نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۱(۶۱)، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۱۳۲-۱۱۵

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1936820.1822

تاثیر کاربرد نسبت نانو کلات‌های روی و آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

علیرضا خالصی[۱]، غلامرضا افشارمنش[۲*] و محمد حسن شیرزادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۷

چکیده

اثر کاربرد نسبت نانو کلات‌روی و آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی طی آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل و در سه تکرار در دو سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷ و ۹۹- ۱۳۹۸ درشهرستان رودبار از توابع جنوب استان کرمان بررسی گردید. تیمارها شامل کشت مخلوط ذرت و لوبیا در پنج سطح (۱۰۰ درصد لوبیا، ۷۵ درصد لوبیا + ۲۵ درصد ذرت، ۵۰ درصد لوبیا + ۵۰ درصد ذرت، ۲۵ درصد لوبیا + ۷۵ درصد ذرت، و ۱۰۰ درصد ذرت) و کاربرد نانوکلات آهن و روی در چهار سطح (نانو کلات آهن، نانو کلات روی، نانو کلات آهن + نانو کلات روی و شاهد) بودند. صفات اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش شامل تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت بودند. نتایج نشان داد اثر نسبت کاشت مخلوط ذرت و لوبیا بر روی تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه معنی‌دار بود. اثر متقابل نسبت‌های مختلف کاشت و نانو کلات بر تعداد دانه در بلال عملکرد دانه معنی‌دار و بر سایر صفات غیرمعنی‌دار بودند. بیشترین تعداد دانه در بلال (۷۰۷/۸ عدد)، عملکرد دانه (۱۲۷۸۷ کیلوگرم در هکتار) و وزن هزار دانه ذرت (۲۵۳ گرم) در کشت مخلوط با نسبت ۲۵ درصد لوبیا + ۷۵ درصد ذرت به دست آمد. همچنین، بیشترین شاخص برداشت (۵۲ درصد) از کشت خالص به‌دست آمد. کاربرد همزمان نانو کلات آهن و روی باعث افـزایش ویژگی‌های کمّی و کیفی ذرت شد. بیشترین میزان پروتئین (۲۲/۳ درصد) در کشت مخلوط ۲۵ درصد لوبیا و ۷۵ درصد ذرت با کاربرد نانوکلات روی حاصل شد. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین (کل) (۲/۱۲) در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت و کاربرد آهن و روی با هم برآورد گردید و کمترین آن (۱/۵۷) مربوط به تیمار کشت مخلوط با نسبت ۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت و کاربرد روی بود. در نهایت بالاترین عملکرد دانه ذرت ۱۲۹۹۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت و کاربرد آهن و روی بدست آمد.

واژگان کلیدی: ذرت، کشت مخلوط، لوبیا چشم بلبلی، نانو کلات آهن، نانو کلات روی.

۱- دانشجوی دکترای زراعت، واحد جیرفت، دانشگاه آزاد اسلامی، جیرفت، ایران.

۲- دانشیار مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، جیرفت، ایران.

۳- استادیار گروه اگروتکنولوژی، واحد جیرفت، دانشگاه آزاد اسلامی، جیرفت، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول gh.afshar137@gmail.com

مقدمه

کارایی مصرف عناصر در کودهای شیمیایی معمولی بسیار کم است و از سویی مصرف این نوع کودها با آلودگی زیست محیطی همراه می‌باشد. نانوتکنولوژی با معرفی محصولات کشاورزی هوشمند راه حل غلبه بر این مشکلات است. نانو کودها با افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش تلفات کود و هزینه کشت و کار ابزار مهمی در بهبود رشد، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی هستند. این کودها از طریق کوتیکول جذب شـده و به‌طور کنترل شده در محل آزاد می‌شوند (Mahil and Kumar, 2019). نانو کودها آسان جذب گیاه شده و از کودهای شیمیایی کارامدتر هستند. این ذرات با محیط زیست سازگار بوده، شوری خاک را تعدیل و باعث بهبود کیفیت خاک می‌شوند (Mazaherinia *et al.*, 2010). در گندم گزارش شده است که مقدار مصرفی نانو کود روی در مقایسه با سولفات روی معمولی ۱۰ برابر کمتر است (Dapkekar *et al.*, 2018). استفاده از کودهای نانو سبب بهبود عملکرد کمی و کیفی لوبیا چشم بلبلی (Sabeki *et al.*, 2018)، ذرت (Farina and Omidi, 2015) در مقایسه با شاهد می‌شود. مصرف کلات آهن به صورت محلول‌پاشی، عملکرد دانه ذرت را از۵۲۹۴ کیلوگرم در هکتار به ۶۹۷۸ کیلوگرم در هکتار افـزایش داد (Yaghoobi *et al.*, 2019). با محلول‌پاشی ۳ در هزار آهن و ۸ در هزار روی، عملکرد غده سیب‌زمینی از ۳۶/۴۳ تن در هکتار در شرایط شاهد به ۴۸/۱۰ تن در هکتار افزایش یافت (Jam *et al.*, 2016). کاربرد توأم کود آهن و روی با غلظت ۵ هزار و کاربرد جداگانه آهن و روی با غلظت ۲/۵ در هزار بیشترین وزن صد دانه را در ذرت داشت (Yousef pour and Farajzadeh, 2018).

عناصر کم‌مصرف برای رشد طبیعی گیاهان مورد نیاز بوده و ضمن مشارکت در ساختار بعضی از اندامک‌ها، در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه دخالت دارند (Ravi *et al.*, 2008). در این بین آهن برای تشکیل کلروفیل و انجام فتوسنتز ضروری است و کمبود آن به شدت میزان تولید آسیمیلات‌ها را کاهش می‌دهد (Pirzad and Shokrani, 2012). عنصر روی نیز به‌عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها و یا به‌صورت کوفاکتور عمل می‌کند. عنصر روی برای ساخت RNA، DNA، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، روغن‌ها و پروتئین‌ها (ساختمان ریبوزوم) استفاده می‌شود (Saha *et al.*, 2015).

یکی از موفق‌ترین سیستم‌های کشت مخلوط سیستمی است که در آن بقولات در مخلوط با یک گیاه غیربقـولات کشـت شـده و دراغلب حالات سبب برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌شود که دلیل آن توانایی تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفری توسط بقـولات است (Bedoussac *et al.*, 2015). کشت مخلوط محصولات با افزایش کارایی مصرف منابع و افزایش عملکرد محصول از طریق بهره‌برداری مکمل گونه‌ها، فشار بر منابع زمین و آب را کاهش می‌دهد (Yu *et al.*, 2019). مشخص شده است که در سیستم‌های کشت مخلوط نخود و گندم (Pelzer *et al.*, 2012)، ذرت و بادام‌زمینی (Li *et al.*, 2016) کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی از نظر اقتصادی روش مؤثرتری در بهره‌برداری کارا، پایدار و دوستدار طبیعت از منابع است. نتایج آزمایش تیتونل و همکاران (Tittonell *et al.*, 2007) نشان داد که سیستم‌های کشت مخلوط

ذرت و لوبیا در برابر سیستم‌های تک‌کشتی عناصر غـذایی را با کارایی بیشتری مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند.

