نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هجدهم، شماره ۱(۶۹)، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۹۴-۷۷

مقاله پژوهشی DOI:

تاثیر کودهای تیوسولفات پتاسیم و نیتروژن بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کنترل عارضه ترک‌خوردگی غده ارقام سیب‌زمینی

داود حسن‌پناه[1*] و احمد موسی‌پور گرجی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۴

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی تاثیر کودهای تیوسولفات پتاسیم و نیترات بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کنترل میزان ترک‌خوردگی غده ارقام سیب‌زمینی اجرا شد. این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات سیب‌زمینی ملی کشور مستقر در اردبیل در سال ۱۴۰۰ انجام شد. فاکتور اول شامل کود تیوسولفات پتاسیم در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ لیتر در هکتار با آب آبیاری)، فاکتور دوم کود نیترات آمونیوم در سه سطح (بر اساس آزمون خاک، ۳۰ و ۶۰ درصد بیشتر از آزمون خاک) و فاکتور سوم شامل چهار رقم سیب‌زمینی (آگریا، ساوالان، آنوشا و تکتا) بودند. نتایج نشان داد بین سطوح کود تیوسلفات پتاسیم، ارقام، اثرمتقابل کود تیوسولفات پتاسیم و کود نیتروژن و اثرمتقابل سه جانبه کود تیوسلفات پتاسیم، کود نیتروژن و ارقام از لحاظ عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و کارایی مصرف آب، میانگین تعداد، طول، عرض، عمق و سطح شیار غده در بوته اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیشترین مقدار عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارایی مصرف آب در تیمار کود تیوسولفات پتاسیم ۱۰ لیتر در هکتار و نیتروژن ۲۵۰ و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار در رقم تکتا، کود تیوسولفات پتاسیم ۱۰ لیتر در هکتار و کود نیتروژن ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در رقم ساوالان و کود تیوسولفات پتاسیم ۲۰ لیتر در هکتار و نیتروژن ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار در رقم ساوالان مشاهده شد. براساس نتایج تجزیه به عامل‌ها، در تیمار صفر لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن ارقام تکتا و ساوالان؛ در تیمار ۱۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام تکتا و آگریا، ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم تکتا و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام آنوشا، تکتا و ساوالان و در تیمار ۲۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم تکتا و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم ساوالان از لحاظ عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته و کارایی مصرف آب دارای بیشترین مقدار بودند.

واژگان کلیدی: ارقام، آبیاری، تیوسولفات پتاسیم، سیب‌زمینی، نیترات آمونیوم.

۱- دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. (نگارنده مسئول) D.Hassanpanah@areeo.ac.ir

۲- دانشیار بخش تحقیقات سبزی، صیفی و حبوبات آبی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

ایران از نظر میزان تولید سیب‌زمینی رتبه سیزدهم را در بین کشورهای جهان به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2021). بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی سطح زیرکشت سیب‌زمینی کشور در سال ۱۴۰۱، حدود ۱۰۹ هزار هکتار با تولید حدود ۳/۹ میلیون تن و میانگین تولید حدود ۳۷ تن در هکتار می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2023). در حال حاضر سرانه عرضه سیب‌زمینی کشور برای هر نفر در سال، ۵۶ کیلوگرم می‌باشد که در برنامه پیش‌بینی شده برای افق ۱۴۰۵ می‌بایست به ۶۳ کیلوگرم بدون افزایش سطح زیرکشت برسد (Kazemi *et al.*, 2016). در طی دو سال اخیر در دشت اردبیل در مزارع سیب‌زمینی در طی دوره رشد، غده‌ها دچار ترک خوردگی و تغییر شکل شده‌اند. این عارضه برای بهره‌برادران سیب‌زمینی منطقه اردبیل مشکل ایجاد کرده است. در سال ۱۳۹۹، این عارضه در مزارع سیب‌زمینی دشت اردبیل در مساحتی حدود ۸۵ هکتار مشاهده شد و حدود ۳۰ درصد غده‌ها خسارت دیدند. دلایل ترک-خوردگی و تغییر شکل غده سیب‌زمینی شامل علایم غیرزنده (جذب غیرمنظم آب طی دوره رشد، سم‌پاشی با حشره‌کش نامناسب و نامرغوب، مصرف کم یا زیاد کود نیتروژن، دمای بالا، ارقامی که غده‌های درشت‌تر تولید می‌کنند، استفاده از علف‌کش‌های سنکور و پاراگوات در مقادیر بالاتر از توصیه و یا در اختلاط با همدیگر و ...) و علایم پاتوژنی (مانند قارچ، ویروس و ...) می‌باشد (Anonymous. 2022).

زراعت سیب‌زمینی نیاز به پتاسیم بالا دارد، عمدتاً در طول غده‌دهی و رشد غده، که مرحله‌ای است با تجمع زیاد کربوهیدرات‌ها در غده‌ها در مدت زمان کوتاه مشخص می‌شود. این مرحله بسیار مهم است زیرا عملکرد نهایی و کیفیت محصول را تعیین می‌کند. در این مرحله تقاضا برای پتاسیم زیاد است و برای اطمینان از حرکت مواد مغذی به غده و پر شدن بهینه باید در دسترس بودن پتاسیم زیاد باشد. استفاده از تیوسولفات پتاسیم در آزمایش‌های مختلف مزرعه‌ای، باعث بهبود عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی شده است. گزارش شده است تیوسولفات پتاسیم بسته به غلظت (۳ و ۵ درصد در سه مرحله رشد)، باعث افزایش عملکرد غده بین ۶۳-۵۲ درصد در رقم سیب‌زمینی یونیکا (Unica) شده است. افزایش بهره‌وری محصول با مصرف تیوسولفات پتاسیم اعلام شد (Anonymous, 2020). استفاده از پتاسیم در سیب‌زمینی باعث افزایش ارتفاع بوته، تحمل در برابر کم‌آبی، سرما و بیماری‌ها می‌شود. کود پتاسیم دوام سطح برگ، سرعت و مدت زمان حجیم شدن غده و عملکرد و جذب آب توسط گیاه را افزایش می‌دهد و بازشدن روزنه‌های برگ را تنظیم می‌کند. سطوح بالای پتاسیم باعث افزایش اندازه غده سیب‌زمینی می‌شود. کمبود پتاسیم منجر به تجمع کربوهیدرات‌های محلول و کاهش محتوای نشاسته می‌شود (Noble, 2022). افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی با مصرف پتاسیم توسط سبحانی و همکاران (Sobhani *et al.*, 2002)؛ قنبری و همکاران (Ghanbari *et al.*, 2017)؛ اجلی و همکاران (Ajli *et al.*, 2012)؛ هنردوست و همکاران (Honardoost *et al.*, 2013)؛ سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidi, 2013a,b)؛ جلالی (Jalali, 2014)؛ موحدی و معینی (Movahedi and Moeini, 2019)؛ فریدی مایوان و همکاران (Faridi

