نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۹، ص. ۶۸۰-۶۶۷

Journal of Agroecology
Vol. 2, No. 4, Winter 2010, p. 667-680

# اثر مدیریت نظام‌های زراعی بر تولید خالص اولیه و ضرایب نسبی تسهیم کربن در گیاه ذرت (*Zea mays* L.)

سرور خرم‌دل[1*]، علیرضا کوچکی[2]، مهدی نصیری محلاتی[2] و رضا خراسانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۱

## چکیده

بمنظور بررسی میزان تولید خالص اولیه و برآورد تسهیم کربن به اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر نظام‌های مختلف زراعی، آزمایشی با چهار تکرار در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. چهار تیمار آزمایشی شامل دو نظام زراعی کم‌نهاده بر پایه مصرف کود دامی و کمپوست زباله خانگی، یک نظام متوسط نهاده و یک نظام پرنهاده به صورت زیر تعریف شدند: نظام کم نهاده با ۳۰ تن کود دامی و نظام کم‌نهاده با ۳۰ تن کمپوست، بدون عملیات آماده‌سازی زمین و با دو مرتبه وجین دستی، نظام متوسط نهاده شامل ۱۵ تن در هکتار کمپوست، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، دو مرتبه عملیات آماده سازی زمین و علفکش توفوردی (در مرحله پنج برگی ذرت، به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار) و یکمرتبه وجین دستی و نظام پرنهاده شامل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، چهار مرتبه عملیات آماده‌سازی زمین و پاراکوات (بعد از کاشت، به میزان ۲ لیتر در هکتار) و توفوردی (در مرحله پنج برگی ذرت، به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار) بودند. صفات اندازه‌گیری شده شامل وزن دانه، زیست توده اندام هوایی، وزن ریشه، زیست توده کل اندام هوایی و زیرزمینی و طول مخصوص ریشه ذرت بود. نتایج نشان داد که اثر مدیریت نظام زراعی و میزان نهادهٔ خارجی بکار گرفته شده بر میانگین زیست توده اندام هوایی، وزن دانه، وزن ریشه، زیست توده کل اندام هوایی و زیرزمینی، نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی، طول مخصوص ریشه و شاخص برداشت ذرت معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. با اعمال مدیریت فشرده نظام زراعی، زیست توده اندام هوایی و نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی افزایش و وزن دانه، وزن و طول مخصوص ریشه کاهش یافت. بیشترین و کمترین میانگین زیست توده کل به ترتیب در نظام زراعی پرنهاده و کم‌نهاده در شرایط بهره‌گیری از کمپوست به ترتیب با ۱۸/۶ و ۱۰/۳ کیلوگرم در مترمربع در فصل زراعی مشاهده شد. بیشترین طول مخصوص ریشه در نظام زراعی کم‌نهاده برپایه کود دامی با ۱۹/۸ سانتی-متر بر سانتی‌متر مکعب خاک و کمترین میزان آن در نظام زراعی پرنهاده با ۱/۳ سانتی‌متر بر سانتی‌متر مکعب خاک مشاهده شد. دامنهٔ ضرایب نسبی تسهیم کربن برای بافت‌های مختلف ذرت در نظام‌های مختلف زراعی شامل $R_P$، $R_S$، $R_R$ و $R_E$ به ترتیب برابر با ۰/۱۷-۰/۱۰، ۰/۵۲-۰/۱۹، ۰/۳۹-۰/۲۳ و ۰/۲۵-۰/۱۵ برآورد شد. با اعمال مدیریت کم‌نهاده با مصرف کود دامی نظام زراعی میزان کربن تسهیم یافته به دانه، ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای افزایش و میزان تسهیم کربن به اندام‌های هوایی کاهش یافت. بیشترین و کمترین میزان تسهیم کربن به ریشه به ترتیب در نظام‌های زراعی کم‌نهاده بر مبنای مصرف کود دامی و نظام پرنهاده با ۶/۵ و ۲/۷ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی بدست آمد. بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه در نظام‌های زراعی کم نهاده با مصرف کود دامی (۱۶/۶ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) و نظام کم‌نهاده بر پایه مصرف کمپوست (۸/۹ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) حاصل شد. بطور کلی مدیریت نظام زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم نهاده با مصرف کود دامی به دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و همچنین آزادسازی تدریجی عناصر غذایی همراه با رشد گیاه باعث افزایش تسهیم کربن به بافت‌های زیرزمینی و به تبع آن افزایش زیست توده اندام‌های زیرزمینی ذرت شد که این امر از طریق اضافه کردن بقایای ریشه به خاک می‌تواند با حفظ کربن در خاک مانع انتشار آن به اتمسفر شده که در نتیجه برای کاهش تولید دی اکسید کربن و تغییر اقلیم مؤثر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تراوه ریشه‌ای، تغییر اقلیم، تولید خالص اندام هوایی، تولید خالص اندام زیرزمینی، ضریب نسبی تسهیم کربن

## مقدمه

در طی قرن گذشته به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی، ترکیب شیمیایی اتمسفر تغییر کرده که این امر بروز تغییرات بی‌سابقه‌ای را در اقلیم جهانی به دنبال داشته است. تغییر در ترکیب شیمیائی اتمسفر ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای[4] می‌باشد و حضور این

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی و استاد گروه زراعت و استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: su_khorramdel@yahoo.com)

4- Greenhouse gases (GHGs)

گازها در اتمسفر باعث تشدید اثرات گلخانه‌ای[1] خواهد شد. در طی دهۀ گذشته کرۀ زمین گرمترین دوران خود در طول ۶۰۰ سال گذشته تجربه کرده است و چنانچه درجه حرارت ۲-۱ درجه سانتی‌گراد گرمتر از میزان فعلی شود، زمین به گرمترین دوران خود طی ۱۵۰ هزار سال گذشته خواهد رسید (Saunders, 1998).

