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

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

# راندمان مصرف کودهای شیمیایی در محصولات کشاورزی استان تهران

محسن سیلسیپور[۱*]، مهدی صادقی پور مروی[۲]، مرجان حکیم زاده[۳]

۱- عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات کشت گلخانه ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، ورامین، ایران؛ *mseilsep@yahoo.com
۲- محقق غیر هیئت علمی، بخش تحقیقات آبخیزداری و بهره وری آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، ورامین، ایران ۳-کارشناس تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران

## چکیده

مصرف بهینه کودهای شیمیایی از عوامل کلیدی در افزایش عملکرد محصولات، کاهش هزینه‌های تولید و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی است .در این پژوهش، راندمان مصرف نیتروژن(N) ، فسفر ($P_2O_5$) و پتاسیم ($K_2O$) در محصولات زراعی استان تهران با بهره‌گیری از داده‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی بررسی شد .راندمان مصرف برای هر عنصر به‌صورت» کیلوگرم محصول تولیدشده به ازای هر کیلوگرم عنصر مصرفی «محاسبه گردید .نتایج نشان داد میان شهرستان‌های استان تفاوت معنی‌داری در راندمان مصرف کود وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که بیشترین راندمان نیتروژن در شمیرانات و کمترین مقدار در رباط‌کریم مشاهده شد .این یافته‌ها نشان می‌دهد که شرایط مدیریتی و الگوی مصرف نهاده‌ها تأثیر مستقیم بر راندمان مصرف دارند .به‌طور کلی، افزایش میزان مصرف کود لزوماً به ارتقای راندمان منجر نمی شود .در مقابل، بهینه‌سازی الگوی مصرف بر پایه آزمون خاک، تنظیم مقدار و زمان کاربرد و استفاده هدفمند از منابع آلی و زیستی می‌تواند ضمن کاهش تلفات عناصر و هزینه‌های تولید، بهره‌وری را افزایش داده و پایداری سامانه‌های کشاورزی استان تهران را ارتقا دهد.

**واژگان کلیدی:** استان تهران؛ راندمان مصرف کود؛ نیتروژن(N) ؛ فسفر($P_2O_5$) ؛ پتاسیم($K_2O$)

## مقدمه

کارایی مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن (N)، فسفر ($P_2O_5$) و پتاسیم ($K_2O$) از شاخص‌های کلیدی بهره‌وری کشاورزی و پایداری تولید محسوب می‌شود. بررسی‌های جهانی نشان می‌دهد راندمان مصرف نیتروژن در بسیاری از کشورهای در حال توسعه کمتر از ۴۰ درصد است (Zhang et al., 2015; FAO, 2019). در ایران نیز مطالعات نشان داده‌اند که راندمان مصرف عناصر غذایی پایین‌تر از میانگین جهانی است (سیلسپور، ۱۳۷۷؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۹۵). این وضعیت علاوه‌بر اتلاف منابع و افزایش هزینه‌های تولید، سبب آلودگی خاک و منابع آب زیرزمینی می‌شود (Zhang et al., 2024).

مدیریت علمی مصرف کود بر پایه آزمون خاک، توازن N–P–K و به‌کارگیری منابع آلی و زیستی به‌عنوان مهم‌ترین راهبردهای ارتقای راندمان مصرف شناخته شده‌اند (FAO, 2021; OECD–FAO, 2022). ارزیابی فضایی این شاخص‌ها در مقیاس‌های منطقه‌ای اطلاعات ارزشمندی برای تدوین نسخه‌های کودی اختصاصی فراهم می‌کند.

استان تهران به‌دلیل محدودیت منابع آب، تراکم بالای جمعیت و تنوع محصولات زراعی شرایط ویژه‌ای برای مطالعه دارد. استفاده از آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی در سطح شهرستان، امکان تحلیل تفاوت‌های مکانی و ارائه توصیه‌های مدیریتی را فراهم می‌سازد. هدف این پژوهش، بررسی راندمان مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شهرستان‌های استان تهران و تحلیل عوامل مؤثر بر تفاوت‌های کارایی مصرف کود است.

