نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۳(۵۹)، پاییز ۱۴۰۰، صفحه ۴۱۶-۳۹۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.687072

اثر کشت مخلوط سیب‌زمینی (*Solanum tubersum* L.) و کینوا (*Chenopodium quinoa* willd.) و مدیریت علف‌هرز بر عملکرد و خصوصیات رشدی سیب‌زمینی

محمد جلالی[۱]، سید وحید اسلامی[۲*]، سهراب محمودی[۲] و احمد آئین[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۱

چکیده

اثر کشت مخلوط افزایشی سیب‌زمینی و کینوا و مدیریت علف‌های‌هرز بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی طی آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو منطقه جیرفت و کهنوج مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای مدیریت علف‌های‌هرز عبارت بودند از شاهد: (بدون کنترل علف‌های هرز)، کاربرد علف‌کش پاراکوات (به میزان سه لیتر در هکتار) و وجین‌دستی در کرت اصلی و تیمارهای کشت مخلوط سیب‌زمینی: کینوا (۵: ۱۵، ۵:۲۰ و ۵: ۳۰ بوته در مترمربع) و کشت خالص سیب‌زمینی (۵ بوته در مترمربع) در کرت‌های فرعی در نظر قرار گرفتند. بر اساس نتایج، حاصل از آزمایش، کشت مخلوط تأثیر معنی‌داری بر کاهش تراکم علف‌های هرز و افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، شاخص سطح برگ، تعداد غده در بوته، عملکرد غده و عملکرد غده‌های بازارپسند داشت و با افزایش تراکم بوته کینوا در کشت مخلوط، روند افزایشی در ارتفاع بوته (۹/۱- ۴/۲ درصد)، تعداد برگ در بوته (۱۶/۶-۷/۹ درصد) و شاخص سطح برگ (۱۲/۷-۵/۶ درصد) سیب‌زمینی نسبت به تیمار کشت خالص سیب‌زمینی (شاهد) مشاهده شد. همچنین، وجین‌دستی تأثیر بیشتری بر کاهش تراکم علف‌های هرز (۱۶/۱ درصد) و افزایش تعداد برگ (۳/۷ درصد)، تعداد غده (۹/۴ درصد)، عملکرد غده (۶/۳ درصد) و عملکرد بازارپسند غده سیب‌زمینی (۹/۸ درصد) در مقایسه با تیمار علف‌کش پاراکوات داشت. بیشترین میانگین تعداد غده در هر بوته (۷/۵ عدد) در کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد که منجر به افزایش ۷/۱ درصدی در این شاخص نسبت به تیمار شاهد گردید. بیشترین میزان عملکرد غده (۴/۵۴ کیلوگرم در مترمربع) و غده بازارپسند سیب‌زمینی (۴/۰۱ کیلوگرم در مترمربع) در کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع تحت وجین‌دستی علف‌هرز در کهنوج به‌دست آمد که به‌ترتیب موجب افزایش ۶۹/۴ و ۲۰ درصدی این شاخص‌ها نسبت به تیمار کشت خالص سیب‌زمینی بدون عمل وجین (شاهد) در همین منطقه گردید. در مجموع، بهترین نتایج در اثر اعمال کشت مخلوط سیب‌زمینی:کینوا با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع تحت عمل وجین‌دستی علف‌هرز در کهنوج حاصل گردید.

واژگان کلیدی: تعداد غده، علف‌کش، غده بازارپسند، وجین‌دستی علف‌هرز.

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول sveslami@birjand.ac.ir

مقدمه

با توجه به روند افزایش روزافزون جمعیت جهان و پیش‌بینی جمعیت ۹/۷ میلیاردی دنیا در سال ۲۰۵۰ (Anonymous, 2019) و محدود بودن منابع کشاورزی، افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در واحد سطح (Tester and Langridge, 2010)، و تغییر اساسی در سیاست‌های کشاورزی به‌منظور توسعه پایدار امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. گیاهان زراعی منبع اصلی تأمین غذای بشر بوده و در این میان محصول سیب‌زمینی دارای جایگاه خاصی در سبد غذایی انسان می‌باشد (Keyhani and Saneinjad, 2015). سیب‌زمینی در مقایسه با سایر محصولات زراعی در هر واحد سطح، وزن و کالری بیشتری تولید می‌کند (Biswas *et al*., 2017)، و از نظر ارزش غذایی دارای نشاسته، کربوهیدرات، ویتامین (به‌ویژه ویتامین‌های C و B)، مواد معدنی، پروتئین و فیبر خام می‌باشد. از این‌رو به‌عنوان یک منبع انرژی ارزان قیمت برای رژیم غذایی انسان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Singh *et al*., 2013). علف‌های‌هرز از مهم‌ترین موانع کشت و کار سیب‌زمینی محسوب می‌شوند، به‌طوری‌که میزان خسارت علف‌های‌هرز در مزارع سیب‌زمینی بین ۱۰ تا ۸۰ درصد برآورد شده است (Biswas *et al*., 2017)، که دلیل این امر کشت ردیفی این گیاه و فراهم بودن فضای کافی برای رشد علف‌های‌هرز (به‌خصوص در اوایل فصل رشد) می‌باشد (Amini *et al*., 2016). در مطالعات مختلف کاهش شدید عملکرد سیب‌زمینی درنتیجه‌ی عدم توجه به کنترل علف‌های‌هرز گزارش شده است؛ در این مورد می‌توان به کاهش ۵۸ درصدی (Mandani *et al*., 2011) و ۸۶ درصدی عملکرد این محصول در نتیجه‌ی خسارت علف‌های‌هرز گواسکا (*Galinsoga parviflora*)، اویارسلام (*Cyperus esculentus*)، تاج‌خروس (*Amaranthus hybridus*)، سیب‌پرویی (*Nicandra physaloides*)، خرفه (*Portulaca oleracea*) و تاتوره (*Datura stramonium*) اشاره نمود (Monteiro *et al*., 2011). از این‌رو وجود علف‌های‌هرز در مزارع سیب‌زمینی به‌عنوان یکی از دلایل کاهش شدید عملکرد غده نسبت به پتانسیل تولیدی آن محسوب می‌شود. لذا تلاش در جهت کنترل علف‌های‌هرز مزارع سیب‌زمینی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد این گیاه زراعی شود. کنترل علف‌های‌هرز نیازمند چندین مرحله استفاده از سموم علف‌کش می‌باشد، که این امر منجر به‌مصرف بیش از حد سموم شیمیایی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، ایجاد گونه‌های علف‌هرز مقاوم به علف‌کش‌ها، به‌هم خوردن تنوع بیولوژیکی، تغییر فلور علف‌های‌هرز و تولید مواد غذایی گیاهی با درجه سلامت کمتر برای بشر گردیده است، بنابراین گسترش راهکارهای زراعی در جهت مدیریت مناسب علف‌های‌هرز به‌منظور کاهش مصرف سموم شیمیایی از جمله اولویت‌های کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود (Liebman *et al*., 2004; Anderson, 2005; Mohammadduost Chamanabad *et al*., 2012). لذا شیوه‌ای جایگزین برای مدیریت علف‌هرز، دستکاری محیط کشت محصول به‌نحوی است که سیستم‌های کشت برای تهاجم، استقرار، رشد و رقابت نهایی علف‌های‌هرز نامساعد گردد (Lowry and Smith, 2018). این سیستم کشت (کشت مخلوط) شامل کشت توأم دو یا چند گیاه زراعی (یا ژنوتیپ) برای یک مدت زمان مشخص و یا تمام فصل رشد می‌باشد و به عنوان یک سازوکار در جهت افزایش

تنوع عملکردی اکوسیستم و تنوع سیستم کشت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lowry and Smith, 2018). گزارش‌های زیادی در مورد کاهش میزان علف‌های‌هرز در نتیجه‌ی کشت مخلوط محصولات مختلف در دسترس می‌باشد، که نتایج این مطالعات، پتانسیل این روش زراعی را در جهت کاربرد کمتر علف‌کش و کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی نشان می‌دهد. از سوی دیگر، در بسیاری از مطالعات افزایش عملکرد محصول در سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت تک محصولی گزارش شده است. نتایج ارزیابی عملکرد در کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی نشان داد که بیشترین میزان عملکرد غده سیب‌زمینی و عملکرد ذرت در کشت مخلـوط این دو گیاه به دست آمده است (Jamshidi *et al*., 2007). در مطالعات دیگری، کشت مخلوط به هر دو روش افزایشی (Mobasser *et al*., 2018) و جایگزینی (Nasrollahzadeh-Asl *et al*., 2012)، موجب افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی شد. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) گیاهی یک‌ساله از تیره‌ی تاج خروسیان و زیرتیره‌ی اسفناجیان (González *et al*., 2015)، در ایران محصولی جدید به‌شمار می‌رود و نتایج بررسی‌های انجام شده در مورد امکان کشت و کار این محصول و سازگاری آن با اقلیم‌های مختلف جغرافیایی ایران، بیانگر شرایط مناسب تولید این محصول در برخی از مناطق کشور از جمله جیرفت و کهنوج می‌باشد.

بنابراین، این مطالعه به‌منظور ارزیابی تأثیر کشت مخلوط افزایشی سیب‌زمینی و کینوا و مدیریت علف‌های‌هرز بر عملکرد و برخی از شاخص‌های رشدی سیب‌زمینی انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو منطقه جیرفت (با عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا) و کهنوج (با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه شرقی با ارتفاع ۵۰۵ متری از سطح دریا) در جنوب شرقی استان کرمان، در سال ۱۳۹۷ اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مرحله اجرا درآمد. در این آزمایش، تیمارهای مدیریت علف‌های‌هرز شامل عدم کنترل (شاهد)، کاربرد علف‌کش پاراکوات (سه روز پس از کشت کینوا به‌میزان سه لیتر در هکتار) و وجین‌دستی (دوبار در طی یک ماه پس از کشت) در کرت اصلی و تیمارهای کشت مخلوط افزایشی سیب‌زمینی: کینوا (با تراکم‌های ۵: ۱۵ (D15)، ۵:۲۰ (D20) و ۵: ۳۰ (D30) بوته در مترمربع) و کشت خالص سیب‌زمینی (SP) (۵ بوته در مترمربع) در کرت‌های فرعی قرار داده شد. در پاییز و قبل از کاشت، زمین محل انجام آزمایش در هر دو منطقه مورد مطالعه شخم (تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) زده شد. جهت خرد کردن کلوخه‌ها و از بین بردن علف‌های‌هرز دو دیسک سطحی و عمود برهم زده شد و سپس با استفاده از دستگاه لولر تسطیح زمین انجام پذیرفت. در این پژوهش سیب‌زمینی مدنظر رقم سانته (رقم نیمه‌زودرس و دارای عملکرد بالا) بوده و به‌عنوان کشت پایه و اصلی در نظر گرفته شد و ردیف‌های کشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متری از هم در کرت‌هایی به ابعاد ۴/۵ × ۶ متر ایجاد گردید و غده‌های سیب‌زمینی ضدعفونی شده با قارچ‌کش مانکوزب (با غلظت سه در هزار)،

