

## بهبود عملکرد گندم با مدیریت بهینه کودهای پتاسیمی در شرایط آب و هوایی متنوع ایران

محمد پسندیده<sup>۱</sup>، مجتبی یحیی آبادی<sup>۲</sup>، مریم غزائیان<sup>۳</sup> و ندا مرادی<sup>۴</sup>

۱: استادیار بخش تحقیقات شیمی و حاصلخیزی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، کرج، ایران [mpassandideh@yahoo.com](mailto:mpassandideh@yahoo.com)

۲: استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۳: محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج

کشاورزی، گلستان، ایران

۴: دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

**چکیده:** گندم به عنوان یک محصول استراتژیک، سهم بسزایی در تأمین امنیت غذایی کشور دارد. پتاسیم به عنوان یکی از عناصر اصلی در تغذیه گندم، معمولاً به صورت یکباره و هنگام کاشت مصرف می‌شود، درحالی که کشاورزان کمتر با مزایای مصرف تقسیطی و کودآبیاری این عنصر آشنا هستند. بدین منظور، این پژوهش در سه اقلیم مختلف کشور (آذربایجان غربی با آب و هوای سرد کوهستانی، گلستان با اقلیم معتدل و مرطوب، و اصفهان با شرایط نیمه‌خشک) انجام شد. آزمایش به صورت مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ با سه تیمار شاهد (عرف کشاورزی)، سولفات پتاسیم (مصرف پایه و سرک) و کلرید پتاسیم (مصرف پایه و سرک) اجرا گردید. نتایج نشان داد که در آذربایجان غربی، سولفات پتاسیم با افزایش ۹/۵ درصدی عملکرد و نسبت سود به هزینه ۱/۷۵، بهترین نتیجه را داشت. در مقابل، در استان‌های گلستان و اصفهان، کلرید پتاسیم به ترتیب با افزایش ۲۸/۳ و ۱۹/۳ درصدی عملکرد و نسبت سود به هزینه ۱/۹ و ۱/۳، برتری معناداری نشان داد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه هر دو نوع کود پتاسیمی موجب بهبود عملکرد و سودآوری می‌شوند، اما انتخاب نوع کود باید بر اساس ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی هر منطقه صورت گیرد.

**کلمات کلیدی:** عملکرد دانه، گندم آبی، کلرید پتاسیم، کود پتاسیمی، نسبت سود به هزینه، سولفات پتاسیم

**مقدمه:** گندم یکی از محصولات استراتژیک کشور بوده و بیش از ۴۵ درصد پروتئین و ۵۵ درصد کالری مورد نیاز جمعیت کشور را تامین می‌نماید. در ایران مانند بسیاری از کشورهای جهان، نان حاصله از گندم مهمترین ماده غذایی روزانه مردم را تشکیل داده و نقش عمده‌ای در تأمین انرژی و پروتئین مورد نیاز بدن دارد. نان گندم یکی از ضروری‌ترین مواد غذایی و قوت اصلی اکثریت عظیمی از مردم کشورمان را تشکیل می‌دهد. متوسط سهم مصرف نان در کل انرژی مورد احتیاج، حدود ۴۰ درصد می‌باشد. بدین ترتیب، گندم جزو محصولات کشاورزی استراتژیک به حساب می‌آید که در افزایش ضریب امنیت غذایی جامعه نقش اساسی دارد. پتاسیم یکی از عناصر غذایی پرمصرف و ضروری در تغذیه گیاهان به ویژه گندم بوده و به دلیل

وظایف فیزیولوژیکی گسترده‌ای مانند افزایش استحکام ساقه، افزایش کارایی مصرف آب و ایجاد مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها نقش کلیدی در رشد و عملکرد گندم دارد.