نتایج برخی بررسی‌ها (Korner, 2003) نشان داده است که غلظت دی اکسید کربن در سال ۱۷۵۰ میلادی در حدود ۲۷۰ ppm (قسمت در میلیون) بوده و در سال ۱۹۹۹ میلادی به ۳۶۷ ppm افزایش یافته که این امر منجر به افزایش دمای سالیانه کرۀ زمین شده است. علاوه بر این، افزایش درجه حرارت تحت تأثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن که در نیمه دوم قرن بیستم بارزتر از هر زمان دیگری بوده است پیآمدهای اقلیمی مختلفی را بهمراه داشته است و عامل اصلی بروز پدیدۀ تغییر اقلیم[2] محسوب می‌شود (Antle, 1995; Rosenzweig & Parry, 1994; Saunders, 1998). اگرچه گازهای گلخانه‌ای انواع مختلفی دارند، ولی با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینۀ اثرات این گازها، اکثر محققان دی اکسید کربن را مؤثرترین گاز گلخانه‌ای نامیده‌اند (Heinemann et al., 2005). بطور کلی، برخی بررسی‌ها نشان داده است که تغییرات ایجاد شده در اقلیم قادر خواهد بود بطور مستقیم از طریق تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محیط و بطور غیرمستقیم با تغییر رشد گیاه و ترکیب جوامع زیستی بر تنوع زیستی[3] خاک و به تبع آن پوشش گیاهی بالای سطح خاک، تأثیر داشته و در مجموع باعث بروز تغییراتی در کارکردها و فرآیندهای اکولوژیک بوم نظام شود (Hu & Zhang, 2004). از طرف دیگر، از آنجا که کشاورزی بخش به نسبت بزرگی را در مقایسه با سایر فعالیت‌ها به خود اختصاص داده است (Mc Conkey et al., 2003; Betts et al., 2007)، بوم‌نظام‌های کشاورزی و فعالیت‌های بکارگرفته شده در آن، تولیدکننده و منتشرکنندۀ بخش زیادی از انواع مختلفی از گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر می‌باشند (Salinger, 2007). در همین راستا اوسبورن و همکاران (Osborne et al., 2010) بیان داشتند که حداقل ۲۵ درصد از فعالیت‌های کشاورزی باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد و این میزان با افزایش مساحت اراضی زیر کشت و فشردگی روش‌های مدیریتی در بوم‌نظام‌های زراعی جهان رو به افزایش است.

بدین ترتیب چون گیاهان به عنوان جذب کننده دی اکسید کربن اتمسفر مطرح می‌باشند، لذا بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌توانند به عنوان کاهش دهنده غلظت دی اکسید کربن مد نظر قرار گیرند. اما در این رابطه لازم است که به نوع مدیریت نظام زراعی توجه ویژه‌ای شود، زیرا فعالیت‌های مختلف کشاورزی و نهاده‌های مورد استفاده برای مدیریت بوم‌نظام می‌توانند تولیدکنندۀ دی اکسید کربن و به تبع آن افزایش دهنده غلظت آن در اتمسفر باشند. لذا از آنجا که نوع مدیریت نظام زراعی تأثیر بسزایی بر میزان تولید گیاهان دارد، چنین بنظر می‌رسد که بمنظور بررسی تأثیر بوم‌نظام‌های زراعی بر میزان تولید و در نتیجه انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر، توجه به نوع مدیریت زراعی و میزان نهاده‌های خارجی بکارگرفته شده در بوم‌نظام و از طرف دیگر، توجه به میزان تولید خالص اولیه گیاهان به عنوان برآوردی از میزان دی اکسید کربن جذب شده بوسیله گیاهان امری ضروری باشد. به عبارت دیگر، تعیین تولید خالص اولیه گیاهان در نظام‌های مختلف زراعی می‌تواند به عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر مد نظر قرار گیرد.

