نشریه دانش آب و خاک / جلد۲۴ شماره۴ صفحه‌های ۲۶۱ تا ۲۷۱/ سال ۱۳۹۳

ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک و کارایی استفاده از زمین در نظام‌های کشت مخلوط جو- نخود

جواد حمزه‌ئی [۱*] و محسن سیدی [۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۸

[۱] استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

[۲] دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: j.hamzei@basu.ac.ir

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات الگوهای مختلف کشت بر برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک و کارایی استفاده از زمین آزمایشی در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینای همدان اجرا شد. طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ده تیمار بود. کشت خالص نخود (P_1)، کشت خالص جو (P_2) و الگوهای کشت مخلوط با تراکم ۱۰۰٪ جو + تراکم ۱۰۰٪ نخود (P_3)، ۷۵٪ جو + ۱۰۰٪ نخود (P_4)، ۵۰٪ جو+ ۱۰۰٪ نخود (P_5)، ۲۵٪ جو + ۱۰۰٪ نخود (P_6)، ۷۵٪ جو + ۲۵٪ نخود (P_7)، ۵۰٪ جو + ۵۰٪ نخود (P_8)، ۲۵٪ جو + ۷۵٪ نخود (P_9) به‌همراه تیمار شاهد بدون کشت (P_{10}) تیمارهای آزمایشی بودند. ویژگی‌های خاک مثل pH، EC، چگالی ظاهری، ماده آلی، نیتروژن کل و درصد خاکدانه پایدار و کارایی استفاده از زمین (LUE) و عملکرد کل نظام ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که تمامی ویژگی‌ها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. بیشترین خاکدانه پایدار (۳/۴۵٪) در تیمار P_5 حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد (P_{10}) ۷۰٪ بیشتر بود. بیشترین ماده آلی (۲/۵۰٪) و نیتروژن خاک (۰/۴۴٪) نیز به‌ترتیب در تیمارهای P_5 و P_1 به‌دست آمد. تیمار P_3 دارای بالاترین عملکرد کل بود و با تیمارهای P_1 (کشت خالص نخود) و P_2 (کشت خالص جو) اختلاف معنی‌دار داشت. افزون بر این، در کلیه تیمارهای کشت مخلوط شاخص LUE بالاتر از یک بود و تیمار P_3 بیشترین میزان LUE را به خود اختصاص داد. در کل، کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ جو + ۱۰۰٪ نخود ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک را بهبود بخشید و کارایی استفاده از زمین را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: کارایی استفاده از زمین، کشت مخلوط، نیتروژن خاک، ماده آلی، هدایت الکتریکی

Soil Physicochemical Characteristics and Land Use Efficiency in Cereal-Legume Intercropping Systems

J Hamzei[*1] and M Seyedi[2]

Received: 3 June 2014, Accepted: 17 February 2014
[1-] Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agric., Univ. of Bu-Ali Sina, Iran
[2-] Ph.D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agric., Univ. of Bu-Ali Sina, Iran
[*]Corresponding Author Email: j.hamzei@basu.ac.ir

Abstract

In order to evaluate the effects of different planting patterns on some soil physicochemical properties, an experiment was conducted at the Agricultural Research Station, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, during the 2010 growing season. The experiment was conducted as randomized complete blocks design with three replications. The experimental treatments were plantation of sole crop of chick-pea (P_1), sole crop of barley (P_2), and intercropping patterns of 100% chick-pea + 100% barley (P_3), 100% chick-pea + 75% barley (P_4), 100% chick-pea + 50% barley (P_5), 100% chick-pea + 25% barley (P_6), 25% chick-pea + 75% barley, (P_7), 50% chick-pea + 50% barley (P_8), 75% chick-pea + 25% barley (P_9) and control treatment or non-planting (P_{10}). Soil traits including pH, EC, bulk density, organic matter, total nitrogen, soil's stable aggregate percentage along with the land use efficiency (LUE) and total yield of the system were evaluated. Results indicated that all of the traits were significantly affected by the experimental treatments. The maximum water stable aggregate (3.45%) belonged to P_5 treatment which was about 70% more than the control treatment (non-planting treatment). The maximum organic matter (2.50%) and total nitrogen (0.44%) were achieved at P_5 and P_1 treatments, respectively. The P_3 treatment had the highest total yield and significant differences with the P_1 (sole cropping of chick-pea) and P_2 (sole cropping of barley) treatments. In addition, at all intercropping treatments the LUE index was >1 and the P_3 treatment had the highest value of LUE. In general, the additive intercropping of 50% barley + 100% chick-pea improved the soil physicochemical properties and increased the LUE value.