در عمق ۱۵ سانتی‌متری و با فواصل روی ردیف ۲۵ سانتی‌متری از همدیگر (۵ بوته در مترمربع)، کاشته شدند. بذور کینوا مورد استفاده از رقم تی تی‌کاکا بوده که به‌عنوان یک رقم زودرس، بسیار متحمل به شرایط نامطلوب محیطی (از جمله شوری، خشکی، سرما و گرما) می‌باشد. کشت غده‌های سیب‌زمینی در جیرفت و کهنوج به‌ترتیب در تاریخ‌های ۵ و ۸ دی‌ماه و کشت کینوا به‌عنوان گیاه همراه با تأخیر پنج روزه نسبت به کشت سیب‌زمینی در تاریخ‌های ۱۰ و ۱۳ دی ماه در هر دو منطقه انجام پذیرفت. جهت تعیین تراکم علف‌های‌هرز، نمونه‌برداری در هر کرت با استفاده از یک کوآدرات یک مترمربعی در زمان گل‌دهی سیب‌زمینی انجام پذیرفت. در زمان داده‌برداری در هر کرت (پس از حذف اثرات حاشیه‌ای)، تعداد پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و شاخص‌هایی از قبیل ارتفاع بوته در زمان گلدهی، تعداد برگ در بوته و سطح برگ اندازه‌گیری گردید. در هر کرت تعداد روز لازم برای گلدهی ۵۰ درصد جمعیت گیاهی با مشاهده چشمی ثبت و به‌عنوان زمان گل‌دهی گزارش شد. زمان برداشت سیب‌زمینی با خشک‌شدن اندام هوایی (بسته به تیمار و محل کشت در تاریخ‌های ۳ تا ۷ اردیبهشت در کهنوج و ۸ تا ۱۱ اردیبهشت در جیرفت) مشخص گردید. در زمان برداشت، محصول سیب‌زمینی هر کرت جمع‌آوری و ضمن تعیین میزان عملکرد سیب‌زمینی، وزن غده‌های بالاتر از ۳۵ گرم به‌عنوان عملکرد بازار پسند در نظر گرفته شد. زمان برداشت کینوا با زرد و خشک‌شدن سنبله‌ها تعیین و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، سنبله‌های کینوا برداشت و عملکرد کینوا پس از جداسازی بذرها از سنبله‌ها محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از تست نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس به‌صورت تجزیه مرکب و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.2 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD حفاظت شده در سطح احتمال پنج درصد انجام پذیرفت. جهت ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

تراکم علف‌های هرز: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، تراکم علف‌های‌هرز تحت تأثیر مکان، الگوی کشت، مدیریت علف‌هرز، برهمکنش مدیریت علف‌هرز × الگوی کشت و برهمکنش سه گانه مکان × الگوی کشت × مدیریت علف‌هرز قرار گرفت (جدول ۲). بررسی فلور علف‌های هرز در دو منطقه مورد مطالعه نشان داد که گونه‌های علف‌هرز غالب موجود در مزرعه جیرفت شامل پنیرک (*Malva sylvestris*)، مرغ (*Cynodon dactylon*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، عروسک پشت‌پرده (*Physalis alkekengi*)، اویارسلام (*Cyperus rotundus*)، پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.)، فرفیون (*Euphorbia helioscopia*)، خرفه (*Portulaca oleracea* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) و در کهنوج شامل مرغ، پنیرک، اویارسلام، خرفه، سلمه‌تره، تاج خروس (*Amaranthus retroflexus*)، قیاق (*Sorghum halepense*)، کینوای وحشی و فرفیون بودند. میزان تراکم علف‌های‌هرز در کهنوج (۱۱/۴ درصد) بیشتر از جیرفت بود (جدول ۲)، که این امر می‌تواند به اختلاف در بانک بذر علف‌های‌هرز در دو منطقه مربوط باشد. بر اساس نتایج، تراکم علف‌های‌هرز در تیمار شاهد (عدم وجین) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش پاراکوات بود و

انجام عمل وجین‌دستی علف‌هرز تأثیر بیشتری در کاهش این شاخص نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات در ممانعت از رشد و سرکوب علف‌های هرز داشت (جدول ۳). تأثیر بیشتر تیمار وجین‌دستی احتمالاً به‌دلیل تعداد دفعات بیشتر و زمان انجام عملیات کنترل علف‌های هرز در این تیمار باشد. به‌عبارتی دیگر وجین‌دستی علف‌های‌هرز در دو مرحله و در طی یک ماه پس از کشت انجام پذیرفت؛ در حالی که کاربرد علف‌کش پاراکوات تنها یک مرحله در ابتدای فصل رشد مورد استفاده قرار گرفت، و لذا در تیمار وجین‌دستی اجازه رشد کمتری به علف‌های‌هرز داده شد.

بر اساس نتایج، کشت مخلوط موجب کاهش تراکم علف‌های‌هرز گردید؛ به‌طوری‌که بیشترین و کمترین تراکم علف‌های‌هرز به‌ترتیب مربوط به کشت خالص سیب‌زمینی و کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در متر مربع بود (جدول ۴). کاهش تراکم علف‌های‌هرز در کشت مخلوط بیانگر اثر تسهیل‌کنندگی کینوا در کاهش رشد و کم کردن رقابت علف‌های‌هرز با سیب‌زمینی می‌باشد. اثر کینوا بر کاهش تراکم علف‌های‌هرز حتی در تیمار شاهد (عدم وجین علف‌های‌هرز) مشهود بوده و این امر اثر مثبت کشت مخلوط سیب‌زمینی با کینوا را توجیه می‌نماید. به‌طورکلی، بیشترین میزان تراکم علف‌های‌هرز متعلق به تیمار کشت خالص سیب‌زمینی تحت شرایط عدم وجین علف‌های‌هرز در کهنوج بود؛ همچنین کمترین میزان تراکم علف‌های‌هرز بدون اختلاف معنی‌دار به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع همراه با عمل وجین‌دستی علف‌هرز در جیرفت اندازه‌گیری شد (شکل ۱).

تأثیر مثبت کشت مخلوط بر کاهش میزان تراکم علف‌های‌هرز نسبت به کشت خالص گزارش شده است. در سیستم تک کشتی به‌دلیل وجود فضاهای خالی موجود برای جوانه‌زنی علف‌هرز، شرایط آلودگی مزرعه به علف‌های‌هرز فراهم می‌باشد (Bibi *et al*., 2020). از سوی دیگر، افزایش پوشش گیاهی و به تبع آن افزایش رقابت در سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت خالص منجر به کاهش تعداد و میزان رشد علف‌های‌هرز می‌گردد (Schippers and Kropff, 2001). بنابراین، کشت مخلوط با ایجاد پوشش گیاهی مناسب در واحد سطح باعث اشغال سریع نیچ خالی بین گیاهان زراعی شده و از این طریق در فرآیندهای جوانه‌زنی بذور و رشد و نمو علف‌های‌هرز اختلال ایجاد می‌کند (Den Hollander *et al*., 2007).

ارتفاع بوته سیب‌زمینی: اثر مکان، مدیریت علف‌هرز، الگوی کشت و برهمکنش مکان × مدیریت علف‌هرز و مکان × الگوی کشت بر ارتفاع بوته سیب‌زمینی معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی اثر اصلی مکان نشان داد که ارتفاع بوته‌های سیب‌زمینی رشد کرده در شرایط آب و هوایی کهنوج بیشتر (۱۴ درصد) از جیرفت بود (جدول ۳). هرچند مبارزه با علف‌های‌هرز با دو روش وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش پاراکوات منجر به افزایش معنی‌دار شاخص ارتفاع بوته نسبت به تیمار عدم کنترل علف‌های‌هرز (شاهد) گردید؛ با این وجود بین اثر دو روش کنترل علف‌های‌هرز بر ارتفاع سیب‌زمینی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). بررسی الگوی کشت بیانگر روند افزایشی در ارتفاع بوته سیب‌زمینی در نتیجه افزایش تراکم بوته کینوا در کشت مخلوط با سیب‌زمینی بود که این امر موجب بروز اختلاف

آماری معنی‌داری در ارتفاع بوته در تیمارهای کشت مخلوط با تراکم‌های بالای کینوا (۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع) نسبت به کشت خالص سیب‌زمینی و کشت مخلوط با تراکم ۵: ۱۵ بوته در مترمربع گردید (جدول ۵). بررسی اثر متقابل مکان و مدیریت علف‌هرز نشان داد که ارتفاع بوته سیب‌زمینی در کهنوج تحت هر دو روش کنترل علف‌های‌هرز به‌طور معنی‌داری بیشتر از بقیه تیمارها بود؛ در حالی‌که کمترین میزان ارتفاع بوته در تیمار شاهد (عدم کنترل علف‌های‌هرز) تحت شرایط آب و هوایی جیرفت اندازه‌گیری شد (شکل ۲a). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش مکان و الگوی کشت، بیشترین میزان ارتفاع بوته سیب‌زمینی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای کشت‌های مخلوط ۵:۳۰ و ۵:۲۰ بوته در مترمربع در کهنوج بوده درحالی‌که کمترین ارتفاع بوته در تیمار کشت خالص در جیرفت به‌دست آمد (شکل ۲b).