(Mayvan *et al.*, 2019) ؛ یوسفی و همکاران (Yousefi *et al.*, 2022) و با مصرف گوگرد توسط گلمرادی مرنی و همکاران (Golmoradi Marani *et al.*, 2017) گزارش شده است. قنبری و همکاران (Ghanbari *et al.*, 2017) نتیجه گرفتند مصرف ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در ارقام سیب‌زمینی آگریا و ساتینا باعث افزایش عملکرد غده گردید. اجلی و همکاران (Ajli *et al.*, 2012) اعلام نمودند استفاده از هومات پتاسیم به مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتـر در هکتار، باعث افزایش عملکرد غده در رقم ساوالان شد. هنردوست و همکاران (Honardoost *et al.*, 2013) گزارش کردند مصرف هومات پتاسیم به مقدار یک لیتر در هزار لیتر آب باعث افزایش تعداد و وزن مینی‌تیوبرهای سیب‌زمینی ارقام آگریا و ساوالان گردید. سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidi, 2013a) نتیجه گرفتند عملکرد غده و عملکرد بیولوژیک سیب‌زمینی رقم آئـولا در اثر مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم افزایش نشان داد. سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidi, 2013b) اعلام کردند مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم باعث افزایش عملکرد، میزان پروتئین، درصد نشاسته، فسفر و پتاسیم غده سیب‌زمینی گردید. جلالی (Jalali, 2014) بیان کرد شیوه محلول‌پاشی کودهای پتاسیم‌دار می‌تواند به عنوان یک رویکرد مناسب جهت تضمین تولید محصول سیب‌زمینی محسوب شود. شنوایی‌اصل (Shenavaei Asl, 2015) اعلام کرد استفاده از سولفات پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در سیب‌زمینی رقم آگریا، باعث افزایش تعداد ساقه اصلی، تعداد و وزن غده در بوته و عملکرد غده شد. گلمرادی مرنی و همکاران (Golmoradi Marani *et al.*, 2017) گزارش کردند مصرف ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در سیب‌زمینی رقم آگریا، موجب افزایش عملکرد غده، میزان نشاسته، ماده خشک، محتوای فسفر و پتاسیم غده گردید. فرانزن و همکاران (Franzen *et al.*, 2017) گزارش کردند پتاسیم باعث افزایش کیفیت غده و جلوگیری از کبودی داخل غده می‌شود. موحدی و معینی (Movahedi and Moeini, 2019) بیان نمودند مونوفسفات پتاسیم در گیاه سیب‌زمینی باعث افزایش طول ساقه و ریشه می‌شود. فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.*, 2019) نشان داد افزایش مصرف پتاسیم سبب بالا رفتن وزن خشک کل، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و عملکرد غده سیب‌زمینی می‌شود.

پتاسیم عنصر حیاتی است که در بهبود ویژگی‌های کیفی و کمی، شادابی گیاهان، افزایش مقاومت گیاه در برابر بیماری‌های گیاهی، سرمازدگی، شوری و خشکی نقش به‌سزایی دارد. استفاده از تیوسولفات‌پتاسیم (K_2S_2O) باعث افزایش حلالیت و جذب ریزمغذی‌ها می‌شود. میزان جذب پتاسیم در تیوسولفات پتاسیم نسبت به سولفات پتاسیم ۲۲ درصد بیشتر است. این کود به دلیل داشتن یک گوگرد بیشتر نسبت به سولفات پتاسیم، در کنترل قارچ‌های هوازی و آفات مکنده تاثیر بسیار مطلوبی دارد (Anonymous, 2022a). این کود با پتاسیم و گوگرد غنی شده و دارای ۴۸/۵ تا ۵۱/۵ درصد پتاسیم و ۱۷ تا ۲۵ درصد گوگرد می‌باشد. این کود باعث افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد و سریع‌ترین و بیشترین جذب را در محصولات کشاورزی فراهم می‌آورد. این کود سطح pH خاک را کاهش داده و با آزادسازی عناصر بلوکه شده در خاک آنها را در اختیار گیاه

قرار می‌دهد. سیب‌زمینی در مرحله غده‌زایی و حجیم شدن غده نیاز به پتاسیم بالایی دارد. گوگرد موجود علاوه بر تقلیل شرایط نامساعد خاک، نیاز گیاه به گوگرد را نیز برطرف می‌کند. این کود خاصیت انبارداری محصول را افزایش، تحمل در برابر تنش‌های محیطی و عوامل بیماری‌زا را نیز افزایش می‌دهد (Anonymous, 2022c ؛ Diaz, 2022). تیوسولفات پتاسیم معمولاً به تنهایی یا همراه با اوره یا نیترات آمونیوم (Dave and Jerome, 2021) به دلیل توانایی آن در به تاخیر انداختن نیتریفیکاسیون استفاده می‌شود (Sulewski *et al.*, 2021). این کود گازهای سمی در حال انتشار از خاک را کاهش می‌دهد (Qin *et al.*, 2008). زمان مصرف تیوسولفات پتاسیم، در شروع غده‌زایی، ۲ تا ۳ هفته بعد از غده‌زایی و حجیم شدن غده اعلام شده است (Anonymous, 2022b). علی و همکاران (Ali *et al.*, 2021) نتیجه گرفتند استفاده از ترکیبات پتاسیم باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد ساقه و وزن تر و خشک در بوته، پروتئین، اسیدهای آمینه، محتوای پتاسیم، فسفر و نشاسته غده، عملکرد و بهبود کیفیت غده سیب‌زمینی شد. هدف از این تحقیق تعیین سطوح مناسب کودهای تیوسولفات پتاسیم و نیتروژن و انتخاب مناسب‌ترین رقم سیب‌زمینی، برای کنترل عارضه ترک‌خوردگی غده سیب‌زمینی در منطقه اردبیل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات سیب‌زمینی ملی کشور مستقر در اردبیل در سال ۱۴۰۰ انجام شد. فاکتور اول شامل کود تیوسولفات پتاسیم در سه سطح شامل صفر، ۱۰ و ۲۰ لیتر در هکتار با آب آبیاری، فاکتور دوم شامل کود نیترات آمونیوم در سه سطح ۱- بر اساس آزمون خاک (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، ۲- به مقدار ۳۰ درصد بیشتر از آزمون خاک (۳۲۵ کیلوگرم در هکتار) و به مقدار ۶۰ درصد بیشتر از آزمون خاک (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فاکتور سوم شامل چهار رقم سیب‌زمینی به نام‌های آگریا، ساوالان، آنوشا و تکتا بودند. با توجه به این که یکی از دلایل ترک‌خورگی غده سیب‌زمینی، استفاده بیشتر از کود نیتروژن می‌باشد، لذا در این پژوهش از سطوح ۳۰ و ۶۰ درصد بیشتر از آزمون خاک استفاده شد تا تاثیر کود تیوسولفات پتاسیم بر ترک‌خورگی غده مشخص شود. کود تیوسولفات پتاسیم دارای ۲۵ درصد پتاسیم قابل حل در آب و ۴۲ درصد گوگرد به شکل تیوسولفات می‌باشد. از این کود در دو نوبت (شروع غده‌زایی و حجیم شدن غده) استفاده شد. تیمارها در کرت‌های به طول ۵ متر، به صورت جوی پشته‌ای با تراکم ۲۵×۷۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر کشت شدند. تمام عملیات داشت شامل آبیاری، وجین علف‌های هرز، خاک‌دهی پای بوته و سم‌پاشی بر علیه آفت سوسک کلرادو و بیماری‌های مهم سیب‌زمینی به طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها اعمال شد. مصرف کود فسفات آمونیوم در دو نوبت به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم براساس آزمون خاک انجام شد. برای کنترل علف‌های هرز بعد از کاشت و قبل از سبزشدن بوته‌های سیب‌زمینی از سم پاراگوات به مقدار ۳ لیتر در هکتار و از سم سنکور به مقدار ۵۰۰ گرم در هکتار و برای کنترل آفت سوسک کلرادو از سم کنفیدور به مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار در یک نوبت استفاده گردید. آبیاری به صورت سطحی بود. برای اندازه‌گیری مقـدار دبی عبوری از نهر آب از فلوم WSC