تولید خالص اولیه مجموع کربن تثبیت شده در اندام‌های مختلف هوایی[4] (ANPP) و زیرزمینی[5] (BNPP) گیاه می‌باشد که در صورت حفظ آن می‌تواند باعث کاهش غلظت دی اکسید کربن شود (Gan et al., 2010؛ Lambers et al., 2008). کخ و همکاران (Kutsch et al., 2010) با بررسی روش‌های مختلف مدیریت زراعی و تناوب‌های مختلف در بوم‌نظام‌های کشاورزی اروپا گزارش نمودند که مدیریت‌های مختلف تأثیر بسزایی بر میزان تولید خالص اولیه گیاه داشت. شیمیزو و همکاران (Shimizu et al., 2009) با بررسی اثر کودهای آلی بر چراگاهها گزارش نمودند که کاربرد نهاده‌های آلی در مقایسه با عدم استفاده از این نهاده‌ها و همچنین در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش تولید خالص اولیه گیاهان شد. دویکر و لال (Duiker & Lal, 2000) نیز بیان نمودند که هر عامل مدیریتی که به نوعی بتواند بر رشد و نمو گیاه مؤثر باشد، می‌تواند میزان تولید خالص گیاه را که نشاندهندۀ میزان کربن جذب شده می‌باشد، تحت تأثیر قرار دهد. بدین ترتیب، تعیین میزان تولید خالص اولیه گیاهان از یکطرف می‌تواند نشان دهندۀ میزان تولید زیست تودۀ گیاه و از طرف دیگر برآوردی از میزان دی اکسید کربن جذب شده از اتمسفر باشد. لذا با توجه به تأثیر مدیریت نظام‌های زراعی بر میزان تولید و انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر، چنین بنظر می‌رسد که نظام‌های زراعی که بتوانند میزان دی اکسید کربن کمتری را به اتمسفر انتشار دهند و از طرف دیگر، تولید زیست تودۀ بالاتری داشته باشند، می‌توانند به عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی اکسید کربن در آینده مد نظر قرار گیرند. علاوه بر این با محاسبۀ میزان تولید خالص اولیه و برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف، می‌توان سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از میزان دی اکسید کربن جذب شده برآورد و تعیین کرد.

1- Greenhouse effect
2- Climate change
3- Biodiversity (BD)
4- Above-ground net primary production (ANPP)
5- Below-ground net primary production (BNPP)

این آزمایش با هدف بررسی تأثیر نوع مدیریت نظام زراعی و نهاده خارجی بکارگرفته شده بر تولید خالص اولیه و تسهیم کربن به بافت‌های هوایی و زیرزمینی ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف محاسبه میزان تسهیم کربن به بافت‌های مختلف ذرت و تولید خالص اولیه آن در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد، با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ´۲۸°۵۹ شرقی و ´۱۵°۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا انجام شد. قبل از اجرای آزمایش جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر انجام شد. ویژگی‌های کود دامی پوسیده و کمپوست زباله خانگی نیز قبل از افزوده شدن به خاک در هر دو سال، به تفکیک اندازه‌گیری و تعیین شد. نتایج این نمونه‌برداری‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش**

**Table 1- Physical and chemical criteria of the soil**

| لومی Loam | | بافت Texture |
|---|---|---|
| 0.013 | N کل Total N | محتوی (درصد) Content (%) |
| 120.93 | K | میزان عنصر ($mg.kg^{-1}$) |
| 9.44 | P | Amount ($mg.kg^{-1}$) |
| 7.95 | | اسیدیته pH |
| 0.110 | | هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) EC ($dS.m^{-1}$) |

بر اساس نوع نهاده‌های خارجی و میزان عملیات اعمال شده شامل عملیات خاکورزی (آماده سازی و کاشت) و عملیات داشت (شامل تراکم، تغذیه گیاه و کنترل علف‌های هرز) چهار تیمار شامل دو نظام کم‌نهاده بر پایه مصرف کود دامی و مصرف کمپوست زباله شهری، یک نظام متوسط نهاده و یک نظام پرنهاده در قالب سه نظام زراعی تعریف شدند (جدول ۳).

عملیات آماده‌سازی زمین در اسفندماه سال قبل از اجرای آزمایش، در صورت نیاز و برای هر نظام زراعی بر طبق جدول ۳ انجام شد. بر این اساس، عملیات تهیه زمین، در نظام‌های مختلف زراعی به شرح ذیل بود:

بمنظور آماده‌سازی بستر کاشت، در نظام پرنهاده از حداکثر عملیات خاکورزی (دو نوبت شخم برگرداندار و دو نوبت دیسک) استفاده شد. در نظام کم نهاده بدون استفاده از عملیات خاکورزی اقدام به کاشت شد. در نظام زراعی متوسط نهاده، از میانگین عملیات خاکورزی بکارگرفته شده در دو نظام زراعی پرنهاده و کم نهاده شامل یک نوبت شخم برگرداندار و یک نوبت دیسک استفاده شد (جدول ۳).

بمنظور بهبود حاصلخیزی خاک، کود دامی پوسیده (به میزان۳۰ تن در هکتار در نظام زراعی کم نهاده) و کمپوست زباله خانگی (به ترتیب به میزان ۳۰ و ۱۵ تن در هکتار برای نظام‌های زراعی کم نهاده و متوسط نهاده) اندکی قبل از کاشت و کود شیمیایی نیتروژن دار از منبع اوره (به میزان ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای نظام‌های زراعی متوسط نهاده و پرنهاده) در ۲۵ روز پس از سبز شدن و بصورت سرک همراه با آب آبیاری به خاک در نظام‌های مربوطه افزوده شد (جدول ۳).