بیشتر بودن ارتفاع بوته سیب‌زمینی در کهنوج در مقایسه با جیرفت ممکن است با درجه حرارت و میزان بارندگی به‌عنوان دو عامل اقلیمی تأثیرگذار بر شاخص‌های مختلف رشدی گیاه از جمله ارتفاع بوته مرتبط باشد. بر اساس داده‌های اقلیمی به‌دست آمده از ایستگاه‌های سینوپتیک در دو منطقه مورد مطالعه، میانگین درجه حرارت، میزان بارش و ساعات آفتابی در کهنوج در طی زمان اجرای این پژوهش بیشتر از جیرفت بود که این امر احتمالاً در افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته سیب‌زمینی در کهنوج نسبت به جیرفت تأثیرگذار بوده است (جدول ۱). کاهش ارتفاع بوته سیب‌زمینی در تیمار کنترل با علف‌های‌هرز احتمالاً در نتیجه رقابت شدید بین سیب‌زمینی و علف‌های‌هرز در استفاده از منابع غذایی موجود بوده است. میزان تأثیر رقابت علف‌های‌هرز بر ارتفاع گیاهان زراعی به‌شدت به میزان رقابت و میزان آلودگی مزرعه به علف‌هرز بستگی دارد. در برخی از موارد، رقابت با شدت کم بین علف‌های‌هرز و گیاه زراعی باعث جذب منابع مذکور توسط گیاه زراعی و کسب انرژی لازم جهت فرار از رقابت نوری (و جذب بهتر نور) و درنتیجه آن افزایش ارتفاع گیاه زراعی می‌شود. در حالی‌که رقابت شدید بین علف‌های‌هرز و گیاه زراعی می‌تواند منجر به تحمیل ضربه‌ی شدید به رشد و کاهش ارتفاع گیاه زراعی گردد (Ghafouri *et al*., 2013; Zimdahl, 2007). با افزایش تراکم بوته کینوا در کشت مخلوط و افزایش سایه‌اندازی، ارتفاع بوته سیب‌زمینی افزایش یافت. ارتفاع گیاه وابسته به ژنوتیپ و محیط بوده و نقش نور به‌عنوان یکی از عوامل محیطی تأثیرگذار بر شاخص ارتفاع گیاه در کشت مخلوط می‌تواند به‌دلیل سایه‌اندازی توسط گیاه بلندتر، تغییر نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/FR) (Ahmadvand and Hajinia, 2016)، و تأثیر نور بر میزان تجزیه هورمون اکسین باشد (Rezvani Moghada *et al*., 2009). به‌طوری‌که طویل‌شدن میانگره‌ها تحت شرایط تاریکی و سایه افزایش می‌یابد و افزایش تراکم گیاهی موجب ایجاد شرایطی مشابه با شرایط تاریکی و به‌تبع آن افزایش طول میانگره‌ها و ارتفاع گیاه می‌شود که این امر به‌دلیل نقش هورمون اکسین در طویل‌شدن میانگره‌ها و کاهش میزان تجزیه این هورمون در گیاهان تحت شرایط سایه می‌باشد. در حالی‌که تابش شدید نور از طریق افزایش میزان تجزیه هورمون اکسین و کاهش غلظت آن منجر به عدم افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Rezvani Moghadam *et al*., 2009). به نظر می‌رسد که با

افزایش تراکم بوته کینوا در کشت مخلوط با سیب‌زمینی به‌دلیل عبور نور خورشید از کانوپی گیاهان، نسبت نور R/FR کاهش یافته است و گیاه سیب‌زمینی با تشخیص نسبت پایین نور R/FR و انجام تغییرات فیزیولوژیک، خصوصیات اجتناب از سایه نظیر افزایش طول ساقه را نشان داده است که این امر نهایتاً موجب افزایش ارتفاع بوته سیب‌زمینی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است.

تعداد برگ در بوته و شاخص سطح برگ: مکان، مدیریت علف‌هرز، الگوی کشت و برهمکنش دوگانه آن‌ها اثر معنی‌داری بر تعداد برگ در بوته سیب‌زمینی داشت؛ در حالی‌که شاخص سطح برگ سیب‌زمینی تنها تحت تأثیر مدیریت علف‌هرز و الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۲). بوته‌های رشد کرده تحت شرایط آب و هوایی کهنوج دارای تعداد برگ بیشتری نسبت به بوته‌های رشد کرده در جیرفت بودند (جدول ۳). براساس نتایج، مدیریت علف‌هرز تأثیر مثبتی بر افزایش تعداد برگ در بوته و شاخص سطح برگ داشت. تعداد برگ در بوته‌های تحت تیمار وجین‌دستی علف‌هرز و کاربرد علف‌کش پاراکوات به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۶ و ۱۵/۴ درصد بیشتر از تیمار شاهد (عدم کنترل علف‌های‌هرز) بود (جدول ۴). همچنین، ارتباط مستقیمی بین تراکم کاشت کینوا در کشت مخلوط و تعداد برگ در بوته و سطح برگ سیب‌زمینی وجود داشت (جدول ۵). بررسی مقایسه میانگین برهمکنش الگوی کشت و مدیریت علف‌هرز نشان داد که در بین تیمارهای مختلف، بیشترین میانگین تعداد برگ در بوته سیب‌زمینی به‌ترتیب متعلق به کشت مخلوط با تراکم‌های ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع همراه با انجام عمل وجین‌دستی علف‌هرز بود که البته با تیمار کاربرد علف‌کش در کشت مخلوط با تراکم ۵:۳۰ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌داری نداشتند، درحالی‌که کمترین تعداد برگ در بوته در تیمار کشت خالص سیب‌زمینی تحت شرایط عدم کنترل علف‌های‌هرز (شاهد) شمارش گردید (شکل ۳a). براساس نتایج، با افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط، شاخص سطح برگ سیب‌زمینی روند افزایشی نشان داد (شکل ۳b).

از آنجایی که رقابت سیب‌زمینی با علف‌های‌هرز موجب کاهش میزان رشد محصول، شاخص سطح برگ و کاهش میزان جذب و کارایی استفاده از نور در سیب‌زمینی می‌گردد (Mondani *et al.*, 2011)، لذا افزایش شاخص‌های رشدی از قبیل ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ در کشت مخلوط سیب‌زمینی و کینوا (به‌ویژه در تراکم‌های بالا) احتمالاً در نتیجه تأثیر مثبت کشت مخلوط بر ممانعت از رشد و سرکوب علف‌های‌هرز باشد که این امر موجب کاهش رقابت بین گیاهان زراعی و علف‌های‌هرز در جذب مواد غذایی، رطوبت و میزان نور و نهایتاً تسهیل رشد بوته سیب‌زمینی و افزایش تعداد برگ و سطح برگ شده است. تعداد برگ و شاخص سطح برگ علاوه بر ژنتیک، تحت تأثیر عوامل محیطی از قبیل درجه حرارت، تراکم کاشت، شرایط خاک و عملیات زراعی قرار می‌گیرد. لذا افزایش شاخص سطح برگ گیاهان در کشت مخلوط را می‌توان به تراکم بالای آنها در کشت مخلوط مرتبط دانست که موجب بیشتر شدن رقابت برون گونه‌ای گیاهان در جذب نور می‌گردد که این امر به گیاهان در جهت افزایش رشد و بیشتر شدن سطح برگ کمک می‌کند (Adeniyan *et al.*, 2007). بنابراین، افزایش مشاهده شده در تعداد برگ و شاخص سطح برگ سیب‌زمینی در کشت مخلوط با کینوا

در تراکم‌های ۲۰:۵ و ۳۰:۵ بوته در مترمربع می‌تواند به افزایش ارتفاع بوته‌های سیب‌زمینی تحت شرایط کشت مخلوط و همبستگی نزدیک بین شاخص‌های ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته (Javanmard *et al.*, 2015)، مرتبط باشد. علاوه بر این، با افزایش تراکم بوته در واحد سطح شدت رقابت در جذب نور افزایش می‌یابد که این امر موجب تحریک گیاه به رشد رویشی بیشتر (در صورت توان رقابتی بالا) و نهایتاً افزایش تعداد و شاخص سطح برگ می‌گردد. در مجموع، به نظر می‌رسد که گیاه سیب‌زمینی در کنار افزایش ارتفاع بوته به افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ پرداخته تا بتواند با پر نمودن فضای اطراف و گسترش کانوپی، نور بیشتری جهت انجام فرآیند فتوسنتز جذب نماید.

زمان گلدهی و برداشت: شاخص‌های زمان گلدهی و برداشت سیب‌زمینی تنها تحت تأثیر مکان قرار گرفتند (جدول ۲). براساس نتایج، زمان رسیدن به گلدهی (۵ روز) و برداشت سیب‌زمینی (۷ روز) در شرایط آب و هوایی کهنوج کمتر از جیرفت بوده و گیاهان در کهنوج سیکل زندگی خود را نسبت به جیرفت سریع‌تر تکمیل کردند (جدول ۳). دمای بهینه مورد نیاز رشد رویشی در بیشتر گونه‌های گیاهی بیشتر از رشد زایشی می‌باشد. افزایش درجه حرارت و رسیدن آن به سطح بهینه مورد نیاز گونه، موجب افزایش سرعت رشد رویشی و کوتاه‌تر شدن سیکل زندگی در محصولات غیردائمی خواهد شد (Hatfield and Prueger, 2015). شهرستان‌های کهنوج و جیرفت دارای زمستان‌های ملایم و تابستان بسیار گرم بوده و از نظر اقلیمی به‌ترتیب دارای اقلیم‌های فراخشک و خشک می‌باشند (Taei-Semiromi *et al.*, 2017). با بررسی داده‌های اقلیمی در نظام کشت زمستانه (آبان ماه تا خرداد ماه) در شهرستان‌های جیرفت و کهنوج (سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷) و ارزیابی الگوی دوره رشد کشت زمستانه سیب‌زمینی در این دو منطقه مشخص گردید که شروع و پایان دوره‌ی رشد سیب‌زمینی وابسته به دما می‌باشد. به‌طوری‌که حداقل دما در طی مراحل کاشت تا سبز شدن باید از آستانه دمای پایین سیب‌زمینی (۵ درجه سلسیوس) بیشتر و حداکثر دما از آستانه قابل تحمل گیاه (۴۰ درجه سلسیوس)، کمتر باشد. لذا طبق داده‌های اقلیمی دوره رشد سیب‌زمینی در کهنوج در مقایسه با جیرفت زودتر شروع و تحت تأثیر دمای بالا و تنش دمایی زودتر نیز به پایان می‌رسد (Taei-Semiromi *et al.*, 2017).

