

اثر مخلوط پروبیوتیک های لاکتیکی بر آسیب های اکسیداتیو ناشی از کلرید آلومینیوم در بافت کلیه موش صحرایی

زهرا کشتمند^{*}، مرجان سرخانی^۱

۱- گروه زیست شناسی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴

چکیده مبسوط

زمینه و هدف مطالعه: یکی از مهم ترین آلاینده های محیط زیست، فلزات سنگین هستند که در اندام های موجودات زنده انباشته شده و در مقادیر کم نیز باعث بروز مسمومیت می شوند. این ترکیبات با تأثیر مستقیم بر مولکول های زیستی و فعال سازی مسیرهای آپوپتوز، موجب آسیب های بافتی گسترده می شوند. پروبیوتیک ها با عملکرد و تولید متابولیت های موثر می توانند فلزات سنگین را جذب کنند. هدف از این تحقیق بررسی اثر مخلوط پروبیوتیک های لاکتیکی بر آسیب های اکسیداتیو ناشی از مواجهه با کلرید آلومینیوم در بافت کلیه موش صحرایی می باشد. **مواد و روش ها:** در این مطالعه تجربی، ۲۱ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار به ۳ گروه ۷ تایی شامل کنترل، دریافت کننده کلرید آلومینیوم (100 mg/kg)، کلرید آلومینیوم + مخلوط پروبیوتیک (CFU $10^9/\text{ml}$) تقسیم بندی شدند. القا آلودگی و دریافت مخلوط پروبیوتیک با روش گاواژ انجام شد. بعد از پایان دوره تیمار و تشریح حیوانات، بافت کلیه جهت سنجش برخی از شاخص های استرس اکسیداتیو در گروه های مختلف استخراج شد. **نتایج:** نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد در گروه دریافت کننده کلرید آلومینیوم افزایش مالون دی آلدئید و کاهش سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوکاتایون پراکسیداز و ظرفیت تام آنتی اکسیدانی در مقایسه با گروه کنترل به صورت معنی دار نشان داده شد، در حالی که در گروه تیمار شده با مخلوط پروبیوتیک کاهش معنی دار مالون دی آلدئید و افزایش سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوکاتایون پراکسیداز و ظرفیت تام آنتی اکسیدانی در مقایسه با گروه آلوده نشان داده شد. **نتیجه گیری:** با توجه به یافته های این پژوهش احتمالاً، مخلوط پروبیوتیک را می توان به عنوان یکی از ترکیبات و مکمل های موثر در جهت تعدیل آسیب های ناشی از آلاینده کلرید آلومینیوم به کار گرفت.

کلمات کلیدی: پروبیوتیک، کلرید آلومینیوم، بافت کلیه، استرس اکسیداتیو، موش صحرایی

^{*} نویسنده مسئول: زهرا کشتمند

آدرس: گروه زیست شناسی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پست الکترونیک: zkeshtmand2001@gmail.com

مقدمه

فلزات سنگین از جمله مهم‌ترین تهدیدات برای سلامت انسان و محیط‌زیست به‌شمار می‌روند. این ترکیبات با تأثیر مستقیم بر مولکول‌های زیستی و فعال‌سازی مسیرهای آپوپتوز، موجب آسیب‌های بافتی گسترده می‌شوند (Renu et al., 2023). در این میان، آلومینیوم به عنوان یکی از فراوان‌ترین فلزات پوسه زمین، با منابع متعدد مواجهه از جمله غذا، آب، داروها و محیط‌زیست، به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (Nualart et al., 2025). این فلز از طریق بارش باران‌های اسیدی در خاک تجمع یافته و می‌تواند موجب مسمومیت در افراد در معرض و ایجاد سمیت بافتی شود. مکانیسم سمیت آلومینیوم عمدتاً از طریق تشدید تولید گونه‌های فعال اکسیژن و ایجاد استرس اکسیداتیو است که در نهایت به آسیب ماکرومولکول‌های زیستی و بافت‌ها منجر می‌شود (Rani et al., 2024). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که مواجهه با آلومینیوم می‌تواند موجب نارسایی کلیوی شدید، نفروپاتی مزمن و تغییرات فیزیولوژیک متعددی گردد (Wang et al., 2020).

در سال‌های اخیر، استفاده از منابع طبیعی حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به عنوان راهکاری مؤثر برای مقابله با استرس اکسیداتیو ناشی از فلزات سنگین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این میان، پروبیوتیک‌ها به عنوان گزینه‌ای امیدوارکننده و ایمن مطرح شده‌اند (Latif et al., 2023). پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های

زنده‌ای هستند که با حفظ تعادل میکروبیوتای روده و تقویت سد اپیتلیال روده، از طریق مکانیسم‌های متعددی موجب کاهش استرس اکسیداتیو می‌شوند. این مکانیسم‌ها شامل کاهش آسیب‌های التهابی از طریق مهار فاکتورهای التهابی مانند NF- κ B، افزایش سطح آنتی‌اکسیدانی اندوژن شامل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز، و همچنین افزایش سطح گلوتاتیون می‌باشند (Liu et al., 2023). مطالعات گسترده نشان داده‌اند که پروبیوتیک‌ها علاوه بر خواص آنتی‌اکسیدانی، دارای اثرات آنتاگونیستی بر عوامل بیماری‌زای روده از طریق رقابت برای جایگاه اتصال و مواد مغذی، تولید ترکیبات ضد میکروبی مانند باکتریوسین‌ها، تقویت پاسخ‌های ایمنی ذاتی و اکتسابی، و همچنین توانایی اتصال و دفع فلزات سنگین و مایکوتوکسین‌ها از طریق دیواره سلولی خود می‌باشند (Gao et al., 2024; Zhao et al., 2023; Porru et al., 2024). این ویژگی‌های چندگانه، پروبیوتیک‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای مقابله با آسیب‌های ناشی از فلزات سنگین از جمله آلومینیوم تبدیل کرده است.