**جدول ۲- ویژگی‌های کود دامی و کمپوست زباله شهری در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸**

**Table 2- Physical and chemical criteria of animal manure and municipal waste compost during 2009-2010**

| کمپوست زباله شهری Urban waste compost | | کود دامی Manure | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| سال دوم Second year | سال اول First year | سال دوم Second year | سال اول First year | | |
| 0.0737 | 0.0698 | 0.0856 | 0.0791 | N کل Total N | محتوی (درصد) Content (%) |
| 192.88 | 187.14 | 253.58 | 241.76 | K | میزان عنصر ($mg.kg^{-1}$) |
| 47.68 | 52.57 | 101.73 | 97.50 | P | Amount ($mg.kg^{-1}$) |
| 7.52 | 7.47 | 8.71 | 8.73 | | اسیدیته pH |
| 9.39 | 9.41 | 7.75 | 7.69 | | هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) EC ($dS.m^{-1}$) |

**جدول ۳- میزان نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی بکار گرفته شده در نظام‌های مختلف زراعی**
**Table 3- Inputs used and practices conducted in different crop management systems**

| نظام‌های زراعی Management systems / نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی Inputs and practices | کم‌نهاده Low input | متوسط نهاده Medium input | پرنهاده High input |
|---|---|---|---|
| **عملیات خاکورزی (آماده سازی زمین و کاشت):** **Tillage (seed bed preparation and planting):** | | | |
| – شخم برگرداندار (نوبت) Moldboard plowing (No. of operation) | - | 1 | 2 |
| – دیسک (نوبت) Moldboard plowing (No. of operation) | - | 1 | 2 |
| **عملیات داشت:** **Crop management practices:** | | | |
| الف) تراکم (بوته در متر مربع) A) Density (plant.m$^{-2}$) | 13.3 | 8.89 | 6.67 |
| **ب) تغذیه گیاه:** **B) Plant nutrition:** | | | |
| – اوره (kg.ha$^{-1}$) Urea (kg.ha$^{-1}$) | 30 | - | 300 |
| – کود دامی (t.ha$^{-1}$) Cow manure (t.ha$^{-1}$) | 30 | 15 | - |
| – کمپوست زباله خانگی (t.ha$^{-1}$) Compost municipal made from house-hold waste (t.ha$^{-1}$) | | | |
| **ج) کنترل علف‌های هرز:** **C) Weed control:** | | | |
| – کنترل شیمیایی Chemical control | | | |
| پاراکوات (۲ l.ha$^{-1}$، قبل از سبز شدن ذرت) Paraquat (2 l.ha$^{-1}$, after seeding) | - | - | + |
| توفوردی (۱/۵ l.ha$^{-1}$، در مرحله پنج برگی ذرت) 2- 4, D (1.5 l.ha$^{-1}$, five leaf-stage) | - | + | + |
| – وجین دستی (نوبت) Hand weeding (time) | 2 | 1 | - |

عملیات کاشت ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) به شیوهٔ دستی در نیمهٔ اول اردیبهشت ماه، روی شش ردیف ۴/۵ متر با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر بترتیب برای نظام‌های زراعی پرنهاده، متوسط نهاده و کم نهاده انجام شد. قابل ذکر است که بمنظور تسهیل در حرکت تراکتور جهت انجام عملیات آماده‌سازی زمین، فاصله بین بلوک‌ها پنج متر در نظر گرفته شد.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یکبار به شیوه نشتی و بطور یکسان با سیفون، در تمامی تیمارها انجام شد. بمنظور جلوگیری از اختلاط اثر کودهای مختلف، انتهای کرت‌های آزمایشی با استفاده از خاکریزی، بطور کامل مسدود شد. برای دستیابی به تراکم‌های مورد نظر برای نظام‌های مختلف زراعی، بوته‌های ذرت در مرحله ۶-۴ برگی تنک شدند.

کنترل علف‌های هرز طی دو مرحله (ابتدا و اواسط فصل رشد ذرت) با توجه به برنامه ارائه شده برای هر نظام زراعی انجام شد. بدین منظور، در نظام زراعی پرنهاده از دو مرتبه کنترل شیمیایی علف‌های هرز، با استفاده از علف‌کش‌های پاراکوات[1] (۲ لیتر در هکتار) و توفوردی[2] (۱/۵ لیتر در هکتار) به ترتیب در زمان بعد از کاشت (قبل از سبز شدن) و در مرحله پنج برگی ذرت استفاده شد. در نظام متوسط نهاده از توفوردی (به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار) در مرحله پنج برگی ذرت و یک نوبت عملیات وجین‌دستی و در نظام‌های کم‌نهاده تنها از دو نوبت وجین دستی برای کنترل علف‌های هرز استفاده شد (جدول ۳). لازم به ذکر است که سایر عملیات زراعی بکار گرفته شده در

1- Paraquat
2- 2- 4, D

مدیریت نظام‌های زراعی ذرت، به طور یکسان در تمام تیمارها انجام شد.

در پایان فصل رشد و با زرد شدن کامل بوته‌های ذرت در مرحله رسیدگی کامل اقدام به برداشت زیست توده اندام هوایی و زیرزمینی ذرت شد. بمنظور بررسی بر رشد و زیست توده اندام زیرزمینی ذرت (لایهٔ ۳۵-۰ سانتی‌متری خاک)، طول مخصوص ریشه‌های[1] چهار بوته ذرت پس از شستشو با استفاده از روش تنانت (Tenant, 1975) اندازه‌گیری و ثبت شد.

تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی (ANPP) و زیرزمینی (BNPP) به ترتیب از میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی (شامل دانه ($C_P$) و اندام هوایی ($C_S$)) و میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های زیرزمینی ذرت (شامل ریشه ($C_R$) و تراوه‌های ریشه‌ای[2] ($C_E$)) برآورد شد (معادله‌های ۱ و ۲).