(WSC-Flume) تیپ ۴ استفاده شد. پس از نصب فلوم WSC در ورودی نهر آب، نهر اصلی با نایلون پوشش داده شد تا از هدرفت آب در داخل نهر جلوگیری شود. مقدار دبی از رابطه زیر به‌دست آمد (Islami, 2016).

$$Q_4 = 0.0294 \times H^{2.102}$$

در این رابطه H: ارتفاع آب داخل فلوم (اندازه‌گیری شده از طریق خط‌کش نصب شده در بدنه فلوم بر حسب سانتی‌متر) می‌باشد.

در طی دوره رشد و بعد از برداشت، صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، تعداد و وزن غده در بوته، عملکرد غده و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف‌اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test) بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده انجام شد. بر روی داده‌های صفات تعداد، عمق، طول، عرض و سطح شیار روی غده در بوته، تعداد غده دارای بیماری اسکب و وزن غده‌های دارای شیار در بوته، تبدیل داده لگاریتمی انجام و سپس تجزیه واریانس با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. تجزیه کلاستر برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و تجزیه به عامل‌ها با استفاده از روش مولفه‌های اصلی و چرخش عامل‌ها به روش وریماکس انجام شد. برای تهیه ماتریس ضرایب عاملی، آن تعداد از عامل‌ها که مقدار ویژه آنها بزرگ‌تر از یک بود، انتخاب گردید. در هر عامل اصلی، ضرایب عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ به عنوان عامل معنی‌دار در نظر گرفته شده (Lawley and Maxwell, 1962) و برای محاسبه آنها از نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد بین سطوح کود تیوسولفات پتاسیم، ارقام، اثرمتقابل کود تیوسولفات پتاسیم و کود نیتروژن و اثرمتقابل سه جانبه کود تیوسولفات پتاسیم، کود نیتروژن و ارقام از لحاظ صفات عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و کارایی مصرف آب، تعداد شیار روی غده در بوته، تعداد غده دارای بیماری اسکب، میانگین طول شیار روی غده در بوته، میانگین عرض شیار روی غده در بوته، سطح شیار روی غده در بوته، وزن غده‌های دارای شیار، میانگین تعداد شیار روی غده و میانگین عمق شیار روی غده؛ بین سطوح کود نیتروژن از لحاظ صفات تعداد و وزن غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته، بین اثرمتقابل کود تیوسولفات پتاسیم و ارقام از لحاظ صفات تعداد غده در بوته، ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته و بین اثرمتقابل کود نیتروژن و ارقام از لحاظ صفات تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد وجود داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه نشان داد بیشترین مقدار عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارائی مصرف آب در تیمار کود تیوسولفات پتاسیم ۱۰ لیتر در هکتار و نیتروژن ۲۵۰ و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار در رقم تکتا، کود تیوسولفات پتاسیم ۱۰ لیتر در هکتار و کود نیتروژن ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در رقم ساوالان و کود تیوسولفات پتاسیم ۲۰ لیتر در هکتار و نیتروژن ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار در رقم ساوالان مشاهده گردید (جدول ۲). بیشترین تعداد غده در بوته در تیمار ۰، ۱۰ و ۲۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات

پتاسیم در ۳۲۸ و ۴۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در رقم ساوالان به‌دست آمد (جدول ۲). بالاترین ارتفاع بوته در تیمار صفر لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم در ۴۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در ارقام آنوشا و تکتا؛ در تیمار ۱۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم در ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام تکتا و ساوالان، در ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام تکتا، آگریا و ساوالان و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام آنوشا و تکتا؛ در تیمار ۲۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم در ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام آنوشا، آگریا و ساوالان، در ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم ساوالان مشاهده گردید (جدول ۲). در تیمار ۲۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم آنوشا بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته به‌دست آمد (جدول ۲). بیشترین تعداد شیار روی غده در بوته و تعداد غده دارای بیماری اسکب در تیمار صفر لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۳۲۸ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم آگریا؛ میانگین طول شیار روی غده در بوته در تیمار صفر لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۳۲۸ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و در تیمار ۱۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم آگریا؛ میانگین عرض شیار روی غده در بوته، سطح شیار روی غده در بوته و وزن غده‌های دارای شیار در تیمار صفر و ۱۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن؛ میانگین تعداد شیار روی در غده و میانگین عمق شیار روی غده در تیمار صفر لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم آگریا و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام آگریا و تکتا و در تیمار ۱۰ لیتر در هکتار کود تیوسلفات‌پتاسیم و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم آگریا مشاهده گردید (جدول ۲).

براساس نتایج تجزیه به عامل‌ها (جدول ۳)، در تیمار صفر لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن ارقام تکتا و ساوالان؛ در تیمار ۱۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام تکتا و آگریا، ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم تکتا و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام آنوشا، تکتا و ساوالان و در تیمار ۲۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم تکتا و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ارقام تکتا و ساوالان از لحاظ عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته و کارایی مصرف آب دارای بیشترین مقدار بودند (شکل ۱). در این آزمایش ۸۵/۷ درصد واریانس توسط چهار عامل توجیه شدند. عامل اول با ۴۲/۴ درصد تغییرات شامل عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارایی مصرف آب، عامل دوم با ۱۴/۵ درصد تغییرات شامل تعداد غده‌های دارای شیار در بوته، عامل سوم با ۱۴/۴ درصد تغییرات شامل ارتفاع بوته و عامل چهارم با ۱۴/۴ درصد تغییرات شامل تعداد غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته بودند (جدول ۵).