## مواد و روش‌ها

داده‌های مربوط به سطح زیرکشت، مقدار تولید و میزان مصرف کودهای نیتروژن (N)، فسفر ($P_2O_5$) و پتاسیم ($K_2O$) در شهرستان‌های استان تهران از آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد (جدول ۱).

**جدول ۱- راندمان مصرف عناصر غذایی در محصولات کشاورزی استان تهران برحسب شهرستان**

| نام شهرستان | کود اصلی(N) + ماکرو | کود اصلی($P_2O_5$) + ماکرو | کود اصلی($K_2O$) + ماکرو | جمع کودهای اصلی+ ماکرو | کل تولیدات کشاورزی | راندمان مصرف (N) | راندمان مصرف ($P_2O_5$) | راندمان مصرف ($K_2O$) | راندمان مصرف کل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (کیلوگرم محصول به ازای مصرف یک کیلوگرم عنصر غذایی) | | | | (تن) | | | | |
| اسلامشهر | ۶۵۱ | ۱۴۳ | ۵۳ | ۸۴۶ | ۶۳۵۲۴ | ۹۸ | ۴۴۶ | ۱۲۱۰ | ۷۵ |
| بهارستان | ۱۲ | ۲۵ | ۵ | ۴۲ | ۱۰۹۸۳ | ۸۸۴ | ۴۳۹ | ۲۱۹۷ | ۲۵۹ |
| پاکدشت | ۷۱۸ | ۶۵ | ۳۰ | ۹۱۳ | ۸۸۳۷۲ | ۱۲۳ | ۵۳۶ | ۲۹۹۶ | ۹۷ |
| پیشوا | ۷۷۹ | ۴۵۰ | ۲ | ۹۳۰ | ۵۶۰۶۲ | ۷۲ | ۳۷۵ | ۳۷۳۷۵ | ۶۰ |
| تهران | ۱۴۴ | ۶۹ | ۲۰ | ۳۳۳ | ۲۷۳۳۵ | ۱۱۲ | ۳۹۹ | ۱۳۶۷ | ۸۲ |
| دماوند | ۲۱۰ | ۱۱۸ | ۱۱۱ | ۴۳۹ | ۴۰۱۳۰ | ۱۹۱ | ۳۴۰ | ۳۶۲ | ۹۱ |
| رباط‌کریم | ۴۲۱ | ۱۰۰ | ۳۶ | ۵۵۶ | ۲۵۲۲۶ | ۶۰ | ۲۵۳ | ۷۰۹ | ۴۵ |
| ری | ۲۷۴۱ | ۷۹۵ | ۲۲۰ | ۳۷۵۶ | ۱۹۱۴۹۰ | ۷۰ | ۲۴۱ | ۸۷۰ | ۵۱ |
| شمیرانات | ۱۴ | ۵ | ۸ | ۲۷ | ۱۰۶۰۵ | ۷۳۶ | ۲۱۲۱ | ۱۴۱۴ | ۳۹۴ |
| شهریار | ۵۴۶ | ۱۶۷ | ۹۶ | ۸۰۸ | ۵۷۸۶۹ | ۱۰۶ | ۳۴۷ | ۶۰۶ | ۷۲ |
| فیروزکوه | ۱۹۳ | ۹۲ | ۴۴ | ۳۲۹ | ۱۷۴۴۵ | ۹۰ | ۱۸۹ | ۳۹۶ | ۵۳ |
| قدس | ۸۳ | ۲۹ | ۳ | ۱۱۵ | ۶۹۱۲ | ۸۳ | ۲۴۰ | ۲۰۰۳ | ۶۰ |
| ملارد | ۵۰۶ | ۱۷۳ | ۶۱ | ۷۴۰ | ۴۲۷۱۹ | ۸۴ | ۲۴۷ | ۶۹۸ | ۵۸ |
| ورامین | ۱۵۸۳ | ۵۶۷ | ۱۷۶ | ۲۳۲۵ | ۱۱۴۷۲۵ | ۷۲ | ۲۰۲ | ۶۵۳ | ۴۹ |
| کل استان تهران | ۸۷۴۳ | ۲۶۲۴ | ۹۰۵ | ۱۲۲۷۲ | ۷۵۳۳۹۷ | ۲۷۸۳ | ۶۳۷۴ | ۵۲۸۵۴ | ۱۴۴۷ |