معمولا کشاورزان کودهای حاوی این عنصر را یکباره هنگام کاشت استفاده می‌کنند. درحالیکه محققین زیادی گزارش کرده‌اند که مصرف تقسیطی پتاسیم، موجب افزایش کارایی کود و کاهش هدرروی پتاسیم از طریق آبشویی و تثبیت می‌شود (Romheld and Kirkby, 2010). بنابراین، می‌توان با انتخاب روش و منبع کودی مناسب، مصرف سرک و به طور کلی مدیریت کودی بهینه ضمن افزایش کارایی مصرف این نهاده و صرفه جویی در مقدار مصرف به عملکرد بیشتر این محصول استراتژیک دست یافته و ضمن بهبود وضعیت اقتصاد کشاورزان، ضریب امنیت غذایی کشور را نیز ارتقا داد. بنابراین، این پروژه به منظور بررسی تاثیر مدیریت مصرف کودهای پتاسیمی بر عملکرد گندم در اقلیم‌های مختلف طراحی و انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این تحقیق در سال زراعی (۱۴۰۳-۱۴۰۲) در سه استان کشور با اقلیم‌های مختلف شامل آذربایجان غربی (سرد کوهستانی)، گلستان (معتدل و مرطوب خزری)، اصفهان (نیمه خشک) در مزارع کشاورزان اجرا شد. سطح اجرای پایلوت برای هر تیمار ۵۰۰ مترمربع بود. برای اجرای آزمایش، مزرعه‌ای انتخاب شد که مقدار پتاسیم خاک آن کمتر از حد بحرانی بوده و یا در سال‌های قبل علائم کمبود عنصر مربوطه مشاهده شده بود. تیمارها عبارت بودند از: تیمار اول: شاهد مصرف کودها مطابق عرف کشاورز، تیمار دوم: مصرف سولفات پتاسیم به روش نواری هنگام کاشت و سولفات پتاسیم محلول به روش کود آبیاری و به شکل سرک و تیمار سوم: مصرف کلرور پتاسیم در زمان کاشت (مصرف پایه و خاکی) به روش نواری و سرک به روش کود آبیاری در دو مرحله آخر پنجه‌دهی و اواسط ساقه‌دهی. در پایان دوره رشد، عملکرد (وزن دانه و کاه و کلش)، اندازه گیری و ارزیابی اقتصادی تیمارها انجام شد. برآورد اقتصادی تیمارها و انتخاب اقتصادی‌ترین تیمار به روش بودجه‌بندی جزئی<sup>۱</sup> محاسبه شد (Rowe, 2021). در این روش اطلاعات زیر مورد نیاز است.

الف) درآمد ناخالص حاصل از اجرای هر کدام از تیمارها: از حاصل ضرب عملکرد تولید در قیمت محصول (در این آزمایش ۱۶۰ هزار ریال برای هر کیلو دانه در نظر گرفته شده است) به دست می‌آید.

ب) هزینه اجرای هر کدام از تیمارها: معمولا کل هزینه‌های مربوط به تولید محصول در نظر گرفته می‌شود اما می‌توان هزینه‌های تولید مشترک در اجرای تیمارها را حذف و فقط هزینه‌های غیر مشترک را در محاسبات لحاظ کرد.

منافع حاصل از اجرای تیمارها: درآمد حاصل از اجرای تیمار جدید و هزینه مربوط به تیمار شاهد که با اجرای تیمار جدید، آن هزینه ذخیره شده و در واقع به عنوان هزینه انجام نشده محسوب می‌شود که بر این اساس نوعی درآمد به حساب می‌آید.

هزینه اجرای تیمارها: هزینه‌های ناشی از اجرای تیمارهای جدید و درآمد از دست رفته مربوط به تیمار شاهد که در نتیجه اجرای تیمارهای جدید، از دست می‌رود.

ارزیابی و انتخاب اقتصادی‌ترین تیمار: در صورتی که منافع حاصل از اجرای تیمار بیشتر از هزینه‌های آن باشد، تیمار مورد نظر از نظر اقتصادی سودآورتر از تیمار شاهد خواهد بود.

## نتایج و بحث:

**نتایج تجزیه خاک:** در جدول برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سه منطقه اصفهان، گلستان و آذربایجان غربی قبل از اعمال تیمارها (مدیریت‌های اصلاحی) نشان داده شده است. در استان اصفهان خاک کمی قلیایی (محدوده خنثی تا قلیایی ضعیف) می‌باشد که می‌تواند برای برخی عناصر (مانند آهن و روی) محدودیت ایجاد کند. شوری خاک نسبتا بالا است. درصد بالای کربنات‌ها همچون قلیائیت می‌تواند باعث کاهش حلالیت عناصر غذایی شود. همچنین خاک تحت

آزمایش در این استان دارای کربن آلی و فسفر پایین و پتاسیم نسبتاً پایین می‌باشد. در استان گلستان کربن آلی بهتر از اصفهان اما همچنان نیاز به بهبود دارد. گوگرد در سطح مناسب برای رشد گیاهان و فسفر و پتاسیم در سطح پایین قرار دارند. در استان آذربایجان غربی خاک قلیایی بوده و ممکن است در جذب برخی عناصر (مانند آهن، روی، منگنز) مشکل ایجاد کند. شوری کم (خاک غیرشور)، مناسب برای کشاورزی. درصد کربنات‌ها بالا بوده که نشان‌دهنده قلیائیت بالاست. مقدار کربن آلی بهتر از اصفهان می‌باشد ولی نیاز به بهبود دارد. مقدار فسفر پایین و پتاسیم نسبتاً پایین است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل پروژه قبل از اعمال تیمارها

