

گرانوکوت؛ فناوری نوین افزایش بهره‌وری کود و عملکرد گندم و جو

(تجربه موفق مزارع انتقال فناوری استان اصفهان)

مهرداد محلوجی

دانشیار بخش تحقیقات زارعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

m.mahlooji@areeo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۶/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۷

چکیده

افزایش کارایی مصرف کود و کاهش هدررفت عناصر غذایی، از ضرورت‌های کشاورزی پایدار در شرایط محدودیت منابع و افزایش هزینه نهاده‌هاست. در این پژوهش تحقیقی-توسعه‌ای، عملکرد گرانوکوت‌های نیتروژنه (GN)، فسفات (GP)، و ترکیب آن‌ها (GP+GN) در مزارع گندم و جو استان اصفهان (مناطق پرزان، مبارکه و گرگاب) در سال زراعی ۱۴۰۵-۱۴۰۴ با مدیریت معمول کشاورزان مقایسه شد. نتایج نشان داد مصرف گرانوکوت‌ها در شرایط مزرعه با افزایش عملکرد دانه همراه بود. بیشترین عملکرد دانه با مصرف گرانوکوت فسفات در منطقه مبارکه در جو دیم رقم آرتان و جو آبی رقم مهتاب به ترتیب ۶۰۰۰ و ۵۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (۳۲/۵ و ۳۳/۳ درصد بیشتر نسبت به شاهد) ثبت شد. همچنین گندم رقم بامداد در منطقه گرگاب، تیمار شاهد و تیمار ترکیبی (GP+GN) به ترتیب ۸۵۰۰ و ۱۰۵۰۰ کیلوگرم در هکتار دانه (افزایش ۲۳/۵ درصدی عملکرد) تولید نمود. این نتایج بیانگر آن است که انتخاب صحیح نوع گرانوکوت متناسب با شرایط مزرعه می‌تواند ضمن افزایش بهره‌وری مصرف کود، سودآوری و پایداری تولید گندم و جو را بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: کود نیتروژنه، کود فسفات، آهسته‌رهش، کندرها

بیان مسئله

گندم و جو از محصولات راهبردی در تأمین امنیت غذایی کشور محسوب می‌شوند. در استان اصفهان، این محصولات سطح قابل‌توجهی از اراضی زراعی را به خود اختصاص داده‌اند. با این حال، کاهش منابع آب، افزایش هزینه نهاده‌ها و کاهش کارایی مصرف کود، تولید این محصولات را با چالش جدی مواجه کرده است (۱، ۲). یکی از مهم‌ترین معضلات در مدیریت تغذیه گیاهی، تلفات بالای کودهای نیتروژنه و محدودیت دسترسی به کودهای فسفات است (۳). کودهای نیتروژنه به‌ویژه اوره، به دلیل ماهیت شیمیایی خود، در معرض فرایندهای هدررفت متعددی قرار دارند. بخش قابل‌توجهی از نیتروژن مصرفی از طریق آبشویی از

منطقه ریشه خارج شده و راهی آب‌های زیرزمینی می‌شود. همچنین بخش دیگری از نیتروژن به صورت آمونیاک (NH_3) در اثر تبخیر سطحی از دسترس گیاه خارج می‌شود. فرایندهای میکروبی نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون نیز سهم قابل توجهی در هدر رفت نیتروژن دارند؛ به گونه‌ای که در برخی شرایط، تا ۵۰ درصد نیتروژن مصرفی به صورت گازهای N_2 و N_2O از مزرعه خارج می‌شود (۴). این تلفات، علاوه بر کاهش کارایی کود، بار مالی سنگینی بر تولیدکنندگان تحمیل می‌کند و اثرات زیست‌محیطی مخربی نظیر آلودگی آب‌های زیرزمینی و افزایش گازهای گلخانه‌ای را به دنبال دارد (۵). در مورد کودهای فسفاته، چالش اصلی ماهیت شیمیایی آن‌هاست. فسفر پس از افزودن به خاک، به سرعت با کاتیون‌های موجود در خاک مانند کلسیم (Ca^{2+}) در خاک‌های آهکی، آهن (Fe^{3+}) و آلومینیوم (Al^{3+}) در خاک‌های اسیدی واکنش داده و به ترکیبات نامحلول و کم‌دسترس تبدیل می‌شود (۴). این پدیده باعث می‌شود بخش عمده فسفر مصرفی (اغلب بیش از ۷۰ درصد) در همان سال مصرف، در دسترس گیاه قرار نگیرد و به عنوان «فسفر انباشته» در خاک باقی بماند. حلالیت پایین فسفات و سرعت بالای تثبیت آن، یکی از دلایل اصلی پایین بودن ضریب جذب فسفر توسط گیاهان زراعی است (۵).