Keywords: Electrical conductivity, Intercropping, Land use efficiency, Organic matter, Soil nitrogen

مقدمه

بعضی از آثار نامطلوب ناشی از نحوه کشت گیاهان زراعی رایج، در دهه‌های اخیر به‌صورت کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش مصرف عناصر غذایی و کودهای شیمیایی، کاهش مادهٔ آلی و افزایش فشردگی خاک، ظهور علف‌های‌هرز رقابت کننده با گیاهان زراعی و شیوع بیماری‌های گیاهی در مناطق مختلف بروز کرده است که ادامهٔ این روند در آینده می‌تواند پیامدهای نامطلوبی را در نظام‌های تولید زراعی ایجاد کند (حقیقت‌نیا و همکاران ۱۳۸۷). امروزه به‌کارگیری نظام‌های زراعی مناسب به‌عنوان یک راهکار مؤثر در افزایش پایداری و بهبود تولید محصولات زراعی و ایجاد امنیت غذایی در سطح جهان مد نظر متخصصان قرار گرفته است. با ایجاد تنوع از طریق کشت مخلوط، نظام‌های زراعی به منابع درونی و قابل تجدید خود وابستگی بیشتری پیدا می‌کنند و پایداری آن‌ها افزایش می‌یابد (مظاهری ۱۳۷۷). چنین نظام‌هایی علی‌رغم اینکه تنوع تولید را افزایش و خطر پذیری نظام و وقوع تلفات را کاهش می‌دهند، شرایط بهینه‌ای برای مدیریت آفات، چرخش عناصر غذایی، استفاده از منابع و افزایش عملکرد را نیز فراهم می‌آورند. همچنین، با اجرای نظام کشت مخلوط، حفاظت از خاک به‌عنوان رکنی بسیار مهم در کشاورزی میسر می‌گردد (کوچکی و نجیب‌نیا ۱۳۸۷).

از نکات برجسته دیگر توجه به بهبود نسبی حاصلخیزی خاک است. حاصلخیزی خاک توصیف کننده توانایی و قابلیت خاک برای تأمین شرایط رشد پایا، بهینه و مطلوب گیاه است. در گذشته حاصلخیزی خاک، صرفاً تامین عناصر غذایی بود، پس از آن اهمیت ماده آلی مورد توجه قرار گرفت و سرانجام بحث کشاورزی پایدار مطرح شد (کوچکی و نجیب‌نیا ۱۳۸۴، شالیکار و همکاران ۱۳۸۷). هر چند استفاده از کودهای معدنی ظاهراً سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای بهبود حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌رود، لیکن مسائل مرتبط با هزینه‌های زیاد مصرف کود، آلودگی و تخریب محیط زیست و خاک، نگران کننده است. بنابراین، استفاده کامل از منابع گیاهی آلی و بیولوژیکی (به‌همراه کاربرد بهینه و محدودتری از مواد معدنی)، نقش مهمی در جهت حفظ باروری، ساختمان و فعالیت حیاتی خاک ایفا می‌کند (حقیقت‌نیا و همکاران ۱۳۸۷).

در ایران با اقلیم غالب خشک و نیمه خشک نه تنها خاک‌ها عموماً از نظر مواد آلی فقیر بوده بلکه به‌جهت بالا بودن دما، ثابت نگهداشتن و حفظ مقدار ماده آلی خاک نیز بسیار دشوار می‌باشد. ماده آلی به‌علت اثرات سازنده‌ای که بر ویژگی‌های فیزیکی (پایداری خاکدانه‌ها)، شیمیایی (افزایش ظرفیت نگهداری عناصر) و بیولوژیکی (زی‌توده میکروبی) دارد، به‌عنوان رکن باروری خاک شناخته شده‌است و افزایش میزان آن همواره مورد توجه بوده است (کوچکی و همکاران ۱۳۷۶، کوچکی و نجیب‌نیا ۱۳۸۷).

کشت مخلوط عبارت از رویاندن بیش از یک گیاه در یک سال زراعی و در یک قطعه زمین است. نتایج بسیاری از پژوهش‌های انجام گرفته در دنیا از برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی حکایت دارد (مظاهری ۱۳۷۷، حمزه‌ئی و همکاران ۱۳۹۱). استفاده از نظام‌های زراعی در برگیرنده دو یا چند گیاه زراعی، می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در رسیدن به کشاورزی پایدار و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی باشد (مظاهری ۱۳۷۷، جوانشیر و همکاران ۱۳۷۹). از مهمترین دلایل برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، علاوه بر افزایش عملکرد کل، کاهش خطرات احتمالی، افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش خسارت ناشی از علف‌های‌هرز (حمزه‌ئی و همکاران ۱۳۹۱، استیونسون و کسل ۱۹۹۶، دویکیت و همکاران ۲۰۰۹) گزارش شده‌است که در نتیجه آن مصرف نهاده‌های شیمیایی کاهش می‌یابد و این امر گامی در جهت پایداری محیط زیست است. در بیشتر مواقع آزمایشات کشت مخلوط شامل گیاهان خانوادهٔ بقولات و غلات هستند. دلیل عمدهٔ این مطلب را می‌توان در تثبیت نیتروژن توسط اعضای خانواده بقولات و افزایش حاصلخیزی خاک دانست (عشقی‌زاده و همکاران ۱۳۸۶، ژانگ و لی ۲۰۰۳، لی و همکاران ۲۰۰۴). هاگارد-نیلسون و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود بر روی نخود و جو، افزایش نیتروژن خاک را در کشت مخلوط تأیید کردند. تحقیقات انجام