تعداد غده در هر بوته: اثر تیمارهای مدیریت علف‌هرز، الگوی کشت و برهمکنش مکان × مدیریت علف‌هرز، مکان × الگوی کشت و مدیریت علف‌هرز × الگوی کشت بر شاخص تعداد غده در هر بوته سیب‌زمینی معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج، کنترل علف‌های‌هرز موجب افزایش تعداد غده در هر بوته سیب‌زمینی شد و تأثیر وجین‌دستی بر میزان تعداد غده در هر بوته نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات بیشتر بود. عمل وجین‌دستی علف‌هرز به‌ترتیب منجر به افزایش ۹ و ۴۳ درصدی میانگین تعداد غده در هر بوته سیب‌زمینی نسبت به تیمارهای کاربرد علف‌کش پاراکوات و عدم کنترل علف‌های‌هرز گردید (جدول ۴). با افزایش تراکم کاشت کینوا از ۱۵ به ۲۰ بوته در مترمربع در کشت مخلوط با سیب‌زمینی، روند افزایشی در تعداد غده در بوته مشاهده شد؛ در حالی‌که تراکم کینوا بیشتر از ۲۰ بوته در مترمربع باعث کاهش معنی‌دار تعداد غده در بوته گردید. بیشترین تعداد غده سیب‌زمینی

(۷/۵ و ۷/۲ عدد در هر بوته) به‌ترتیب در نتیجه‌ی تراکم‌های ۲۰:۵ و ۱۵:۵ بوته در مترمربع و کمترین این شاخص (۶/۵ عدد در هر بوته) مربوط به تیمار کشت مخلوط ۳۰:۵ بوته در مترمربع بود (جدول ۵). براساس نتایج برهمکنش مکان × مدیریت علف‌هرز، بیشترین میزان تعداد غده در هر بوته (۸/۲۵ عدد) در نتیجه وجین‌دستی علف‌هرز در جیرفت حاصل شد؛ در حالی‌که کمترین تعداد غده در هر بوته (۵/۶۲ عدد) مربوط به تیمار شاهد در جیرفت بود (شکل ۴). همچنین، بررسی نتایج برهمکنش مدیریت علف‌هرز و الگوی کشت بر تعداد غده در هر بوته سیب‌زمینی حاکی از آن است که بیشترین میانگین تعداد غده سیب‌زمینی در کشت مخلوط با تراکم ۲۰:۵ بوته در مترمربع تحت وجین‌دستی و کمترین تعداد آن در تراکم‌های مختلف تیمارهای کشت مخلوط تحت شرایط عدم کنترل علف‌هرز (شاهد) حاصل گردید (شکل ۵). با افزایش تراکم کینوا از ۱۵ به ۲۰ بوته در مترمربع در کشت مخلوط با سیب‌زمینی، میانگین تعداد غده در هر بوته افزایش یافت. توان رقابتی هر گیاه در سیستم کشت مخلوط ثابت نیست و تابعی از تغییرات تراکم بوته در واحد سطح می‌باشد. از این‌رو تراکم بوته تا حد مشخصی در واحد سطح سبب افزایش تعداد غده می‌شود درحالی‌که افزایش بیش از حد تراکم بوته باعث کاهش تعداد غده تولید شده در هر بوته می‌شود. از آن‌جایی که سیب‌زمینی یک گیاه مناطق معتدله بوده و با توجه به اینکه کشت زمستانه (طرح عادی) سیب-زمینی در منطقه گرمسیری جنوب کرمان عمدتاً با تنش گرمایی آخر فصل رشد مواجه می‌شود و تولید غده و عملکرد آن تحت شرایط دمای بالای خاک کاهش می‌یابد. از این‌رو، با توجه به تأثیر دمای خاک در تولید غده سیب‌زمینی به‌نظر می‌رسد که در کشت مخلوط تیمار ۲۰:۵ بوته در مترمربع از طریق تعدیل دمای محیط مزرعه (کانوپی گیاه) و سطح خاک، موجب بهبود میکروکلیمای سیب‌زمینی و ایجاد شرایط مناسب جهت تشکیل غده شده است، لذا بیشترین تعداد غده در هر بوته در این تیمار حاصل گردید. کاهش تعداد غده در تیمار کشت مخلوط ۳۰:۵ بوته در مترمربع می‌تواند در نتیجه‌ی افزایش رقابت برون‌گونه‌ای (Raei *et al*., 2011) بین کینوا و سیب‌زمینی، کاهش تخصیص مواد غذایی موجود در خاک به بوته‌ها و کاهش میزان جذب تشعشع نوری جهت انجام فرآیند فتوسنتز در این سطح از تراکم کینوا و سیب‌زمینی در مترمربع باشد.

عملکرد غده سیب‌زمینی: اثر مکان، مدیریت علف‌هرز، الگوی کشت و برهمکنش مکان× الگوی کشت و برهمکنش سه‌گانه آنها به‌طور معنی‌داری عملکرد غده سیب‌زمینی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بر اساس نتایج، میزان عملکرد غده سیب‌زمینی تحت شرایط آب و هوایی کهنوج (۵/۶ درصد) بیشتر از جیرفت بود (جدول ۳). از آن‌جایی که زمان کاشت، رقم مورد استفاده و مدیریت زراعی در هر دو منطقه مورد بررسی مشابه بود، لذا اختلاف مشاهده شده در میزان عملکرد غده سیب‌زمینی در دو مکان کشت مورد بررسی می‌تواند ناشی از شرایط محیطی (دما و بارش) در کهنوج نسبت به جیرفت باشد. بر اساس نتایج، کنترل علف‌های هرز (وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش پاراکوات) تأثیر مثبتی بر میزان عملکرد غده سیب‌زمینی در هر مترمربع داشت. تیمارهای وجین‌دستی علف‌هرز و کاربرد علف‌کش پاراکوات به‌ترتیب موجب افزایش ۴۲/۵ و ۳۴

درصدی عملکرد غده نسبت به تیمار عدم کنترل علف‌هرز (شاهد) گردید که این نتایج بیانگر تأثیر بیشتر وجین‌دستی علف‌هرز نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات بر میزان عملکرد غده سیب‌زمینی می‌باشد (جدول ۴). با افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط با سیب‌زمینی، روند افزایشی در میزان عملکرد غده مشاهده گردید و بالاترین عملکرد غده (به‌میزان ۳/۹۱ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار کشت مخلوط با تراکم ۵:۳۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری را با دو تیمار دیگر کشت مخلوط نشان داد (جدول ۵). با این وجود در بین تیمارهای مختلف، بیشترین عملکرد غده (به‌میزان ۴/۵۴ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع تحت وجین‌دستی علف‌هرز در کهنوج به‌دست آمد (شکل ۶).

کنترل علف‌هرز تأثیر مثبتی بر میزان عملکرد سیب‌زمینی داشت. گزارش شده است که وجین علف‌های‌هرز باعث افزایش ۱۳/۷ درصدی عملکرد کل سیب‌زمینی نسبت به کاربرد علف‌کش شده است و دلیل تأثیر بیشتر وجین علف‌های‌هرز را به عدم وجود رقابت بین محصول زراعی و علف‌های‌هرز ذکر نمودند که این امر موجب تخصیص بیشتر منابع موجود (آب، نور و مواد غذایی) به گیاه زراعی و در نتیجه آن افزایش رشد و توسعه گیاه سیب‌زمینی و ورود بیشتر مواد غذایی به غده‌ها و افزایش عملکرد شد (Khatami *et al.*, 2017). به‌طورکلی، تشدید رقابت بین علف‌های‌هرز و سیب‌زمینی بر سر مواد غذایی و سایه‌اندازی علف‌های‌هرز بر گیاه سیب‌زمینی در نتیجه‌ی افزایش تداخل علف‌های‌هرز موجب کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی می‌گردد (Limouchi, 2015). بخش زیادی از عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی از قبیل تعداد غده و وزن غده‌های سیب‌زمینی از مرحله گلدهی به بعد مشخص می‌گردد و وجود علف‌های‌هرز در این مراحل می‌تواند از طریق ممانعت از تشکیل و حجیم شدن غده موجب کاهش عملکرد گردد (Mohammadduost Chamanabad *et al.*, 2012). پاراکوات علف‌کشی تماسی بوده که کاربرد آن تنها موجب کنترل علف‌های‌هرز سبزشده می‌شود و نقشی در کنترل علف‌های‌هرز در مراحل بعدی ندارد. لذا، کاربرد این علف‌کش بلافاصله بعد از کاشت هر چند در کنترل علف‌های‌هرز سبز شده مؤثر می‌باشد؛ با این وجود توانایی کنترل علف‌های‌هرز را در طول فصل رشد ندارد (Bellinder *et al.*, 2000). از آن‌جایی که در پژوهش حاضر عملیات وجین‌دستی علف‌های‌هرز طی دو مرحله و به فاصله یک ماهه انجام پذیرفت، لذا عمل وجین‌دستی از یک سو موجب کاهش تراکم علف‌هرز در طی دوره رشد و نمو محصول و از سوی دیگر از طریق ممانعت از غلبه علف‌های‌هرز در جذب آب و مواد غذایی نسبت به بوته سیب‌زمینی منجر به افزایش توان رقابتی سیب‌زمینی و نهایتاً افزایش عملکرد شده است که این امر می‌تواند مزیت نسبی وجین‌دستی علف‌های‌هرز نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات را توجیه نماید.

بیشترین میزان کاهش عملکرد سیب‌زمینی در نتیجه رقابت با علف‌های‌هرز زمانی است که سیب‌زمینی دارای ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری می‌باشد. لذا، حذف علف‌های‌هرز قبل از رسیدن سیب‌زمینی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری و همچنین عاری نگه‌داشتن مزرعه از علف‌هرز پس از این مرحله می‌تواند موجب به حداقل رساندن کاهش

عملکرد در نتیجه رقابت علف‌های‌هرز باشد. بنابراین دوره بحرانی عاری از علف‌هرز برای جلوگیری از کاهش عملکرد سیب‌زمینی از زمان کاشت آغاز شده و تا ۲۵ روز پس از گلدهی ادامه می‌یابد (Ciuberkis *et al*., 2007). اثرات کشت مخلوط بر عملکرد غده سیب‌زمینی بسته به نوع گیاه همراه، زمان کاشت دو گیاه و ترکیب کشت می‌تواند متفاوت باشد؛ به‌طوری‌که عملکرد غده سیب‌زمینی در کشت مخلوط با بادام زمینی افزایش و در کشت مخلوط با ذرت کاهش یافت. در مورد اهمیت زمان کاشت نیز می‌توان به تأثیر مثبت ذرت هیبرید بر افزایش عملکرد سیب‌زمینی در صورت کاشت یک ماه زودتر سیب‌زمینی نسبت به ذرت (Begum *et al*., 2016)، اشاره نمود. در سیستم کشت مخلوط به‌دلیل توزیع بهتر نور در کانوپی، توزیع فضایی مناسب بوته‌ها و کاهش رقابت بین بوته‌ها برای استفاده از عوامل محیطی، عملکرد افزایش می‌یابد (Mobasser *et al*., 2018). افزایش تعداد انشعاب و تعداد برگ در بوته منجر به افزایش سطح فتوسنتزی گیاه و تولید و تخصیص بیشتر ماده فتوسنتزی به غده‌ها شده که نهایتاً منتج به افزایش عملکرد غده در بوته نسبت به کشت خالص می‌گردد (Nasrollahzadeh-Asl *et al*., 2012). افزایش عملکرد در سیستم کشت مخلوط با استفاده از کاشت گیاهان دارای تنوع در سیستم ریشه‌دهی، ساختار کانوپی، ارتفاع و نیازهای غذایی مبتنی بر استفاده تکمیلی منابع غذایی توسط محصولات مکمل، حاصل می‌گردد (Lithourgidis *et al*., 2011).