با توجه به اهمیت مصرف نانوکودهای آهن و روی در بهبود عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی، و از آنجا که کشت مخلوط بخشی از برنامه تناوب زراعی برای رسیدن به اکوسیستم‌های پایدار زراعی است، این تحقیق به منظور بررسی اثر محلول پاشی کلات‌های آهن و روی بر عملکرد و برخی شاخص‌های ارزیابی محصول ذرت در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی در راستای اهداف کشاورزی پایدار اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در شهرستان رودبار جنوب با مختصات جغرافیایی ۲۸,۲۲ درجه شمالی، ۵۸,۹ درجه شرقی با آب و هوای گرم و خشک اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار اجرا شد. تیمارها عبارت بودند از الف- کشت مخلوط ذرت و لوبیا در پنج سطح (۱۰۰ درصد لوبیا و ۷۵ درصد لوبیا + ۲۵ درصد ذرت و ۵۰ درصد لوبیا + ۵۰ درصد ذرت و ۴- ۲۵ درصد لوبیا + ۷۵ درصد ذرت و ۵- ۱۰۰ درصد ذرت) و ب- نانوکلات آهن و روی در چهار سطح (نانو کلات آهن و نانو کلات روی و نانو کلات آهن + نانو کلات روی و شاهد (عدم مصرف نانوکلات).

قبل از اجرای آزمایش دو نمونه مرکب خاک از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری پروفیل خاک جهت انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک تهیه و بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) در ذرت کود سوپرفسفات تریپل، سولفات پتـاسیم و یک سـوم کود اوره همزمان با کاشت به‌صورت نواری در ردیف‌های کشت توزیع شد. باقیمانده کود اوره به‌صورت سرک یک سوم در مرحله ۶ برگی و یک سوم هنگام ظهور گل آذین نر مصرف شد. در لوبیا چشم بلبلی ۵۰٪ از کود اوره و تمامی کود سوپرفسفات تریپل و کود سولفات پتاسیم همزمان با کاشت در زیر بذر و باقیمانده کود اوره در سه نوبت۲۰ روز، ۳۰ روز و ۴۰ روز پس از کاشت به‌صـورت سـرک بین ردیف‌های کشت توزیع شد. تاریخ کاشت برای هر دو محصول ۱۰ مرداد ماه بود. هیبرید ذرت کرج ۷۰۳ (هیبرید دیررس ذرت که در هر بوته یک بلال تولید می‌کند) و رقم محلی لوبیای چشم بلبلی گیاهان کشت شده در این پژوهش بودند. فاصله بین خطوط کاشت برای هر دو محصول ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف به ترتیب ۱۶ و ۸ سانتی‌متر برای ذرت و لوبیا انتخاب شد. عمق کاشت برای ذرت ۵ سانتی‌متر و برای لوبیا ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت دارای ۶ خط کاشت و به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول ۶ متر بود (۲۷ متر مربع). در نسبت‌های کاشت ۷۵٪ لوبیا + ۲۵٪ ذرت ۴ خط لوبیا و ۲ خط ذرت، ۵۰٪ لوبیا + ۵۰٪ ذرت ۳ خط لوبیا و ۳ خط ذرت، و ۲۵٪ لوبیا + ۷۵٪ ذرت ۲ خط لوبیا و ۴ خط ذرت کشت گردید. فاصله بین کرت‌ها در کشت خالص ذرت با کشت خالص لوبیا ۱۲۰ سانتی‌متر و در کشت‌های مخلوط ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Rostami *et al.*, 2009). در همه تیمارها، کاشت پس از تهیه جوی و پشته و به‌صورت دستی انجام شد. نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد. دور آبیاری در کشت خالص و مخلوط هر دو محصول بر اساس وضعیت رطوبتی خاک هر ۶ روز یک‌بار در نظر گرفته شد. تیمارهای نانو کود کلات آهن (خضراء،

۹ درصد) و نانو کود کلات روی (خضراء، ۱۲ درصد) به‌صورت محلول‌پاشی و به‌ترتیب با غلظت ۱ و ۱/۵ در هزار و در دو مرحله برای ذرت در زمان ۶ برگی و ظهور گل آذین نر، و برای لوبیا در زمان ۱۰ برگی انجام شد. در تیمار شاهد برگ‌ها با آب محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی با سم‌پاش دستی و قبل از طلوع آفتاب انجام شد. نمونه برداری برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط مخلوط و تک کشتی در پایان دوره رشد با حذف اثر حاشیه‌ای از ۰/۵ متر بالا و پایین کرت، چهار خط میانی انجام گرفت. برای اندازه‌گیری صفات از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و صفات مورد تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه ذرت و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری فسفر برگ، ۵۵ روز بعد از کاشت از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات – وانادات) و دستگاه اسپکتروفتومتر به روش امامی (Emami, 1996) استفاده شد. اندازه‌گیری پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر انجام گرفت (Atlassi and Bahmani, 2017).

میزان پروتئین دانه به روش هضمی با استفاده از دستگاه کجلدال خودکار و رابطه زیر اندازه‌گیری شد (Papakosta and Gagianas 1991).

درصد پروتئین= درصد نیتروژن×۶/۲۵

نسبت برابری زمین نشان دهنده درجه رقابت یا همیاری در کشت مخلوط است و از رابطـه زیر به دست می‌آید:

$$LER= (Y1/F1) + (Y2/F2)$$

Y1 و Y2 به ترتیب عملکرد گونه‌های اول و دوم در کشت مخلوط و F1 و F2 عملکرد گونه اول و دوم در کشت خالص است. اگر $LER > 1$ باشد، اجرای سیستم کشت مخلوط بهتر خواهد بود (Dhima *et al*., 2007).

تعیین غالب و مغلوب بودن هر یک از گیاهان در مخلوط با استفاده از فرمول شاخص غالبیت ارزیابی شد.

$$Aij = (Wij / Wii) – (Wji / Wjj)/ 2$$

Wjj: عملکرد گونه ذرت در تک کشتی؛ Wji: عملکرد تک بوته‌های گونه لوبیا چشم بلبلی در مخلوط با ذرت؛ Wii: عملکرد گونه لوبیا چشم بلبلی در تک کشتی؛ Wij: عملکرد تک بوته‌های گونه ذرت در مخلوط با لوبیا چشم بلبلی (Jamshidi *et al*., 2008).

