



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



ارزیابی غلظت سرب و نیکل در برنج کشت شده با استفاده از فاضلاب خام شهری و خطر

سلامت آن برای انسان در استان گلستان

حسین خیرآبادی^۱، محمدرضا پهلوانراد^۱، مریم سبطی^۱ و لیلا صادق کسمایی^۱

۱- بخش پژوهشی خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله: kheirabadi1364@gmail.com

چکیده

در استان گلستان خشکسالی‌های اخیر و کمبود منابع آب برای کشاورزی و از سوی دیگر صرفه اقتصادی تولید برنج در سال‌های اخیر، باعث شده در برخی از مناطق شهری استان گلستان، کشاورزان از فاضلاب برای آبیاری کشت برنج استفاده می‌نمایند. این مطالعه با هدف بررسی غلظت عناصر سنگین در برنج کشت شده در اراضی آبیاری شده با فاضلاب و بررسی خطرات مصرف آن بر سلامت انسان صورت گرفته است. نمونه‌برداری در تابستان ۱۴۰۳ از محصول برنج اراضی شالیزاری آبیاری شده فاضلاب صورت گرفت. میانگین غلظت سرب و نیکل در برنج به ترتیب برابر با ۷/۱۵ و ۲۱/۲۵ میلی گرم در کیلوگرم است که بالاتر از حد مجاز اعلام شده توسط FAO/WHO می باشد. احتمال خطرکلی به بیمارهای غیرسرطانی (THQ) ناشی از مصرف برنج تولید شده در اراضی آبیاری شده با فاضلاب در هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان بزرگتر از یک بدست آمد. این یافته‌ها بیان می‌کند که دریافت فلزات سنگین از طریق مصرف برنج‌های تولید شده در این اراضی ممکن است برای سلامت مردم خطرناک باشد. نتایج حاصل از این پژوهش بر اهمیت نظارت بر کیفیت آبیاری و منابع آب آبیاری و منابع کودی برای برنج و سایر محصولات غذایی تولیدی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: عناصر سنگین، برنج، سلامت انسان، فاضلاب شهری

مقدمه

برنج غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان است و مصرف آن در طی دهه‌های گذشته در سطح جهان افزایش یافته است. این محصول مواد مغذی قابل توجهی را فراهم می‌کند و ۳۰ درصد از نیازهای انرژی جهان را تأمین می‌کند. برآورد می‌شود که تقاضای جهانی برنج در سال ۲۰۳۵ به ۸۵۲ میلیون تن برسد که در مقایسه با سال ۲۰۱۰، حدود ۲۶ درصد افزایش خواهد یافت (Maraseni et al., 2018 و Javdan et al., 2021). در کشور ایران نیز این محصول به عنوان دومین ماده غذایی پرمصرف پس از گندم به شمار می‌آید. سرانه مصرف برنج در کشور حدود ۳۶/۶ کیلوگرم در سال است (Sobhani et al., 2021). اگرچه برنج به طور معمول منبع خوبی از مواد مغذی مختلف شامل کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی محسوب می‌شود، اما مشخص شده است که برنج کشت شده در برخی از اراضی کشاورزی به سطوحی از فلزات سنگین مانند کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) و کروم (Cr) و ... آلوده است و غلظت برخی از عناصر سنگین از حد مجاز منتشر شده توسط نهادهای نظارتی مختلف فراتر رفته است (Eslamizad and Alehashem, 2025). فلزات سنگین یکی از آلاینده‌های اصلی محیط زیست هستند؛ این فلزات برای سلامت انسان بسیار سمی بوده و در محیط زیست پایدارند.

یکی از بحران‌های امروزه در حومه شهرها برای اراضی کشاورزی وجود دارد آبیاری با آب فاضلاب خام است. استفاده طولانی مدت از فاضلاب در آبیاری اراضی اغلب باعث افزایش میزان فلزات سنگین در خاک می‌شود. آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی می‌تواند منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی شود (Hassan et al., 2023). استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در آبیاری اراضی مناطق حومه شهری در بسیاری از نقاط جهان به امری معمول و متعارف تبدیل شده است که سودمندی یا زیانبار بودن آن بسته به به محیط جغرافیایی می‌تواند متفاوت باشد.