معادله (۱) $ANPP= C_P+C_S$

معادله (۲) $BNPP= C_R+C_E$

میزان $C_P$، $C_S$ و $C_R$ به عنوان ۴۵ درصد عملکرد آن بافت در نظر گرفته شد (معادلات ۳ تا ۵). $C_E$ نیز از ۶۵ درصد عملکرد ریشه تعیین شد (معادله ۶) (Bolinder et al., 2007; Gan et al., 2009; Maher et al., 2010).

معادله (۳) $C_P= Y_P\times ۰/۴۵$

معادله (۴) $C_S= Y_S\times ۰/۴۵$

معادله (۵) $C_R= Y_R\times ۰/۴۵$

معادله (۶) $C_E= C_R\times ۰/۶۵$

برای برآورد میانگین ضرایب نسبی تسهیم کربن به بافت‌های مختلف ذرت از نسبت تسهیم کربن به آن بافت به تولید کل خالص اولیه استفاده شد. البته لازم به ذکر است که برای تعیین این ضرایب، بایستی مجموع ضرایب نسبی تسهیم کربن به دانه ($R_P$)، اندام هوایی ($R_S$)، ریشه ($R_R$) و تراوه‌های ریشه‌ای ($R_E$) برابر با یک باشد. سپس میزان کربن سالانه اضافه شده به خاک ($g\ C\ m^{-2}$) بر اساس نسبت کربن افزوده شده به خاک از طریق اندام‌های مختلف گیاهی ذرت با استفاده از معادله (۷) محاسبه شد (Bolinder et al., 2007; Gan et al., 2009).

معادله (۷) $C_i= [C_P\times S_P]+[C_S\times S_S]+[C_R\times S_R]+[C_E\times S_E]$

در این معادله، $S_p$ نسبت کربن اضافه شده از طریق افزوده شدن دانه به خاک (صفر)، $S_S$ نسبت کربن اضافه شده از طریق افزوده شدن اندام هوایی بجز ذرت به خاک (یک)، $S_R$ نسبت کربن اضافه شده از طریق افزوده شدن ریشه به خاک (یک) و $S_E$ نسبت کربن اضافه شده از طریق افزوده شدن ترشحات ریشه‌ای به خاک (یک) می‌باشد (Bolinder et al., 2007). برای برآورد میانگین ضریب نسبی تولید اولیه خالص ذرت ($R_i$) از معادله (۸) استفاده شد (Bolinder et al., 2007).

معادله (۸) $R_i = C_i/(C_P+C_S+C_R+C_E)$

بمنظور جلوگیری از تأثیر تراکم در نظام‌های مختلف زراعی، داده‌های آزمایش با استفاده از روش آنالیز کوواریانس با نرم‌افزار Minitab-ver 13 و بصورت مرکب تجزیه شدند. از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و نرم افزار Mstat-c جهت مقایسه میانگین‌ها ($p\leq ۰/۰۵$) استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

## نتایج و بحث

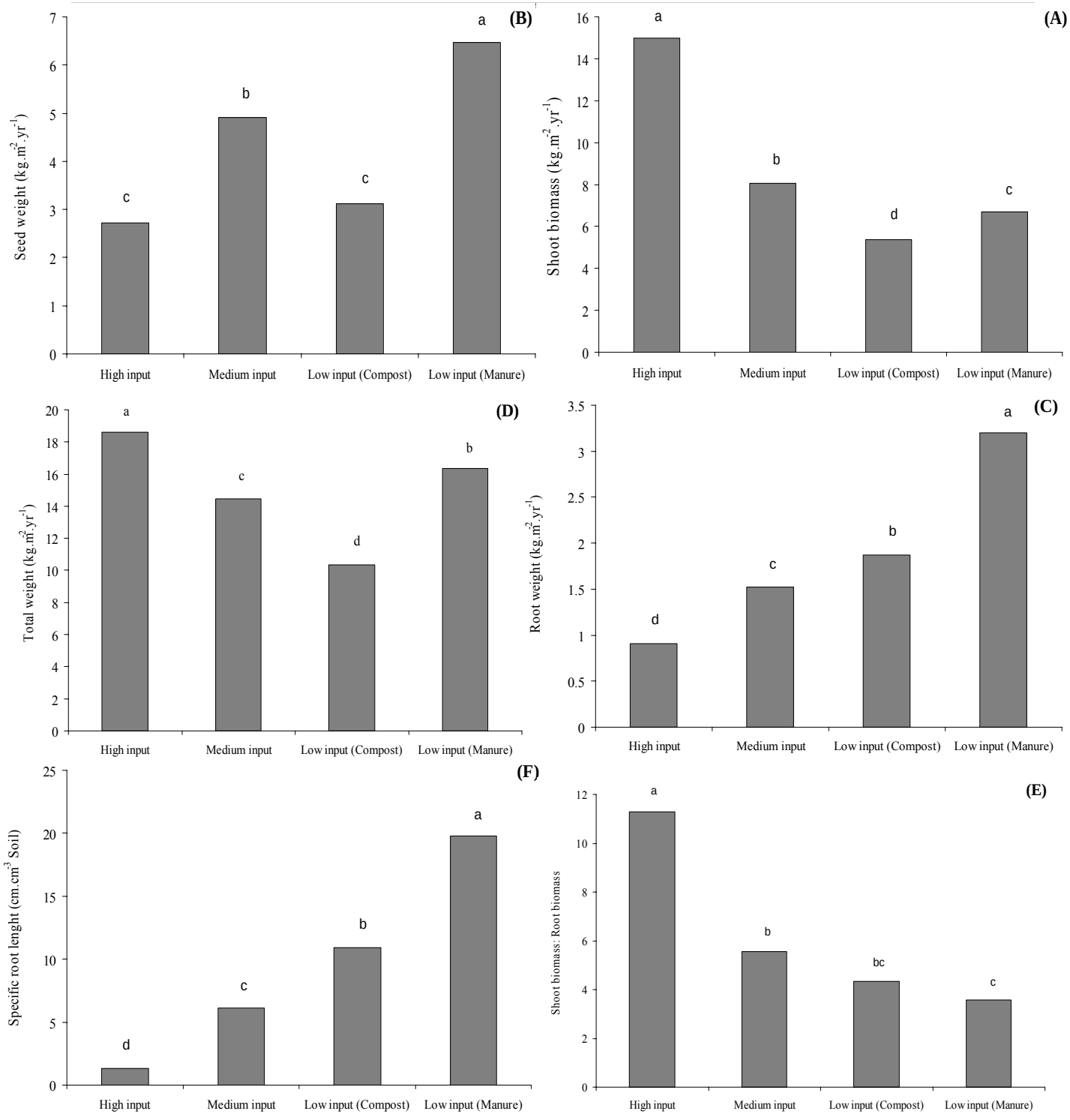
### تأثیر مدیریت نظام زراعی بر زیست توده اندام هوایی و زیرزمینی ذرت