براساس نتایج تجزیه کلاستر (جدول ۴)، گروه چهارم شامل تیمارهای ۱۰ لیتر در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۲۵۰ و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم تکتا و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم ساوالان و ۲۰ لیتر

در هکتار کود تیوسولفات پتاسیم و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در رقم ساوالان بودند (شکل ۲). گروه چهارم نسبت به گروه‌های اول، دوم و سوم از لحاظ عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، کارایی مصرف آب دارای بیشترین مقدار و بدون تعداد غده‌های دارای شیار در بوته بودند (جدول ۶). انحراف میانگین گروه چهارم از میانگین کل در صفات فوق‌الذکر در ارقام سیب‌زمینی بیشتر از گروه‌های اول، دوم و سوم بودند (جدول ۶). در این پژوهش استفاده از کود تیوسولفات پتاسیم به مقدار ۱۰ لیتر در هکتار و کود نیتروژن به مقدار ۲۵۰، ۳۲۸ و ۴۰۰ کیلوگرم و تیوسولفات پتاسیم به مقدار ۲۰ لیتر در هکتار و کود نیتروژن به مقدار ۳۲۸ کیلوگرم در ارقام سیب‌زمینی باعث افزایش عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، کارایی مصرف آب شد و بدون تعداد غده‌های دارای شیار در بوته بودند. برخی محققین نیز نتیجه گرفتند ترکیبات پتاسیم به‌ویژه تیوسولفات پتاسیم، باعث افزایش عملکرد غده، اندازه غده، تعداد و وزن غده در بوته، بهبود کیفیت غده، ارتفاع بوته، تحمل به کم‌آبی، سرما و بیماری‌ها در سیب‌زمینی می‌شود (Ajli *et al.*, 2012؛ Sobhani *et al.*, 2002؛ Sobhani and Honardoost *et al.*, 2013؛ Hamidi, 2013a,b؛ Jalali, 2014 Shenavaei؛ Asl, 201؛ Franzen *et al.*, 2017 Golmoradi؛ Marani *et al.*, 2017؛ Ghanbari *et al.*, 2017؛ Movahedi and Moeini, 2019 Faridi؛ Mayvan *et al.*, 2019؛ Movahedi and Moeini, 2019؛ Anonymous, 2020؛ Dave and Jerome, 2021؛ Ali *et al.*, 2021؛ Anonymous, 2022؛ Noble, 2022؛ Yousefi *et al.*, 2022؛ Anonymous, 2022c؛ Diaz, 2022؛ Anonymous, 2022b).

در این تحقیق، مصرف کود نیترات آمونیوم به مقدار۳۰ و ۶۰ درصد (۷۸ و ۱۵۴ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از آزمون خاک و بدون استفاده از کود تیوسولفات پتاسیم و میزان مصرف بیش از ۶۰ درصد کود نیترات آمونیوم (۱۵۴ کیلوگرم در هکتار) به همراه مصرف ۱۰ لیتر کود تیوسولفات پتاسیم باعث ایجاد شیار روی غده رقم آگریا گردید. این رقم غده‌های درشت تولید می‌کند. گزارش شده که ارقام سیب‌زمینی که غده‌های درشت تولید می‌کنند نسبت به ترک روی غده حساس هستند (Anonymous, 2022a). در سایر ارقام سیب‌زمینی مورد مطالعه ترک روی غده مشاهده نشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که اگر قبل یا بعد از کاشت و قبل از سبزشدن بوته از دو علف‌کش پاراگوات و سنکور همزمان استفاده شود و از کود نیترات آمونیوم ۳۰ و ۶۰ درصد بیشتر از آزمون خاک استفاده شود، باعث ایجاد ترک روی غده می‌شود. البته این ترک‌ها به نوع رقم سیب زمینی نیز بستگی دارد. با مصرف کود تیوسولفات پتاسیم به مقدار ۲۰ لیتر در هکتار به همراه مصرف کود نیترات آمونیوم به مقدار ۶۰ درصد بیشتر از آزمون خاک (۱۵۴ کیلوگرم در هکتار) باعث گردید ترک روی غده حتی در رقم حساس (رقم آگریا) مشاهده نشود. لذا کود تیوسولفات پتاسیم در کاهش و عدم ایجاد ترک روی غده موثر می‌باشد.

رقم آگریا به‌عنوان رقم حساس به ترک روی غده و ارقام آنوشا، ساوالان و تکتا متحمل انتخاب شدند. گزارش شده است ترک‌خوردگی و تغییر شکل غده سیب‌زمینی مربوط به سم‌پاشی با علف‌کش‌های سنکور و پاراگوات در مقادیر بالاتر از توصیه و یا در اختلاط با همدیگر، مصرف کم یا زیاد کود نیتروژن و ارقامی که غده‌های درشت‌تر تولید می‌کنند، می‌باشد (Anonymous, 2022a).

کود تیوسولفات‌پتاسیم با پتاسیم و گوگرد غنی‌شده و دارای ۴۸/۵ تا ۵۱/۵ درصد پتاسیم و ۱۷ تا ۲۵ درصد گوگرد می‌باشد. این کود باعث افزایش عملکرد می‌گردد (Ali *et al.*, 2021؛ Anonymous, 2022c). سیب‌زمینی در مرحله غده‌زایی و حجیم شده غده نیاز به پتاسیم بالایی دارند. گوگرد موجود علاوه بر تقلیل شرایط نامساعد خاک، نیاز گیاهان به گوگرد را نیز برطرف می‌کند. این کود تحمل سیب‌زمینی را در برابر تنش‌های محیطی و عوامل بیماری‌زا بیشتر می‌کند (Anonymous, 2022c ؛ Diaz, 2022). تیوسولفات پتاسیم معمولاً به‌صورت تنهایی یا همراه با اوره یا نیترات آمونیوم (Dave and Jerome, 2021) به دلیل توانایی آن در به تاخیر انداختن نیتریفیکاسیون استفاده می‌شود (Sulewski *et al.*, 2021). در طی دو سال اخیر در دشت اردبیل در مزارع سیب‌زمینی در طی دوره رشد غده‌ها دچار ترک‌خوردگی و تغییر شکل شده‌اند. این عارضه برای بهره‌برادران سیب‌زمینی منطقه اردبیل مشکل ایجاد کرده است. در سال ۱۳۹۹، این عارضه در مزارع سیب‌زمینی دشت اردبیل در مساحتی حدود ۸۵ هکتار مشاهده شد و حدود ۳۰ درصد غده‌ها خسارت دیدند. استفاده از نتایج این آزمایش باعث کاهش خسارت ۳۰ درصدی ترک روی غده سیب‌زمینی در دشت اردبیل می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، استفاده از کود تیوسولفات پتاسیم به مقدار ۱۰ لیتر در هکتار و کود نیتروژن به مقدار ۲۵۰، ۳۲۸ و ۴۰۰ کیلوگرم و تیوسولفات پتاسیم به مقدار ۲۰ لیتر در هکتار و کود نیتروژن به مقدار ۳۲۸ کیلوگرم در ارقام سیب‌زمینی باعث افزایش عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، کارایی مصرف آب کاهش تعداد غده-های دارای شیار در بوته شد. مصرف کود نیترات آمونیوم به مقدار۳۰ و ۶۰ درصد (۷۸ و ۱۵۴ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از آزمون خاک و بدون استفاده از کود تیوسولفات پتاسیم و میزان مصرف بیش از ۶۰ درصد کود نیترات آمونیوم (۱۵۴ کیلوگرم در هکتار) به همراه مصرف ۱۰ لیتر کود تیوسولفات پتاسیم باعث ایجاد شیار روی غده رقم آگریا گردید. اگر قبل یا بعد از کاشت و قبل از سبز شدن بوته از دو علف کش پاراگوات و سنکور همزمان استفاده شود و از کود نیترات آمونیوم ۳۰ و ۶۰ درصد بیشتر از آزمون خاک استفاده شود، باعث ایجاد ترک روی غده می‌شود. البته این ترک‌ها به نوع رقم سیب‌زمینی نیز بستگی دارد. با مصرف کود تیوسولفات پتاسیم به مقدار ۲۰ لیتر در هکتار به همراه مصرف کود نیترات آمونیوم به مقدار ۶۰ درصد بیشتر از آزمون خاک (۱۵۴ کیلوگرم در هکتار) باعث گردید ترک روی غده حتی در رقم حساس (رقم آگریا) مشاهده نشود. پس کود تیوسولفات پتاسیم در کاهش و عدم ایجاد ترک روی غده موثر می‌باشد. رقم آگریا به عنوان رقم حساس به ترک روی غده و ارقام آنوشا، ساوالان و تکتا متحمل انتخاب شدند.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از تمامی حمایت‌ها و مساعدت‌های مالی مدیریت موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی

