality in the Industrial Heartland of Alberta, Canada and potential impacts on human health. 2013;81:702-9.

10. Dalle-Donne I, Rossi R, Colombo R, Giustarini D, Milzani A. Biomarkers of oxidative damage in human disease. *Clinical chemistry*. 2006;52(4):601-23.

11. Ali SS, Ahsan H, Zia MK, Siddiqui T, Khan FH. Understanding oxidants and antioxidants: Classical team with new players. *Journal of Food Biochemistry*. 2020;44(3):e13145.

12. Wilber, R.L., et al., Incidence of exercise-induced bronchospasm in Olympic winter sport athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 2000. 32(4): p. 732-737.

13. Ehrlich AK, Pennington JM, Bisson WH, Kolluri SK, Kerkvliet NI, et al. TCDD, FICZ, and other high affinity AhR ligands dose-dependently determine the fate of CD4+ T cell differentiation. 2018;161(2):310-20.

14. Marzano AV, Ortega-Loayza AG, Heath M, Morse D, Genovese G, Cugno MJ, et al. Mechanisms of inflammation in neutrophil-mediated skin diseases. 2019;10:1059.

15. Tainio M, de Nazelle AJ, Götschi T, Kahlmeier S, Rojas-Rueda D, Nieuwenhuijsen MJ, de Sá TH, Kelly P, Woodcock J. Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking?. *Preventive medicine*. 2016 Jun 1;87:233-6.

16. Horvath SM. Impact of air quality in exercise performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 1981;9(1):265-96.

17. Bahrami F, Esfarjani F, Marandi SM. Effects of Intermittent Exercise in Polluted and Clean Air on Hemolysis of Red Blood Cells in Endurance Runners. *Journal of Isfahan Medical School*. 2013;30(212).

18. Steer C, Cole C, Carlsten C, Koehle M, Brauer M. Cycling, Air Pollution And Health: Oxidative Stress as a Mediator of Systemic Inflammation. available at <http://cyclingincities-spph/sites.olt.ubc.ca/files/2012/06/CAPHposterFINAL.pdf>.

19. Lovinsky-Desir S, Jung KH, Rundle AG, Hoepner LA, Bautista JB, Perera FP, Chillrud SN, Perzanowski MS, Miller RL. Physical activity, black carbon exposure and airway inflammation in an urban adolescent cohort. *Environmental research*. 2016;1(151):756-62.

20. Wagner DR, Brandley DC. Exercise in Thermal Inversions: PM2.5 Air Pollution Effects on Pulmonary Function and Aerobic Performance. *Wilderness & Environmental Medicine*. 2020 ;31(1):16-22.

فوتبالیست‌های زیر ۲۱ سال دادند و در آن مقادیر نشانگرهای استرس اکسایشی را مورد سنجش قرار دادند. آن‌ها دریافتند که انجام یک بازی فوتبال که تا ۹۰٪ VO_{2max} شدت دارد باعث کاهش غلظت GSH در کبد و عضلات می‌شود زیرا فعالیت بدنی شدید باعث کاهش سیستئین در کبد می‌شود از آنجایی که سیستئین یک عامل محدود کننده‌ی سرعت سنتز گلوپروتئین است، کاهش GSH ناشی از ورزش شدید در سیستئین ممکن است منجر به افزایش MDA شود (۳۱). در مجموع هرچند پاسخ TAC بزاقی به هنگام انجام فعالیت ورزشی در هوای سالم (هردوی محیط روباز و سرپوشیده) افزایشی است، به هنگام اجرای فعالیت ورزشی در هوای ناسالم در هر دوی محیط روباز و سرپوشیده پاسخ TAC بزاقی علیرغم افزایش قابل توجه MDA، کاهش می‌یابد که نشان از نوعی مهار یا ناتوانی پاسخ آنتی اکسیدانی بدن به فعالیت ورزشی است که به نوبه‌ی خود می‌تواند زمینه را برای آسیب بیش‌تر ناشی از رادیکال‌های آزاد مهیا کند.