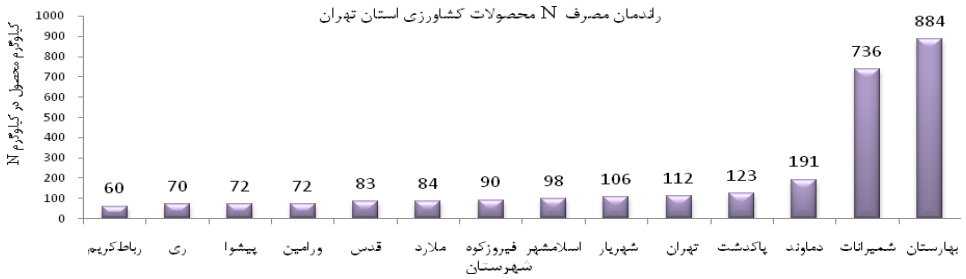
پس از یکسان‌سازی واحدها به کیلوگرم، برای ارزیابی از شاخص راندمان مصرف کود (UE) استفاده گردید که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathrm{UE} = \frac{Yield(kg)}{\text{Fertilizer } Input(\text{kg})} \qquad (۱)$$

در این رابطه، Yield مقدار محصول برداشت‌شده (کیلوگرم) و Fertilizer Input مقدار کود مصرفی (کیلوگرم) است. محاسبات در محیط نرم‌افزار Excel انجام شد. براساس داده‌های به‌دست آمده، راندمان مصرف کود برای هریک از عناصر غذایی به تفکیک شهرستان‌های استان محاسبه گردید و نتایج در قالب جداول و نمودارهای ستونی ارائه شد. این نمودارها الگوی تفاوت‌های مکانی بین شهرستان‌ها را نشان می‌دهند و امکان مقایسه کارایی مصرف عناصر غذایی در سطح منطقه‌ای را فراهم می‌سازند.