با توجه به اثرات محافظتی پروبیوتیک‌ها و نقش استرس اکسیداتیو در سمیت ناشی از آلومینیوم، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر مخلوط پروبیوتیک‌های لاکتیکی (شامل *لاکتوباسیلوس پلاتناروم*، *لاکتوباسیلوس پاراکازئی* و *لاکتوباسیلوس برویس*) بر شاخص‌های استرس اکسیداتیو ناشی از کلرید آلومینیوم در بافت کلیه موش صحرایی طراحی شد.



مواد و روش ها

در این مطالعه تجربی، تعداد ۲۱ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار با میانگین وزن ۲۵۰-۲۰۰ گرم از دانشگاه شهید بهشتی تهیه قبل از شروع آزمایش و بعد از انتقال آن ها ، موش های صحرایی جهت سازش با محیط آزمایشگاه به مدت یک هفته در حیوانخانه ی دانشکده ی علوم پایه ی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی نگهداری شدند. حیوانات در شرایط کنترل ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی، با درجه حرارت $22 \pm$ سانتی گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد بدون محدودیت در دسترسی به آب و غذا نگهداری شدند. آزمایش ها در بازه ی زمانی مشخصی ساعت ۹ تا ۱۲ ظهر و منطبق با دستورالعمل مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی انجام شد و در کلیه روش ها، اصول اخلاقی مورد تایید دانشکده ی علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی رعایت گردید (IR.IAU.CTB.REC.1403.222).

گروه بندی حیوانات

۲۱ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار بالغ (۲۵۰ - ۲۰۰ گرم) ، به طور تصادفی در ۳ گروه هفت تایی تقسیم شدند.

گروه ۱: گروه کنترل موش هایی که فقط آب و غذای پلیت شده را به صورت روزانه دریافت کردند و به منظور القا استرس گاواژ، موش های صحرایی این گروه نیز صورت یک روز در میان با آب مقطر نیز گاواژ شدند.

گروه ۲: موش هایی که جهت القا آسیب، کلرید آلومینیوم (100 mg/kg) دریافت کردند (Hindawy et al., 2024).

گروه ۳: موش هایی که دریافت کننده کلرید آلومینیوم + مخلوط پروبیوتیک (10^9 CFU/ml) بودند (Dashtbanei and keshtmand ., 2023).

کلرید آلومینیوم (100 mg/kg) و مخلوط پروبیوتیک (10^9 CFU / ml) از طریق گاواژ به به مدت ۷ و ۳۵ روزه موش ها داده شد.

تهیه کلرید آلومینیوم

به منظور آلوده نمودن نمونه های مورد آزمایش با کلرید آلومینیوم (AlCl_3)، این ماده شیمیایی با کد ۱۰۲۷۹۰ از شرکت آزمایشان خریداری شد.

تهیه غلظت پروبیوتیک ها

یک گرم مخلوط پروبیوتیک (لاکتوباسیلوس پلانتروم، لاکتوباسیلوس پاراکازئی و لاکتوباسیلوس برویس) در ۹ سی سی آب مقطر حل گردید و به هر موش ۱ سی سی محلول تهیه شده با غلظت 10^9 CFU/ml به مدت ۳۵ روز گاواژ شد (Dashtbanei and keshtmand ., 2023).

نمونه گیری

پس از ۳۰ روز تیمار، حیوانات با تزریق داخل صفاقی کتامین-زایلازین ۱٪ (حاوی ۱۰۰ میلی گرم کتامین و ۲۰ میلی گرم زایلازین) و با رعایت اصول اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی مصوب دانشگاه تهران، آسان کشی شدند. بافت کلیه تمام گروه ها جهت سنجش شاخص های استرس اکسیداتیو استخراج و در دمای -70°C



درجه سانتی گراد نگهداری گردید (Shabani et al., 2023).

سنجش شاخص های بیوشیمیایی
برای اندازه گیری فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز (SOD، گلوکاتایون پراکسیداز (GPx)، کاتالاز (CAT)، ظرفیت تام آنتی اکسیدانی (TAC) و مالون دی آلدیید (MDA) از کیت های شرکت ZellBio GmbH (آلمان) مطابق دستورالعمل سازنده و بر اساس روش رنگ سنجی استفاده شد. اندازه گیری جذب نوری شاخص های استرس اکسیداتیو در طول موج های مشخص شامل SOD در ۴۲۰ نانومتر، GPx در ۴۱۲ نانومتر، CAT در ۴۰۵ نانومتر، TAC در ۶۳۰ نانومتر و MDA در ۵۳۲ نانومتر با استفاده از دستگاه الایزاریدر انجام گرفت (Saleem et al., 2024; Al-Kazzaz et al., 2025).