شده افزایش پایداری تولید و بهبود وضعیت خاک در تناوب‌های زراعی مبتنی بر بقولات را تأیید کرده‌اند (حمزه‌ئی و همکاران ۱۳۹۱، استیونسون و کسل ۱۹۹۶، هاگارد- نیلسون و همکاران ۲۰۰۹). افزایش مادهٔ آلی خاک از جمله کارکردهای مثبت نظام‌های کشت مخلوط ذکر شده‌است (مسری و رایان ۲۰۰۵). بقولات با نفوذ ریشه‌های خود به اعماق خاک موجب تکثیر و تقویت ریزجانداران و افزایش حجم خاک گشته و از نظر اصلاح خاک و تنظیم اسیدیته خاک مفید و مؤثر هستند (حقیقت‌نیا و همکاران ۱۳۸۷). از دیگر مزایای کشت مخلوط افزایش کارایی استفاده از زمین است که توسط شاخص نسبت برابری زمین سنجیده می‌شود. افزایش این شاخص به بالاتر از یک، در نظام‌های کشت مخلوط نشان دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. در بررسی نظام‌های کشت در برگیرنده جو- نخود (حمزه‌ئی و همکاران ۱۳۹۱)، جو- ماشک (محسن- آبادی و همکاران ۱۳۸۶) و گندم- نخود (استیونسون و کسل ۱۹۹۶) گزارش شده‌است که نظام‌های کشت مخلوط کارایی استفاده از زمین را افزایش داده و نسبت به نظام‌های تک کشتی برتری دارند. از این رو، آزمایش حاضر با هدف مطالعه واکنش برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک و کارایی استفاده از زمین به الگوهای مختلف کشت مخلوط جو و نخود و مقایسه آن با نظام- های تک کشتی بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا واقع در روستای دستجرد انجام گرفت. محل اجرای آزمایش در ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی، ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی و ۱۶۹۰ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. میزان کل بارندگی در طول اجرای آزمایش ۱۳۷/۱ میلی‌متر بود که نحوه توزیع بارندگی و همچنین دیگر ویژگی‌های آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده‌است. نتایج آزمون خاک، بافت خاک را رسی لومی (رس ۲۷٪، سیلت ۳۰٪، شن ۴۳٪)، pH آن را ۷/۴۶، EC را ۰/۴۰۹ دسی زیمنس بر متر، کربن آلی را ۱/۳۲ درصد، نیتروژن کل را ۰/۱۳ درصد و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب را به‌ترتیب ۵۹/۴ و ۵۹۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نشان داد.

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی محل آزمایش در طول فصل رشد.

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
دمای کمینه (^0C)	۳/۷	۶/۷	۹/۹	۱۴/۰
دمای بیشینه (^0C)	۱۷/۲	۲۱/۵	۳۰/۶	۳۵/۷
بارندگی کل (mm)	۵۵/۵	۷۵/۷	۵/۹	۰
رطوبت نسبی کمینه (٪)	۳۲	۳۳	۱۳	۷
رطوبت نسبی بیشینه (٪)	۸۴	۸۷	۶۵	۳۷

طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۰ تیمار بود. کشت خالص نخود (P_1)، کشت خالص جو (P_2) و الگوهای کشت مخلوط با تراکم ۱۰۰٪ جو + تراکم ۱۰۰٪ نخود (P_3)، ۷۵٪ جو + ۱۰۰٪ نخود (P_4)، ۵۰٪ جو+ ۱۰۰٪ نخود (P_5)، ۲۵٪ جو + ۱۰۰٪ نخود (P_6)، ۷۵٪ جو + ۲۵٪ نخود (P_7)، ۵۰٪ جو + ۵۰٪ نخود (P_8)، ۲۵٪ جو + ۷۵٪ نخود (P_9) به همراه تیمار شاهد بدون کشت (P_{10}) تیمارهای آزمایشی بودند. در این آزمایش از ارقام هاشم و والفجر به‌ترتیب برای نخود و جو استفاده شد. زمین محل آزمایش در اسفند ۱۳۸۸ تا عمق ۳۰ سانتی‌متری شخم زده شد و عملیات کاشت نخود و جو به‌طور همزمان و در ۱۵

فروردین سال ۱۳۸۹ با دست انجام گرفت. فاصله ردیف‌های کاشت برای نخود ۵۰ سانتی‌متر و برای جو ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بنابراین، در کشت خالص نخود، در هر کرت آزمایشی ۱۲ ردیف کاشت و در کشت خالص جو، در هر کرت آزمایشی ۲۴ ردیف کاشت قرار داشت. در تیمارهای کشت مخلوط نیز بذور جو در بین ردیف‌های نخود کشت شدند. تراکم کشت دو گیاه نخود و جو در حالت کشت ۱۰۰٪ آن‌ها به‌ترتیب ۴۰ و ۳۰۰ بوته در متر مربع بود. ابعاد کرت‌های آزمایشی نیز به طول ۴/۵ و عرض ۶ متر بود. آبیاری کرت‌ها به‌صورت بارانی انجام شده و مبارزه با علف‌های‌هرز، آفات و پاتوژن‌ها در طول فصل رشد اجرا گردید.