استان گلستان یکی از قطب‌های مهم تولید برنج کشور محسوب می‌شود و در سال‌های اخیر به دلیل توجیه اقتصادی کوتاه مدت آن برای بهره برداران، کشت آن رشد روزافزون در استان داشته است (کیانی و همکاران، ۱۳۹۹). به طوری که بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان که سطح کشت برنج در استان، حدود ۵۰ هزار هکتار بر اساس شرایط اقلیمی گزارش شده است.

از سوی دیگر با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کمبود منابع آب برای کشاورزی و همچنین صرفه اقتصادی تولید برنج در سال‌های اخیر برای کشاورزان، در برخی از مناطق شهری استان گلستان، کشاورزان از فاضلاب خام برای آبیاری کشت برنج در حاشیه شهرها استفاده می‌نمایند. این مطالعه با هدف بررسی غلظت عناصر سنگین در برنج کشت شده در مزارع آبیاری شده با فاضلاب خام شهری و بررسی اثرات آن بر سلامت انسان صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل مزارع شالیزاری آبیاری شده با فاضلاب خام شهری در حومه شهرهای استان گلستان می‌باشد. نمونه برداری در تابستان ۴۰۳ از مزارع مذکور در هنگام برداشت محصول انجام گرفت. نمونه‌های گیاه پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلیوس خشک کن تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. نمونه‌های خشک شده توزین، آسیاب و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلیوس در کوره الکتریکی به خاکستر تبدیل شدند. نمونه‌ها با استفاده از اسید کلریک عصاره گیری شدند (Chapman and Pratt, 1996). غلظت عناصر سنگین سرب و نیکل با استفاده از دستگاه ICP اندازه گیری شد.

محاسبه احتمال خطر سلامت انسان

برای محاسبه احتمال خطرپذیری افراد به بیماری‌های غیرسرطانی از فرمول‌های ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا استفاده شده است. به این ترتیب ابتدا میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز با استفاده از فرمول شماره ۱ محاسبه شد.

$$CDI \text{ (mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}\text{)} = (CF \times IR \times FI \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (1)$$

که در آن

CDI = میزان ورود روزانه عناصر سنگین به بدن در اثر مصرف مواد غذایی (mg/kg/day)

CF = غلظت آلاینده در غذا (mg g^{-1})

IR = میزان مصرف غذا در هر وعده (g/day) (مصرف برنج در هر روز برای افراد بزرگسال و کودکان به ترتیب برابر با ۱۱۰ و ۵۵ گرم در روز در نظر گرفته شده است (بی نام، ۱۳۸۹).

FI = مقدار آلاینده که از طریق غذا جذب می شود ($0/4-0/25$)

EF = دفعات مصرف در سال (۳۶۵ روز در سال)

ED = تعداد سال های که از این ماده خوراکی استفاده می شود

BW = وزن بدن انسان (kg)، در این پژوهش وزن کودکان ۱۶/۵ کیلوگرم و بزرگسالان ۶۵ کیلوگرم در نظر گرفته شده است.

AT = از حاصلضرب ED در تعداد روزهای سال بدست می آید (days)

ارزیابی خطر مواجهه با آلاینده های غیرسرطانزا یا شاخص خطر (HQ^1) با استفاده از فرمول شماره ۲ محاسبه شده است.

$$HQ = CDI / RfD \quad (2)$$

که در آن

RfD = دوز مرجع، یک معیار علمی است که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده منتشر شده است. این معیار، حداکثر مقدار قابل قبول مواجهه روزانه با یک ماده شیمیایی (عمدتاً غیرسرطانزا) برای عموم مردم را با در نظر گرفتن یک گروه حساس تخمین می زند.

چنانچه مقدار HQ کمتر از یک بدست آید مصرف کننده از اثرات سوء احتمالی بیماری های غیرسرطانی در محدوده امن قرار دارند ولی اگر بیشتر از یک باشد احتمال تاثیر بیماری های غیرسرطانی با افزایش مقدار HQ افزایش می یابد. در نهایت از مجموع HQ هر یک از عناصر در هر گروه سنی THQ بدست می آید.

نتایج و بحث

در جدول ۱ میانگین غلظت کبالت، نیکل و سرب در برنج های کشت با استفاده از فاضلاب خام ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود میانگین غلظت سرب در نمونه های برنج برابر با ۷/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم می باشد که بالاتر از حداکثر مقدار مجاز تعیین شده توسط استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۹۶۸ که برابر با ۰/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم می باشد (بی نام، ۱۳۸۹). در ارتباط با برنج حد مجازی برای نیکل در استاندارد ملی ایران تعیین نشده است. در حالی که حد مجاز نیکل در مورد غلات بر اساس استاندارد کدکس برابر با ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم می باشد که غلظت نیکل در برنج های کشت شده در اراضی شالیزاری کشت شده با استفاده از فاضلاب خام بالاتر از حد تعیین شده می باشد (WHO, 2004).