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C انجام شد. آزمون F براساس امید ریاضی منابع با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن اثر تیمار محاسبه شد. در مورد صفاتی که منابع تغییر غیرمعنی‌دار بود، آن منبع از فرمول‌های امید ریاضی بالاتر حذف گردید. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با آزمون چند دامنه‌ای دانکن بررسی شد.

نتایج و بحث

تعداد ردیف در بلال

تعداد ردیف در بلال تحت تاثیر نسبت‌های مختلف کاشت قرار نگرفت (جدول۲). تعداد ردیف در بلال تحت تاثیر کاربرد نانو کلات قرار گرفت (جدول۲). بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۶/۶) در نتیجه کاربرد همزمان آهن و روی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تعداد ردیف در بلال به دست آمده از کاربرد آهن یا روی نداشت، کمترین تعداد ردیف در بلال (۱۱/۷) در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد (جدول۴). به‌نظر می‌رسد استفاده از کود نانوکلات‌های آهن و روی باعث جذب بهتر

سایر عناصر پرمصرف در مرحله زایشی که از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده مخزن می‌باشد به عبارت دیگر افزایش کاربرد این عناصر موجب رفع محدودیت‌های عناصر غذایی برای گیاه شده و بازده فتوسنتزی و تولید گیاه را افزایش می‌دهد و موجب افزایش تعداد دانه و ردیف در بلال می‌شود. محلولپاشی برگی نانو کودها عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (Gomaa *et al.*, 2020) را افزایش می‌دهد. در مطالعه غفاری ملایری و همکاران (Ghaffari Malayeri *et al.* 2012) نیز کاربرد خاک مصرف و محلول پاشی عناصر میکرو آهن و روی تعداد ردیف در بلال را افزایش داد. فرنیا و امیدی (Farina and Omidi, 2015) نیز با کاربرد نانو کلات روی در ذرت به نتایج مشابهی دست یافتند. افزایش فتوسنتز در نتیجه کاربرد عناصر میکرو مانند آهن و روی باعث افزایش تعداد دانه می‌شود (Ziaian, 2003).

تعداد دانه در ردیف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نسبت‌های مختلف کاشت اعمال شده تعداد دانه در ردیف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه از نسبت کشت ۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت و ۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت به میزان ۴۳ و ۴۲/۷ دانه در ردیف حاصل شد. در کشت مخلوط لازم است رقابت برون گونه‌ای حداقل میـزان باشـد تا از طریق صفاتی نظیر سایه‌اندازی باعث کاهش جذب تابش فعال فتوسنتزی نشوند که در کشت مخلوط ذرت و لوبیا این موضوع مرتفع است. در مقابل تثبیت نیتروژن در خاک و تامین قسمتی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه ذرت توسط لوبیا می‌تواند به بهبود فتوسنتز و جلوگیری از انتقال ناقص اسمیلات‌ها به دانه کمک کند. لذا باروری و تشکیل دانه در ردیف بهبود می‌یابد و می‌تواند منجر به افزایش تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه گردد. به‌نظر می‌رسد که هرچند تعداد دانه در ردیف تیمار ۵۰ درصد لوبیا +۵۰ درصد ذرت بیشتر از تیمار ۲۵ درصد لوبیا + ۷۵ درصد ذرت می‌باشد، ولی وزن هزار دانه تیمار ۲۵ درصد لوبیا +۷۵ درصد ذرت ۲۵۳ گرم که نسبت به تیمار ۵۰ درصد لوبیا و ۵۰ درصد ذرت (۲۳۷ گرم) برتری نشان داد. تفاوت این دو تیمار در عملکرد دانه در همین صفت وزن هزار دانه می‌باشد که تیمار ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد لوبیا برتر از تیمار ۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت بود. با این وجود تفاوت معنی‌داری بین تعداد دانه این دو نسبت کشت با ۱۰۰ درصد کشت ذرت مشاهده نشد.

شاخص برداشت

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص برداشت ذرت نشان داد (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت (۵۲ درصد) در کشت خالص ذرت و کمترین شاخص برداشت (۴۲ درصد) در کشت مخلوط با نسبت ۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت به‌دست آمد (جدول۳). کاتبی و همکاران (Katebi *et al.*, 2016) نیز در کشت مخلوط ذرت با لوبیا نتایج مشابهی را گزارش نمودند. بیشترین مقدار شاخص برداشت در تیمار کشت خالص ذرت را می‌توان به افزایش عملکرد در واحد سطح در این تیمار نسبت داد که باعث افزایش نسبت دانه به عملکرد بیولوژیک و متعاقب آن افزایش شاخص براشت در کشت خالص شده است. در تیمارهای کشت مخلوط اگرچه با افزایش شاخص سطح برگ و

جذب نور، میزان تولید آسمیلات و به تبع آن عملکرد بیولوژیک افزایش یافت ولی به‌دلیل رقابت بین گونه‌ای در کشت مخلوط، میزان آسمیلات اختصاص یافته برای اندام‌های زایشی نسبت به اندام‌های رویشی کاهش می‌یابد. بنابراین، در چنین شرایطی نسبت دانه به ماده خشک کاهش یافته و در نتیجه شاخص برداشت کاهش می‌یابد. شاخص برداشت همچنین تحت تاثیر کاربرد نانو کلات در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول۲). بیشترین شاخص برداشت (۴۷ درصد) از کاربرد نانو کلات‌ها به‌دست آمد که نسبت به شاخص برداشت (۴۲ درصد) در تیمار شاهد برتری نشان داد (جدول۴). فرنیا و امیدی (Farina and Omidi, 2015) نیز در مطالعه خود گزارش کردند که کاربرد نانو کود باعث افزایش شاخص برداشت ذرت شد. افزایش شاخص برداشت در نتیجه کاربرد نانوکودها می‌تواند ناشی از افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌دلیل تاثیر مثبت این کودها باشد.