تحلیل داده ها

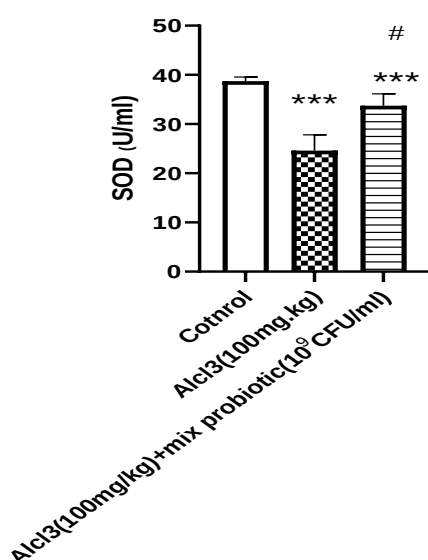
داده های حاصل با استفاده از آزمون واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی توکی در سطح معنی داری $P < 0.05$ تجزیه و تحلیل شدند. نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش گردید. نرمال بودن توزیع داده ها نیز با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تأیید شد ($P > 0.05$).

نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده، همان طور که در نمودارهای ۱ تا ۴ مشاهده می شود، سطوح سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، ظرفیت تام آنتی اکسیدانی و گلوکاتایون پراکسیداز در بافت کلیه گروه های دریافت کننده کلرید آلومینیوم و گروه تیمار شده با پروبیوتیک در

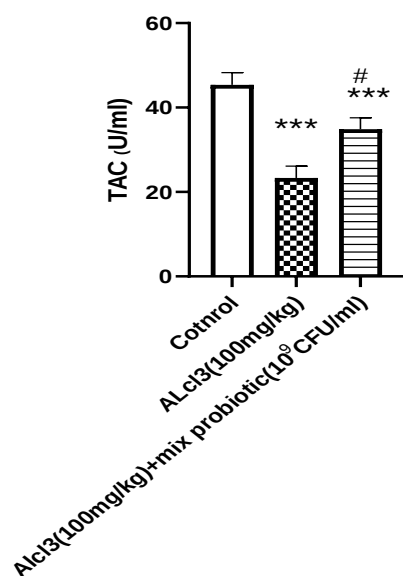
مقایسه با گروه کنترل به طور معنی داری کاهش یافته است ($P < 0.001$). در مقابل، افزایش معنی دار این شاخص ها در گروه تیمار شده با پروبیوتیک در مقایسه با گروه دریافت کننده کلرید آلومینیوم نیز مشاهده شد ($P < 0.05$).

نمودار ۵ تغییرات سطح مالون دی آلدیید را در گروه های مختلف نشان می دهد. بر این اساس، سطح مالون دی آلدیید در گروه های دریافت کننده کلرید آلومینیوم در مقایسه با گروه کنترل به طور معنی داری افزایش یافت ($P < 0.001$). همچنین، در گروه تیمار شده با پروبیوتیک، کاهش معنی دار سطح مالون دی آلدیید در مقایسه با گروه آلوده مشاهده شد ($P < 0.05$).

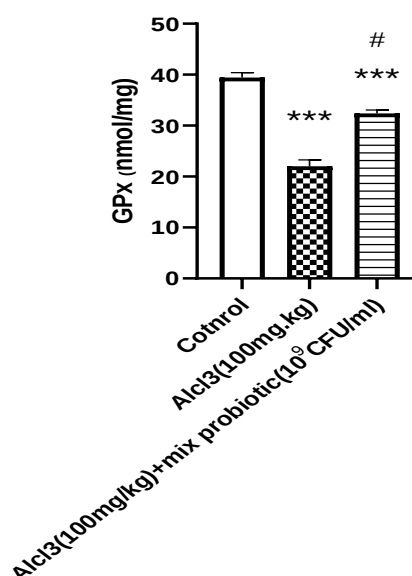


نمودار ۱. مقایسه سطح سوپراکسید دیسموتاز بافت کلیه در گروه های مختلف آزمایش
نتایج بر اساس میانگین $\pm$ انحراف معیار
*** $P < 0.001$ مقایسه با گروه کنترل
$P < 0.05$: مقایسه با گروه دریافت کننده کلرید آلومینیوم