یکی از راهکارهای نوین برای غلبه بر این محدودیت‌ها، استفاده از کودهای پوشش‌دار با رهش کنترل‌شده (کند رها) است. استفاده از کودهای با آزادسازی کنترل‌شده می‌تواند کارایی مصرف کود را افزایش داده، عملکرد محصولات زراعی را بهبود بخشد، دفعات کوددهی را کاهش دهد و اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی را به میزان قابل توجهی کم کند. گرانوکوت‌ها با ایجاد پوششی بر روی دانه‌های کود، آزادسازی عناصر غذایی را به تدریج و هماهنگ با نیاز رشدی گیاه به تأخیر می‌اندازد. این فناوری می‌تواند به کاهش تلفات نیتروژن از طریق آبشویی و تبخیر کمک کند و با کاهش تماس مستقیم کود با ذرات خاک، از تثبیت سریع فسفر جلوگیری نماید (۶، ۷). کودهای با کندرها و کنترل‌شده ضمن افزایش عملکرد ذرت، گندم و برنج و ذخیره کربن آلی خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند. این مزایا با اجرای مدیریت صحیح مزرعه تقویت شده و تحت تأثیر شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاک قرار دارند (۸). در این پژوهش تحقیقی توسعه‌ای، تأثیر استفاده از گرانوکوت‌های نیتروژنه و فسفاته بر بهبود عملکرد گندم و جو در شرایط واقعی مزارع کشاورزان استان اصفهان مورد ارزیابی قرار گرفت.

معرفی دستاورد

در سال‌های اخیر، با افزایش هزینه کودهای شیمیایی و نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه آن‌ها، توجه به فناوری‌های نوین کودی که بتوانند کارایی مصرف عناصر غذایی را افزایش دهند، بیش از پیش شده است. یکی از این فناوری‌ها، استفاده از گرانوکوت‌ها به عنوان افزودنی‌های بهبوددهنده کارایی کودهای اوره و سوپر فسفات تریپل است. گرانوکوت یک پوشش پلیمری یا مواد ویژه است که روی دانه‌های کود اعمال می‌شود و باعث می‌شود عناصر غذایی به تدریج و در یک بازه زمانی طولانی‌تر آزاد شوند. این ویژگی مزایای متعددی دارد: کاهش تلفات کود از طریق آبشویی و تبخیر، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، تغذیه یکنواخت‌تر گیاه در طول دوره رشد و در نهایت بهبود رشد رویشی، توسعه ریشه و عملکرد دانه. با توجه به پتانسیل این فناوری، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد گرانوکوت‌ها در شرایط واقعی مزرعه و در مقایسه با مدیریت رایج کشاورزان اجرا شد. این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۵-۱۴۰۴ در قالب طرح تحقیقی - توسعه‌ای در ۱۸ کرت یک هکتاری در سه منطقه پزان (شهرضا)،

مبارکه و گرگاب استان اصفهان اجرا شد. محصولات مورد بررسی شامل ارقام گندم نان (ارقام پیشگام و بامداد)، ارقام جو آبی (ارقام فورتانا و مهتاب) و جو دیم (رقم آرتان) بودند. تیمارهای کودی شامل شاهد (مدیریت معمول کشاورز: ۲۰۰ کیلوگرم اوره + ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار)، تیمار GN (مصرف گرانوکوت نیتروژنه)، تیمار GP (مصرف گرانوکوت فسفات) و تیمار GP+GN (مصرف ترکیبی هر دو) بودند. در تیمارهای حاوی گرانوکوت، به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره یا سوپر فسفات تریپل، ۳ کیلوگرم گرانوکوت مربوطه افزوده شد. برای ایجاد پوشش یکنواخت، پیش از اختلاط، مقدار اندکی آب روی کودها اسپری شد. نمایی از مزرعه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱. نمایی از مزرعه آزمایش جو فورتانا در منطقه پرزان شهرضا