جدول ۱ - میانگین غلظت عناصر سنگین (mg/kg) در برنج کشت شده در اراضی شالیزاری آبیاری شده با فاضلاب

نام محصول	سرب	نیکل
برنج	۷/۱۵	۲۱/۲۵

در جدول ۲ میانگین ورود روزانه نیکل و سرب به بدن انسان از مصرف برنج را نشان می دهد. بر اساس گزارش سازمان ملی استاندارد کشور میزان دریافت قابل تحمل روزانه موقتی ($PTDI^2$) سرب بر حسب کیلوگرم وزن بدن برابر با ۰/۰۳۶ میلی گرم بر کیلوگرم در روز می باشد. بنابراین با توجه به جدول ۲، میزان دریافت روزانه از طریق مصرف برنج در نمونه های برداشت شده از اراضی شالیزاری آبیاری با فاضلاب خام بیشتر از حد مجاز اعلام شده می باشد. همچنین میزان مجاز دریافت قابل تحمل روزانه موقتی نیکل برابر ۰/۰۱۳ میلی گرم در کیلوگرم می باشد (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2020). در افراد بزرگسال این میانگین در حد این استاندارد می باشد.

۱- Hazard Quotient

۲-Provisional Tolerable Daily Intake

جدول ۲- میانگین ورود نیکل و سرب به بدن انسان از مصرف برنج (mg/kg day)

Ni	Pb	گروه سنی
۰/۰۱۳	۰/۰۰۴۴	بزرگسال
۰/۰۲۸	۰/۰۰۹۵	کودکان

احتمال خطر به بیماری‌های غیر سرطانی (HQ) برای نیکل و سرب ناشی مصرف برنج‌های کشت شده در اراضی شالیزاری آبیاری شده با فاضلاب خام برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان در استان گلستان در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود احتمال خطر برای سرب در هر دو گروه سنی بالاتر از یک و در نیکل برای کودکان بالاتر از یک می‌باشد و در نتیجه احتمال خطر کلی به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از مصرف برنج آبیاری شده با فاضلاب خام در هر دو گروه سنی بالاتر از یک می‌باشد. این یافته‌ها بیان می‌کند که دریافت فلزات سنگین از طریق مصرف برنج ممکن است برای سلامت مردم مصرف کننده خطرناک باشد. نتایج حاصل از این پژوهش بر اهمیت نظارت بر کیفیت آبیاری و منابع آب آبیاری برای برنج و سایر محصولات غذایی تولیدی را نشان می‌دهد. همچنین Sharafi و همکاران (2024) بر اهمیت نظارت بر کیفیت آب آبیاری و خاک برای جلوگیری از تجمع فلزات سنگین در سبزیجات کشت شده تأکید کردند. بنابراین منابع آبیاری، کیفیت خاک و کیفیت کودها برای کشت محصولاتی مانند برنج باید به طور منظم مورد نظارت قرار گیرند. در نهایت لزوم نظارت مداوم و اجرای دقیق مقررات ایمنی مواد غذایی برای اطمینان از کیفیت و ایمنی برنج، با توجه به خطرات بالقوه سلامتی مرتبط با قرار گرفتن طولانی مدت در معرض فلزات سنگین، حتی در سطوح پایین، تأکید می‌شود.

جدول ۳- شاخص خطر به بیماری غیرسرطانی از نیکل و سرب از مصرف برنج (mg/kg day)

THQ	HQ		گروه سنی
	Ni	Pb	
۱/۷۸	۰/۶۶	۱/۱۲	بزرگسال
۳/۷۹	۱/۴۱	۲/۳۸	کودکان

نتیجه‌گیری

این مطالعه خطرات قابل توجه سلامت عمومی ناشی از وجود فلزات سنگین به ویژه سرب و نیکل در برنج‌های کشت شده در مزارع آبیاری شده در فاضلاب خام شهری را بیان می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که مواجهه فردی و جمعی با این فلزات، به ویژه در جمعیت‌های آسیب‌پذیر مانند کودکان، می‌تواند منجر به خطرات سلامتی غیرسرطان‌زا و سرطان‌زا شود. شواهد مداوم از این مطالعه و سایر مطالعات، بر لزوم اقدامات نظارتی فوری برای نظارت و کنترل غلظت فلزات سنگین در برنج و جلوگیری از کشت برنج در مزارع آبیاری شده با فاضلاب خام شهری و تخریب آنها تأکید می‌نماید.