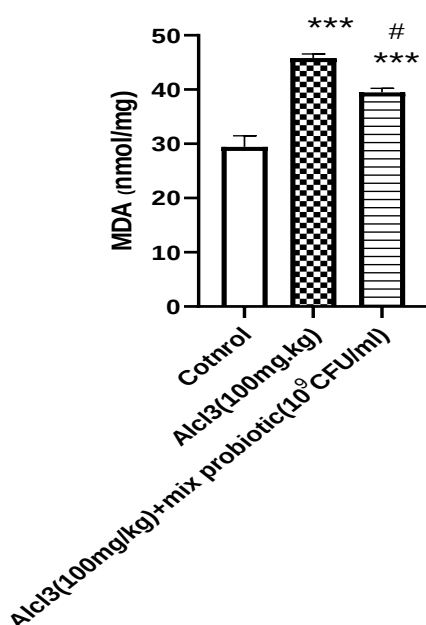




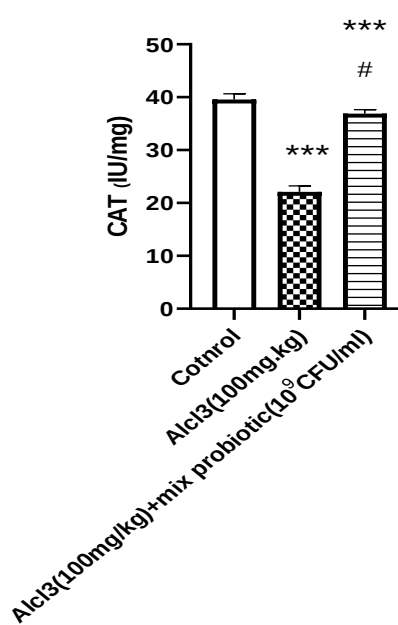
نمودار ۴. مقایسه سطح کامل آنتی اکسیدان بافت کلیه در گروه های مختلف آزمایش
نتایج براساس میانگین $\pm$ انحراف معیار
*** $P < 0.001$ مقایسه با گروه کنترل
$P < 0.05$: مقایسه با گروه دریافت کننده کلرید آلومینیوم



نمودار ۲. مقایسه سطح گلوکاتایون پراکسیداز بافت کلیه در گروه های مختلف آزمایش
نتایج براساس میانگین $\pm$ انحراف معیار
*** $P < 0.001$ مقایسه با گروه کنترل
$P < 0.05$: مقایسه با گروه دریافت کننده کلرید آلومینیوم



نمودار ۵. مقایسه سطح مالون دی آلدیید بافت کلیه در گروه های مختلف آزمایش
نتایج براساس میانگین $\pm$ انحراف معیار
*** $P < 0.001$ مقایسه با گروه کنترل
$P < 0.05$: مقایسه با گروه دریافت کننده کلرید آلومینیوم



نمودار ۳. مقایسه سطح کاتالاز بافت کلیه در گروه های مختلف آزمایش
نتایج براساس میانگین $\pm$ انحراف معیار
*** $P < 0.001$ مقایسه با گروه کنترل
$P < 0.05$: مقایسه با گروه دریافت کننده کلرید آلومینیوم

بحث

در دهه‌های اخیر، تمرکز فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهرنشینی موجب آلودگی و تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاهان شده است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت انسان‌ها و حیوانات تأثیرگذار بوده‌اند (Mansoor et al., 2023). برخی از فلزات با توجه به نقش ضروری در فرآیندهای زیستی برای موجودات زنده مورد نیاز هستند، اما انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف منجر به افزایش غلظت این عناصر تا سطوح خطرناک در محیط زیست شده است (Abd Elnabi et al., 2023). فلزات سنگین به دلیل ماهیت تجزیه‌ناپذیری و پایداری، اختلال در چرخه‌های زیستی ایجاد کرده و با تولید گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد، موجب آسیب به اندام‌ها و بافت‌ها می‌شوند (Waqas et al., 2024).

در تحقیق حاضر، اثر آنتی‌اکسیدانی مخلوط پروبیوتیک بر سطوح شاخص‌های استرس اکسیداتیو بافت کلیه موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار آلوده به کلرید آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت. در گروه دریافت‌کننده کلرید آلومینیوم، تغییرات معنی‌دار در شاخص‌های استرس اکسیداتیو بافت کلیه مشاهده شد. نتایج نشان داد که در موش‌های آلوده شده با کلرید آلومینیوم، سطوح سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوکاتایون پراکسیداز و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری کاهش و میزان مالون‌دی‌آلدهید بافت کلیه در مقایسه با گروه کنترل افزایش یافته است.

مطالعات پیشین نیز همسو با یافته‌های این پژوهش بوده‌اند. چراغی و همکاران در سال ۲۰۱۹ گزارش کردند که کلرید آلومینیوم موجب کاهش سطوح سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون و افزایش مالون‌دی‌آلدهید در موش‌ها می‌شود (Cheraghi et al., 2019). همچنین باکار و همکاران در سال ۲۰۲۴ تغییرات مشابهی در سطوح کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و مالون‌دی‌آلدهید در موش‌های دریافت‌کننده کلرید آلومینیوم مشاهده کردند (Bakare et al., 2024). تجمع فلزات سنگین در بافت‌ها، تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن و مکانیسم‌های خنثی‌سازی آن‌ها را برهم می‌زند (Waqas et al., 2024). این عدم تعادل منجر به پراکسیداسیون لیپیدها، آسیب DNA، اکسیداسیون پروتئین‌ها و تخریب مولکول‌های زیستی در غشای سلولی و غیرفعال شدن آنزیم‌ها می‌شود که در نهایت به آسیب بافتی و اختلال عملکرد سلولی می‌انجامد (Jomova et al., 2025).