تأثیر منفی دمای بالای سطح خاک بر عملکرد سیب‌زمینی گزارش شده است (Liao *et al*., 2016)، و از سوی دیگر، کارایی استفاده از تشعشعی که منجر به تولید ماده خشک سیب‌زمینی می‌گردد، ارتباط عمده‌ای با دمای خاک و محتوای رطوبت آن دارد (Rykaczewska, 2015). از این‌رو، افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی همراه با افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط می‌تواند ناشی از پوشش بیشتر سطح خاک و سایه‌اندازی در نتیجه افزایش تراکم بوته کینوا باشد که منجر به کاهش دمای خاک و تبخیر از سطح خاک شده که نهایتاً باعث بهبود شرایط رشد بوته‌ها و عملکرد سیب‌زمینی در تراکم‌های بالای کشت مخلوط با کینوا (در مقایسه با تراکم‌های پایین) شده است. در این مورد، کشت مخلوط سیب‌زمینی با دو نوع لگوم (لوبیا لیما (*Phaseolus lunatas* L.) و گیاه (*Lablab purpureous* L.) منجر به کاهش ۷/۳ درجه سلسیوس دمای خاک (در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)، افزایش ۳۸ درصدی در محتوای رطوبتی خاک، و افزایش ۵۶ تا ۷۳ درصدی کارایی مصرف تشعشع گردید (Nyawade *et al*., 2019). در مجموع به‌نظر می‌رسد افزایش میزان تولید محصول در سیستم چند کشتی در مقایسه با تک‌کشتی، به وجود اختلاف‌های مورفولوژیک و نیازهای غذایی متفاوت گیاهان و در پی آن بهره‌گیری بهتر از عوامل محیطی (نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک) مرتبط می‌باشد. تفاوت مشاهده شده در میزان عملکرد غده در سطوح مختلف تراکم کاشت سیب‌زمینی و کینوا به‌دلیل تغییر در تعداد ساقه، تعداد غده در هر بوته و متوسط وزن غده باشد. هرچند تعداد غده کمی در کشت مخلوط با تراکم ۳۰:۵ بوته در مترمربع تشکیل شده بود. با این وجود افزایش سهم هر غده از مواد فتوسنتزی موجب افزایش اندازه و میانگین وزن غده‌ها گردید. به‌طوری‌که افزایش

اندازه و وزن غده در این تیمار توانست مانع از تأثیر منفی تعداد کم غده در بوته بر کاهش عملکرد کل سیب‌زمینی گردد. از سوی دیگر، با وجود اینکه میانگین وزن غده در تیمار ۵:۲۰ به مراتب کمتر از تیمار ۵:۳۰ بوته در مترمربع بود، ولی بیشتر بودن تعداد غده در تیمار ۵:۲۰ موجب گردید که بیشترین میزان عملکرد در این تیمار حاصل گردد.

عملکرد غده‌های بازارپسند: اثرات مدیریت علف‌هرز، الگوی کشت و برهمکنش‌های دوگانه تیمارهای مکان × الگوی کشت و مدیریت علف‌هرز × الگوی کشت و برهمکنش سه‌گانه آنها بر عملکرد غده‌های بازارپسند سیب‌زمینی معنی‌دار بود (جدول ۲). وجین‌دستی علف‌های هرز تأثیر مثبت و معنی‌داری بر این شاخص نسبت به تیمارهای کاربرد علف‌کش پاراکوات و عدم کنترل علف‌های‌هرز (شاهد) داشت. انجام عمل وجین‌دستی علف‌هرز به‌ترتیب موجب افزایش ۹/۸ و ۷۲ درصدی در بازارپسندی غده سیب‌زمینی نسبت به تیمارهای کاربرد علف‌کش و عدم کنترل علف‌های‌هرز (شاهد) گردید (جدول ۴). براساس نتایج داده‌های مقایسه میانگین اثر اصلی الگوی کشت، افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط منجر به افزایش عملکرد غده‌های بازارپسند سیب‌زمینی گردید. به‌طوری‌که بیشترین میزان این شاخص (۳/۱۵ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار کشت مخلوط ۵:۳۰ حاصل شد (جدول ۵). دلیل احتمالی این موضوع می‌تواند تعداد غده کم تشکیل شده در این تیمار (کشت مخلوط ۵:۳۰) نسبت به بقیه تیمارها باشد (جدول ۵)، که موجب تخصیص بیشتر مواد حاصل از فتوسنتز به غده‌ها و در نتیجه افزایش اندازه و وزن غده و بهبود عملکرد غده‌های بازارپسند سیب‌زمینی شده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین میزان عملکرد غده‌های بازارپسند سیب‌زمینی (به‌میزان ۴/۰۱ و ۳/۹۷ کیلوگرم در مترمربع) به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع و کشت خالص تحت شرایط وجین‌دستی علف‌های‌هرز در کهنوج حاصل گردید (شکل ۷). کنترل علف‌های‌هرز از طریق وجین‌دستی علف‌هرز و کاربرد علف‌کش پاراکوات تأثیر مثبتی بر میزان عملکرد غده‌های بازارپسند داشت. در این ارتباط، بررسی اثر زمان و تداخل علف‌های‌هرز بر عملکرد و خصوصیات رشدی سیب‌زمینی بیانگر افزایش درصد غده‌هایی با وزن ۲۵ تا ۷۵ گرم و بالاتر تحت شرایط عاری بودن مزرعه از علف‌های‌هرز در تمام طول فصل رشد بود. درحالی‌که میزان ضایعات سیب‌زمینی (درصد غده‌های کوچک‌تر از ۲۵ گرم) در شرایط عدم کنترل علف‌های‌هرز در تمام طول فصل رشد به شدت بالا بود و دلیل آن مرتبط با تأثیر علف‌های‌هرز در اواسط دوره رشد بر غده‌بندی سیب‌زمینی ذکر شده است (Ghafouri *et al.*, 2013). افزایش عملکرد غده‌های بازارپسند سیب‌زمینی در نتیجه کنترل علف‌های‌هرز می‌تواند بدین دلیل باشد که وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش در مرحله‌ی سبزشدن سیب‌زمینی موجب ممانعت از غالب‌شدن علف‌های هرز در جذب آب و عناصر غذایی شده و باعث افزایش توان رقابتی سیب‌زمینی گردید که این امر موجب جذب منابع غذایی در دسترس و تخصیص این مواد به گیاه سیب‌زمینی و نهایتاً انتقال آنها به غده‌ها و افزایش اندازه غده و بازارپسندی آنها شده باشد. لازم به ذکر است که با افزایش تراکم بوته کینوا از ۱۵ به ۳۰ بوته در مترمربع در کشت مخلوط با سیب‌زمینی، میزان عملکرد کینوا روند افزایشی را نشان داد؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد

کینوا به میزان ۴۸۶۳ کیلوگرم در هکتار در کشت مخلوط با تراکم ۳۰ بوته کینوا در مترمربع به‌دست آمد، در حالی‌که میزان عملکرد این محصول در کشت مخلوط با تراکم ۱۵ بوته کینوا در مترمربع ۲۴۶۷ کیلوگرم در هکتار بود. از آنجایی که میزان عملکرد کل تحت تأثیر میانگین وزن بذر در بوته و تعداد بوته در واحد سطح (مترمربع) قرار می‌گیرد، بنابراین افزایش ۹۷ درصدی عملکرد کینوا در کشت مخلوط با تراکم ۳۰:۵ بوته در مترمربع نسبت به کشت مخلوط با تراکم ۱۵:۵ بوته در مترمربع، به دلیل دو برابر بودن تعداد بوته در تیمار ۳۰:۵ قابل توجیه می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر مثبت کشت مخلوط بر کاهش تراکم علف‌های هرز و بهبود شاخص‌های مختلف رشدی گیاه سیب‌زمینی، عملکرد غده و عملکرد غده‌های بازارپسند بود. همچنین، در نتیجه‌ی کشت مخلوط به‌دلیل افزایش تراکم بوته در واحد سطح و پر نمودن سریع‌تر فضا توسط گیاهان سیب‌زمینی و کینوا، به علف‌های‌هرز اجازه رشد کمتری داده شد که این امر موجب کاهش اثر منفی علف‌های‌هرز در کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به کشت خالص سیب‌زمینی گردید. کنترل علف‌های‌هرز با دو روش وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش پاراکوات موجب بهبود بیشتر صفات مورد بررسی گردید، که در این راستا انجام دو بار عمل وجین‌دستی علف‌های‌هرز در طی فصل رشد نسبت به یک مرحله کاربرد علف‌کش پاراکوات تأثیر بیشتری داشت. هر چند با افزایش تراکم بوته در واحد سطح به دلیل ایجاد رقابت بیشتر برای جذب آب، مواد غذایی، تشعشع فعال فتوسنتزی و فضا، صفات رویشی مورد بررسی روند افزایشی را نشان داد و به بیشترین میزان خود در کشت مخلوط با تراکم ۵: ۳۰ بوته در مترمربع رسید. با این وجود تعداد غده به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین اجزای عملکرد سیب‌زمینی در تراکم ۵: ۳۰ بوته در مترمربع کاهش یافت و به نظر می‌رسد که وجود فضای کافی داخل خاک در زمان تشکیل غده بر تعداد غده و عملکرد کل سیب‌زمینی بسیار تأثیرگذار می‌باشد. لازم به ذکر است که هر چند تعداد غده در تراکم ۵: ۳۰ بوته در مترمربع کاهش یافت با این وجود تعداد غده کم تشکیل شده از اندازه و وزن بسیار مناسبی برخوردار بودند. در مجموع، بهترین الگوی پیشنهادی برای کشت مخلوط سیب‌زمینی و کینوا بر اساس نتایج این تحقیق، تراکم ۲۰:۵ بوته در مترمربع می‌باشد.

جدول ۱- آمار هواشناسی مربوط به دو مکان جغرافیایی

Table 1- Meterological data at two geographic places

مکان place	ماه Month	میانگین دما Mean temperature (°C)	مجموع ساعات آفتابی در ماه Sum of monthly number of sunny hours	بارش ماهانه Monthly precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	تبخیر ماهیانه Monthly evaporation (mm)
جیرفت Jiroft	دی January	15.9	208.9	0	50.6	110.1
	بهمن February	15.0	174.7	70.6	58.4	109.1
	اسفند March	17.5	215.9	62.1	60.0	147.3
	فروردین April	25.1	227.6	55.5	43.0	212.9
کهنوج Kahnooj	دی January	17.3	238.1	1.9	52.2	125.2
	بهمن February	16.3	195.1	48.9	58.8	102.3
	اسفند March	18.4	223.5	158.5	64.8	152.8
	فروردین April	26.3	259.3	21.1	44.9	226.3

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کشت مخلوط سیب‌زمینی و کینوا بر صفات مورد ارزیابی سیب‌زمینی

Table 2- Analysis of variance of potato and quinoa intercropping on studied traits of potato

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تراکم علف‌هرز Density of weeds	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ Leaves Number	شاخص سطح برگ Leaf area index	زمان گلدهی Flowering time
مکان Place	1	119.33**	2067.40**	49.59*	0.02 ns	605.01**
بلوک داخل مکان Block (Place)	6	3.56	27.41	5.37	0.11	0.58
مدیریت علف‌هرز Weed management (A)	2	964.53**	1274.95**	687.95**	4.35**	0.51 ns
Place× A	2	1.43 ns	168.17**	42.78**	0.18 ns	1.39 ns
خطای ۱ Error 1	12	8.97	14.49	5.27	0.23	0.52
الگوی کشت Planting pattern (B)	3	751.23**	192.01**	270.70**	1.43**	0.34 ns
Place × B	3	13.99 ns	36.84*	16.87*	0.27 ns	0.26 ns
A × B	6	18.07*	18.92 ns	18.68**	0.21 ns	1.05 ns
Place × A × B	6	18.63*	17.05 ns	7.85 ns	0.11 ns	0.68 ns
خطای ۲ Error 2	54	7.24	11.64	4.75	0.24	0.89
ضریب تغییرات C.V. (%)		13.06	4.84	4.35	11.12	1.61

*، ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار.