در این آزمایش برخی ویژگی‌های خاک نظیر pH، قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک (EC) خاک، چگالی ظاهری خاک، درصد ماده آلی خاک، درصد نیتروژن خاک و درصد خاکدانه پایدار ارزیابی شدند. نمونه‌های خاک مزرعه برای بررسی ویژگی‌های مورد نظر از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری و بعد از برداشت محصولات زراعی (در اواخر تیر ماه) ۱۳۸۹برداشته شدند. pH نمونه‌ها با استفاده از دستگاه pH متر که بر اساس اندازه‌گیری پتانسیل الکتریکی حاصل از یون‌های هیدروژن است، تعیین گردید (پیج و همکاران ۱۹۸۲). قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک (EC)، متناسب با غلظت یون‌ها در محلول خاک می‌باشد، به‌نحوی‌که هرچه غلظت یون‌ها در محلول خاک بیشتر باشد EC آن نیز بیشتر خواهد بود. ECبه‌طریق عصاره‌گیری از گل اشباع و با قرار دادن پروب EC متر در عصاره اشباعی حاصل از گل اشباع به‌دست آمد. میزان آب در خاک در حالت اشباع تابع بافت خاک، سطح ویژه، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌باشد. به‌همین دلیل از روش مکش برای به‌دست آوردن عصاره اشباع استفاده شد و عصاره اشباع برای اندازه‌گیری EC استفاده گردید (ریچارد ۱۹۵۴). وزن یک سانتی‌متر مکعب از خاک خشک در شرایط طبیعی را چگالی ظاهری می‌گویند. برای تعیین این شاخص از استوانه مخصوص استفاده شد. ابتدا استوانه آرام، با دقت و بدون ضربه زدن وارد خاک شد و نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس برای تهیه وزن خشک، هر یک از نمونه‌های خاک در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند و چگالی ظاهری خاک بر اساس فرمول $D = \frac{P}{V}$ محاسبه گردید که در این رابطه، D: چگالی ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، V: حجم خاک خشک شده در ۱۰۵ درجه سلسیوس در حالت طبیعی بر حسب سانتی‌متر مکعب و P: وزن خاک خشک شده در ۱۰۵ درجه سلسیوس در حالت طبیعی و بر حسب گرم است (بلیک و هارج ۱۹۸۶). پایداری خاکدانه‌ها نیز با تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها توسط چندین الک متفاوت اندازه‌گیری شد (کمپر و رزنا ۱۹۸۶). برای تعیین درصد نیتروژن خاک از روش وانگ و همکاران (وانگ و همکاران ۲۰۰۹) استفاده شد. در این روش نیتروژن کل نمونه‌ها به روش کجلدال اندازه‌گیری شد. مقدار کل کربن آلی در هر نمونه با استفاده از روش اکسیداسیون مرطوب تعیین شد و سپس با اعمال ضریب ۱/۷۲ در کربن آلی، ماده آلی خاک برای هر نمونه محاسبه گردید (یومنس و برمنر ۱۹۹۸، وانگ و همکاران ۲۰۰۹).

نسبت برابری زمین[1]

نسبت برابری زمین بر اساس سطح زمین زیر کشت محاسبه می‌گردد و به‌وسیله آن مشخص می‌شود که برای به‌دست آوردن مقدار محصولی که از یک هکتار کشت مخلوط عاید می‌شود چه مقدار از زمین به‌صورت زراعت تک کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود. نسبت برابری زمین بر اساس رابطه $LER = \sum_{n=1}^{m} \frac{Yi}{Yii}$ محاسبه می‌شود که در آن Yi مقدار محصول یک گونه (در واحد سطح) در کشت مخلوط و Yii عبارت از محصول همان گونه (در واحد سطح) در زراعت تک کشتی است. چنانچه $LER = 1 + X$ باشد، X مقدار زمین اضافه در نظام تک کشتی مورد نیاز است تا بتوان همان مقدار محصولی که در واحد سطح از کشت مخلوط به‌دست آمده است را برداشت نمود (مظاهری ۱۳۷۷).

[1] Land equivalent ratio

برای تجزیه داده‌ها نیز از برنامه آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها هم توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش نشان داد که بین تیمارها در کلیه ویژگی‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). به‌طوری‌که، به‌جز ویژگی pH خاک که در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت، اثر تیمارها بر بقیه ویژگی‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. در تمام ویژگی‌ها تیمار شاهد (بدون کاشت) دارای بدترین وضعیت بود و الگوهای کشت مخلوط در این مطالعه اثرات مفیدی بر ویژگی‌های خاک نشان دادند.

کمترین pH خاک (۷/۱۰) به تیمار شاهد و بیشترین pH (۷/۷۲) به تیمار P_5 تعلق داشت (جدول۳). نتایج آزمایش بیانگر افزایش pH خاک در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمار شاهد (بدون کشت) و تک کشتی جو و نخود بود. حقیقت‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) نیز نقش بقولات را در بهبود pH خاک جهت کشت محصولات زراعی مختلف مثبت گزارش کردند. در آزمایش لی و همکاران (۲۰۰۳) نیز در کشت مخلوط ذرت و باقلا، باقلا با تثبیت نیتروژن توانست نقشی مهم در بهبود pH ایفا کند. در مطالعه‌ای که قمری‌رحیم و همکاران (۱۳۹۰) بر روی کشت مخلوط ذرت و باقلا انجام دادند، کمترین pH مربوط به تیمار تک کشتی ذرت بود. ولی، مقدار pH در تیمارهای کشت مخلوط افزایش نشان داد. لگوم‌ها با باکتری جنس ریزوبیوم رابطه همزیستی داشته و قادر به تثبیت نیتروژن هستند. این باکتری‌ها به‌دلیل داشتن زندگی کمولیتوتروفی، از هیدروژن و دی‌اکسید کربن محیط استفاده کرده و سبب افزایش مثبت pH خاک و قلیایی کردن محیط رشد خود می‌شوند (صفری‌سنجانی ۱۳۸۲).