تعداد دانه در بلال

تعداد دانه در بلال تحت تاثیر اثرات ساده نسبت کاشت و سطوح مختلف نانو کود در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. همچنین، اثر متقابل نسبت کاشت و نانو کلات بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول۲). بیشترین تعداد دانه در بلال (۷۳۹) در تیمار ۲۵ درصد لوبیا+ ۷۵ درصد ذرت و کاربرد روی، و کمترین تعداد دانه در بلال (۳۷۷) در تیمار ۷۵ درصد لوبیا+ ۲۵ درصد ذرت و عدم کاربرد نانو کلات مشاهده گردید (جدول ۵). در مطالعه کاتبی و همکاران (Katebi *et al.*, 2016) بیشترین تعداد دانه در بلال در کشت خالص و کمترین آن در کشت مخلوط ۷۵ درصد لوبیا+ ۲۵ درصد ذرت مشاهده شد. نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2012) نیز گزارش کردند با افزایش نسبت لگوم در کشت مخلوط تعداد دانه کاهش یافت، که این کاهش ناشی از تشدید رقابت بین دو گونه است تا گیاه ذرت با کاهش تعداد دانه در بلال وزن لازم بذر برای تامین بنیه کافی جهت تداوم نسل را حفظ کند. افزایش تعداد دانه در بلال در کشت مخلوط با نسبت زیاد ذرت می‌تواند ناشی از کاهش رقابت برون گونه‌ای و افزایش نفوذ نور به داخل کانوپی و دریافت تشعشع توسط برگ‌ها و در نتیجه افزایش تعداد اندام‌های زایشی باشد (Fathi, 2005). با افزایش تعداد بوته‌های ذرت به‌دلیل سایه‌اندازی میزان گرده‌افشانی کاهش می‌یابد. دهقان هراتی و همکاران (Dehghan Harati *et al.*, 2013) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی ذرت با کلات روی تعداد دانه در بلال را افزایش می‌دهد. گوما و همکاران (Gomaa *et al.*, 2020) نیز گزارش کردند که کاربرد روی و آهن به فرم نانو در مقایسه با شاهد، تعداد دانه در بلال را افزایش می‌دهد. در مطالعه امین و محمد (Amin and Mohammad, 2015) و فرنیا و امیدی (Farina and Omidi, 2015) محلول‌پاشی گیاهان با نانو روی اجزای عملکرد ذرت را افزایش داد.

وزن هزار دانه

با توجه به جدول ۲، وزن هزار دانه تحت تاثیر نسبت‌های مختلف کاشت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. بیشترین وزن هزار دانه (۲۵۳ گرم) در کشت مخلوط ۲۵ درصد لوبیا +۷۵ درصد ذرت به‌دست آمد در حالی‌که کمترین وزن هزار دانه (۲۱۶ گرم) در کشت خالص تولید شد (جدول۳). با توجه به این‌که نور به اجتماعات گیاهی در کشت مخلوط بیشتر می‌باشد و باعث ذخیره بالای فتوسنتزی در اثر مصرف

نانوکلات‌های آهن و روی منجر به تولید دانه‌های پرتر و سنگین‌تر شده است. نصراله‌زاده اصل و همکاران (Nasrollahzadeh Asl *et al.*, 2012) نیز در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چیتی به نتایج مشابهی رسیدند و گزارش نمودند کشت مخلوط ذرت و لوبیا نسبت به تک کشتی منجر به افزایش وزن هزار دانه می‌شود. بالا بودن شاخص سطح برگ در تیمارهای کشت مخلوط به علت افزایش طول دوره پر شدن موثر دانه، سبب افزایش میزان مواد فتوسنتزی انتقال یافته به دانه و در نتیجه افزایش وزن دانه در گیاه می‌شود (Katebi *et al.*, 2016).

کاربرد نانوکلات اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه در سطح احتمای پنج درصد داشت (جدول۲). بیشترین وزن هزار دانه (۲۵۲ گرم) در نتیجه کاربرد هم‌زمان آهن و روی به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد آهن به تنهایی و کاربرد روی به تنهایی نداشت. تیمار شاهد کمترین وزن هزار دانه ذرت (۱۹۴ گرم) را تولید نمود (جدول۴). بنا برگزارش‌ها محلول‌پاشی روی و آهن نسبت به عدم محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری وزن صد دانه ذرت را افزایش می‌دهد (Gomaa *et al.*, 2020). در آزمایش بررسی اثر نانو کلات روی بر ذرت که توسط فرنیا و امیدی (Farina and Omidi, 2015) انجام شد کاربرد نانو کلات روی وزن صد دانه را افزایش داد. دو عنصر روی و آهن در فرایندهای فتوسنتزی و تجمع هیدرات کربن نقش مهمی دارند (Shesh Bahreh and Movahedi Dehnavi, 2012). ازآن‌جایی که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند لذا سطح ویژه بالایی دارند که این امر واکنش پذیری و تحرک بالاتری در گیاه ایجاد و باعث می‌شود محلول کود روی با سرعت و یکنواختی بیشتر در گیاه توزیع شود، مجموعه این دلایل افزایش پارامترهای مؤثر در اجزای عملکرد را به دنبال دارد (Ali Nejad and Goli, 2005) و می‌تواند فرایندهای فتوسنتزی و تجمع کربوهیدرات‌ها را بهبود بخشد (Shojaei and Mokarian, 2014).

عملکرد دانه ذرت

عملکرد دانه ذرت تحت تاثیر سطوح مختلف نانو کود و اثر متقابل نسبت کاشت و نانو کود به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۱۲۹۹۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۲۵ درصد لوبیا+ ۷۵ درصد ذرت و کاربرد همزمان آهن و روی و کمترین عملکرد دانه (۹۹۸۰ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص ذرت و عدم کاربرد نانو کلات به دست آمد (جدول ۵). جمشیدی و همکاران (Jamshidi *et al.*, 2008) بیشترین عملکرد دانه ذرت را در کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا+ ۱۰۰ درصد ذرت گزارش نمودند اما نصاری و همکاران (Nassary *et al.*, 2020) بیشترین میزان عملکرد دانه را در کشت خالص ذرت به‌دست آوردند. افزایش عملکرد در کشت مخلوط ۲۵ درصد لوبیا+ ۷۵ درصد ذرت در این مطالعه را می‌توان به افزایش اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در بلال در این سیستم کشت مخلوط نسبت داد که به تبع آن باعث افزایش عملکرد دانه شده است. محلول‌پاشی برگی نانو کودها عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (Gomaa *et al.*, 2020) را افزایش می‌دهد. در مطالعه نورآیین (Nouraein, 2019) نیز محلول‌پاشی با نانو کود روی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شد. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2020) گزارش کردند که کاربرد عناصر میکرو از جمله روی از طریق افزایش ماندگاری دانه گرده، تعداد دانه و وزن دانه باعث

افزایش ۴/۲ تا ۱۶/۷ درصدی عملکرد دانه ذرت می‌شود.

میزان پتاسیم

میزان پتاسیم تحت تاثیر اثر محلول‌پاشی نانوکلات در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف نانوکلات‌ها به تنهایی یا توام سبب افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم برگ شد. به‌طورکلی مصرف نانوکلات‌ها نسبت به شاهد میزان پتاسیم برگ را از ۵۰ به ۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک افزایش داد.