*, ** mean significant difference at 5% and 1% level of probability, ns: non-significant.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	زمان برداشت Harvesting time	تعداد غده Number of tubers	عملکرد غده Tuber yield	عملکرد بازار پسند غده marketable tuber
مکان Place	1	1204.17**	0.26 ns	0.98 **	0.005 ns
بلوک داخل مکان Block (Place)	6	1.81	0.73	0.004	0.01
مدیریت علف‌هرز Weed management (A)	2	0.66 ns	50.54**	13.93**	19.87**
Place× A	2	3.14 ns	1.54 *	0.04 ns	0.14 ns
خطای ۱ Error 1	12	1.53	0.30	0.02	0.04
الگوی کشت Planting pattern (B)	3	1.33 ns	4.84**	0.94**	1.08**
Place × B	3	1.39 ns	4.45**	0.34**	0.66**
A × B	6	3.61 ns	2.08**	0.11 ns	0.16**
Place × A × B	6	0.57 ns	1.02 ns	0.21**	0.19**
خطای ۲ Error 2	54	1.59	0.62	0.05	0.02
ضریب تغییرات C.V. (%)		1.04	11.20	6.44	5.42

*، ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار.

*, ** mean significant difference at 5% and 1% level of probability, ns: non-significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی مکان بر صفات مورد ارزیابی سیب‌زمینی

Table 3- The effect of place on studied traits of potato

مکان place	تراکم علف‌هرز Density of weeds ($no.m^{-2}$)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ Leaves number	شاخص سطح برگ Leaf area index	زمان گلدهی Flowering time (day)	زمان برداشت Harvesting time (day)	تعداد غده Number of tubers	عملکرد غده Tuber yield ($kg.m^{-2}$)	عملکرد بازار پسند غده marketable tuber ($kg.m^{-2}$)
جیرفت Jiroft	19.48 b	65.90b	49.3 b	4.44a	61.1 a	125.29 a	7.0 a	3.59 b	2.96 a
کهنوج Kahnooj	21.71 a	75.18a	50.8 a	4.40a	56.1 b	118.21 b	7.1 a	3.79 a	2.97 a

*: میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

difference significant least*: Means with the same letters in each column are not significantly different using test at $p < 0.05$.(LSD)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی مدیریت علف‌هرز بر صفات مورد ارزیابی سیب‌زمینی

Table 4- The effect of weeds management on studied traits of potato

مدیریت علف‌هرز Weeds management	تراکم علف‌هرز Density of weeds ($no.m^{-2}$)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ Leaves number	شاخص سطح برگ Leaf area index	زمان گلدهی Flowering time (day)	زمان برداشت Harvesting time (day)	تعداد غده Number of tubers	عملکرد غده Tuber yield ($kg.m^{-2}$)	عملکرد بازار پسند غده marketable tuber ($kg.m^{-2}$)
شاهد Control	26.68 a	63.25b	44.8 c	4.01 b	58.59 a	121.88 a	5.7 c	2.94 c	2.07 c
علف‌کش Herbicide	19.09 b	74.19a	51.7 b	4.52 a	58.75 a	121.59 a	7.4 b	3.94 b	3.25 b
وجین‌دستی Manual weeding	16.01 c	74.17a	53.6 a	4.72 a	58.50 a	121.78 a	8.1 a	4.19 a	3.57 a

*: میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

*: Means with the same letters in each column are not significantly different using least significant difference (LSD) test at $p < 0.05$.

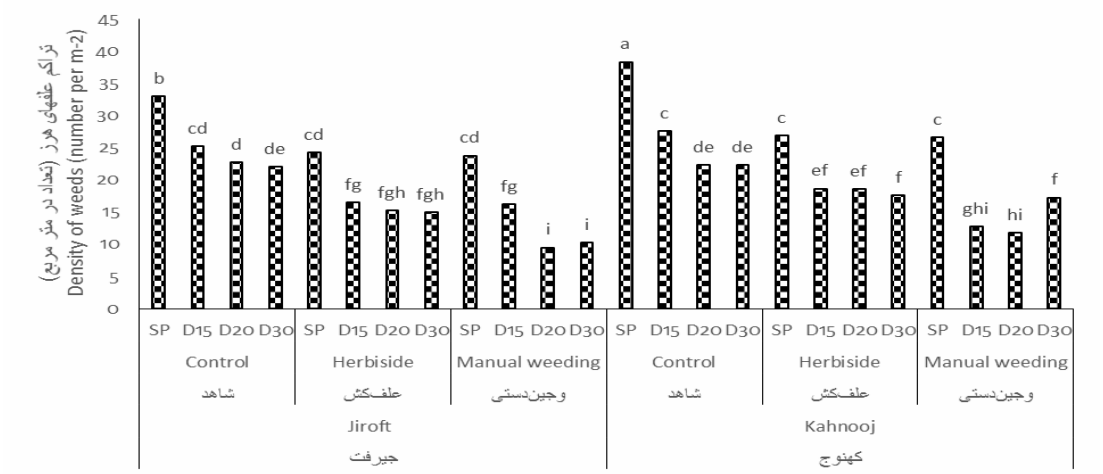
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی الگوی کشت بر صفات مورد ارزیابی سیب‌زمینی

Table 5- The effect of planting pattern on studied traits of potato

الگوی کشت Planting pattern	تراکم علف‌هرز Density of weeds ($no.m^{-2}$)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ Leaves number	شاخص سطح برگ Leaf area index	زمان گلدهی Flowering time (day)	زمان برداشت Harvesting time (day)	تعداد غده Number of tubers	عملکرد غده Tuber yield ($kg.m^{-2}$)	عملکرد بازار پسند غده marketable tuber ($kg.m^{-2}$)
کشت خالص سیب‌زمینی Solo potato	28.80 a	66.9 c	45.7 d	4.11 c	58.46 a	121.92 a	7.0 b	3.78 a	3.01 b
سیب‌زمینی: کینوا ۱۵:۵ potato: quinoa 5:15	19.48 a	69.7 b	49.3 c	4.34 bc	58.58 a	121.90 a	7.2 ab	3.46 c	2.66 c
سیب‌زمینی: کینوا ۲۰:۵ potato: quinoa 5:20	16.69 c	72.6 a	51.9 b	4.60 ab	58.71 a	121.42 a	7.5 a	3.61 b	3.04 b
سیب‌زمینی: کینوا ۳۰:۵ potato: quinoa 5:30	17.40 c	73.0 a	53.3 a	4.63 a	58.70 a	121.75 a	6.5 c	3.91 a	3.15 a

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different using least significant difference (LSD) test at $p < 0.05$.

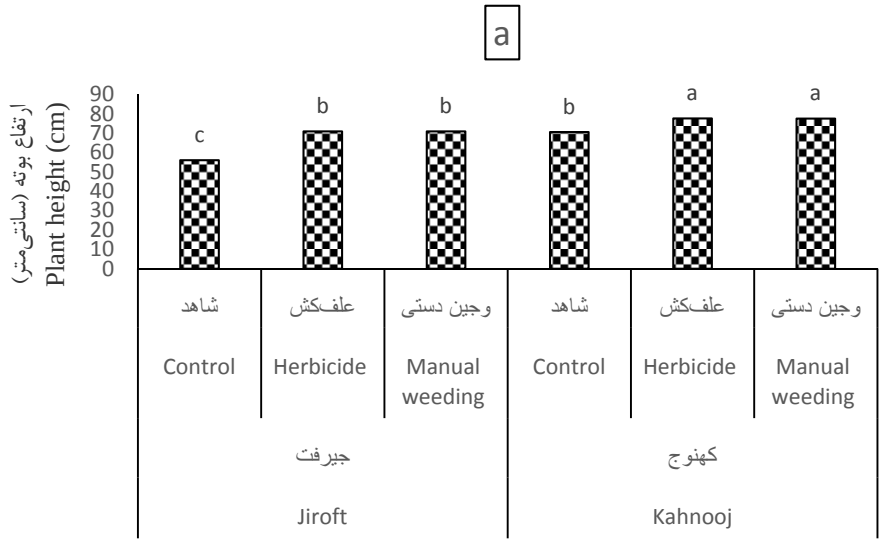


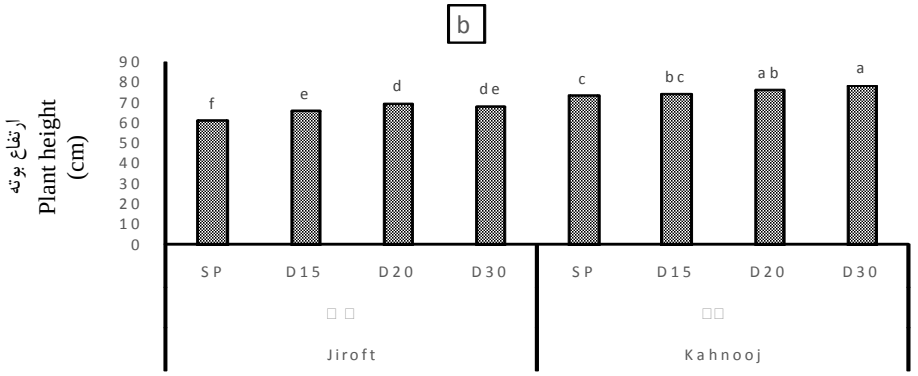
شکل ۱- برهمکنش مدیریت علف‌هرز و الگوی کشت بر تراکم علف‌هرز در زمان گلدهی سیب‌زمینی در دو منطقه جیرفت و کهنوج

Figure 1- The interaction effect of weeds control and planting pattern on weeds density in the potato flowering time in Jiroft and Kahnooj regions.