Table 1- Variance analysis of traits in treatments studied and potato cultivars

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	عملکرد غده Tuber yield	وزن غده در بوته Tuber weight per plant	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number per plant	کارائی مصرف آب Water use efficiency	تعداد شیار روی غده در بوته Cracked tubers number on plant
تکرار Rep.	2	473.06	147068.43	0.011	108.33	0.259	4.73	0.00037
تیوسولفات پتاسیم Potassium thiosulphate (A)	2	842.87**	328174.97**	2.688**	643.00**	2.065**	8.43**	0.05**
نیتروژن Nitrogen (B)	2	81.083	39260.97**	3.250**	93.25	2.481**	0.81	0.00003**
A × B	4	86.84*	33448.22**	0.688**	611.00**	2.398**	9.67**	0.048**
ارقام Cultivars (C)	3	963.74**	370140.43**	89.25**	479.22**	4.083**	0.87*	0.0003**
A × C	6	35.12	13802.11	0.438*	134.14*	4.694**	0.35	0.049**
B × C	6	52.72	18444.13*	1.083**	187.94**	1.222**	0.53	0.0004**
A × B × C	12	60.63*	19761.65**	0.521**	315.03**	4.417**	0.61*	0.0004**
خطا Error	70	29.48	6927.07	0.186	58.067	0.259	0.295	0.00004
ضریب تغییرات C.V. (%)		12.05	9.82	5.68	11.08	15.85	12.44	1.49

ns، * و **: به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ ٪ است.

ns, * and **: Non significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی

Table 1- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	تعداد غده دارای بیماری اسکب Number of tuber per plant with common scab	میانگین طول شیار روی غده در بوته Mean of tuber crack length on tuber	میانگین عرض شیار روی غده در بوته Mean of tuber crack width on tuber	سطح شیار روی غده در بوته Tuber crack area on tuber per plant	وزن غده‌های دارای شیار در بوته Cracked tubers weight per pllant	میانگین تعداد شیار در غده Mean of number cracked on tuber	میانگین عمق شیار روی غده Mean of tuber crack depth on tuber
تکرار Rep.	2	0.0001	0.002	0.00008	0.00001	0.00051	0.001	0.00003
تیوسولفات پتاسیم Potassium thiosulphate (A)	2	0.026**	0.067**	0.0491**	0.0054**	0.260**	0.0128**	0.0052**
نیتروژن Nitrogen B)	2	0.020**	0.065**	0.0486**	0.0053**	0.257**	0.011**	0.0498**
A × B	4	0.009**	0.013**	0.011**	0.0012**	0.052**	0.003**	0.0013**
ارقام Cultivars (C)	3	0.0.012**	0.032**	0.0237**	0.0026**	0.126**	0.006**	0.0023**
A × C	6	0.004**	0.003**	0.0025**	0.00029**	0.013**	0.0008**	0.0033*
B × C	6	0.003**	0.003**	0.0025**	0.00030**	0.014**	0.0009**	0.0034*
A × B × C	12	0.0014**	0.008**	0.006**	0.0006**	0.033**	0.0018**	0.0008**
خطا Error	70	0.0001	0.00024	0.0002	0.000004	0.0001	0.00019	0.0012
ضریب تغییرات C.V. (%)		9.21	3.44	3.42	1.76	6.86	10.89	8.35

ns، * و **: به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ ٪ است.

ns, * and **: Non significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- میانگین صفات مورد بررسی در تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی

Table 2- Mean of traits in treatments studied and potato cultivars

تیوسولفات پتاسیم Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	سطوح نیتروژن Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	ارقام Cultivars	عملکرد غده Tuber yield ($t.ha^{-1}$)	وزن غده در بوته Tuber weight per plant (g)	تعداد غده در بوته Tuber number per plant
0	250	Anosha	35.5	561	7.5
		Takta	41.0	774	7.0
		Agria	34.0	642	4.5
		Savalan	44.0	830	8.5
	328	Anosha	35.5	669	8.5
		Takta	49.5	934	8.5
		Agria	38.0	717	5.0
		Savalan	49.5	934	9.5
	400	Anosha	31.5	594	7.5
		Takta	49.5	934	7.5
		Agria	38.0	717	4.5
		Savalan	42.0	793	9.5
10	250	Anosha	37.0	698	9.0
		Takta	63.5	1198	8.5
		Agria	47.5	896	5.5
		Savalan	45.5	859	8.5
	328	Anosha	44.5	839	9.0
		Takta	59.0	1113	8.5
		Agria	40.5	764	5.0
		Savalan	52.0	981	10.0
	400	Anosha	48.0	906	7.5
		Takta	55.0	1038	8.5
		Agria	50.5	953	5.0
		Savalan	60.0	1132	9.5
20	250	Anosha	41.0	774	8.0
		Takta	47.0	887	8.5
		Agria	40.5	764	4.5
		Savalan	46.0	868	8.0
	328	Anosha	40.5	764	8.0
		Takta	51.5	972	8.0
		Agria	40.0	755	5.5
		Savalan	58.0	1094	9.5
	400	Anosha	35.0	660	8.0
		Takta	44.0	830	8.5
		Agria	43.0	811	5.0
		Savalan	45.0	849	9.0
LSD 5%			8.841	135.5	0.7023