منطقه	واکنش گل اشباع	شوری dSm <sup>-1</sup>	مواد		گوگرد	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس	بافت
			کربن آلی	خنثی شونده								
mg.kg <sup>-1</sup>												
%												
اصفهان	۷/۶۱	۱۰/۶	۰/۴	۲۲	-	۵/۵۴	۱۱۹	۳/۵۲	۰/۹۸	۸/۸۴	۱/۳	لوم
گلستان	۷/۸	۰/۷۸	۱/۲۸	۶/۵	۹/۳	۱۱/۲	۵۵	۶/۴	۰/۵	۲/۲	۱/۳	لوم سیلتی
آذربایجان غربی	۷/۸۶	۱/۱۲۶	۱/۵۲	۱۵/۳	-	۹/۸۹	۲۹۵	-	-	-	-	رسی سیلتی

**ارزیابی اقتصادی کودها:** نتایج جدول (۲) نشان‌دهنده نسبت سود به هزینه کاربرد کودهای پتاسیمی است. در آذربایجان غربی، استفاده از سولفات پتاسیم با افزایش هزینه ۴۸ میلیون ریال، سودی معادل ۸۴/۲ میلیون ریال و افزایش عملکرد ۴۲۱ کیلوگرم در هکتار به همراه داشت که نسبت سود به هزینه آن ۱/۷۵ محاسبه شده است. در مقابل، کاربرد کلرید پتاسیم در این استان با افزایش هزینه کمتر (۳۵/۶ میلیون ریال)، سود ۶۸/۷ میلیون ریال و افزایش عملکرد ۳۲۶ کیلوگرم در هکتار را موجب شد که نسبت سود به هزینه بالاتری (۱/۹۲) را نشان می‌دهد. در استان گلستان، سولفات پتاسیم با افزایش هزینه ۱۰ میلیون ریال، ۱۱/۲ میلیون ریال سود و افزایش عملکرد ۵۶۰ کیلوگرم در هکتار ایجاد کرد (نسبت ۱/۱۲)، در حالی که کلرید پتاسیم با افزایش هزینه ۱۴ میلیون ریال، سود ۱۷ میلیون ریال و افزایش عملکرد ۸۵۰ کیلوگرم در هکتار را به دنبال داشت (نسبت ۱/۲۱). در اصفهان نیز سولفات پتاسیم با افزایش هزینه ۱۶/۲ میلیون ریال، سود ۱۷/۸ میلیون ریال و افزایش عملکرد ۸۹۰ کیلوگرم در هکتار را سبب شد (نسبت ۱/۱)، اما کلرید پتاسیم با افزایش هزینه ۲۲/۷ میلیون ریال، سود ۲۹/۲۶ میلیون ریال و افزایش عملکرد ۱۴۸۰ کیلوگرم در هکتار را موجب گردید (نسبت ۱/۳).

جدول ۲- نسبت سود به هزینه کاربرد کودهای پتاسیمی در تغذیه گندم آبی

استان	کاربرد کود	افزایش عملکرد دانه نسبت به عرف زارع (کیلوگرم در هکتار)	افزایش سود حاصل از تیمار نسبت به عرف زارع	افزایش هزینه ناشی از اعمال تیمار نسبت به عرف زارع	نسبت سود به هزینه
ریال					
آذربایجان غربی	سولفات پتاسیم	۴۲۱	۸۴۲۰۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰۰۰	۱/۷۵
	کلرید پتاسیم	۳۲۶	۶۸۷۰۰۰۰۰	۳۵۶۰۰۰۰۰	۱/۹۲
گلستان	سولفات پتاسیم	۵۶۰	۱۱۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰	۱/۱۲
	کلرید پتاسیم	۸۵۰	۱۷۰۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰۰	۱/۲۱
اصفهان	سولفات پتاسیم	۸۹۰	۱۷۸۰۰۰۰۰	۱۶۲۰۰۰۰۰	۱/۱