*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. حروف SP: کشت خالص سیب‌زمینی و حروف D15، D20 و D30 به‌ترتیب الگوهای کشت مخلوط سیب‌زمینی: کینوا: با تراکم‌های ۱۵:۵، ۲۰:۵ و ۳۰:۵ بوته در مترمربع می‌باشند.

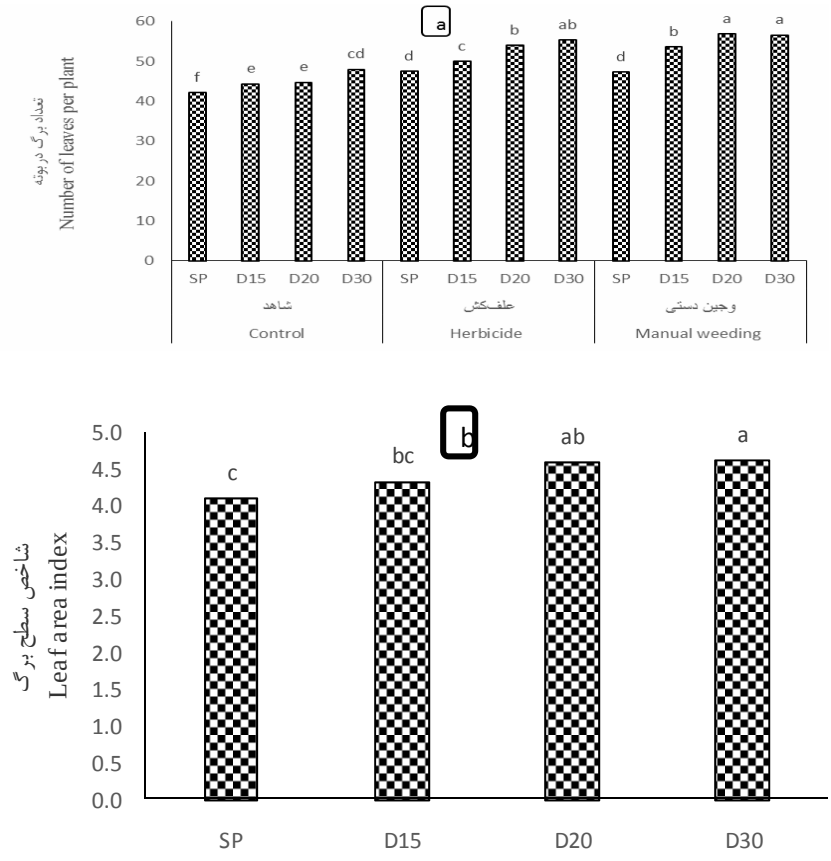
Means with the same letter are not significantly different according to LSD test at $p<0.05$. SP: potato sole cropping and D15, D20 and D30 letters are intercropping patterns of potato: quinoa at densities of 5:15, 5:20 and 5:30 plants per m^{-2}, respectively.





شکل ۲- اثرات برهمکنش مکان و مدیریت علف‌هرز (a) و برهمکنش مکان و الگوی کشت (b) بر ارتفاع بوته

Figure 2- The interaction effects of place and weed management (a) and place and planting pattern (b) on plant height

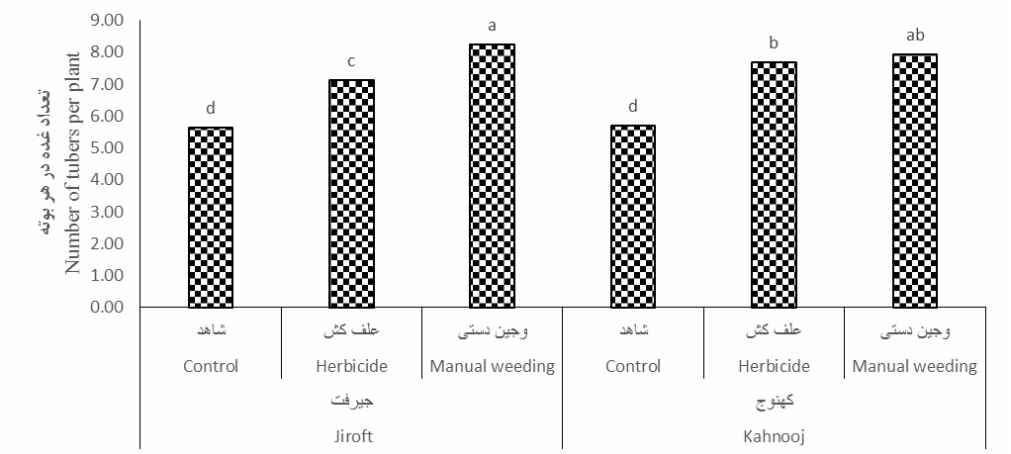


شکل ۳- برهمکنش اثر مدیریت علف‌هرز و الگوی کشت بر تعداد برگ در بوته (a) و اثر الگوی کشت بر شاخص سطح برگ (b)

Figure 3- The interaction effect of weed management and planting pattern on number of leaves per plant (a) and effect of planting pattern on leaf area index (b).

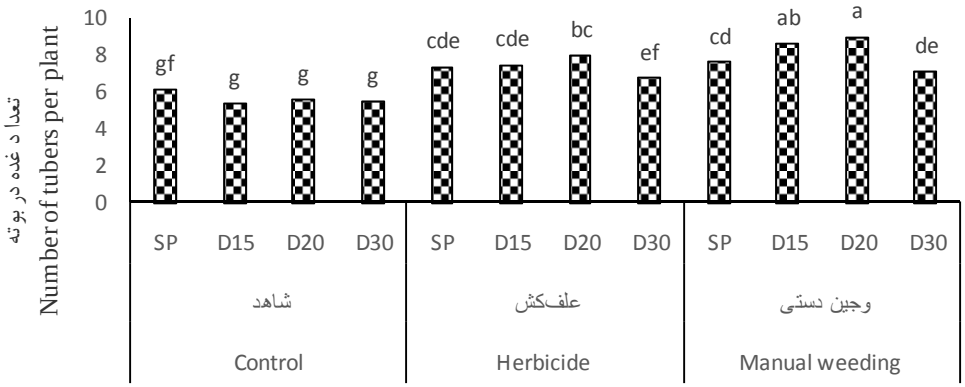
*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. SP: کشت خالص سیب‌زمینی و حروف D15، D20 و D30 به‌ترتیب الگوهای کشت مخلوط سیب‌زمینی: کینوا با تراکم‌های ۱۵:۵، ۲۰:۵ و ۵: ۳۰ بوته در مترمربع می‌باشند.

Means with similar letters are not significantly different according to LSD test at $p<0.05$. SP: potato sole cropping and D15, D20 and D30 letters indicate intercropping patterns of potato: quinoa at densities of 5:15, 5:20 and 5:30 plants per m^{-2}, respectively.



شکل ۴- برهمکنش مکان و مدیریت علف‌هرز بر تعداد غده در هر بوته

Figure 4- The interaction of place and weeds management on number of tubers per plant

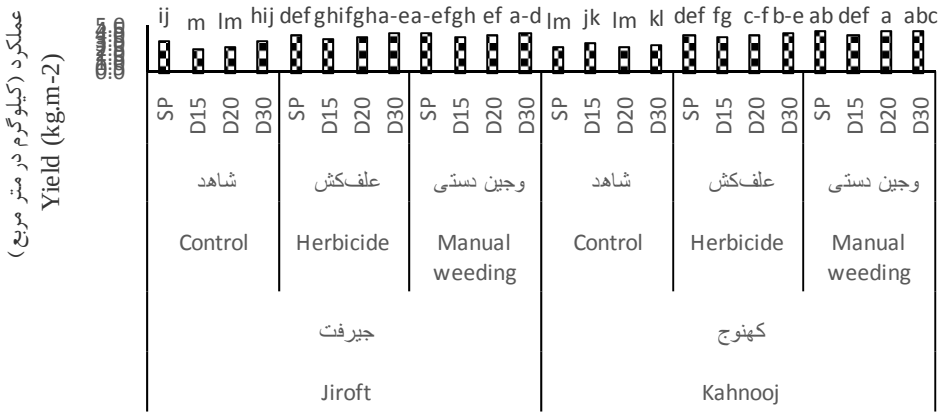


شکل ۵- برهمکنش مدیریت علف‌هرز و الگوی کشت بر تعداد غده در بوته

Figure 5- The interaction of weed management and planting pattern on number of tubers per plant

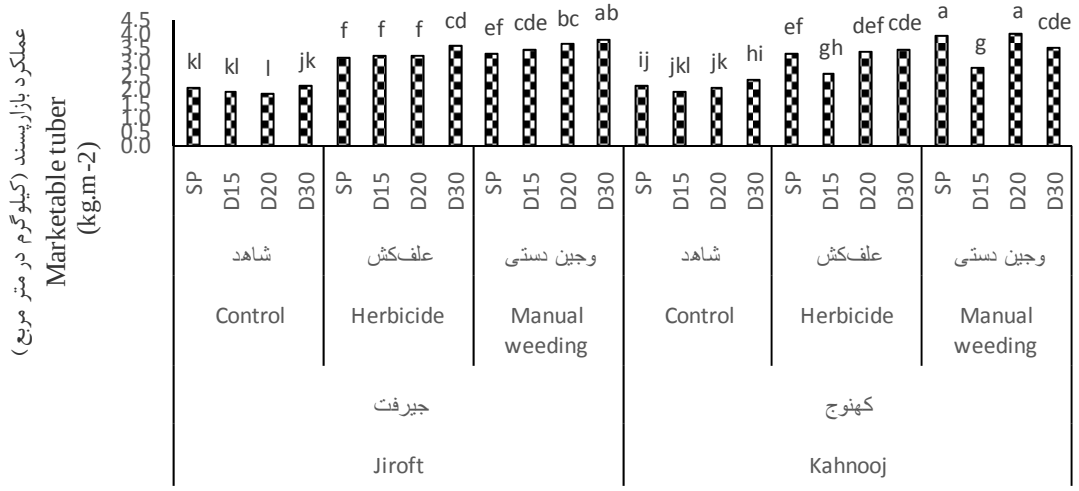
*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. حروف SP: کشت خالص سیب‌زمینی و حروف D15، D20 و D30 به‌ترتیب الگوهای کشت مخلوط سیب‌زمینی: کینوا با تراکم‌های ۱۵:۵، ۲۰:۵ و ۵: ۳۰ بوته در مترمربع می‌باشند.

. Means with similar letters are not significantly different according to LSD test at $p<0.05$. SP: potato sole cropping and D15, D20 and D30 letters are intercropping patterns of potato: quinoa at densities of 5:15, 5:20 and 5:30 plants per m^{-2}, respectively.