اثر تیمارها بر چگالی ظاهری خاک نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌نحوی‌که، تیمار P_3 (کشت مخلوط ۱۰۰٪ نخود+۱۰۰٪جو) دارای کمترین چگالی ظاهری خاک (۱/۱۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. باید اشاره کرد که ترکیب مخلوط افزایشی غلات و حبوبات احتمالاً در بهتر شدن چگالی ظاهری خاک تأثیر به‌سزایی دارند. در کشت خالص چگالی ظاهری خاک، در جو کمتر از نخود بود (جدول ۳). حقیقت‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) اظهار داشتند که کاشت غلات سبب بهبود چگالی ظاهری خاک می‌گردد که در تحقیق حاضر نیز وجود گیاه جو این موضوع را تأیید نمود.

تیمار کشت خالص جو (P_2) از نظر EC محلول خاک در مقایسه با سایر الگوهای کشت در وضعیت مطلوبتری قرار داشت. کمترین و بیشترین EC در تیمارهای کشت خالص جو و بدون کشت به‌دست آمد (به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر). به‌طور کلی، کشت مخلوط نسبت به شاهد، EC محلول خاک را بهبود بخشید (جدول۳). قمری‌رحیم و همکاران (۱۳۹۰) نیز اظهار داشتند که کشت مخلوط ذرت و باقلا هدایت الکتریکی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد.

در صفت ماده آلی خاک نیز با اعمال تیمارهای کشت مخلوط نتایج مثبتی به‌دست آمد به‌طوری‌که، تیمار P_5 دارای بیشترین ماده آلی (۲/۵۰٪) در خاک بود که با سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌دار داشت (جدول۳). برخی دیگر از پژوهشگران نیز در پژوهش‌های خود به کارایی کشت مخلوط در بهبود ماده آلی خاک اشاره نموده‌اند (قمری‌رحیم و همکاران ۱۳۹۰، بیدیا و همکاران ۲۰۱۰). برخی از پژوهشگران نیز اظهار داشته‌اند که یکی از دلایل برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، افزایش ماده آلی خاک در کشت مخلوط لگوم- غیرلگوم می‌باشد. چنین نتایجی در کشت مخلوط باقلا- گندم (بولسان و همکاران ۱۹۹۷) و باقلا- یولاف (هلنیوس و جوکینن ۱۹۹۴) مشاهده شده‌است. به‌نظر می‌رسد یکی از مهمترین علل افزایش ماده آلی در نظام کشت مخلوط افزایش تولید زی‌توده باشد.

درصد خاکدانه پایدار نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۲). به‌طوریکه کمترین (۲٪) و بیشترین (۳/۴۵٪) میزان خاکدانه‌های پایدار به‌ترتیب به تیمارهای شاهد (بدون کشت) و P_5 (کشت مخلوط ۵۰٪جو+۱۰۰٪نخود) تعلق داشت (جدول ۳). محمودآبادی و احمدبیگی (۱۳۹۰) گزارش کردند که

پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های با کشت گندم و یونجه بیشتر از خاک آیش و همچنین خاک شخم خورده بود.

درصد نیتروژن خاک نیز در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. با این که تیمار تک کشتی نخود دارای بالاترین میزان این صفت بود (۰/۴۴٪)، ولی تمامی نظام‌های کاشت در مقایسه با تیمار شاهد درصد نیتروژن خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۳). محققان زیادی در مطالعات خود به استفاده بهتر از نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم‌ها، در کشت مخلوط اشاره کرده‌اند (لی و همکاران ۲۰۰۱، هاگاراد و جنسن ۲۰۰۱، لی و همکاران ۲۰۰۴، آنان و همکاران ۲۰۰۶). در مطالعه هاگارد-نیلسون و همکاران (۲۰۰۹) نیز نیتروژن تجمعی در خاک در تیمار کشت مخلوط ۱۰۰٪ نخود فرنگی و ۵۰٪ جو بیش از سایر الگوهای کشت مخلوط، گزارش شده‌است.

به‌طور کلی طبق یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان اثرات الگوهای مختلف کشت مخلوط جو و نخود را بر ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی و تغذیه‌ای خاک مثبت ارزیابی نمود.

جدول۲- میانگین مربعات اثرات الگوهای مختلف کشت بر ویژگی‌های خاک.

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	چگالی ظاهری	هدایت الکتریکی	ماده آلی	خاکدانه پایدار	نیتروژن خاک	عملکرد کل[b]
تکرار	۲	۰/۳۱**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۱۹*	۰/۶۲**	۰/۰۰۱*	۵۸۰/۳۱^{ns}
تیمار	۹	۰/۱۱*	۰/۱۲**	۰/۰۰۱**	۰/۳۴**	۰/۵۲**	۰/۰۱**	۳۲۵۵/۷۰**
خطا	۱۸	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۰۰۲	۵۲۶/۸۲
CV (%)		۲/۸۱	۹/۸۰	۱۰/۷۱	۱۰/۸۸	۸/۰۰	۵/۲۲	۷/۴۸

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

b: قابل ذکر است که درجه آزادی تیمار و خطا برای صفت عملکرد کل به‌ترتیب ۸ و ۱۶ می‌باشد.