۱/۳

۲۲۷۰۰۰۰

۲۹۶۰۰۰۰

۱۴۸۰

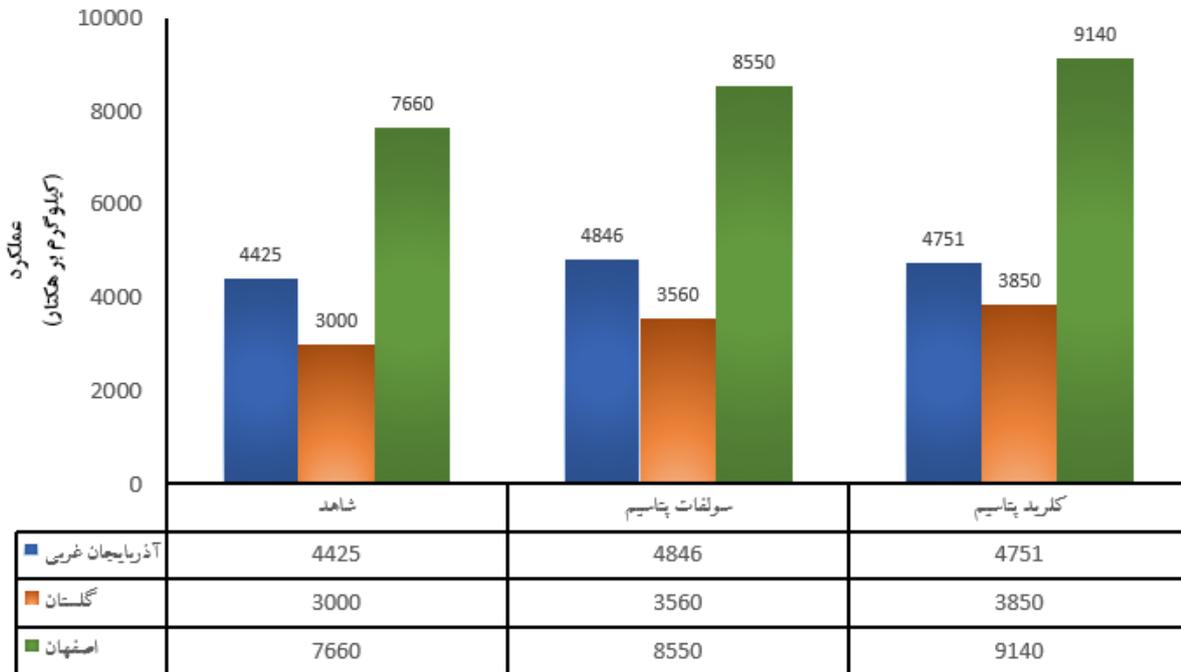
کلرید پتاسیم

تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه: تفسیر شکل (۱) عملکرد دانه در استان‌های مختلف نشان می‌دهد که استفاده از تیمارهای کود پتاسیمی موجب افزایش عملکرد در مقایسه با تیمار شاهد شده است. در استان آذربایجان غربی، تیمار سولفات پتاسیم با عملکرد ۴۸۴۶ واحد نسبت به تیمار شاهد (۴۴۲۵ واحد) افزایش ۹/۵ درصدی داشته است، در حالی که کلرید پتاسیم با ۴۷۵۱ واحد، بهبود ۷،۴ درصدی نشان داد. این نتایج بیانگر تأثیر بهتر سولفات پتاسیم در این استان است. در استان گلستان، عملکرد دانه در تیمار شاهد ۳۰۰۰ واحد بود که با استفاده از سولفات پتاسیم به ۳۵۶۰ واحد (افزایش ۱۸/۷ درصد) و با کلرید پتاسیم به ۳۸۵۰ واحد (افزایش ۲۸/۳ درصد) رسید. این نشان می‌دهد که کلرید پتاسیم در گلستان بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه داشته است. استان اصفهان بالاترین عملکرد را در بین سه استان ثبت کرد، به طوری که تیمار شاهد ۷۶۶۰ واحد، سولفات پتاسیم ۸۵۵۰ واحد (افزایش ۱۱/۶ درصد) و کلرید پتاسیم ۹۱۴۰ واحد (افزایش ۱۹/۳ درصد) عملکرد داشت. در این استان نیز کلرید پتاسیم برتری قابل توجهی نسبت به سولفات پتاسیم نشان داد. در این خصوص، Arshadullah و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی تأثیر منابع مختلف پتاسیم را بر رشد گندم بررسی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که با مصرف سرک پتاسیم تعداد پنجه، وزن هزاردانه و عملکرد دانه گندم ۳۱ درصد افزایش می‌یابد ولی تفاوتی بین منابع مختلف پتاسیم وجود نداشت. Lu و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی نشان دادند که سرک کودهای پتاسیمی نسبت به مصرف یکباره آن تأثیر قابل توجهی بر عملکرد گندم دارد.