در بخش دیگری از این پژوهش، تأثیر مخلوط پروبیوتیک بر شاخص‌های استرس اکسیداتیو مورد ارزیابی قرار گرفت. در گروه تیمار شده با پروبیوتیک، افزایش معنی‌دار سطوح سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوکاتایون پراکسیداز و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی و کاهش مالون‌دی‌آلدهید بافت کلیه در مقایسه با گروه آلوده مشاهده شد.

مطالعات مختلفی از جمله تحقیق سئو و همکاران در سال ۲۰۱۸ نشان داده‌اند که پروبیوتیک‌ها موجب افزایش معنی‌دار سطوح سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتایون



ضد التهابی، تحریک سلول های ایمنی و تقویت سیستم ایمنی بدن اشاره کرد (Ali et al., 2025). تولید بوتیرات توسط میکروبیوم سالم و متعادل، در تقویت پروتئین های اتصال و حفظ یکپارچگی مخاط مؤثر است و به این ترتیب جذب بهینه مواد مغذی را ارتقا می دهد (Majlesi et al., 2017). همچنین مصرف پروبیوتیک ها با تغییر میکروبیوم روده، باکتری های مفید را افزایش داده که به نوبه خود از بدن در برابر آلودگی محافظت می کند (Peng et al., 2023).

مطالعات نشان داده اند که پروبیوتیک ها، به ویژه باکتری های اسید لاکتیک، از روش های مختلفی برای حذف یا کاهش غلظت فلزات سنگین از محیط های اکولوژیکی استفاده می کنند (Abdel-Megeed, 2021). این میکروارگانیسم ها آنزیم ها و متابولیت هایی مانند اسیدهای چرب کوتاه زنجیره تولید می کنند که به سم زدایی و کاهش جذب و اثرات سمی فلزات سنگین کمک می کنند. همچنین پروبیوتیک ها با تشکیل بیوفیلم، جوامع میکروبی چسبنده ای ایجاد می کنند که می توانند فلزات سنگین را در یک مکان خاص تجمع داده و از انتشار آن ها جلوگیری کنند (Sionek et al., 2025).

پروبیوتیک ها از طریق جذب سطحی به سطح سلول های خود متصل شده و با تقویت سیستم ایمنی می توانند به کاهش آسیب های ناشی از سموم کمک کنند. این باکتری ها با استفاده از ساختارهای ویژه در دیواره سلولی خود، مانند پپتیدها و پلی ساکاریدها، قادر به جذب فلزات هستند (Farooq, 2024). همچنین با تولید آنزیم های خاص باعث تجزیه ترکیبات سمی و آزادسازی فلزات

پراکسیداز و ظرفیت تام آنتی اکسیدانی و کاهش مالون دی آلدئید می شوند (Seo et al., 2018). بابایی و همکاران در سال ۲۰۲۴ نیز اثرات محافظتی ساکارومایسس بولاردی را در برابر استرس اکسیداتیو ناشی از لیپوپلی ساکارید در مغز موش صحرایی نشان دادند (Babaei et al., 2024). همچنین اینسو و همکاران در سال ۲۰۲۳ گزارش کردند که مصرف پروبیوتیک های بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس کازئی موجب افزایش سطوح سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و کاهش مالون دی آلدئید در موش های تحت تأثیر دگزامتازون می شود (Inceu et al., 2023).

امروزه تحقیقات در زمینه تولید فرآورده های پروبیوتیک به دلیل خواص تغذیه ای و درمانی، روند رو به رشدی را دنبال می کند و تلاش برای قرار دادن پروبیوتیک ها و پری بیوتیک ها به عنوان مکمل در رژیم غذایی روزانه افراد در حال گسترش است (Asad et al., 2025). پروبیوتیک به عنوان مکمل غذایی میکروبی زنده تعریف شده که در صورت مصرف توسط انسان یا حیوان، با تأثیر بر تعادل فلور میکروبی روده، اثرات مفیدی بر سلامت میزبان دارد (Abdi-Moghadam et al., 2023).

به کارگیری پروبیوتیک ها به عنوان مواد حیات بخش در پیشگیری از بیماری ها و بهبود وضعیت سلامت انسان و دام، پشینه ای طولانی دارد. از جمله مکانیسم های عمل پروبیوتیک ها می توان به افزایش چسبندگی سلول های روده و تولید موسین، تقویت فعالیت بافت لنفوییدی مرتبط با روده، تولید مولکول های تعدیل کننده ایمنی و



سنگین می‌شوند. برخی از باکتری‌ها می‌توانند فلزات سنگین را به فرم‌های غیرقابل جذب یا بی‌خطر تبدیل کنند که این فرآیند به نام تثبیت شناخته می‌شود (Tahir et al., 2023).

تأثیر بر pH و بار سطحی نیز از دیگر مکانیسم‌های عمل پروبیوتیک‌ها است. برخی از باکتری‌های اسید لاکتیک می‌توانند باعث کاهش pH محیط شوند که ممکن است به افزایش حلالیت و قابلیت دسترسی برخی فلزات سنگین منجر شود (Schommer et al., 2023). این تغییر در pH می‌تواند به تغییر بار الکتریکی سطح سلول‌های باکتری و در نتیجه افزایش جذب فلزات سنگین کمک کند. همچنین پروبیوتیک‌ها می‌توانند با تحریک میکروب‌های دیگر، مکانیسم‌های تعدیلی دیگری مانند تولید فرآورده‌های متابولیکی که به تخریب یا تثبیت فلزات سنگین کمک می‌کنند را فعال کنند (Abdel-Rahim et al., 2025).