اثر مدیریت نظام زراعی و میزان نهادهٔ خارجی بکار گرفته شده بر زیست توده اندام هوایی، وزن دانه، ریشه، وزن کل، نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی، طول مخصوص ریشه و شاخص برداشت ذرت معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بود. اثر تیمارهای مختلف مدیریت نظام زراعی بر وزن اندام هوایی، وزن دانه، وزن اندام زیرزمینی، وزن کل زیست توده، نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی و طول مخصوص ریشه ذرت در شکل ۱ نشان داده شده است.

بیشترین و کمترین زیست توده اندام هوایی در نظام‌های زراعی پرنهاده با ۱۵/۰ کیلوگرم در متر مربع در فصل زراعی و کم‌نهاده بر پایه کمپوست با ۵/۴ کیلوگرم در متر مربع در فصل زراعی مشاهده شد (شکل ۱- A). از آنجا که مصرف کود شیمیایی نیتروژنه فراهمی سریع نیتروژن (Pernia et al., 1980) را برای گیاه به دنبال دارد، لذا مصرف کود معدنی نیتروژنه در نظام مبتنی بر مصرف آن، باعث بهبود بیشتر رشد و نمو سطح برگ شد که در نهایت افزایش تولید بیوماس اندام هوایی را در مقایسه با سایر نظام‌های زراعی به دنبال داشت.

بیشترین وزن دانه در نظام زراعی کم نهاده بر پایهٔ کود دامی با ۶/۵ کیلوگرم در مترمربع در فصل زراعی و کمترین میزان آن در نظام پرنهاده با ۲/۷ کیلوگرم در مترمربع در فصل زراعی بدست آمد (شکل ۱- B). چنین بنظر می‌رسد که افزایش مصرف نیتروژن بصورت شیمیایی در نظام پرنهاده باعث افزایش تحریک رشد رویشی و به دنبال آن تسهیم بیشتر مواد فتوسنتزی برای بهبود توسعه اندام‌های رویشی در مقایسه با رشد اندام‌های زایشی شده است (Radosevich et al., 1997; Lambers et al., 2008).

1- Root specific length (RSL)
2- Extra-root




**شکل ۱- اثر نظام‌های مختلف زراعی بر (الف) وزن اندام هوایی، (ب) وزن دانه، (ج) وزن ریشه، (د) وزن کل زیست توده (کیلوگرم در متر مربع در فصل زراعی)، (ه) نسبت بیوماس اندام هوایی به زیرزمینی و (و) طول مخصوص ریشه (سانتی‌متر بر سانتی‌متر مکعب) ذرت (میانگین دو سال)**

**Fig. 1- Effect of crop management practices on shoot weight, seed weight, root weight, total biomass weight ($kg.m^{-2}.yr^{-1}$), shoot biomass: root, and root length ($cm.cm^{-3}$ Soil) of corn (The data are means of two years)**

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test ($\alpha$=0.05).

از طرف دیگر، بنظر می‌رسد که مصرف کود دامی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی (Pernia et al., 1980; Senesi, 1989; Radosevich et al., 1997; Lambers et al., 2008) در طول دورهٔ رشد گیاه، احتمالاً باعث برقراری تعادل در رشد رویشی و زایشی و در نتیجه بهبود تعادل در تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی را به دنبال داشته که این امر در نهایت موجب افزایش وزن دانه در این نظام زراعی در مقایسه با دیگر نظام‌های زراعی شده است.