پروتئین دانه

میزان پروتئین تحت تاثیر نسبت کاشت و اثر متقابل نسبت کاشت و کاربرد نانوکلات در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول۶). بیشترین میزان پروتئین (۲۲/۳ درصد) در کشت مخلوط ۲۵ درصد لوبیا+ ۷۵ درصد ذرت و کاربرد روی به‌دست آمد. در حالی‌که تیمار کشت خالص ذرت و عدم محلول‌پاشی با نانو کلات کمترین میزان پروتئین (۷/۴ درصد) را تولید کرد (جدول۵). وقتی بقولات در کنار گونه دیگر به صورت کشت مخلوط قرار می‌گیرند، به‌دلیل اثر مکملی جزء بقولات جهت تثبیت نیتروژن مقدار بیشتری از نیتروژن تحریک شده و در نتیجه تعداد گره فعال و سرعت و تشکیل آنها افزایش می‌یابد (Mikic *et al*., 2014) و افزایش تثبیت نیتروژن حاصل از جزء بقولات، سبب افزایش میزان پروتئین دانه نیز می‌شود. مشخص شده است که بین غلظت پروتئین و غلظت آهن و روی در ذرت ارتباطی نزدیک و مثبت وجود دارد (Mahil and Kumar, 2019). مقادیر کافی عناصر روی و آهن جهت افزایش متابولیسم کربوهیدرات‌ها، RNA، DNA، سنتز روغن‌ها و پروتئین‌ها ضروری است و محلول‌پاشی و رفع کمبود این عناصر سبب بهبود واکنش‌های فیزیولوژیک دخیل در سنتز پروتئین‌ها می‌شود (Thomas *et al*., 2009). طبق گزارش محققان، به‌خاطر دخالت مستقیم آهن در ساخت پروتئین، کمبود آهن، میزان کل پروتئین‌ها را کاهش می‌دهد. یک ارتباط مثبت و نزدیک بین غلظت پروتئین دانه، روی و آهن در ذرت شناسایی شده است و ژن‌های کنترل کننده غلظت پروتئین، روی و آهن، احتمالاً با هم تفرق می‌یابند. هم‌مکانی روی، آهن، پروتئین و آمینو اسیدها و ارتباطات مثبت بین پروتئین، روی و آهن دانه نشان می‌دهد که پروتئین‌های دانه یک مخزن، برای روی و آهن هستند.

نسبت برابری زمین: در همه تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک است که نشان‌دهنده مزیت و کارایی کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی می‌باشد. در این آزمایش همان‌گونه که در جدول ۷ مشخص شده است بیشترین مقدار نسبت برابری زمین (کل) (۲/۱۲) در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد لوبیا + ۲۵ درصد ذرت و کاربرد آهن و روی با هم به‌دست آمد و کمترین (۱/۵۷) آن مربوط به تیمار کشت مخلوط با نسبت ۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت و کاربرد روی بود که بیانگر این است که برای به‌دست آوردن عملکردی معادل نسبت‌های کاشت در سیستم تک‌کشتی به‌ترتیب ۱۱۲ و ۵۷ درصد زمین بیشتر مورد نیاز است و نشان‌دهنده اثر مفید کشت مخلوط در افزایش بهره‌وری از منابع است. نتایج این مطالعه با گزارش تیگنگر و همکاران (Tignegre *et al*. 2018) و نصاری و همکاران (Nassary *et al*., 2020) مبنی بر برتری کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی در مقایسه با تک کشتی مطابقت دارد.

به‌نظر می‌رسد که با افزایش سهم ذرت در کشت مخلوط نسبت برابری زمین برای لوبیا افزایش و برای ذرت کاهش می‌یابد. پلازر و همکاران (Pelzer *et al.*, 2012) نیز گزارش نمودند کشت مخلوط گندم با نخود از نظر نسبت برابری زمین کارایی بیشتری در مقـایسه با تک کشتی دارد. به‌نظر می‌رسد در بوته‌های لوبیا چشم بلبلی در الگوی تک کشتی در طول روز به‌علت دریافت تشعشع زیاد میزان تنفس عادی و تنفس نوری افزایش می‌یابد درحالی که سایه‌ای که بوته‌های بلند قامت ذرت در طول دوره رشد و در طول شبانه روز بر بوته‌های لوبیا چشم بلبلی می‌اندازد از تشدید این حالت جلوگیری کرده و به عبارتی رشد لوبیا را تسهیل نموده است. همچنین، بر اثر مجاورت و همیاری اعمال شـده توسط لوبیا چشم‌بلبلی (گونه C3) به ذرت (گونه C4) افزایش آشکاری در تولید ذرت صورت گرفته است.

شاخص غالبیت: با توجه به جدول ۵ بیشترین مقدار شاخص غالبیت (۳/۳۳) مربوط به تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت و شاهد است و کمترین مقدار (۱/۸۱) در تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت و کاربرد آهن و روی با هم محاسبه شد. در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط ذرت گیاه غالب و لوبیا گیاه مغلوب بود که بیانگر توانایی رقابتی بیشتر ذرت نسبت به لوبیا و در نتیجه جذب بیشتر منابع محیطی توسط گونه ذرت است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج بررسی تک کشتی و کشت مخلوط دو محصول در این مطالعه مشخص شد بیشترین تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط ۲۵ درصد لوبیا + ۷۵ درصد ذرت اندازه‌گیری شد. درحالی‌که کشت خالص بیشترین شاخص برداشت را تولید نمود. در این مطالعه ایجاد تنوع زراعی، عملکرد کل زراعت مخلوط را افزایش داده، همچنین، کاربرد نانو کلات‌های روی و آهن به تنهایی و یا در ترکیب با یکدیگر باعث بهبود عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی وشیمیایی خاک محل آزمایش در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 1-Soil physicochemical characteristics of the experiment site during 2018 and 2019

Soil texture	Fe	Zn	K	P	N	PH	Ec	Depth	year
		mg/kg			%		ds/m	Cm	
Sandy – loam	12.25	1.70	185	5	0.04	8.1	2.14	0-30	2018
Loamy – sand	10.01	0.38	115	4	0.02	8.0	2.01	30-60	2018
Sandy – loam	11.25	1.70	185	5	0.05	8.1	1.8	0-30	2019
Loamy – sand	10.02	0.38	115	4	0.02	8.0	1.4	30-60	2019

جدول ۲- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب صفات مورد مطالعه در ذرت در سال‌های زراعی ۹۷ و ۹۸

Table 2-Combined ANOVA for traits studied in maize in the crop years2018 and 2019