شکل ۶- برهمکنش **مکان**، مدیریت علف‌هرز و الگوی کشت بر عملکرد غده

Figure 6- The interaction of place, weed management and planting pattern on tubers yield



شکل ۷- برهمکنش کشت، مدیریت علف‌هرز و الگوی کشت بر عملکرد بازارپسند غده

Figure 7- The interaction of place, weeds management and planting pattern on marketable tubers.

*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. حروف SP: کشت خالص سیب‌زمینی و حروف D15، D20 و D30 به‌ترتیب الگوهای کشت مخلوط سیب‌زمینی: کینوا با تراکم‌های ۵:۱۵، ۵:۲۰ و ۵: ۳۰ بوته در مترمربع می‌باشند.

. Means with similar letters are not significantly different according to LSD test at $p<0.05$. SP: potato sole cropping and D15, D20 and D30 letters are intercropping patterns of potato: quinoa at densities of 5:15, 5:20 and 5:30 plants per m^{-2}, respectively.

References منابع مورد استفاده

- Adeniyan, O.N., S.R. Akande, M.O. Balogun, and J.O. Saka. 2007. Evaluation of crop yield of African yam bean, maize and kenaf under intercropping systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environment Science*. 2(1): 99-102.
- Ahmadvand, G., and S. Hajinia. 2016. Ecological aspects of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). *Journal of Agroecology*. 7(4): 485-498.
- Amini, R., A. Dabbagh Mohammadi-Nasab, and S. Ghorbani Faal. 2016. Using physical, cultural and chemical methods in integrated weed management of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 25 (4): 105-118. (In Persian).
- Anderson, R.L. 2005. A multi-tactic approach to manage weed population dynamics in crop rotations. *Agronomy Journal*. 97(6): 1579-1583.
- Anonymous. 2019. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, PopulationDivision. World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423).
- Begum, A.A., M.S.U. Bhuiya, S.M.A. Hossain, A. Khatun, S.K. Das, and M.Y. Sarker. 2016. System productivity of potato+ maize intercropping as affected by sowing date. *Bangladesh Agronomy Journal*. 19(2): 11-20.
- Bellinder, R.R., J.J. Kirkwyland, W.W. Russel, and J.B. Colquhoun. 2000. Weed control and potato (*Solanum tuberosum*) yield with banded herbicides and cultivation. *Weed Technology*. 14: 30-35.
- Bibi, S., I.A. Khan, Z. Hussain, S. Zaheer, H. Alsamadany, and Y. Alzahrani. 2020. Performance of mungbean under herbicide application and intercropping with maize. *Pakistan Journal of Botany*. 52(3): 873-877.
- Biswas, U., A. Kundu, A. Labar, M.K. Datta, and C.K. Kundu. 2017. Bio-efficacy and phytotoxicity of 2, 4-D Dimethyl Amine 50% SL for weed control in potato and its effect on succeeding crop greengram. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(11): 1261-1267.
- Ciuberkis, S., S. Bernotas, S. Raudonius, and J. Felix. 2007. Effect of weed emergence time and intervals of weed and crop competition on potato yield. *Weed Technology*. 21(1): 213-218.
- Den Hollander, N.G., L. Bastiaans, and M.J. Kropff. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design: I. Characteristics of several clover species. *European Journal of Agronomy*. 26(2): 92-103.
- Ghafouri, A., M. Zahedi, and H. Karimmojeni. 2013. Time and duration of weed interference on yield and growth characteristics of the potato furrow and drip irrigation methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 44(3): 517-528. (In Persian).
- González, J.A., S.S. Eisa, S.A.E.S. Hussin, and F.E. Prado. 2015. Quinoa: an Incan crop to face global changes in agriculture. In: Murphy, K., and J. Matangiihan.

Quinoa: Improvement and Sustainable Production, John Wiley and Sons, Inc. p 1-18.

- Hatfield, J.L., and J.H. Prueger. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*. 10: 4-10.
- Jamshidi, K., D. Mazaheri, and J. Saba. 2007. An evaluation of yield in intercropping of maize and potato. *Desert*. 12: 105 - 111.
- Javanmard, A., J. Arzheh, A. Dabbagh Mohammadi Nasab, and T. Ezan. 2015. Evaluation of different intercropping patterns of forage sorghum (*Sorghum bicolor*) and vetch (*Vicia villosa*) different nitrogen fertilizer levels. *Research in Field Crops*. 2(2): 1-20. (In Persian).
- Keyhani, A., and A. Saneinjad. 2015. Growth and yield response to different nitrogen levels potato plant. *Journal of Crops Improvement*. 17(3): 583-593. (In Persian).
- Khatami, A., M.T. Alebrahim, M. Mohebodini, and R. Majd. 2017. Evaluating rimsulforon efficiency on controlling weeds in potato at different growth stages. *Journal of Plant Production*. 31(1): 152-165. (In Persian).
- Liao, X., Z. Su, G. Liu, L. Zotarelli, Y. Cui, and C. Snodgrass. 2016. Impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. *Agricultural Water Management*. 165: 230-236.
- Liebman, M., C.L. Mohler, and C.P. Staver. 2004. Ecological management of agricultural weeds. Cambridge University Press, 532 pp.
- Limouchi, K. 2015. Effect of different row spacings and weed interference on tuber yield and other agricultural traits of potato at the conditions of Khuzestan province. *Applied Filed Crops Researches*. 28(3): 99-106.
- Lithourgidis, A.S., C.A. Dordas, C.A. Damalas, and D. Vlachostergios. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*. *5*(4): 396-410.
- Lowry, C.J., and R.G. Smith. 2018. Weed control through crop plant manipulations. In: Jabran, K., and B.S. Chauhan, Non-Chemical Weed Control. pp. 73-96.
- Mobasser, H.R., S.H. Barjasteh, and A. Keshtehgar. 2018. Effect of replacement and additive intercropping on the yield of maize (*Zea mays* L.) and potatoes (*Solanuum tuberosum* L.) in the region of Nikshahr. *Journal of Agroecology*. 10(2): 400-415. (In Persian).
- Mohammadduost Chamanabad, H.R., A. Asghari, Gh.R. Habibi, and B. Pourmorad Kaleibar. 2012. Effect of herbicides and crop residue on integrated weed control in potato. *Journal of Crop Production*. 4 (1): 171-178. (In Persian).
- Mondani, F., F. Golzardi, G. Ahmadvand, R. Ghorbani, and R. Moradi. 2011. Influence of weed competition on potato growth, production and radiation use efficiency. *Notulae Scientia Biologicae*. 3(3): 42-52.
- Monteiro, A., I. Henriques, and I. Moreira. 2011. Critical period for weed control in potatoes in the Huambo province (Angola). *Planta Daninha*. 29(2): 351-362.
- Nasrollahzadeh-Asl, A., A. Dabbag Mohammadi nassab, S. Zehtab Salmasi, M. Mogaddam, and A. Javanshir. 2012. Evaluation of potato and pinto bean intercropping. *Journal of Crop Ecophysiology*. 6(2): 111-126. (In Persian).

- Nyawade, S.O., N.N. Karanja, C.K.K. Gachene, H.I. Gitari, E. Schulte- Geldermann, and M. Parker. 2019. Intercropping optimizes soil temperature and increases crop water productivity and radiation use efficiency of rainfed potato. *American Journal of Potato Research.* 96: 457-471.
- Raei, Y., S.A. Bolandnazar, and N. Dameghsi. 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 2: 131-142.
- Rezvani Moghadam, P., M.R. Raoofi, M.H. Rashed Mohassel, and R. Moradi. 2009. Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek), black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. *Agroecology Journal*. 1(1): 65-79. (In Persian).
- Rykaczewska, K. 2015. The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. *American Journal of Potato Research.* 92: 339- 349.
- Schippers, P., and M.J. Kropff. 2001. Competition for light and nitrogen among grassland species: a simulation analysis. *Functional Ecology*. 155-164.
- Singh, C., P. Singh, and R. Singh. 2013. Modern techniques of raising field crops. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd. New Delhi. pp. 501.
- Taei-Semiromi, J., V. Mirbagheri, I. Amiri, and Z. Azami. 2017. Agro climatic suitability assessment of potato (*Solanum tuberosum*) winter cropping system in Kerman province. *Journal of Crop Production*. 10(1): 95-113. (In Persian).
- Tester, M., and P. Langridge. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*. 327: 818–822.
- Zimdahl, R.L. 2007. Weed-crop competition, a review. Oregon: International Plant Protection Center, Oregon State University. 196 pp.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.687072

Effect of Potato (*Solanum tubersum* L.) and Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) Intercropping and Weed Management on Yield and Quantitive Traits of Potato

Mohammad Jalali[1], Seyed Vahid Eslami[2*], Sohrab Mahmoodi[2], and Ahmad Aein[3]

Received: November 2020 , Revised: 10 March 2021, Accepted: 11 May 2021

Abstract

To evaluate the additive effect of intercropping of potato and quinoa, and weed management on yield and quantitive traits of potato, this study was conducted in a split plot experiment based on randomized complete block design (RCBD) with four replications at Jiroft and Kahnooj regions. Weed management treatments (control, without controlling weeds), paraquat herbicide (3 liter per hectare) and manual weeding, were considered as the main plot, and additive intercropping patterns (potato: quinoa in density levels of 5:15, 5:20 and 5:30 plants.m^{-2}) and potato sole cropping (5 plants.m^{-2}) were assigned to sub-plots. Based on the results, intercropping cultivation had significant effects on reducing weed densities and increasing plant height, leaves number per plant, leaf area index, tuber number per plant, tuber yield and marketable tuber yield. Increased densities of quinoa in intercropping cultivation caused an enhancing trend in potato plant height (4.2-9.1 %), leaves number per plant (7.9-16.6 %) and leaf area index (5.6-12.7 %) as compared to potato sole cropping treatment (control). Manual weeding, also decreased in weed density (16.1 %), and increased leaves number per plant (3.7 %), tuber number per plant (9.4 %), tuber yield (6.3 %) and marketable tuber yield (9.8 %) in comparison to that of paraquat herbicide treatment. The highest mean tuber number (7.5 number.plant^{-1}) was observed in the 5:20 intercroping treatment, which resulted in 7.1% increase in the tuber number as compared with the control treatment. Highest tuber yield (4.54 kg.m^{-2}) and marketable tuber yield (4.01 kg.m^{-2}) were also obtained with the 5:20 intercroping treatment under manual weeding at Kahnooj region, and resulted in 69.4 and 20 % increases in tuber yield and marketable tuber yield respectively, as compared with the potato sole cropping without weeding (control treatment) in this region. Generaly, the best results were obtained in potato and quinoa intercropping with density of 5:20 plants.m^{-2} under manual weeding at Kahnooj region.

Key words: Herbicide, manual weeding, tuber marketable, tuber number.

1- Ph.D student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.
2- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.
3- Assistant professor, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran.
**Corresponding Author: sveslami@birjand.ac.ir*