با اعمال مدیریت زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده، زیست توده ریشه افزایش یافت. بطوریکه بیشترین و کمترین زیست توده ریشه در نظام کم‌نهاده بر مبنای بهره‌گیری از کود دامی و نظام پرنهاده به ترتیب با ۳/۲ و ۰/۹ کیلوگرم در مترمربع در فصل زراعی بدست آمد (شکل ۱- C). از آنجا که کود شیمیایی باعث فراهمی سریع عناصر غذایی برای گیاه می‌شود (Pernia et al., 1980)، بنظر می‌رسد که بوته‌های ذرت در این شرایط بدلیل فراهمی سریع عناصر غذایی، سهم کمتری از مواد فتوسنتزی را به توسعه سیستم ریشه‌ای اختصاص داده که در نهایت باعث کاهش زیست توده اندام زیرزمینی ذرت در شرایط بهره‌گیری از نظام بر مبنای مصرف کود اوره در مقایسه با نظام‌های کم‌نهاده شده است. از طرف دیگر، استفاده از کودهای آلی به دلیل بهبود ساختار فیزیکی و بیولوژیکی خاک (Edwards et al., 2002Naidu, 1998 & HaynesYin et al., 1996;)، باعث بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای ذرت و به تبع آن بهبود زیست توده آن شده است. میزان رشد زیست توده اندام زیرزمینی ذرت در شرایط کم‌نهاده با مصرف کود دامی بدلیل محتوی بیشتر عناصر غذایی (جدول ۲) بهبود رشد سیستم ریشه‌ای ذرت در سال اول و دوم اجرای آزمایش به ترتیب ۷۶ درصد بالاتر از نظام کم‌نهاده بهره‌مند از کمپوست بود. تأثیر بیشتر کود دامی در مقایسه با کمپوست بر رشد سلمه (*Chenopodium album* L.) توسط والکر و همکاران (Walker et al., 2004) نیز گزارش شده است بطور کلی همانطور که از شکل ۱- ج بر می‌آید در نظام‌های مبتنی بر مصرف کودهای آلی، میزان رشد ریشه بدلیل بالاتر بودن میزان معدنی شدن فسفر و به تبع آن افزایش محتوی فسفر محلول خاک (Oberson et al., 1996)، در مقایسه با نظام فشرده بالاتر بوده است.

بیشترین و کمترین زیست توده کل به ترتیب در نظام زراعی پرنهاده و کم‌نهاده در شرایط بهره‌گیری از کمپوست به ترتیب با ۱۸/۶ و ۱۰/۳ کیلوگرم در مترمربع در فصل زراعی مشاهده شد (شکل ۱- D). با توجه به بالاتر بودن زیست توده اندام هوایی ذرت (شکل ۱- A) در نظام پرنهاده در مقایسه با سایر نظام‌های زراعی و همچنین از آنجا که زیست توده اندام هوایی بخش عمده‌ای از زیست توده کل ذرت را تشکیل می‌دهد، افزایش زیست توده کل در این نظام زراعی منطقی بنظر می‌رسد.

با بکارگیری عملیات زراعی فشرده نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی افزایش یافت. بطوریکه بیشترین و کمترین نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی به ترتیب در نظام‌های زراعی پرنهاده و کم‌نهاده بر پایه مصرف کود دامی به ترتیب با ۱۱/۳ و ۳/۵ حاصل شد. بالاتر بودن زیست توده اندام هوایی (شکل ۱- الف) و پایین‌تر بودن زیست توده اندام زیرزمینی ذرت (شکل ۱- C) در نظام پرنهاده در مقایسه با سایر نظام‌ها باعث افزایش زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی شد. از طرف دیگر، بالا بودن زیست توده اندام زیرزمینی ذرت در شرایط اعمال نظام کم‌نهاده منجر به کاهش نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی شد (شکل ۱-E). بطور کلی، چنین بنظر می‌رسد که استفاده از کودهای معدنی دارای محتوی نیتروژن بالا از طریق فراهمی بسیار زیاد نیتروژن و بر هم زدن تعادل در رشد گیاه باعث تحریک رشد اندام هوایی و به تبع آن بهبود زیست توده آن شده است (Pernia et al., 1980). بنابراین، مصرف کودهای شیمیایی و بکارگیری خاکورزی فشرده به دلیل تخریب ساختمان خاک و سایر ویژگی‌های خاک از جمله ویژگی‌های بیولوژیکی، کاهش رشد اندام زیرزمینی را موجب شده که در نهایت افزایش نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی ذرت را به دنبال داشته است. از طرف دیگر، بهره‌گیری از نظام کم‌نهاده بر پایه عدم استفاده از عملیات خاکورزی و افزایش کاربرد نهاده‌های آلی باعث کاهش این نسبت شد، البته در مقایسه دو نظام زراعی کم‌نهاده، مشاهده می‌شود که تیمار بر مبنای مصرف کود دامی به دلیل تأثیر بهتر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (جدول ۲) باعث بهبود بیشتر نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی در مقایسه با مصرف کمپوست شد. نتایج مطالعات بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) دامنه نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی ذرت دانه‌ای را در شرایط مختلف آب و هوایی و مدیریت‌های مختلف زراعی از ۳/۶ تا ۹/۵ برآورد کردند. آنها دلیل این اختلاف را به شرایط مختلف آب و هوا، بافت خاک و مدیریت زراعی بویژه مصرف کود نسبت دادند. آنها تأکید کردند که بهره‌گیری بیشتر از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار باعث افزایش این نسبت شد. اثر مثبت کود بر نسبت اندام هوایی به زیرزمینی در شرایط مختلف آب و هوایی از جمله انگلستان (Welbank et al., 1974) و سوئد (Paustian et al., 1990) نیز گزارش شده است. گن و همکاران (Gan et al., 2009) گزارش نمودند که زیست توده ریشه بسته به شرایط آب و هوایی منطقه، حاصلخیزی، میزان عملیات خاکورزی و روش و عمق نمونه‌برداری ریشه متفاوت می‌باشد. با توجه به این مطلب، چنین بنظر می‌رسد که دلیل عمده تفاوت در مقادیر محاسبه شده نسبت اندام هوایی به زیرزمینی برای ذرت در این آزمایش با نتایج بولیندر و همکاران