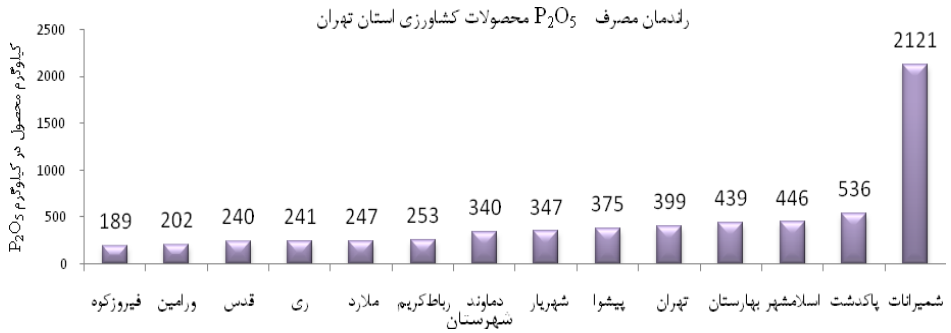
## نتایج و بحث

براساس جدول ۱، راندمان مصرف عناصر غذایی در محصولات زراعی شهرستان‌های استان تهران تفاوت معنی‌داری داشت. این اختلاف‌ها بیانگر نقش ویژگی‌های خاک، شرایط اقلیمی، نوع محصول غالب و مدیریت کودی در هر منطقه است.راندمان مصرف نیتروژن بین شهرستان‌ها متغیر بود؛ به‌طوری‌که بیشترین مقادیر در شهرستان‌های بهارستان و شمیرانات و کمترین مقدار در رباط‌کریم مشاهده شد (شکل ۱). پایین بودن راندمان مصرف در برخی مناطق می‌تواند ناشی از مصرف بیش از نیاز و بدون توجه به آزمون خاک، بافت سبک خاک و شست‌وشوی بیشتر یا زمان‌بندی نامناسب کاربرد باشد. پژوهش‌های پیشین نیز نشان می‌دهد که مدیریت نامناسب نیتروژن علاوه بر کاهش کارایی، پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه دارد (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Fageria & Baligar, 2005; FAO, 2017). مطالعه‌ی Ali et al (2025) نیز تأکید کرده است که تنظیم دقیق زمان و مقدار مصرف نیتروژن همراه با مدیریت تلفیقی می‌تواند راندمان مصرف را به‌طور چشمگیری افزایش دهد.



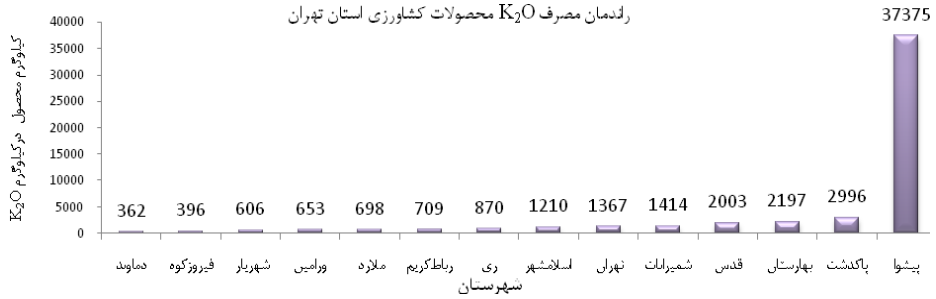

**شکل ۱- راندمان مصرف N (کیلوگرم محصول به‌ازای کیلوگرم N) در محصولات کشاورزی استان تهران**

بررسی‌ها بیانگر تفاوت‌های معنی‌دار در راندمان مصرف فسفر بین شهرستان‌ها بود؛ به‌طوری‌که شمیرانات با مقدار ۲۱۲۱ کیلوگرم محصول به‌ازای هر کیلوگرم $P_2O_5$ بالاترین راندمان و فیروزکوه با ۱۸۹ کمترین مقدار را داشت (شکل ۲). راندمان پایین فسفر معمولاً به تثبیت شدید در خاک‌های آهکی، pH بالا و کمبود مواد آلی مرتبط است. مدیریت تلفیقی شامل افزودن مواد آلی و اصلاح زمان و روش مصرف می‌تواند کارایی فسفر را افزایش دهد (امیری و همکاران، ۱۳۸۴؛ Singh et al., 2020; Rahman et al., 2021). همچنین پژوهش Katal et al (2024) نشان داد که مصرف هم‌زمان کود فسفری با عناصر ریزمغذی تحت شرایط تنش آبی، کارایی فسفر را ۱۰ تا ۴۰ درصد افزایش می‌دهد.