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش، اثر حفاظتی مخلوط پروبیوتیک (لاکتوباسیلوس پلانناروم، لاکتوباسیلوس پاراکازئی و لاکتوباسیلوس برویس) را در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از مواجهه با کلرید آلومینیوم در بافت کلیه موش صحرایی به‌وضوح نشان داد. سیستم آنتی‌اکسیدانی- پرواکسیدانی یک تعادل حیاتی در بدن ایجاد می‌کند که بین تولید رادیکال‌های آزاد و توانایی خنثی‌سازی آن‌ها توسط آنتی‌اکسیدان‌ها برقرار می‌شود. از آنجا که رادیکال‌های آزاد، مولکول‌های ناپایداری هستند که می‌توانند به سلول‌ها آسیب برسانند، آنتی‌اکسیدان‌ها با خنثی

سازی این رادیکال‌ها از آسیب سلولی جلوگیری می‌کنند. به نظر می‌رسد مخلوط پروبیوتیک مورد استفاده در این تحقیق با تولید ترکیبات مؤثر بر این سیستم، نقش تنظیمی و تعدیل‌کنندگی خود را ایفا می‌کند. با این حال، برای تعیین سویه‌های پروبیوتیکی که در جذب آلاینده‌های زیستی مؤثرتر عمل می‌کنند، انجام مطالعات بیشتر و دقیق‌تر به‌ویژه بررسی‌های مولکولی، ضروری به نظر می‌رسد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از همکاری مجتمع آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی و شرکت تک ژن قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

ملاحظات اخلاقی

مطالعه حاضر با مجوز کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی انجام گرفته است و سعی شده که تمام موازین اخلاقی کار با حیوان مورد توجه باشد و الزامات معاهده هلسینکی رعایت گردد (IR.IAU.CTB.REC.1403.222).

منابع

1. Abd Elnabi, M. K., Elkaliny, N. E., Elyazied, M. M., Azab, S. H., Elkhalfifa, S. A., Elmasry, S., Mouhamed, M. S., Shalamesh, E. M., Alhoriény, N. A., Abd Elaty, A. E., Elgendy, I. M., Etman, A. E., Saad, K. E., Tsigkou, K., Ali, S. S., Kornaros, M., Mahmoud, Y. A.



- whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*). *Damietta Journal Agricultural Sciences*, **4** (2):123–135.
<https://doi.org/10.21608/djas.2025.430274>
7. Asad, A., Kirk, M., Zhu, S., Dong, X., & Gao, M. (2025). Effects of Prebiotics and Probiotics on Symptoms of Depression and Anxiety in Clinically Diagnosed Samples: Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrition reviews*, **83** (7): e1504–e1520. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuae177>
8. Babaei, F., Navidi-Moghaddam, A., Naderi, A., Ghafghazi, S., Mirzababaei, M., Dargahi, L., Mohammadi, G., & Nassiri-Asl, M. (2024). The preventive effects of *Saccharomyces boulardii* against oxidative stress induced by lipopolysaccharide in rat brain. *Heliyon*, **10** (9) : e30426. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30426>
9. Bakare, T.A., Abubakar, J., Gulumbe, B.H., Auwal ,AR, Shitu, A., Danjuma ,A.M. (2024). Cardio and neuroprotective effects of naringenin against aluminum chloride-induced oxidative stress in Wistar rats. *Avicenna Journal Med Biochemical*, **12** (1):19–29. <https://doi.org/10.34172/ajmb.2484>
10. Cheraghi, E., Roshanaei, K. (2019). The protective effect of curcumin against aluminum chloride induced oxidative stress and hepatotoxicity in rats. *Pharmaceutical and Biomedical Research*, **5** (1):11–18 .
11. <https://doi.org/10.18502/pbr.v5i1.761>
12. Dashtbanei, S., & Keshtmand, Z. (2023). A Mixture of Multi-Strain Probiotics (*Lactobacillus* (2023). Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review. *Toxics*, **11** (7), 580.
<https://doi.org/10.3390/toxics11070580>
2. Abdel-Megeed R. M. (2021). Probiotics: a Promising Generation of Heavy Metal Detoxification. *Biological trace element research*, **199** (6): 2406–2413. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02350-1>
3. Abdel-Rahim MM, Shahin SA, Mansour AT, Alsaqufi AS, Elshafey AE, Omar AA, El-Sharkawy HA, Mohamed RA, Elhetawy AI(2025 April). The effect of aqueous application of probiotics on growth, heavy metal accumulation, blood biochemistry, and histological alterations of *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture International*, **33** (3):1-25. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01900-5>
4. Abdi-Moghadam, Z., Darroudi, M., Mahmoudzadeh, M., Mohtashami, M., Jamal, A. M., Shamloo, E., & Rezaei, Z. (2023). Functional yogurt, enriched and probiotic: A focus on human health. *Clinical nutrition Espen*, **57**: 575–586. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.08.005>
5. Ali ,M., Amin ,A., Abbas, Z. (2025 Mar). Efficacy of *Lactobacillus rhamnosus* probiotic strains in treating chromate induced dermatitis. *Scientific Reports*, **15** (1):8796.<https://doi.org/10.1038/s41598-025-93732-9>
6. Al-Kazzaz, F.A., Amer, A.A., Abu El-Naser, I.A. (2025). Assessing the influence of dietary supplementation of *Lactobacillus acidophilus* on the growth performance, biochemical parameters, antioxidant status, and digestive enzyme activity of