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد ردیف در بلال number of row per ear	تعداد دانه در ردیف number of grains per row	تعداد دانه در بلال number of grains per row	وزن هزار دانه thousand-grain weight	عملکرد دانه Grain Yield	شاخص برداشت HI
سال Year	1	0.73 ns	334.96 ns	50417.58 ns	2151.3 ns	280260.09 ns	143.03 ns
تکرار درون سال Y× R	4	67.97	212.22	7324.7	2199.36	920928.68	106.84
نسبت کاشت Planting ratio (P)	3	0.51ns	120.11*	91434.36**	5846.53**	6820470.18 ns	4447.95 *
سال*نسبت کاشت P× Y	3	0.39 ns	39.07 ns	6673.01 ns	21.05 ns	5305388.09 **	337.9 **
نانوکلات Nano-chelate (N)	3	141.04**	50.09 ns	198407.13**	19181.9 *	8498131.51 **	174.25 **
سال *نانوکلات N× Y	3	0.22 ns	44.84 ns	841.56 ns	1954.4 *	1094941.09 ns	13.66 ns
نسبت کاشت*نانوکلات N× P	9	1.4 ns	32.37 ns	12349.41**	195.81 ns	1695300.29 *	27.53 ns
سال*نسبت کاشت* نانوکلات N× Y×P	9	0.79 ns	29.4 ns	6414.53 ns	142.62 ns	636183.76 ns	11.34 ns
خطاError	60	5.06	44.26	4356.59	544	742577.58	43.8
ضریب تغییرات (%)C.V.		14.69%	16.17%	10.34%	9.99%	7.70%	14.50%

**، * وns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

**, * and ns: are significant at 1 and 5% probability levels and non significant, respectively.

جدول۳- مقایسه میانگین اثر نسبت کاشت بر صفات مورد بررسی در ذرت

Table 3- Comparison of the average effect of planting ratio on the studied traits in maize

Planting ratio	نسبت کاشت	تعداد دانه در ردیف number of grains per row	وزن هزار دانه thousand-grain weight (g)	شاخص برداشت HI (%)
100% Corn	۱۰۰ درصد ذرت	40.2^{ab}	216^{c}	52^{a}
75% Bean+25% Corn	۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت	38.5^{b}	228^{bc}	44^{b}
50% Bean+50% Corn	۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت	43.3^{a}	237^{ab}	45^{b}
25% Bean+75% Corn	۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت	42.7^{a}	253^{a}	42^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) for each component have not significantly different at 5% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نانو کلات بر صفات مورد بررسی در ذرت

Table 4- Comparison of the average effect of nanochelates on the studied traits in maize

نانوکلات Nano-chelate	تعداد ردیف در بلال number of row per ear	وزن هزار دانه thousand-grain weight (g)	شاخص برداشت HI (%)	پتاسیم K $mg.kg^{-1}$
آهن Fe	16.5 [a]	241[a]	47[a]	63[a]
روی Zn	14.4 [a]	248[a]	47[a]	60[a]
آهن + روی Fe+Zn	16.6 [a]	252[a]	47[a]	61[a]
شاهد Control	11.7 [b]	194[b]	42[b]	50 [b]

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) for each component have not significantly different at 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر تعداد دانه در بلال، عملکرد (کیلوگرم در هکتار)

Table 5- Comparison of the average effect of different treatments on number of grains per ear and yield ($kg.ha^{-1}$), of maize

تیمار Treatment	تعداد دانه در بلال number of grains per row	عملکرد دانه Grain Yield $kg.ha^{-1}$	درصد پروتئین Protein Percent (%)
۱۰۰ درصد ذرت/ آهن 100% Corn×Fe	715[a-c]	11450[bc]	15.60 [bc]
۱۰۰ درصد ذرت/ روی 100% Corn×Zn	715[a-c]	11892[bc]	15.60 [bc]
۱۰۰ درصد ذرت/ آهن+ روی 100% Corn×Fe+Zn	711[a-c]	11880[bc]	15.50 [bc]
۱۰۰ درصد ذرت/ شاهد 100% Corn×Control	529[d]	9980[g]	7.40 [e]
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت/آهن 75% Bean+25% Corn×Fe	579[d]	10574[eg]	16.00 [bc]
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت/روی 75% Bean+25% Corn×Zn	719[a-c]	11251[bf]	19.20 [ab]
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت/آهن+روی 75% Bean+25% Corn×Fe+Zn	597[d]	11743[bd]	18.40 [b]
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت/شاهد 75% Bean+25% Corn×Control	377[e]	10175[fg]	11.35 [d]
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت/آهن 50% Bean+50% Corn×Fe	616[cd]	10854[cg]	10.01 [de]
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت/روی 50% Bean+50% Corn×Zn	641[bd]	10678[dg]	21.10 [a]
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت/آهن+روی 50% Bean+50% Corn×Fe+Zn	635[bd]	10451[fg]	19.80 [ab]
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت/ شاهد 50% Bean+50% Corn×Control	549[d]	10365[fg]	10.20 [de]
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت/آهن 25% Bean+75% Corn×Fe	720[a-c]	11649[be]	19.90 [ab]
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت/روی 25% Bean+75% Corn×Zn	739[a]	11598[be]	22.3 [a]
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت/آهن+روی 25% Bean+75% Corn×Fe+Zn	733[ab]	12993[a]	20.6 [a]
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت/شاهد 25% Bean+75% Corn×Control	578[d]	10908[bg]	12.4 [cd]

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) for each component have not significantly different at 5% probability level.

جدول ۶- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب صفات مورد مطالعه در ذرت در سال‌های زراعی ۹۷ و ۹۸

Table 6 - Combined ANOVA for traits studied in maize in the crop years 2018 and 2019

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	فسفر P	پتاسیم K	پروتئین دانه Protein Percent
سال Year	1	1.01 ns	0.65 ns	0.14 ns
تکرار درون سال Y× R	4	1.66	176.25	35.35
نسبت کاشت(P) Planting ratio	3	0.08 ns	2.03 ns	113.50 **
سال*نسبت کاشت P× Y	3	0.08 ns	12.59 ns	0.17 ns
نانوکلات(N) Nano-chelate	3	0.21 ns	414.94**	1.53 ns
سال *نانوکلات N× Y	3	0.02 ns	0.12 ns	2.59 ns
نسبت کاشت*نانوکلات N× P	9	0.02 ns	1.86 ns	27.84 **
سال*نسبت کاشت* نانوکلات N× Y×P	9	0.01ns	0.26 ns	4.62 ns
خطا Error	60	0.14	62.76	5.04
ضریب تغییرات (%) C.V.	-	17.25	12.72	14.05

**، * وns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

**, * and ns: are significant at 1 and 5% probability levels and non significant, respectively.

جدول ۷- مقادیرنسبت برابری زمین و شاخص غالبیت برای تیمارهای مختلف

Table 7- Land equivalent ratio and aggressively index values for different treatments