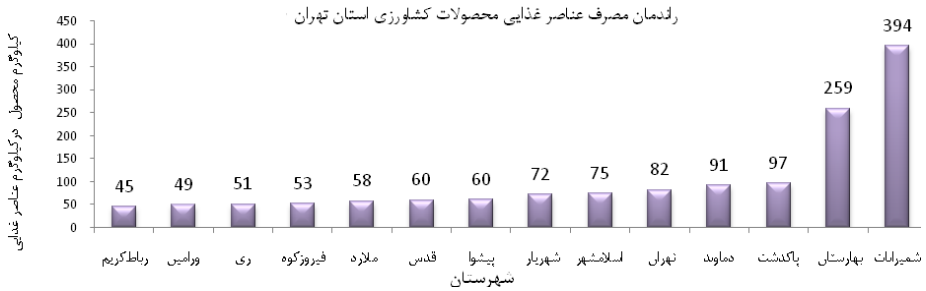

**شکل ۲- راندمان مصرف $P_2O_5$ (کیلوگرم محصول به ازای کیلوگرم $P_2O_5$) در محصولات کشاورزی استان تهران**

راندمان مصرف پتاسیم بین شهرستان‌های استان تفاوت چشمگیری داشت. پیشوا با ۳۷۳۷۵ کیلوگرم محصول به‌ازای هر کیلوگرم $K_2O$ بالاترین راندمان را نشان داد، درحالی که دماوند کمترین مقدار را به‌خود اختصاص داد (شکل ۳). این اختلاف می‌تواند ناشی از نوع محصول غالب، ویژگی‌های خاک و تفاوت در مدیریت تغذیه‌ای باشد. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که پتاسیم علاوه‌بر نقش تغذیه‌ای، در افزایش مقاومت گیاهان به بیماری‌ها و آفات (تنش‌های زیستی) نقش مهمی دارد. همچنین این عنصر می‌تواند توان گیاه را در برابر شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی و شوری (تنش‌های غیرزیستی) به‌طور قابل‌توجهی تقویت کند (سیلسپور، ۱۳۷۷؛ Zörb et al., 2014; Chen et al., 2022).




**شکل۳- راندمان مصرف $K_2O$ (کیلوگرم محصول به‌ازای کیلوگرم $K_2O$) در محصولات کشاورزی استان تهران**

مجموع N، $P_2O_5$ و $K_2O$ برای ارزیابی یکپارچه کارایی تغذیه‌ای، راندمان کل به‌صورت نسبت مجموع عملکرد محصول به مجموع مقادیر مصرف‌شده N، $P_2O_5$ و $K_2O$ در هر شهرستان محاسبه شد و نتایج در قالب نمودار ستونی ارائه گردید (شکل ۴). این شاخص امکان مقایسه کارایی مصرف عناصر غذایی در مقیاس شهرستانی را فراهم می‌کند؛ به‌گونه‌ای که شهرستان‌های دارای توازن بهتر در مصرف عناصر و زمان‌بندی مناسب کاربرد، مقادیر بالاتری از راندمان کل عناصر غذایی را نشان دادند. در مقابل، مقادیر پایین معمولاً بیانگر میزان مصرف غیرمتناسب با نیاز گیاه است. میان مقدار مصرف کود و راندمان مصرف رابطهٔ خطی وجود ندارد و افزایش مصرف همواره به افزایش راندمان منجر نمی‌شود. یافته‌های Xiao et al (2022) نیز این موضوع را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که کاهش مصرف کود فسفری تا حدودی، بدون افت عملکرد، می‌تواند راندمان کل عناصر غذایی را بهبود بخشد.




**شکل۴- راندمان مصرف مجموع عناصر غذایی (کیلوگرم محصول به‌ازای کیلوگرم $N, P_2O_5, K_2O$) در محصولات کشاورزی استان تهران**

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد راندمان مصرف کودهای شیمیایی در سطح شهرستان‌های استان تهران ناهمگن است و تحت‌تأثیر عوامل متعددی ازجمله شرایط خاک، نوع محصول و مدیریت کودی قرار دارد. برای ارتقای راندمان، به‌کارگیری راهبردهایی مانند استفاده از آزمون خاک، مصرف متعادل کود، تقسیط و کاربرد موضعی و همچنین ترکیب کودهای شیمیایی با منابع آلی و زیستی توصیه می‌شود. این اقدامات ضمن کاهش تلفات عناصر و هزینه‌های تولید، موجب افزایش بهره‌وری و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی می‌شوند. علاوه‌بر این، تدوین نسخه‌های کودی اختصاصی برای هر شهرستان و ارائه توصیه‌های فنی متناسب با شرایط اقلیمی و مدیریتی، گامی اساسی درجهت دستیابی به پایداری تغذیه گیاهی و مدیریت پایدار کشاورزی خواهد بود.