منابع

۱-بی نام، (۱۳۸۹). استاندارد خوارک انسان و دام- پیشینه رواداری فلزات سنگین. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
 ۲-کیانی، ع.ر.، یونس آبادی، م.، فرجی، ا.، حسینی چالستری، م.، یزدانی، م.ر.، فیض بخش، م.ت.، مبشری، م.، اله قلی پور، م.، شاملی، س.، شریفی، م.، پهلوان‌راد، م.ر.، عبداللهی، ک.، صلاحی فراهی، م.، ارزانش، م. ح.، عبادی ع. ا.، و سوخته سرایی، م. (۱۳۹۹). دستورالعمل تولید برنج به روش کشت مستقیم در بستر خشک (استان گلستان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور

3- Chapman, H.D. and Pratt, P.F. (1961) Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Los Angeles, 60-61, 150-179.

4- Eslamizad, S., & Alehashem, M. (2025). Metal contaminants in rice imported to Iran: A comprehensive assessment of carcinogenic and non-carcinogenic health risks. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 87, 127568.

5-EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., Del Mazo, J., ... & Nielsen, E. (2020). Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. *Efsa Journal*, 18(11), e06268.

6- Hassan, Z., Hassan, A., Riaz, M., Khan, A. A., Ul-Allah, S., Shehzad, U., ... & Manzoor, Z. (2023). Increased health risk assessment in different vegetables grown under untreated sewerage irrigation regime due to higher heavy metals accumulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(36), 86189-86201

- 7- Javdan, G., Ghaffari, H. R., Nahidi, M., Zeraei, N., Hoseinvandtabar, S., Ahmadi, M., ... & Heidarinejad, Z. (2021). Health risk assessment of heavy metals (Arsenic and Cadmium) in rice (*Oryza sativa* L.) brands imported to Iran: Using Monte Carlo simulation. *Hormozgan Medical Journal*, 25(3), 104-110.
- 8- Maraseni, T. N., Deo, R. C., Qu, J., Gentle, P., & Neupane, P. R. (2018). An international comparison of rice consumption behaviours and greenhouse gas emissions from rice production. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2288-2300.
- 9- Sharafi, K., Omer, A. K., Mansouri, B., Massahi, T., Soleimani, H., Moradi, M., ... & Ebrahimzadeh, G. (2024). Transfer of heavy metals from soil to vegetables: a comparative assessment of different irrigation water sources. *Heliyon*, 10(11).
- 10- Sobhani, S. R., Omidvar, N., Abdollahi, Z., & Al Jawaldeh, A. (2021). Shifting to a sustainable dietary pattern in Iranian population: current evidence and future directions. *Frontiers in Nutrition*, 8, 789692.
- 11-WHO. (2004). Joint FAO/WHO Expert Standards Programme Codex Alimentations Commission. Geneva, Switzerland available in the : <http://www.who.int>.

Assessment of Pb and Ni Concentrations in Rice Grown Using untreated Municipal Wastewater and Associated Health Risks in Golestan ProvinceHossein kheirabadi^{*1}, Mohammad Reza Pahlevan Rad¹, Maryam Sebti¹, Leila Sadegh Kasmaei¹

1- Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

** Corresponding author : kheirabadi1364@gmail.com***Abstract**

In Golestan Province, recent droughts, a lack of water resources for agriculture, and the high economic cost of rice production have led some farmers to use wastewater for irrigation. This study aimed to investigate the concentration of heavy metals in rice grown in fields irrigated with wastewater and to assess the associated health risks to humans. Sampling was carried out in the summer of 2024 from rice crops in wastewater-irrigated paddy fields. The average concentrations of lead and nickel in the rice were 15.7 and 25.21 mg/kg, respectively, which are higher than the permissible limits set by the FAO/WHO. The Target Hazard Quotient (THQ) for non-cancerous diseases from consuming rice produced in these fields was greater than one for both children and adults. These findings suggest that the intake of heavy metals through the consumption of rice from these areas may pose a significant health risk to the population. The results of this study demonstrate the importance of monitoring the quality of irrigation water and fertilizer sources for rice and other food crops.

Keywords: Heavy metal, Rice, Human Health, Municipal Wastewater