17. Inceu, A. I., Neag, M. A., Catinean, A., Bocsan, C. I., Craciun, C. I., Melincovici, C. S., Muntean, D. M., Onofrei, M. M., Pop, R. M., & Buzoianu, A. D. (2023). The Effects of Probiotic Bacillus Spores on Dexamethasone-Treated Rats. *International journal of molecular sciences*, **24** (20): 15111. <https://doi.org/10.3390/ijms242015111>
18. Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of toxicology*, **99** (1), 153–209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>
19. Latif, A., Shehzad, A., Niazi, S., Zahid, A., Ashraf, W., Iqbal, M. W., Rehman, A., Riaz, T., Aadil, R. M., Khan, I. M., Özogul, F., Rocha, J. M., Esatbeyoglu, T., & Korma, S. A. (2023). Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Frontiers in microbiology*, **14**:1216674. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1216674>
20. Liu, C., Ma, N., Feng, Y., Zhou, M., Li, H., Zhang, X., Ma X. (2023). From probiotics to postbiotics: concepts and applications. *Animal Research and One Health*, **1** (1):92–114. <https://doi.org/10.1002/aro2.7>
21. Lokman, M., Ashraf, E., Kassab, R. B., Abdel Moneim, A. E., & El-Yamany, N. A. (2022). Aluminum Chloride-Induced Reproductive Toxicity in Rats: the Protective Role of Zinc Oxide Nanoparticles. *Biological trace element research*, **200** (9): 4035–4044. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03010-8>
22. Majlesi, M., Shekarforoush, S. S., Ghaisari, H. R., Nazifi, S., Rhamnosus, Lactobacillus Helveticus, and Lactobacillus Casei) had Anti-Inflammatory, Anti-Apoptotic, and Anti-Oxidative Effects in Oxidative Injuries Induced By Cadmium in Small Intestine and Lung. *Probiotics and antimicrobial proteins*, **15** (2), 226–238. <https://doi.org/10.1007/s12602-022-09946-0>
13. Farooq S (2024). A review on pharmacokinetics, mechanism of action and side effects of probiotics. *International Journal of Molecular Microbiology*, **7** (1):39-59 .
14. Gao, Y., Tan, R., Wang, Z., Qiang, L., & Yao, H. (2024). The effects of Bacillus subtilis on the immunity, mucosal tissue morphology, immune-related gene transcriptions, and intestinal microbiota in flounder (*Paralichthys olivaceus*) with two feeding methods: Continuous versus discontinuous feeding. *Veterinary immunology and immunopathology*, **271**: 110742. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2024.110742>
15. GolchinA, Ranjbarvan P, Parviz S, Shokati A, Naderi R, Rasmi Y, Kiani S, Moradi F, Heidari F, SaltanatpourZ, AlizadehA. (2023). The role of probiotics in tissue engineering and regenerative medicine. *Regenerative medicine*, **18** (8):635–57.
16. Hindawy, R. F., Manawy, S. M., Nafea, O. E., Abdelhameed, A. A., Hendawi, F. F. (2024). Moringa oleifera leaves ethanolic extract counteracts cortical neurodegeneration induced by aluminum chloride in rats. *Toxicology research*, **13** (2), tfae028. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfae028>