به طور کلی، کلرید پتاسیم در دو استان (گلستان و اصفهان) نتایج بهتری داشت، در حالی که سولفات پتاسیم فقط در آذربایجان غربی عملکرد نسبتاً بهتری نشان داد. برتری سولفات پتاسیم در خاکهای آذربایجان غربی می‌تواند به دلایل مختلفی اتفاق بیافتد. احتمالاً خاک‌های این منطقه دارای مقدار کافی گوگردنبدوده‌اند و سولفات پتاسیم با تأمین همزمان پتاسیم و گوگرد، عملکرد بهتری ایجاد کرده است. همچنین ممکن است خاک‌های این منطقه حساسیت به شوری داشته باشند و کلرید موجود در کلرید پتاسیم اثر منفی جزئی داشته است. در کل این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از ترکیبی از عوامل خاکی و اقلیمی است که بر جذب و کارایی انواع کود پتاسیمی تأثیر می‌گذارند.

#### در کل می‌توان نتیجه گرفت که:

- در هر سه استان، هر دو نوع کود پتاسیمی (سولفات پتاسیم و کلرید پتاسیم) نسبت به تیمار شاهد منجر به بهبود عملکرد دانه شده و به لحاظ اقتصادی قابل توصیه می‌باشد.
- در دو استان گلستان و اصفهان، کلرید پتاسیم و در آذربایجان غربی سولفات پتاسیم عملکرد بهتری داشت.



شکل ۱- تاثیر تیمارهای کودی بر عملکرد دانه در استانهای مورد مطالعه

### فهرست منابع

- Arshadullah M., Ali A., Hyder S.I., and Mahmood I.A. 2015. Effect of K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and KNO<sub>3</sub> Foliar Application on Wheat Growth. *Biological Sciences-PJSIR*, 581: 19-22.
- Lu Q., Jia D., Zhang Y., Dai X., and He M. 2014. Split application of potassium improves yield and end-use quality of winter wheat. *Agronomy Journal* 106(4): 1411-1419.
- Ravichandran, M., and M. V. Sripamachandrasekharan. 2011. Optimizing timing of potassium application in productivity enhancement of crops. *Karnataka Journal of Agricultural Science*. 24: 75-80.
- Romheld V., and Kirkby E.A. 2010. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant Soil* 335: 155-180.
- Rowe, S.M. (2021) 'Partial budget analysis of culture-and algorithm-guided selective dry cow therapy', *Journal of Dairy Science*, 104(5), pp. 5652-5664.

### Enhancing Wheat Yield through Optimized Potassium Fertilizer Management in Diverse Climatic Conditions of Iran

Mohammad Passandideh<sup>1</sup>, Mojtaba Yahyaabadi<sup>2</sup>, Maryam Ghazaeian<sup>3</sup>, Neda Moradi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Soil Chemistry and Fertility Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

[mohammad.passandideh@yahoo.com](mailto:mohammad.passandideh@yahoo.com)

<sup>2</sup>Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

<sup>3</sup>Researcher, Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Golestan, Iran

<sup>4</sup>Associate Professor, Soil and Water Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

Key transl



**Abstract:** Wheat, as a strategic crop, plays a significant role in ensuring food security in Iran. Potassium, as one of the essential elements in wheat nutrition, is typically applied in a single dose at planting time, while farmers are less familiar with the benefits of split application and fertigation of this element. To address this, the present study was conducted in three different climatic regions of Iran (West Azerbaijan with cold mountainous climate, Golestan with temperate and humid Caspian climate, and Isfahan with semi-arid conditions). The field experiment was carried out during the 2023-2024 growing season with three treatments: control (farmers' conventional practice), potassium sulfate (basal and topdressing application), and potassium chloride (basal and topdressing application). Results showed that in West Azerbaijan, potassium sulfate achieved the best results with a 9.5% yield increase and a benefit-cost ratio of 1.75. In contrast, in Golestan and Isfahan provinces, potassium chloride showed significant superiority with yield increases of 28.3% and 19.3%, and benefit-cost ratios of 1.9 and 1.3, respectively. The findings of this study demonstrate that while both potassium fertilizers improved yield and profitability, the selection of fertilizer type should be based on soil characteristics and climatic conditions of each region.

**Keywords:** Benefit-cost ratio, Grain yield, Irrigated wheat, Potassium chloride, Potassium fertilizer, Potassium sulfate