نتایج حاصل از این بررسی (جدول ۱) نشان داد که استفاده از گرانوکوت‌ها در اغلب مزارع با افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد همراه بوده است. با این حال، میزان افزایش عملکرد در مزارع مختلف یکسان نبود و تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله نوع محصول، رقم، شرایط خاک و مدیریت مزرعه قرار داشت.

جدول ۱. خلاصه نتایج مزارع انتقال فناوری گرانوکوت در استان اصفهان

منطقه	محصول	رقم	تیمار برتر	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	افزایش عملکرد نسبت به شاهد (درصد)
				تیمار شاهد	تیمار برتر
پرزان	جو آبی	فورتانا	GP+GN	۱۰۵۰۰	۱۱۸۰۰
مبارکه	گندم نان آبی	پیشگام	GP	۶۲۰۰	۷۴۰۰
مبارکه	جو آبی	مهتاب (مزرعه ۱)	GP	۸۲۰۰	۹۰۰۰
مبارکه	جو آبی	مهتاب (مزرعه ۲)	GP	۴۵۰۰	۶۰۰۰
مبارکه	جو دیم	آرتان	GP	۴۰۰۰	۵۳۰۰
گرگاب	گندم نان آبی	بامداد	GP+GN	۸۵۰۰	۱۰۵۰۰

بر اساس نتایج جدول ۱، در جو دیم رقم آرتان در مبارکه، مصرف گرانوکوت فسفات با افزایش ۳۲/۵ درصدی عملکرد نسبت به شاهد، بیشترین پاسخ را به خود اختصاص داد. این نتیجه نشان‌دهنده نقش کلیدی فسفر در شرایط دیم است که با بهبود رشد ریشه و افزایش کارایی مصرف آب، موجب افزایش عملکرد شده است. همچنین در جو آبی رقم مهتاب در یکی از مزارع مبارکه، مصرف گرانوکوت فسفات با افزایش عملکردی معادل ۳۳/۳ درصد را به همراه داشت. در گندم رقم بامداد در گرگاب، مصرف ترکیبی گرانوکوت فسفات و نیتروژن با افزایش ۲۳/۵ درصدی عملکرد، برتری مصرف هم‌زمان هر دو نوع گرانوکوت را نشان داد (شکل ۲). در گندم رقم پیشگام در مبارکه نیز گرانوکوت فسفات با افزایش ۱۹/۴ درصدی عملکرد، پاسخ قابل توجهی ایجاد کرد. در مجموع، مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش عبارت بودند از:

- در جو رقم فورتانا در پرزان، مصرف ترکیبی گرانوکوت فسفات و نیتروژن (GP+GN) موجب افزایش ۱۲/۴ درصدی عملکرد نسبت به شاهد شد.
- در گندم رقم پیشگام در مبارکه، مصرف گرانوکوت فسفات (GP) با افزایش ۱۹/۴ درصدی عملکرد همراه بود.
- در جو رقم مهتاب در مبارکه، گرانوکوت فسفات در دو مزرعه مختلف موجب افزایش عملکرد به میزان ۹/۸ و ۳۳/۳ درصد نسبت به شاهد شد.
- در جو دیم رقم آرتان در مبارکه، مصرف گرانوکوت فسفات باعث افزایش ۳۲/۵ درصدی عملکرد نسبت به شاهد شد.
- در گندم رقم بامداد در گرگاب، مصرف ترکیبی گرانوکوت فسفات و نیتروژن (GP+GN) افزایش ۲۳/۵ درصدی عملکرد نسبت به شاهد ایجاد کرد.