- <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123732>
28. Saleem, A.A., Elaref, M.Y., Bassiony ,S.M., Abdelnour, S.A., Helal, A.A., Abdel-Monem U.M., Al-Marakby., K.M. (2024). The effect of adding multi-strain probiotics (MSP) on the hematological, immunological and antioxidant parameters of male Saidi sheep. *Egyptian Journal Veterinary Sciences*, **10**: 1–8. <https://doi.org/21608/EJVS.2024.294580.2143>
 29. Schommer, V. A., Vanin, A. P., Nazari, M. T., Ferrari, V., Dettmer, A., Colla, L. M., & Piccin, J. S. (2023). Biochar-immobilized *Bacillus* spp. for heavy metals bioremediation: A review on immobilization techniques, bioremediation mechanisms and effects on soil. *The Science of the total environment*, **881**: 163385. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163385>.
 30. Shabani, M., Hasanpour, E., Mohammadifar, M., Bahmani, F., Talaei, S. A., & Aghighi, F. (2023). Evaluating the Effects of Probiotic Supplementation on Neuropathic Pain and Oxidative Stress Factors in an Animal Model of Chronic Constriction Injury of the Sciatic Nerve. *Basic and clinical neuroscience*, **14** (3), 375–384. <https://doi.org/10.32598/bcn.2022.3772.1>
 31. Sionek, B., Szydłowska ,A., Jaworska, D., Kołożyn-Krajewska, D.(2025). Benefits of Probiotics—Biodetoxification. *Applied Sciences*, **15** (10):5297. <https://doi.org/10.3390/app15105297>
 32. Su, X., Narayanan, M., Shi, X., Chen, X., Li, Z., & Ma, Y. (2024). Mitigating heavy metal accumulation in tobacco: Strategies, Sajedianfard, J., & Eskandari, M. H. (2017). Effect of Probiotic *Bacillus Coagulans* and *Lactobacillus Plantarum* on Alleviation of Mercury Toxicity in Rat. *Probiotics and antimicrobial proteins*, **9** (3): 300–309. <https://doi.org/10.1007/s12602-016-9250-x>
 23. Mansoor ,S., Ali, A., Kour, N., Bornhorst ,J., AlHarbi, K., Rinklebe, J., Abd El Moneim, D., Ahmad, P., Chung ,Y.S. (2023).Heavy metal induced oxidative stress mitigation and ROS scavenging in plants. *Plants*, **12** (16):3003; <https://doi.org/10.3390/plants12163003>
 24. Mazziotta, C., Tognon, M., Martini, F., Torreggiani, E., Rotondo, J. C. (2023). Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells*, **12** (1) : 184. <https://doi.org/10.3390/cells12010184>
 25. Nualart, D., Diaz, D., Tapia, J., Quinteros, C., & Vargas-Chacoff, L. (2025). Aluminum chloride (AlCl₃) alters the physiological response of rainbow trout. *Fish physiology and biochemistry*, **51** (3), 84. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01497-9>
 26. Peng, Z., Liao, Y., Yang, W., & Liu, L. (2024). Metal(loid)-gut microbiota interactions and microbiota-related protective strategies: A review. *Environment international*, **192**: 109017. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109017>
 27. Porru, S., Esplugues, A., Llop, S., & Delgado-Saborit, J. M. (2024). The effects of heavy metal exposure on brain and gut microbiota: A systematic review of animal studies. *Environmental*, **348** :123732.



- Health, **17** (4), 1451.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17041451>
35. Waqas W, Yuan Y, Ali S, Zhang M, Shafiq M, Ali W, Chen Y, Xiang Z, Chen R, Ikhwanuddin M, Ma H. (2024). Toxic effects of heavy metals on crustaceans and associated health risks in humans: a review Environmental Chemistry Letters, **22** (3):1391–1411.
<https://doi.org/10.1007/s10311-024-01717-3>
36. Zhao, J., Zhao, F., Yuan, J., Liu, H., & Wang, Y. (2023). Gut microbiota metabolites, redox status, and the related regulatory effects of probiotics. Heliyon, **9** (11), e21431.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21431>
- mechanisms, and global initiatives. The Science of the total environment, 926:172128.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172128>
33. Tahir, I., & Alkheraije, K. A. (2023). A review of important heavy metals toxicity with special emphasis on nephrotoxicity and its management in cattle. Frontiers in veterinary science, **10**: 1149720.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1149720>
34. Wang, Y., Tang, Y., Li, Z., Hua, Q., Wang, L., Song, X., Tang, C. (2020). Joint toxicity of a multi-heavy metal mixture and chemoprevention in sprague dawley rats. International Journal of Environmental Research and Public



Effect of a mixture of lactic acid probiotics on oxidative damage induced by aluminum chloride in rat kidney tissue

Zahra Keshtmand^{*1}, Marjso Sarkhani¹

1. Department of Biology, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 24 Januay 2025

Accepted: 26 November 2025

Extended Abstract

Introduction: One of the most important environmental pollutants are heavy metals, which accumulate in the organs of living organisms and cause poisoning even in small amounts. These compounds cause extensive tissue damage by directly affecting biological molecules and activating apoptosis pathways. Probiotics are living microorganisms that can absorb heavy metals by maintaining the balance of the intestinal microbiota and strengthening the intestinal epithelial barrier, through their function and production of effective metabolites. The aim of this study was to investigate the effect of a mixture of lactic probiotics on oxidative damage caused by exposure to aluminum chloride in rat kidney tissue. **Materials and methods:** In this experimental study, 21 adult male Wistar rats were divided into 3 groups of 7: control, aluminum chloride recipient (100 mg/kg), aluminum chloride + probiotic mixture (10^9 CFU/ml). Induction of contamination and receipt of the probiotic mixture was performed by gavage. After the end of the treatment period and dissection of the animals, kidney tissue was extracted to measure some oxidative stress indices in different groups. **Results:** The results of this study showed that in the group receiving aluminum chloride, there was a significant increase in malondialdehyde and a significant decrease in superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase, and total antioxidant capacity compared to the control group, while in the group treated with the probiotic mixture, there was a significant decrease in malondialdehyde and an increase in superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase and total antioxidant capacity compared to the contaminated group. **Conclusion:** According to the findings of this study, it is likely that the probiotic mixture can be used as one of the effective compounds and supplements to modify the damage caused by the aluminum chloride pollutant.

Keywords: Probiotics, Aluminum Chloride, Kidney Tissue, Oxidative Stress, Rat.

* Corresponding Author: Zahra Keshtmand

Adress: Department of Biology, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Email: Zahra.keshtmand@iaua.ac.ir