* Means followed with the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

تیوسولفات پتاسیم Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	سطوح نیتروژن Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	ارقام Cultivars	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number per plant	کارائی مصرف آب Water use efficiency ($m^3.kg^{-1}$)
0	250	Anosha	41	4	3.55
		Takta	71	3	4.10
		Agria	65	3	3.40
		Savalan	53	3	4.40
	328	Anosha	71	3	3.55
		Takta	67	4	4.95
		Agria	63	4	3.80
		Savalan	69	4	4.95
	400	Anosha	76	3	3.15
		Takta	80	2	4.95
		Agria	57	3	3.80
		Savalan	76	6	4.20
10	250	Anosha	65	3	3.70
		Takta	77	3	6.35
		Agria	60	4	4.75
		Savalan	82	4	4.55
	328	Anosha	68	2	4.45
		Takta	85	2	5.95
		Agria	77	4	4.05
		Savalan	79	4	5.20
	400	Anosha	83	3	4.80
		Takta	81	3	5.55
		Agria	63	3	5.05
		Savalan	63	3	6.10
20	250	Anosha	75	3	4.10
		Takta	64	3	4.75
		Agria	78	4	4.05
		Savalan	77	3	4.60
	328	Anosha	53	7	4.05
		Takta	72	2	5.15
		Agria	65	2	4.00
		Savalan	77	3	5.80
	400	Anosha	51	3	3.50
		Takta	70	2	4.40
		Agria	66	2	4.30
		Savalan	55	2	4.50
LSD 5%			12.41	0.8288	0.8845

* Means followed with the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

تیوسلفات پتاسیم Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	سطوح نیتروژن Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	ارقام Cultivars	تعداد شیار غده در بوته Cracked tubers number per plant	تعداد غده دارای بیماری اسکب Number of tuber per plant with common scab	میانگین تعداد شیار در غده Mean of number cracked per tuber	میانگین طول شیار غده در بوته Mean of tuber crack length per tuber (cm)
0	250	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	15.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	328	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	3.67	20.33	2.67	9.50
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	Anosha	2.00	0.00	1.33	8.00
		Takta	1.67	0.00	2.67	8.17
		Agria	10.33	20.00	1.67	8.83
		Savalan	2.00	0.00	1.33	7.83
10	250	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	328	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	1.67	0.00	1.67	8.67
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
20	250	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	328	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
LSD 5%			0.07283	0.05150	0.08919	0.05150

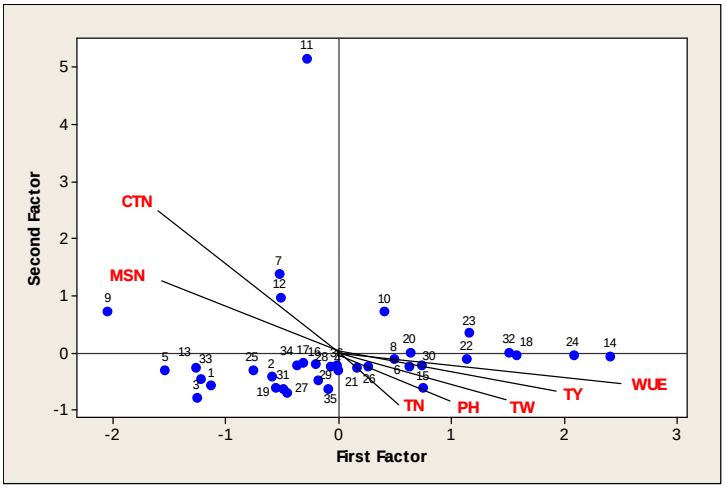
* Means followed with the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

تیوسلفات پتاسیم Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	سطوح نیتروژن Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	ارقام Cultivars	میانگین عمق شیار غده Mean of tuber crack depth per tuber (mm)	میانگین عرض شیار غده در بوته Mean of tuber crack width per tuber	سطح شیار غده در بوته Tuber crack area per tuber (cm^2)	وزن غده دارای شیار Cracked tuber weight (g)
0	250	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	328	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	1.13	6.50	61.75	182.70
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	Anosha	0.73	5.67	46.08	134.57
		Takta	1.03	5.83	47.92	123.83
		Agria	0.90	6.17	54.58	152.83
		Savalan	0.90	5.67	46.08	141.13
10	250	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	328	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	1.07	6.17	54.17	159.97
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
20	250	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	328	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	Anosha	0.00	0.00	0.00	0.00
		Takta	0.00	0.00	0.00	0.00
		Agria	0.00	0.00	0.00	0.00
		Savalan	0.00	0.00	0.00	0.00
LSD 5%			0.05150	0.01628	0.01628	0.1457

* Means followed with the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level using LSD test.



شکل ۱- بای‌پلات تجزیه به عامل‌ها در تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی

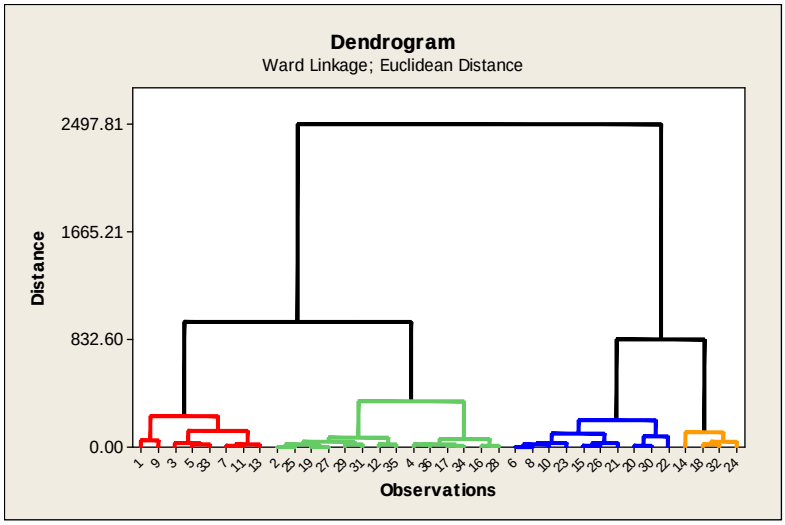
Figure 1- Bi-plot of factor analysis in treatments studied and potato cultivars

جدول ۳- راهنمای بای پلات تجزیه به عامل‌ها در تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی

Table 3- Biplot guide to factor analysis in studied treatments and potato cultivars

No.	Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	Cultivars	No.	Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	Cultivars	No.	Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	Cultivars
1	0	250	Anosha	13	10	250	Anosha	25	20	250	Anosha
2	0	250	Takta	14	10	250	Takta	26	20	250	Takta
3	0	250	Agria	15	10	250	Agria	27	20	250	Agria
4	0	250	Savalan	16	10	250	Savalan	28	20	250	Savalan
5	0	328	Anosha	17	10	328	Anosha	29	20	328	Anosha
6	0	328	Takta	18	10	328	Takta	30	20	328	Takta
7	0	328	Agria	19	10	328	Agria	31	20	328	Agria
8	0	328	Savalan	20	10	328	Savalan	32	20	328	Savalan
9	0	400	Anosha	21	10	400	Anosha	33	20	400	Anosha
10	0	400	Takta	22	10	400	Takta	34	20	400	Takta
11	0	400	Agria	23	10	400	Agria	35	20	400	Agria
12	0	400	Savalan	24	10	400	Savalan	36	20	400	Savalan