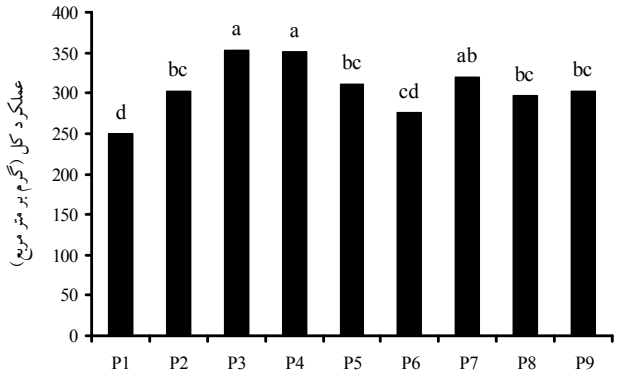
جدول۳- مقایسه میانگین‌های اثرات الگوهای مختلف کشت بر ویژگی‌های خاک.

تیمار	pH	چگالی ظاهری (g/cm^3)	هدایت الکتریکی (dS/m)	ماده آلی (%)	خاکدانه پایدار (%)	نیتروژن خاک (%)
P_1	۷/۳۳^{bc}	۱/۴۴^{b}	۰/۱۹۰^{bc}	۲/۲۰^{abc}	۲/۹۰^{bc}	۰/۴۴^{a}
P_2	۷/۱۹^{bc}	۱/۲۲^{bc}	۰/۱۶۰^{c}	۲/۲۵^{ab}	۲/۵۹^{cde}	۰/۲۳^{e}
P_3	۷/۴۷^{ab}	۱/۱۱^{c}	۰/۱۷۰^{bc}	۲/۳۵^{ab}	۲/۳۰^{ef}	۰/۲۴^{de}
P_4	۷/۴۵^{abc}	۱/۳۳^{bc}	۰/۱۹۰^{bc}	۱/۷۸^{d}	۲/۴۶^{de}	۰/۳۰^{c}
P_5	۷/۷۲^{a}	۱/۳۱^{bc}	۰/۱۹۰^{bc}	۲/۵۰^{a}	۳/۴۵^{a}	۰/۲۹^{c}
P_6	۷/۷۰^{a}	۱/۲۸^{bc}	۰/۱۸۰^{bc}	۲/۱۰^{bcd}	۲/۳۴^{ef}	۰/۲۴^{de}
P_7	۷/۴۳^{abc}	۱/۴۰^{b}	۰/۲۰۰^{b}	۲/۱۶^{abcd}	۲/۷۴^{bcd}	۰/۲۶^{d}
P_8	۷/۳۴^{bc}	۱/۲۹^{bc}	۰/۱۸۰^{bc}	۱/۸۵^{cd}	۲/۷۴^{bc}	۰/۳۴^{b}
P_9	۷/۴۰^{abc}	۱/۳۹^{b}	۰/۱۹۰^{bc}	۲/۰۶^{bcd}	۲/۹۰^{b}	۰/۲۶^{d}
P_{10}	۷/۱۰^{c}	۱/۸۸^{a}	۰/۲۵۰^{a}	۱/۳۰^{e}	۲/۰۰^{f}	۰/۲۰^{f}

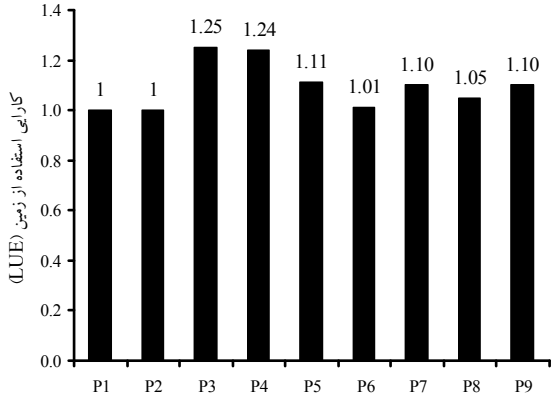
P_1 تا P_{10} : به‌ترتیب کشت خاص نخود و جو و کشت مخلوط با تراکم ۱۰۰٪ جو + تراکم ۱۰۰٪ نخود، ۷۵٪ ج + ۱۰۰٪ ن، ۵۰٪ ج+ ۱۰۰٪ ن، ۲۵٪ ج + ۱۰۰٪ ن، ۷۵٪ ج + ۲۵٪ ن، ۵۰٪ ج + ۵۰٪ ن و ۲۵٪ ج + ۷۵٪ ن.