تیمار Treatment	LER (Corn)	LER (Bean)	Total LER	AI (شاخص غالبیت)
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت / آهن 75% Bean+25% Corn×Fe	0.88	0.91	1.79	1.96
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت / روی 75% Bean+25% Corn×Zn	0.95	1.03	1.98	1.93
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت / آهن+روی 75% Bean+25% Corn×Fe+Zn	0.99	1.13	2.12	2.02
۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد ذرت / شاهد 75% Bean+25% Corn×Control	1.02	1.00	2.02	3.08
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت / آهن 50% Bean+50% Corn×Fe	0.90	0.92	1.82	2.01
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت / روی 50% Bean+50% Corn×Zn	0.90	0.85	1.75	1.86
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت / آهن+روی 50% Bean+50% Corn×Fe+Zn	0.88	0.84	1.72	1.81
۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد ذرت / شاهد 50% Bean+50% Corn×Control	1.04	0.82	1.86	3.15
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت / آهن 25% Bean+75% Corn×Fe	0.97	0.64	1.61	2.19
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت / روی 25% Bean+75% Corn×Zn	0.96	0.61	1.57	2.03
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت / آهن+روی 25% Bean+75% Corn×Fe+Zn	1.09	0.64	1.73	2.30
۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد ذرت / شاهد 25% Bean+75% Corn×Control	1.09	0.69	1.78	3.33

References منابع مورد استفاده

- Ali Nejad, D., and H. Goli. 2005. Nanocomposites and their applications. Zaban-e Tasvir Publications. 120 pp. (In Persian)
- Amin, F., and M.O. Mohammad. 2015. Effect of nano-zinc chelate and nano-biofertilizer on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.), under water stress condition. *Indian Journalof Natural Sciences*. 5(29): 4614-4620.
- Atlassi Pak, V., and O. Bahmani. 2017. Evaluation of ion distribution in different tissueso of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Crop Production and Processing*. 7(1): 1-16. (In Persian).
- Bedoussac, L., E.P. Journet, H. Hauggaard Nielsen, C. Naudin, G. Corre Hellou, E.S. Jensen, L. Prieur, and Justes, E. 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development.* 35(3): 911-935.
- Dapkekar, A., P. Deshpande, M.D. Oak, K.M. Paknikar, and J.M. Rajwade. 2018. Zinc use efficiency is enhanced in wheat through nanofertilization. *Scientific Reports*. 8(1): 6832.
- Dehghan Harati, R., A. Morovati, and D. AbadikhahDeh Ali. 2013. An investigation on yield and yield components of maize ear (SC704 variety) under the effects of time and different levels of foliar application of zinc chelate in Khatam city. *Plant and Ecosystem*. 9(1): 17-28. (In Persian).
- Dhima, K.V., A.A. Lithourgidis, I.B. Vasilakoglou, and C.A. Dordas. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratios. *Field Crops Research*. 100: 249-256.
- Emami, A. 1996. Plant decomposition methods. Vol. 1. Technical leaflet No. 982. Soil and Water. Research Institute, Tehran, Iran. (In Persian).
- Farina, F., and M.M. Omidi. 2015. Effect of nano-zinc chelate and nano-biofertilizer on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.), under water stress condition. *Indian Journal of Natural Sciences*. 5(29): 4614-4624.
- Fathi, Gh. 2005. Effects of planting pattern and density on optical attenuation coefficient, radiation absorption, and grain yield of sweet maize (hybrid SC402). *Agricultural Sciences and Natural Resources.* 12: 131-143. (In Persian)
- Ghaffari Malayeri, M., G.H. Akbari, and A. Mohammadzadeh. 2012. Yield and yield components of maize to soil application and foliar application of micronutrients. *Iranian Crop Research.* 10(2): 368-373. (In Persian).
- Gomaa, M.A., E.E. Kandil, and A.M.M. Ibrahim. 2020. Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*. 11(1): 13-21.
- Jam, E., A. Ebadie, and G. Parmoon. 2016. The role of Iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. *Journal of crop Ecophysiology*. 9(2):177-190. (In Persian).
- Jamshidi, K.H., D. Mazaheri, N. Majnoon Hosseini, H. Rahimian, and S.A. Payghambari. 2008. Yield evaluation in intercropping of maize (*Zea mays*) and cowpea (*Vignaanguiculata*). *Agriculture and Horticulture*. 80: 109-118. (In Persian).

- Katebi, R., J. KhaliliMahalleh, K. Kharazmi, R. Valilou, and A. Pirzad 2016. The effect of planting density on some agronomic traits of maize in intercropping with cowpea. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 26(1): 1-18. (In Persian).
- Li, Q.S., L.K. Wu, J. Chen, M.A. Khan, X.M. Luo, and W.X. Lin. 2016. Biochemical and microbial properties of rhizospheres under maize/peanut intercropping. *Journal of Integrative Agriculture.* 15: 101-110.
- Liu, D.Y., W. Zhang, Y.M. Liu, X.P. Chen, and C.Q. Zou. 2020. Soil application of zinc fertilizer increases maize yield by enhancing the kernel number and kernel weight of inferior grains. *Frontiers in Plant Science.* 11: 188- 198.
- Mahil, E.I.T., and B.N.A. Kumar. 2019. Foliar application of nanofertilizers in agricultural crops.A review. *Journal of Farm Science*. 32(3): 239-249.
- Mazaherinia, S., A.R. Astaraei, A. Fotovat, and A. Monshi. 2010. Nano-iron-oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences*. 7: 36-40.
- Mikic, A., B. Cupinax, D. Rubiales, V. Mihailovi, L. Sarunaitek, J. Fustec, S. Antanasovicx, D. Krsticx, L. Bedoussac, L. Zoricx, V. Dor Cevic, V. Peric, and M. Srebri. 2014. Models, developments, and perspectives of mutual legume intercropping. *Advances in Agronomy*. 130: 1-83.
- Nasrollahzadeh Asl, A., A. Chavooshgholi, A. Valizadegan, R. Valilou, and V. Nasrallahzadeh Asl. 2012. Evaluation of sunflower and pinto bean intercropping by the additive method. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 22(2): 79-90. (In Persian)
- Nassary, E.K., F. Baijukya, and P.A. Ndakidemi. 2020. Assessing the productivity of common bean in intercrop with maize across agro-ecological zones of smallholder farms in the northern highlands of Tanzania. *Agriculture*. 10(117): 2-15.
- Nazari, S.H., A. Zand, S. Asadi, and F. Golzardi. 2012. The effect of incremental intercropping and maize and mung cowpea replacement on yield, yield components and weed biomass. *Weeds.* 4(2): 97-110. (In Persian).
- Nouraein, M. 2019. Effect of nanofertilizers and biofertilizers on yield of maize: biplot analysis. *Botanica.* 25(2): 121–130.
- Papakosta, D.K., and A.A. Gagianas. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal.* 83(5): 864-870.
- Pelzer, E., M. Bazot, D. Makowski, G. Corre-Hellou, C. Naudin, and M. Al-Rifai. 2012. Pea-wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and lowenvironmental impacts. *European Journal of Agronomy*. 40: 39–53.
- Pirzad, A., and F. Shokrani. 2012. Effects of iron application on growth characters and flower yield of *Calendula officinalis* L. under water stress. *World Applied Sciences Journal.* 18(9): 1203-1208.
- Ravi, S., H.T. Channal, N.S. Hebsur, B.N. Patil, and P.R. Dharmatti. 2008. Effect ofsulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality ofsafflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal Agriculture Science.* 32: 382-385.