Traits	Traits
TY = Tuber yield	MSN = Main stem number per plant
TW = Tuber weight per plant	WUE = Water use efficiency
TN = Tuber number per plant	CTN = Cracked tubers number on plant
PH = Plant height	



شکل ۲- گروه‌بندی تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی براساس صفات مورد مطالعه با استفاده از "روش وارد"

Figure 2- Grouping of in treatments studied and potato cultivars based on all studied traits using Ward method

جدول ۴- راهنمای گروه‌بندی تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی براساس صفات مورد مطالعه با استفاده از "روش وارد"

Table 4- Grouping guide of treatments studied and potato cultivars based on all studied traits using Ward method

No.	Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	Cultivars	No.	Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	Cultivars	No.	Potassium thiosulphate ($L.ha^{-1}$)	Nitrogen levels ($kg.ha^{-1}$)	Cultivars
1	0	250	Anosha	13	10	250	Anosha	25	20	250	Anosha
2	0	250	Takta	14	10	250	Takta	26	20	250	Takta
3	0	250	Agria	15	10	250	Agria	27	20	250	Agria
4	0	250	Savalan	16	10	250	Savalan	28	20	250	Savalan
5	0	328	Anosha	17	10	328	Anosha	29	20	328	Anosha
6	0	328	Takta	18	10	328	Takta	30	20	328	Takta
7	0	328	Agria	19	10	328	Agria	31	20	328	Agria
8	0	328	Savalan	20	10	328	Savalan	32	20	328	Savalan
9	0	400	Anosha	21	10	400	Anosha	33	20	400	Anosha
10	0	400	Takta	22	10	400	Takta	34	20	400	Takta
11	0	400	Agria	23	10	400	Agria	35	20	400	Agria
12	0	400	Savalan	24	10	400	Savalan	36	20	400	Savalan

جدول ۵ – مقادیر عامل‌ها در صفات ارزیابی شده در تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی
Table. 5. Factors values in evaluated traits in treatments studied and potato cultivars

Traits	صفات	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
Tuber yield	**عملکرد غده**	**0.971**	-0.085	0.145	0.067
Tuber weight per plant	**وزن غده در بوته**	**0.963**	-0.07	0.192	0.075
Tuber number per plant	**تعداد غده در بوته**	0.258	-0.193	0.047	**0.945**
Plant height	**ارتفاع بوته**	0.262	-0.062	**0.960**	0.061
Main stem number per plant	**تعداد ساقه اصلی در بوته**	-0.106	0.019	-0.056	**0.992**
Water use efficiency	**کارائی مصرف آب**	**0.971**	-0.084	0.141	0.069
Cracked tubers number per plant	**تعداد غده‌های دارای شیار در بوته**	-0.113	**0.976**	-0.059	-0.02
Eigen value	**مقدار ویژه**	2.9712	1.0132	1.0085	1.0047
Variance (%)	**واریانس**	42.4	14.5	14.4	14.4
Cumulative variance (%)	**واریانس تجمعی**	42.4	56.9	71.3	85.7

جدول ۶- انحراف میانگین هرگروه از میانگین کل در صفات ارزیابی شده در تیمارهای مورد مطالعه و ارقام سیب‌زمینی
Table 6- Deviation of the each group mean from the total mean in treatments studied and potato cultivars

Traits	صفات	Cluster1	Cluster2	Cluster3	Cluster 4
Tuber yield	**عملکرد غده**	-9.51	42.68	50.00	**60.13**
Tuber weight per plant	**وزن غده در بوته**	-189.95	805.271	943.43	**1134.25**
Tuber number per plant	**تعداد غده در بوته**	-0.77	7.429	7.85	**9.00**
Plant height	**ارتفاع بوته**	-7.625	69	71.8	**75.5**
Main stem number per plant	**تعداد ساقه اصلی در بوته**	0.028	3.357	**3.2**	2.75
Water use efficiency	**کارائی مصرف آب**	-0.958	4.268	5.01	**6.05**
Cracked tubers number per plant	**تعداد غده‌های دارای شیار در بوته**	1.407	0.143	0.334	**0.00**

References منابع مورد استفاده

- Ahmadi, K., H.R. Ebadzadej, F. Hatami, H. Abdshah, and A. Kazemian. 2023. Volume one: Crops. Ministry of Jihad Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center, 95pp. (In Persian).
- Ajli, J., S. Vazan, F. Paknejad, M.R. Ardekani, and A. Kashani. 2012. Potassium humate foliar application effects on yield and yield components of different potato cultivars at spring cultivation in Ardabil region. *Agrioecology Journal*. 8(2): 1-7. (In Persian).
- Ali, M.M.E., S.A. Petropoulos, D.A.H. Selim, M. Elbagory, M.M. Othman, A.E.D. Omara, and M.H. Mohamed. 2021. Plant growth, yield and quality of potato crop in relation to potassium fertilization. *Agronomy*. 11(675): 2-16.
- Anonymous. 2020. Tessenderlo Kerley International. Higher yields realized when applying foliar KTS (Potassium thiosulphate) on potato crops. https://www.tessenderlokerley.com/en/news-events/higher-yields-realized-when-applying-foliar-ktsr-potato-crops
- Anonymous. 2021. Potato. FAO. FAOSTAT database for agriculture. Available online at: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E.
- Anonymous. 2022a. Fertilizer for potassium thiosulfate. www.aryanam.com.
- Anonymous. 2022b. KTS. Potassium Thiosulfate. Plant Food. Cranbury, New Jersey. pp 23.
- Anonymous. 2022c. Potassium thiosulphate (EkoTs). Akin Tarim. Sabzin Etemade Rahe Ayande. 52 pp.
- Dave, B., and P. Jerome. 2021. Western fertilizer handbook. Western Plant Health Association, Waveland Press. 186 pp.
- Diaz, A. 2022. Potassium thiosulphate. TIB Chemicals AG. https://www.tib-chemicals.com
- Faridi Mayvan, F., M. Jami Al-Ahmadi, S.V. Eslami, and K. Shojaei Noferest. 2019. Investigating the effect of different planting patterns on potato growth indices under different levels of irrigation and potassium sulfate fertilizer. *Applied Research in Field Crops*. 32(2): 1-14. (In Persian).
- Franzen, D., A. Robinson, and C. Rosen. 2017. Fertilizing potato in North Dakota. NDSU Extension Service. 8 pp.
- Ghanbari, A., M. Farboodi, R. Alimohammadi, A. Faramarzi, S. Jamshidi, and S. Shamspour. 2017. Effects of potassium sulfate (K_2SO_4) on quantity and quality of AGRIA and SATINA potato cultivars in Miyaneh region, Iran. *Agroecology Journal*. 3(1): 69-79. (In Persian).
- Golmoradi Marani, F., M. Barmaki, M. Sedghi, and M.J. Firoozi. 2017. Effect of sulfur fertilizer and thiobacillus on qualitative traits and nutrients concentration of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Ecophysiology*. 9(29): 113-124. (In Persian).
- Honardoost, S.H., J. Ajli, A. Faramarzi, D. Hassanpanah, and S.H. Azizi. 2013. Effect of different concentrations of potassium humate and Kadoestim on potato minituber production of Agria and Savalan cultivars under greenhouse conditions. *Journal of Seed Research*. 2(3): 11-22. (In Persian).