## فهرست منابع

۱. امیری، م.، خلیلی، ع.، و کریمی، ح. (۱۳۸۴). بررسی اثر مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی مصرف فسفر در گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۸ (۴)، ۵۵–۶۶.
۲. خدادادی، ع.، حسینی، م.، و صالحی، ک. (۱۳۹۵). بررسی راندمان مصرف نیتروژن در سیستم‌های زراعی ایران. مجله تحقیقات علوم زراعی ایران، ۱۷ (۲)، ۲۴۵–۲۵۶.
۳. سیلسپور، ع. (۱۳۷۷). کارایی مصرف کودهای شیمیایی در نظام‌های زراعی ایران. انتشارات مرکز تحقیقات خاک و آب کشور.
4. Ali, A., Khan, M., Zhang, Y., & Li, X. (2025). Enhancing nitrogen use efficiency in agriculture: Agronomic strategies, genetic improvements and integrated nutrient management. Frontiers in Plant Science, 16, 1543714.
5. Chen, J., Liu, Y., Hu, X., & Wang, H. (2022). Potassium fertilization and plant stress tolerance: A comprehensive review. Agronomy Journal, 114(3), 1021–1036.
6. Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy, 88, 97–185.
7. FAO. (2017). World fertilizer trends and outlook to 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
8. FAO. (2019). The state of food and agriculture 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

9. FAO. (2021). Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
10. Katal, K., Alipour, A., Zahedi, H., Sharghi, Y., & Alavifazel, M. (2024). Improving phosphorus use efficiency and yield of sugar beet through combined application of phosphorus and iron nanoparticles under different irrigation regimes. Egyptian Journal of Agricultural Research, 102(1), 55–70.
11. OECD–FAO. (2022). OECD–FAO Agricultural Outlook 2022–2031. OECD Publishing, Paris.
12. Rahman, M. M., Singh, V. K., & Sharma, P. C. (2021). Phosphorus management in crop production: Challenges and opportunities. Field Crops Research, 267, 108176.
13. Singh, V., Kumar, P., & Tripathi, R. (2020). Phosphorus use efficiency in agricultural systems: Physiological and agronomic perspectives. Journal of Plant Nutrition, 43(14), 2156–2172.
14. Xiao, L., Zhang, Q., & Chen, Y. (2022). Improvement of phosphorus use efficiency and P balance in rice–wheat systems. Frontiers in Environmental Science, 10, 932833.
15. Zhang, F., Chen, X., & Vitousek, P. (2015). Chinese agriculture: An experiment for the world. Nature, 514, 161–164.
16. Zhang, Y., Li, H., & Xu, J. (2024). Advances in nutrient use efficiency research under climate change. Environmental Research Letters, 19(2), 024015.
17. Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture – Status and perspectives. Journal of Plant Physiology, 171(9), 656–669.

## Fertilizer Use Efficiency in Agricultural Products of Tehran Province

Mohsen Selispour, Mehdi Sadeghi Pourmoradi, Marjan Hakimzadeh
Soil and Water Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Tehran Province, AREEO, Tehran, Iran

**Abstract**

The optimal use of chemical fertilizers is a key factor in increasing crop yield, reducing production costs, and mitigating environmental impacts. In this study, the use efficiency of nitrogen (N), phosphorus ($P_2O_5$), and potassium ($K_2O$) in field crops of Tehran Province was evaluated using official data from the Ministry of Agriculture Jihad. Fertilizer use efficiency for each element was calculated as “kilograms of crop yield per kilogram of nutrient applied.” The results showed significant differences in fertilizer use efficiency among counties; the highest nitrogen efficiency was observed in Shemiranat and the lowest in Robat Karim. These findings indicate that management practices and input use patterns have a direct effect on fertilizer efficiency. In general, increasing the amount of fertilizer does not necessarily lead to higher efficiency. In contrast, optimizing the application pattern based on soil testing, adjusting the amount and timing of fertilizer use, and targeted utilization of organic and bio-resources can reduce nutrient losses and production costs, while improving efficiency and enhancing the sustainability of agricultural systems in Tehran Province.

**Keywords:** Tehran Province; Fertilizer use efficiency; Nitrogen (N); Phosphorus ($P_2O_5$); Potassium ($K_2O$)