عملکرد کل در نظام‌های تک کشتی و مخلوط و نسبت برابری زمین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کشت بر ویژگی عملکرد کل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین میزان عملکرد کل (به‌ترتیب ۳۵۳/۴ و ۲۴۹/۹ گرم بر متر مربع) در تیمارهای P_3 و P_1 به‌دست آمد (شکل ۱). نتایج آزمایش حاکی از این بود که الگوهای مختلف کشت مخلوط توانستند به‌طور نسبی عملکرد کل را نسبت به تیمارهای کشت خالص افزایش دهند. پژوهشگران دیگر نیز در یافته‌های خود به افزایش عملکرد کل در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص اشاره کرده‌اند (عشقی‌زاده و همکاران ۱۳۸۶، جهان ۱۳۸۳، بنیک و همکاران ۲۰۰۶). بررسی شاخص نسبت برابری زمین در این مطالعه نشان داد که کلیه تیمارهای کشت مخلوط دارای LUE بالاتر از یک بودند که نشان از برتری کشت مخلوط دو گونه نسبت به تک کشتی هر یک از دو گونه دارد (شکل ۲). بیشترین میزان شاخص نسبت برابری زمین (۱/۲۵) درتیمار P_3 به‌دست آمد. در آزمایشی که بر روی کشت مخلوط بابونه و همیشه بهار انجام گرفت مشخص گردید که LUE در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود (جهان ۱۳۸۳). شایگان و همکاران (۱۳۸۷) در کشت مخلوط ذرت و ارزن دم روباهی و حمزه‌ئی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در مطالعه کشت مخلوط جو و نخود، اظهار داشتند که LUE در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود. سایر پژوهشگران نیز در مطالعات خود به چنین نتایجی دست یافته‌اند (آجینهو و همکاران ۲۰۰۶، بنیک و همکاران ۲۰۰۶).



شکل ۱- میزان عملکرد کل (گرم بر متر مربع) در تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط (P_1 تا P_9: به‌ترتیب کشت خالص نخود، کشت خالص جو و کشت‌های مخلوط ۱۰۰٪ جو + ۱۰۰٪ نخود، ۷۵٪ ج + ۱۰۰٪ ن، ۵۰٪ ج+ ۱۰۰٪ ن، ۲۵٪ ج + ۱۰۰٪ ن، ۷۵٪ ج + ۲۵٪ ن، ۵۰٪ ج + ۵۰٪ ن و ۲۵٪ ج + ۷۵٪ ن).



شکل ۲- میزان LUE در تیمارهای مختلف کشت مخلوط (P_3 تا P_9: به‌ترتیب کشت مخلوط ۱۰۰٪ جو + ۱۰۰٪ نخود، ۷۵٪ ج + ۱۰۰٪ ن، ۵۰٪ ج+ ۱۰۰٪ ن، ۲۵٪ ج + ۱۰۰٪ ن، ۷۵٪ ج + ۲۵٪ ن، ۵۰٪ ج + ۵۰٪ ن و ۲۵٪ ج + ۷۵٪ ن).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش بیانگر این بود که الگوهای کشت مخلوط اثرات مفیدی بر ویژگی‌های خاک دارند. بیشترین میزان ماده آلی خاک و خاکدانه پایدار متعلق به تیمار P_5 بود که با تیمارهای کشت خالص نخود و جو و همچنین تیمار بدون کشت اختلاف معنی‌دار داشت. این در حالی بود که کمترین میزان pH خاک و بالاترین مقدار هدایت الکتریکی به تیمار P_{10} (بدون کشت) تعلق گرفت. بالاترین عملکرد کل نیز در تیمار P_3 به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیش از تیمارهای کشت خالص بود. علاوه بر این، در کلیه تیمارهای کشت مخلوط LUE بالاتر از ۱ بود که نشان از سودمندی کشت مخلوط داشت. از این رو، به‌نظر می‌رسد کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ جو + ۱۰۰٪ نخود قادر به حفظ پایداری محیط زیست و بهبود ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک و همچنین افزایش کارایی استفاده از زمین خواهد بود.

منابع مورد استفاده

جوانشیر ع، دباغ محمدی نسب ع، حمیدی آ و قلی پور م، ۱۳۷۹. اکولوژی کشت مخلوط (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

جهان م، ۱۳۸۳. بررسی جنبه‌های اکولوژیکی کشت مخلوط بابونه *Chamomilla matricaria* L. و همیشه بهار *Calendula officinalis* L. همراه با کود دامی. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

حقیقت‌نیا ح، دستفال م و براتی و، ۱۳۸۷. اثر نظام‌های مختلف تناوب گیاهی بر عملکرد گندم و برخی ویژگی‌های خاک. مجله نهال و بذر، جلد ۲۴، شماره ۲. صفحه‌های ۲۶۵ تا ۲۸۰.

حمزه‌ئی ج، سیدی م، احمدوند گ و ابوطالبیان مع، ۱۳۹۱. تأثیر کشت مخلوط افزایشی بر سرکوب علف‌های‌هرز، عملکرد و اجزای عملکرد نخود و جو. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی، جلد ۲، شماره ۳. صفحه‌های ۴۳ تا ۵۶.

شالیکار ا، ایوبی‌خرمالی ش‌ف و قربانی نصرآبادی ر، ۱۳۸۷. ارزیابی شاخص‌های مختلف کیفیت خاک در تناوب‌های زراعی با کشت برنج در منطقه دشت سر آمل. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۵، شماره ۶. صفحه‌های ۳۶ تا ۴۶.

شایگان م، مظاهری د، رحیمیان‌مشهدی ح و پیغمبری س‌ع، ۱۳۸۷. اثر تاریخ کاشت و کشت مخلوط ذرت و ارزن دم روباهی بر عملکرد دانه آن‌ها و کنترل علف‌های‌هرز. مجله علوم زراعی ایران، جلد۱۰، شماره ۱. صفحه‌های ۳۱ تا ۴۶.