این نتایج نشان می‌دهد که گرانوکوت‌ها ظرفیت مناسبی برای افزایش کارایی مصرف کود دارند، اما موفقیت آن‌ها وابسته به انتخاب صحیح فناوری و هماهنگی آن با شرایط مزرعه است. یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، تفاوت پاسخ ارقام مختلف به فناوری گرانوکوت بود. به عنوان مثال، در جو آبی رقم مهتاب در دو مزرعه مجزا در منطقه مبارکه، میزان افزایش عملکرد ناشی از گرانوکوت فسفات به ترتیب ۹/۸ و ۳۳/۳ درصد بود. این اختلاف نشان می‌دهد که علاوه بر نوع کود، شرایط اختصاصی هر مزرعه از جمله وضعیت عناصر غذایی خاک، مدیریت زراعی و شرایط اقلیمی نیز در پاسخ به فناوری مؤثر است. بنابراین، یک نسخه واحد برای تمام مزارع وجود ندارد و انتخاب نوع کود و روش مصرف باید بر اساس نیاز گیاه، شرایط خاک و هدف تولید انجام شود.

یکی دیگر از نتایج مهم این پژوهش، اثبات صرفه اقتصادی استفاده از کودهای گرانوکوت در مزارع گندم و جو استان اصفهان بود. نتایج مزارع انتقال فناوری نشان داد که استفاده از گرانوکوت، علاوه بر افزایش عملکرد دانه، موجب افزایش درآمد ناخالص بهره‌برداران نیز شد. این افزایش درآمد ناشی از بهبود کارایی مصرف کود، رشد بهتر گیاه، افزایش عملکرد و در نهایت تولید محصول بیشتر بود. نکته قابل توجه آن است که دستیابی به این افزایش درآمد، بدون افزایش قابل توجه در مصرف نهاده‌های شیمیایی امکان‌پذیر شد؛ موضوعی که اهمیت استفاده از فناوری‌های نوین تغذیه گیاه را در شرایط محدودیت منابع و افزایش هزینه‌های تولید دوچندان می‌کند. در میان تیمارهای بررسی شده، بیشترین سود اقتصادی مربوط به گندم رقم بامداد بود و پس از آن ارقام جو مهتاب و آرتان قرار گرفتند (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب صحیح نوع کود متناسب با شرایط مزرعه، می‌تواند ضمن افزایش عملکرد، افزایش درآمد ناخالص را نیز به شکل محسوسی بهبود بخشد.

جدول ۲. افزایش درآمد ناخالص با کاربرد گرانوکوت‌ها در مقایسه با شاهد بر اساس قیمت مصوب ۱۴۰۵ گندم

(۵۰۱۲۵۰ ریال) و جو (۴۸۰۰۰۰ ریال)

محصول	رقم	نسبت به شاهد (کیلوگرم در هکتار)	افزایش عملکرد دانه افزایش درآمد ناخالص (میلیون ریال در هکتار)
گندم	بامداد	۲۰۰۰	۱۰۰۲
جو	مهتاب	۱۸۰۰	۸۶۴
جو	آرتان	۱۳۰۰	۶۲۴

این یافته‌ها نشان می‌دهد که فناوری گرانوکوت تنها یک نوآوری تغذیه‌ای نیست، بلکه ابزاری اقتصادی برای افزایش بهره‌وری و سودآوری مزارع است. از این رو، به‌کارگیری این فناوری در کنار مدیریت صحیح تغذیه، می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های تولید، افزایش درآمد کشاورزان و توسعه کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور ایفا کند.



شکل ۲. تفاوت رشد گندم رقم بامداد با کاربرد کودهای گرانوکوتها و شاهد

اجرای این پژوهش در مزارع کشاورزان و مقایسه مستقیم تیمارها با شاهد همان مزرعه، امکان ارزیابی واقع بینانه از عملکرد فناوری را فراهم کرد. حضور کشاورزان در فرآیند اجرا و مشاهده نتایج در مزرعه خود، نقش مهمی در افزایش اعتماد و پذیرش این فناوری داشت. برگزاری بازدیدهای میدانی و روز مزرعه، فرصت مناسبی برای تبادل نظر میان پژوهشگران، کارشناسان ترویج و کشاورزان ایجاد کرد (شکل ۳).