- Rostami, L., M. Mandani, S. Khorramdel, A. Koochaki, and M. Nasiri Mahallati. 2009. Effects of different densities of maize and cowpea intercropping on crop yield and weed population. *Journal of Weed Research*. 1(2): 37-51. (In Persian).
- Sabeki, M., M.R. Asgharipour, A. Ghanbari, and K. Miri. 2018. The effect of nano-iron chelated fertilizer on agronomic aspects of millet- cowpea intercropping. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 28(5): 1501-1507.
- Saha, S., B. Mandal, G.C. Hazra, A. Dey, M. Chakraborty, B. Adhikari, S.K. Mukhopadhyay, and R. Sadhukhan. 2015. Can agronomic biofortification of zinc be benign for iron in cereals? *Journal of Cereal Science*. 65: 186-191.
- SheshBahreh, J., and M. Movahedi-Dehnavi. 2012. The effect of zinc and iron foliar application on soybean seed vigor grown under drought stress conditions. *Electronic Journal of Crop Production.* 35: 5-19. (In Persian).
- Shojaei, H., and H. Mokarian. 2014. The effect of nano and non-nano zinc oxide foliar application on yield and yield components of mung cowpea, *Vigna radiata* L., under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Research.* 4(12): 727-737.
- Thomas, J., A. Mandal, R. Raj Kumar, and A. Chordia. 2009. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of tea (*Camellia sp*.). *International Journal of Agricultural Research***.** 4: 228-236.
- Tignegre, B.S., A. Labri, A. Tenkouano, A. Nurudeen, M. Asante, R. Boateng, A. Rouamba, M.C. Sobgui, and T. Chagomoka. 2018. Optimization of maize-vegetable (African eggplant and pepper) intercrops in northern, upper west and upper east regions of Ghana. *JOJ Horticulture and Arboriculture*. 1(2): 29-33.
- Tittonell, P., S. Zingore, M.T. Van Wijk, M. Corbeels, and K.E. Giller. 2007. Nutrient use efficiencies and crop responses to N, P and manure applications in Zimbabwean soils: exploring management strategies across soil fertility gradients. *Field Crops Research.* 100: 348-368.
- Yaghoobi, S.R., A. Roozbahani, and M.R. Akhavan Mohseni. 2019. Evaluating of role of soluble potassium sulfate and chelated iron on corn yield and yield components under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 12(4): 599 – 614. (In Persian).
- Yousef pour, A., and E. Farajzadeh Memari Tabrizi. 2018. Evaluation of micronutrient application at different growth stages on yield and yield components grain quality of sweet corn. *Journal of Crop Ecophysiology*. 12(2): 287-302 .(In Persian).
- Yu, H., P. Berentsen, N. Heerink, M. Shi, and W. Vanderwer. 2019. Thefuture of intercropping under growing resource scarcity and declining grainprices-A model analysis based on acase study in North west China. *Agricultural Systems.* 176: 1-13.
- Ziaian, A., and M.J. Malakooti. 2003. A greenhouse study on the effects of iron, manganese, zinc, and copper consumption on wheat production in highly calcareous soils of Fars province. Balanced nutrition of wheat. Proceedings, M.J. Kingdom. Agricultural Training Publications, Tehran, Iran. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1936820.1822

Effect of Nano Zinc and Iron Chelates Ratios on Yield and Yield Components of Grain Maize (*Zea mays* L.) in Intercropping with Cowpea (*Vigna unguiculata* L.)

Alireza Khalesi[1], Gholamreza Afsharmanesh[2*] and Mohammad Hassan Shirzadi[3]

Received: July 2021 , Revised: 17 September 2021, Accepted: 29 September 2021

Abstract

To investigate the effect of using nano-chelate zinc and iron ratios on yield and yield components of maize and cowpea seeds, a factorial experiment was conducted by using randomized completely block design with three replications in the south of Kerman, Iran, during 2018-2020. Experimental treatments consisted of five levels of mixed culture of corn and beans (100% beans, 75% beans + 25% corn, 50% beans + 50% corn, 25% beans + 75% corn, and 100% corn) and four levels of iron and zinc nanoclates combination (iron nanoclate, zinc nano-chelate, iron nano-chelate + nano-chelate zinc and control). Number of seeds per ear row, 1000-seed weight, seed yield and harvest index were measured. The results showed that the effect of planting ratios on number of seeds per ear, 1000-seed weight and harvest index were statistically significant at 1% and on grain yield at 5% level of probability while it was not significant on number of seeds per ear row and number of rows per ear. The highest number of seeds per ear (707.8), seed yield (12787 $kg.ha^{-1}$) and 1000-seed weight of corn (253 g) were obtained from 25% bean + 75% corn crop ratio. The highest harvest index (52%) was obtained from pure culture. Simultaneous application of nano-chelate iron and zinc increased the quantitative and qualitative properties of corn. Intercopping of 25% cowpea + 75% corn with nano-chelate application produced the highest proein percent (22.3 %). The highest value of land equality ratio (total) (2.12) was obtained by using a mixed cultivation treatment of 75% bean + 25% corn and the lowest (1.57) by 25% of beans were +75% of corn and zinc combinations. Finally, the highest grain yield of 12,993 $kg.ha^{-1}$ was obtained from a intercropping of 75% corn + 25% bean and application of iron and zinc.

Key words: Cowpea, Intercropping, Iron nanochelate, Maize, Zinc nanochelate.

1- Ph.D. Student in Agriculture, Jiroft Branch, Islamic Azad University, Jiroft, Iran.
2-Associate Professor, Agricultural Education and Natural Resources Center in the south of Kerman Province, Jiroft, Iran.
3-Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Jiroft Branch, Islamic Azad University, Jiroft, Iran.
**Corresponding Author: gh.afshar137@gmail.com*