صفری‌سنجانی ع ا، ۱۳۸۲. بیولوژی و بیوشیمی خاک. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان.

عشقی‌زاده ح‌ر، چایی چی م، قلاوند ا و شعبانی ق، ۱۳۸۶. بررسی کشت مخلوط بر عملکرد و میزان پروتئین یونجه یک ساله و جو در شرایط دیم. مجله زراعت و باغبانی، جلد ۲۰، شماره ۲. صفحه‌های ۱۰۲ تا ۱۱۲.

قمری‌رحیم ن، حمزه‌ئی ج، احمدوند گ و بیاناتی ش، ۱۳۹۰. بررسی چگونگی واکنش‌پذیری برخی مولفه‌های شیمی و درصد کربن آلی خاک به نظام‌های مختلف کشت. صفحه ۱۰۵. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه.

کوچکی ع، نخ‌فروش ع و ظریف کتابی ح، ۱۳۷۶. کشاورزی ارگانیک (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

کوچکی ع، غلامی ا، مهدوی‌دامغانی ع و تبریزی ل، ۱۳۸۴. اصول کشاورزی زیستی (ارگانیک) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

کوچکی ع و نجیب‌نیا س، ۱۳۸۷. نقش تنوع در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

محسن‌آبادی غ ر، جهان سوز م ر، چایی‌چی م ر، رحیمیان مشهدی ح، لیاقت ع و ثواقبی فیروزآبادی غ ر، ۱۳۸۶. ارزیابی کشت مخلوط جو- ماشک در سطوح مختلف کود نیتروژن. علوم و فناوری کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۱. صفحه-های ۲۳ تا ۳۱.

محمودآبادی م و احمدبیگی ب، ۱۳۹۰. تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر پایداری خاکدانه در چند نوع نظام کاشت. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۱، شماره ۲. صفحه‌های۶۱ تا ۷۹.

مظاهری د، ۱۳۷۷. زراعت مخلوط. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

Agegnehu G, Ghizaw A and Sinebo W, 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal Agronomy 25: 202-207.

A-nan F, Xiang-wei C and Zhi-min L, 2006. Effects of intercropping systems of trees with soybean on soil physicochemical properties in juvenile plantations. Journal of Forestry Research 17(3): 226-230.

Banik P, Midya A, Sarkar BK and Ghose SS, 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal Agronomy 24: 325-332.

Blake GR and Hartge KH, 1986. Bulk density. In: A. Klute. (Eds.), Method of Soil Analysis. Part1. Physical and Mineralogical Methods, 2th ed. Agronomy monographs, 9. ASA-SSSA, Madison, WI, USA.

Beedya TL, Snappb SS, Akinnifesia FK and Sileshia GW, 2010. Impact of *Gliricidia sepium* intercropping on soil organic matter fractions in a maize-based cropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment 138: 139-146.

Bulson HAJ, Snaydon RW and Stopes CE, 1997. Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. Journal of Agriculture Science 128: 59-71.

Deveikyte I, Kadziuliene Z and Sarunaite L, 2009. Weed suppression ability of spring cereal crops and peas in pure and mixed stands. Agronomy Research 7: 239-244.

Hauggaard-Nielsen H and Jensen ES, 2001. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at defferent levels of soil N availability. Field Crops Research 72:185-196.

Hauggaard-Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, Von Fragstein P, Pristeri A, Monti M and Jensen ES, 2009. Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N_2-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. Field Crops Research 113: 64-71.

Helenius J and Jokinen K, 1994. Yield advantage and competition in intercropped oats (*Avena sativa* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.): application ofthe hyperbolic yield-density model. Field Crops Research 37: 85-94.

Kemper WD and Rosenau RC, 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Li L, Sun J, Zhang F, Li X, Yang S and Rengel Z, 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and inter specific interactions on nutrients. Field Crops Research 71:123-137.

Li L, Zhang F, Li X, Christie P, Sun J, Yang S and Tang C, 2003. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. Nutrient Cycling in Agroecosystems 65: 61-71.

Li L, Tang C, Rengel Z and Zhang FS, 2004. Chickpea facilitates phosphorus uptake by intercropped wheat from an organic phosphorus source. Plant Soil 248: 297-303.

Masri Z and Ryan J, 2005**.** Soil organic matter and related physical properties in a Mediterranean wheat based rotation trial. Soil and Tillage Research 81: 54-67.

Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds.), 1982. Methods of soil analysis. Part2-Chemical and Microbiological methods. Seconds edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA.

Richards LA (Ed.), 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agriculture Handbook 60, Washington D. C., USA.

Silva PSL, Oliveira OF, Silva PIB, Silva KMB and Braga JD, 2009. Effect of cowpea intercropping on weed control and corn yield. Planta Daninha 27(3): 491-497.

Stevenson FC and Kessel CV, 1996. The nitrogen and non-nitrogen rotation benefits of pea to succeeding crops. Canadian Journal of Plant Science 76: 735-745.

Wang XL, Jia Y, Li XG, Long RJ, Ma Q, Li FM and Song YJ, 2009. Effects of land use on soil total and light fraction organic and microbial biomass C and N in a semi-arid ecosystem of northwest China. Geoderma 153: 285-290.

Yeomens JC and Bremner JM, 1998. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 19: 1467-1476.

Zhang FS and Li L, 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.