شکل ۳. برگزاری روز مزرعه و بازدید بهره برداران و کارشناسان

توصیه ترویجی

با توجه به نتایج این پژوهش و اهمیت افزایش بهره‌وری مصرف کود در شرایط محدودیت منابع، توصیه‌های زیر به کشاورزان، کارشناسان و مروجان ارائه می‌شود:

۱. توصیه می‌شود کشاورزان پیش از مصرف گسترده گرانوکوت‌ها، ابتدا این فناوری را در سطح محدودی از مزرعه خود آزمایش کرده و نتیجه آن را با روش معمول خود مقایسه کنند.
۲. انتخاب نوع گرانوکوت (نیترژنه، فسفات یا ترکیبی) باید بر اساس نیاز گیاه، شرایط خاک و هدف تولید انجام شود. به عنوان مثال، در شرایط دیم و خاک‌های فقیر از فسفر، گرانوکوت فسفات می‌تواند تأثیر چشم‌گیری داشته باشد.
۳. در صورت مصرف گرانوکوت، میزان مصرف کود پایه (اوره و سوپر فسفات تریپل) را مطابق توصیه کارشناسان و بر اساس آزمون خاک تنظیم کنید. گرانوکوت جایگزین کود نیست، بلکه مکملی برای افزایش کارایی آن است.
۴. از گرانوکوت‌های استاندارد و معتبر استفاده کنید و پیش از اختلاط با کود، برای چسبندگی بهتر، مقدار بسیار کمی آب به کود اضافه نمایید.

۵. به کارشناسان و مروجان توصیه می‌شود با ایجاد مزارع الگویی و برگزاری روز مزرعه، زمینه آشنایی بیشتر کشاورزان با فناوری‌های نوین کودی را فراهم کنند. مشاهده عملی نتایج در شرایط واقعی مزرعه، تأثیر بسیار بیشتری از توصیه‌های شفاهی دارد.
۶. با توجه به پاسخ متفاوت مزارع به گرانوگوت‌ها، ادامه ارزیابی این فناوری در سال‌های زراعی مختلف و در مناطق گوناگون، اطلاعات ارزشمندی برای ارائه توصیه‌های منطقه‌ای فراهم خواهد کرد.
۷. توجه داشته باشید که فناوری‌های نوین کودی زمانی بیشترین اثر را دارند که همراه با سایر اصول مدیریت صحیح زراعی از جمله تاریخ کاشت مناسب، تراکم مطلوب، کنترل علف‌های هرز و مدیریت آبیاری به کار گرفته شوند.

فهرست منابع

۱. حیدری، ن. ۱۴۰۰. بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، ۳۵ (۴): ۴۳۵-۴۲۱.
۲. محلوجی، م. ۱۴۰۰. تعیین راهکارهای افزایش بهره‌وری در زراعت جو، گزارش مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب.
۳. محلوجی، م. ۱۴۰۴. ارزیابی کیفی گندم استان اصفهان. همایش ملی نان سالم از مزرعه تا سفره، دانشگاه اصفهان.
4. Bardehji, S., Eshghizadeh, H. R., Zahedi, M., Sabzalian, M.R. & M. Gheisari. (2021). The combined effect of nitrogen fertilizer and sowing season on response to water-limited stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *The Journal of Agricultural Science*, 159(1-2), 31-49.
5. Grant, C. A., & Flaten, D. N. (2019). Phosphorus fertilizer management for crop production in the Canadian Prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, 99(2), 125-145.
6. Li, X., Li, J., Shi, X. & Shi, W. (2026). Spatially explicit assessment of crop production, nitrogen use efficiency, and environmental footprint in Iran. *Agriculture*, 16(851): 1-31.
7. Shaviv, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, 71, 1-49.
8. Zhang, Z., Dong, J., Liu, X., Xu, D., Liu, Y., Zhang, H., & Li, J. (2026). Meta-analysis of slow/controlled-release fertilizers on yield, greenhouse gas emissions, and soil organic carbon in major cereal crops. *Field Crops Research*, 338, 110316.