- Islami, A. 2016. Irrigation water measurement tool in surface irrigation methods. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Fars Province. *Technical Journal*. 44: 24. (In Persian).
- Jalali, A.H. 2014. Potassium application management for potato farming in soil and water salinity condition. *Journal of Land Management*. 2(1): 1-16. (In Persian).
- Kazemi, M., M. Banayan Aval, and R. Ghorbani. 2016. Quantitative analysis of food security in Khorasan Razavi province based on potato production. *Journal of Agricultural Applied Research*. 29(3): 63-75.
- Lawley, D.N., and A.E. Maxwell. 1962. Factor analysis as a statistical method. *Journal of the Royal Statistical Society*. 12(3): 209-229.
- Movahedi, Z., and A. Moeini. 2019. The effect of $CaCl_2$, $MgSO_4$ and KH_2PO_4 on micropropagation and minitubrization on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Production*. 12(2): 78-88. (In Persian).
- Noble, A. 2022. Potassium and potatoes. Demeter Technology. pp 73-88. https://demetertech.com/products/potassium-and-potatoes.
- Qin, R., S. Gao, J.A. McDonald, H. Ajwa, S.H. Shem-Tov, and D.A. Sullivan. 2008. Effect of plastic tarps over raised-beds and potassium thiosulfate in furrows on chloropicrin emissions from drip fumigated fields. *Chemosphere*. 72(4): 558-563.
- Shenavaei Asl, S. 2015. Effect of potassium sulfate on yield and yield components of potato Agria cultivar. Third National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources.
- Sobhani, A., and H. Hamidi. 2013a. Effects of different irrigation regims and amounts of potassium on qualitative characteristics of potato in Mashhad conditions. *Journal of Plant Production Research*. 20(4): 65-81. (In Persian).
- Sobhani, A., and H. Hamidi. 2013b. Effects of water deficit stress and potassium on yield and water use efficiency of potato by line source sprinkler irrigation. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 6(1): 1-15. (In Persian).
- Sobhani, A., G. Noor Mohammadi, and E. Majidi Hervan. 2002. Effects of water stress and potassium nutrition on yield and some agronomic characteristics of potato. *Agricultural Science*. 8(3): 23-34. (In Persian).
- Sulewski, G., M. Thompson, R. Mikkelsen, R. Norton, and T. Scott. 2021. Improving potassium recommendations for agricultural crops. Springer International Publishing. 60 pp.
- Yousefi, B., H.R. Khazaei, and M. Parsa. 2022. Effect of water and potassium fertilizer on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) under subsurface irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 20(65):15-28.(In Persian).

Research Article DOI:

The Effect of Fertilizers of Potassium Thiosulphate and Nitrogen on Yield, Water Use Efficiency and the Control of Tuber Cracking of Potato Cultivars

Davoud Hassanpanah[1]* and Ahmad Mousapour Gorji[2]

Received: March 2022 , Revised: 1 May 2022, Accepted: 14 June 2022

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of Potassium Thiosulfate and Nitrate fertilizers on yield, water use efficiency and control of tuber cracking of potato cultivars. This research was conducted Factorial based on randomized complete block design with three replications at the National Potato Research Station located in Ardabil during 2021. The first factor includes Potassium Thiosulfate at three levels (zero, 10 and 20 liters per hectare with irrigation water), the second factor contains Ammonium Nitrate at three levels (based on soil test, 30% and 60% more than soil test) and third factor included four potato cultivars (Agria, Savalan, Anusha and Takta). The results showed that there was a significant difference between the levels of Potassium Thiosulfate fertilizer, cultivars, interaction effect of Potassium Thiosulfate fertilizer and Nitrogen fertilizer and tripartite interaction of Potassium Thiosulfate fertilizer, Nitrogen fertilizer and cultivars in terms of tuber yield, tuber number and weight per plant, plant height, main stem number per plant, water use efficiency, mean of number, length, width, depth and surface of tuber cracking. The highest tuber yield, tuber weight per plant and water use efficiency in the treatment of Potassium Thiosulfate fertilizer 10 liters per hectare and Nitrogen 250 and 328 $kg.ha^{-1}$ in Takta cultivar, Potassium Thiosulfate fertilizer 10 liters per hectare and Nitrogen fertilizer 400 $kg.ha^{-1}$ in Savalan cultivar and 20 liters per hectare of Potassium Thiosulfate fertilizer and 328 $kg.ha^{-1}$ of nitrogen were observed in Savalan cultivar. Based on the results of factor analysis, in the treatment of zero liters per hectare of Potassium Thiosulfate fertilizer and 328 $kg.ha^{-1}$ of Nitrogen fertilizer of Takta and Savalan cultivars; in the treatment of 10 liters per hectare of Potassium Thiosulfate fertilizer and 250 $kg.ha^{-1}$of Nitrogen fertilizer in Takta and Agria cultivars, 328 $kg.ha^{-1}$of Nitrogen fertilizer in Takta cultivar and 400 $kg.ha^{-1}$ Nitrogen fertilizer in Anusha, Takta and Savalan cultivars and 20 Potassium Thiosulfate fertilizer per hectare and 250 $kg.ha^{-1}$ Nitrogen fertilizer in Takta cultivar and 328 $kg.ha^{-1}$ Nitrogen fertilizer in Savalan cultivar had the highest values in terms of tuber yield, tuber number and weight per plant, plant height and water use efficiency. Based on the results of cluster analysis, the fourth group includes treatments of 10 liters per hectare of Potassium Thiosulfate fertilizer and 250 and 328 $kg.ha^{-1}$ of Nitrogen fertilizer in Takta cultivar and 400 $kg.ha^{-1}$ of Nitrogen fertilizer in Savalan cultivar and 20 liters per hectare of Potassium Thiosulfate fertilizer in 328 $kg.ha^{-1}$ of Nitrogen fertilizer in cultivar was in Savalan cultivar and in terms of tuber yield, tuber number and weight per plant, plant height, water use efficiency had the highest amount and without the number of tubers with crack in the plant.

Key words: Cultivars, Irrigation, Potassium Thiosulfate, *Solanum tuberosum* L., Ammonium Nitrate.

1- Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran.
2- Associate Professor, Vegetable and Irrigated Pulse Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.
**Corresponding Authors: D.Hassanpanah@areeo.ac.ir*