نتیجه‌گیری

در مجموع یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهند در مقایسه با انجام فعالیت ورزشی در هوای سالم، مقادیر پایه و پس از فعالیت ورزشی MDA در هوای ناسالم به طور قابل توجهی بالاتر است و همچنین تغییرات TAC بزاقی در شرایط هوای سالم در هردوی محیط روباز و سرپوشیده افزایشی، و در شرایط ناسالم در هردوی محیط روباز و سرپوشیده کاهش است که نشان از تاثیر مهاری و زیان‌بار هوای ناسالم بر پاسخ سیستم آنتی اکسیدانی بدن به فعالیت ورزشی است. همچنین، به نظر می‌رسد صرف انتقال فعالیت ورزشی به محیط سرپوشیده در شرایط هوایی ناسالم، باعث کاهش آثار منفی هوای ناسالم بر پاسخ MDA و TAC بزاقی به فعالیت ورزشی نمی‌شود، و حتی عواملی مثل عدم تهویه‌ی مناسب و به دام افتادن آلاینده‌ها در این فضاها می‌تواند خود عاملی برای ماندگاری بالاتر آلاینده‌ها و احتمالاً پاسخ‌های مغایر فیزیولوژیکی به فعالیت ورزشی گردد. لذا نیاز به راهکارها و توصیه‌های مبتنی بر شواهد علمی برای کاهش پیامدهای منفی فعالیت ورزشی در هوای ناسالم بر پاسخ سیستم اکسیدانی - آنتی اکسیدانی بدن احساس می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله، هیچ نفع متقابلی از انتشار آن ندارند.

منابع

1. Institute OD. 10 things to know about the impacts of urbanisation 2018 [Available from: <https://www.odi.org/publications/11218-10-things-know-about-impacts-urbanisation>].

2. Hajian M, Mohaghegh S. Indoor air pollution in exercise centers. *International Journal of Medical Toxicology and Forensic Medicine*. 2015;5(1):22-31.

3. Das P, Chatterjee P. Aerobic capacity and hematological response to exercise: A study on school-going regularly exercising boys in two different air pollution zones. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 2015;13(2):99-103.

4. González D, Marquina R, Rondón N, Rodríguez-Malaver AJ, Reyes R. Effects of aerobic exercise on uric acid, total antioxidant activity, oxidative stress, and nitric oxide in human saliva. *Research in Sports Medicine*. 2008;16(2):128-37.



21. Lin H, Shen C, Siu-Yin Lee R, Tian L. Benefits of physical activity not affected by air pollution: a prospective cohort study. *International journal of epidemiology*. 2020;49(1):142-52.
22. Edward R. Laskowski, M.D. Does air pollution make outdoor exercise risky? What if you have asthma or another health problem? available at: <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/air-pollution-and-exercise/faq-20058563>.
23. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo intermittent recovery test. *Sports medicine*. 2008 ;38(1):37-51.
24. Bangsbo J. *Fitness training in football: a scientific approach*: August Krogh Inst., University of Copenhagen; 1994.
25. Ramos C, Wolterbeek H, Almeida S. Exposure to indoor air pollutants during physical activity in fitness centers. *Building and Environment*. 2014;82:349-60.
26. Farhat Z, Browne RW, Bonner MR, Tian L, Deng F, Swanson M, et al. How do glutathione antioxidant enzymes and total antioxidant status respond to air pollution exposure? 2018;112:287-93.
27. Wu X, Lintelmann J, Klingbeil S, Li J, Wang H, Kuhn E, Ritter S, Zimmermann R. Determination of air pollution-related biomarkers of exposure in urine of travellers between Germany and China using liquid chromatographic and liquid chromatographic-mass spectrometric methods: a pilot study. *Biomarkers*. 2017;22(6):525-36.
28. Carlisle A, Sharp N. Exercise and outdoor ambient air pollution. *British journal of sports medicine*. 2001;35(4):214-22.
29. Vujovic A, Kotur-Stevuljevic J, Kornic D, Spasic S, Spasojevic-Kalimanovska V, Bogavac-Stanojevic N, et al. Oxidative stress and anti-oxidative defense in schoolchildren residing in a petrochemical industry environment. *Indian pediatrics*. 2010;47(3):233-9.
30. Schneider CD, Barp J, Ribeiro JL, Belló-Klein A, Oliveira AR. Oxidative stress after three different intensities of running. *Canadian journal of applied physiology*. 2005;30(6):723-34.
31. Margonis K, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Douroudos I, Chatzinikolaou A, et al. Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: implications for diagnosis. *Free Radical Biology and Medicine*. 2007;43(6):901-10.