(Bolinder et al., 2007) علاوه بر تأثیر بسزای عملیات خاکورزی و حاصلخیزکننده‌های افزوده شده به خاک به دلیل شرایط آب و هوایی و همچنین روش و عمق نمونه‌برداری ریشه ذرت باشد.

با کاهش عملیات خاکورزی و افزایش استفاده از مواد آلی روندی افزایشی در طول مخصوص ریشه مشاهده شد. بطوریکه بیشترین طول مخصوص ریشه ذرت در نظام زراعی کم‌نهاده برپایه کود دامی با ۱۹/۸ سانتی‌متر بر سانتی‌متر مکعب خاک و کمترین میزان آن در نظام زراعی پرنهاده با ۱/۳ سانتی‌متر بر سانتی‌متر مکعب خاک) مشاهده شد (شکل ۱- F). اگرچه در ظاهر ممکن است چنین تصور شود که عملیات خاکورزی فشرده قادر است تا از طریق بر هم زدن خاک، نفوذ و گستردگی ریشه را در خاک بهبود دهد، ولی مشخص است که افزایش خاکورزی احتمالاً از طریق افزایش فشردگی خاک باعث کاهش نفوذ و گستردگی ریشه در خاک شده (Willatta, 1986) که به تبع آن طول مخصوص ریشه ذرت را در نظام پرنهاده کاهش داده است. علاوه بر این، استفاده از کود اوره به دلیل فراهمی سریع عناصر غذایی (Pernia et al., 1980)، باعث نیاز کمتر گیاه به توسعه سیستم ریشه‌ای و به تبع آن کاهش تسهیم مواد فتوسنتزی به این اندام شده که در نهایت کاهش طول مخصوص ریشه را در نظام فشرده در مقایسه با سایر نظام‌های زراعی به دنبال داشته است. از طرف دیگر، از آنجا که نهاده‌های آلی افزوده شده به خاک حاوی مقداری سایر عناصر غذایی و بویژه فسفر بوده (جدول ۲) و فسفر هم نقش به سزایی بر بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای دارد (López-Bucio et al., 2002) و هم آنکه عنصری مؤثر برای بهبود رشد ذرت محسوب می‌شود (Miransari et al., 2009)، بهره‌گیری از این مواد آلی باعث بهبود طول مخصوص ریشه شد (شکل ۱- F). منگل و باربر (Mengel & Barner, 1973) بیشترین مقدار طول مخصوص ریشه ذرت را ۴/۱ سانتیمتر بر سانتی‌متر مکعب خاک گزارش کردند که دلیل تفاوت نتایج این محققین با نتایج حاصل از این آزمایش احتمالاً ناشی از حجم ماده آلی افزوده شده به خاک و از طرف دیگر کاهش عملیات خاکورزی بوده که در نهایت باعث بهبود رشد و توسعه زیاد سیستم ریشه‌ای ذرت شده است. کاسپر و همکاران (Kasper et al., 1990) با بررسی اثر نظام‌های مختلف خاکورزی (بدون شخم[1]، شخم پشته‌ای[2] و شخم با گاوآهن قلمی[3]) و فشرده‌سازی خاک ناشی از حرکت ماشین آلات بر رشد ریشه ذرت گزارش نمودند که با افزایش فشردگی ناشی از حرکت تراکتور بر سطح خاک رشد ریشه کاهش یافت که این امر باعث کاهش طول مخصوص ریشه شد.

اثر مدیریت نظام زراعی بر شاخص برداشت ذرت در شکل ۲ نشان داده شده است.

بیشترین و کمترین شاخص برداشت به ترتیب در نظام‌های زراعی کم‌نهاده بر پایه مصرف کود دامی و پرنهاده به ترتیب با ۶۷/۶ و ۱۷/۴ درصد مشاهده شد (شکل ۲). چنین بنظر می‌رسد که بالاتر بودن وزن دانه (شکل ۱- B) و احتمالاً برقراری تعادل بیشتر در رشد اندام‌های مختلف باعث بهبود شاخص برداشت در نظام کم‌نهاده با مصرف کود دامی شده است. از طرف دیگر، بالاتر بودن زیست توده اندام هوایی (شکل ۱-D) در شرایط اعمال نظام فشرده منجر به کاهش شاخص برداشت ذرت شده است. بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز شاخص برداشت ذرت دانه‌ای را ۵۰ درصد گزارش کردند.

## تأثیر نظام‌های زراعی بر ضرایب و میزان تسهیم کربن به بافت‌های مختلف و تولید خالص اولیه ذرت

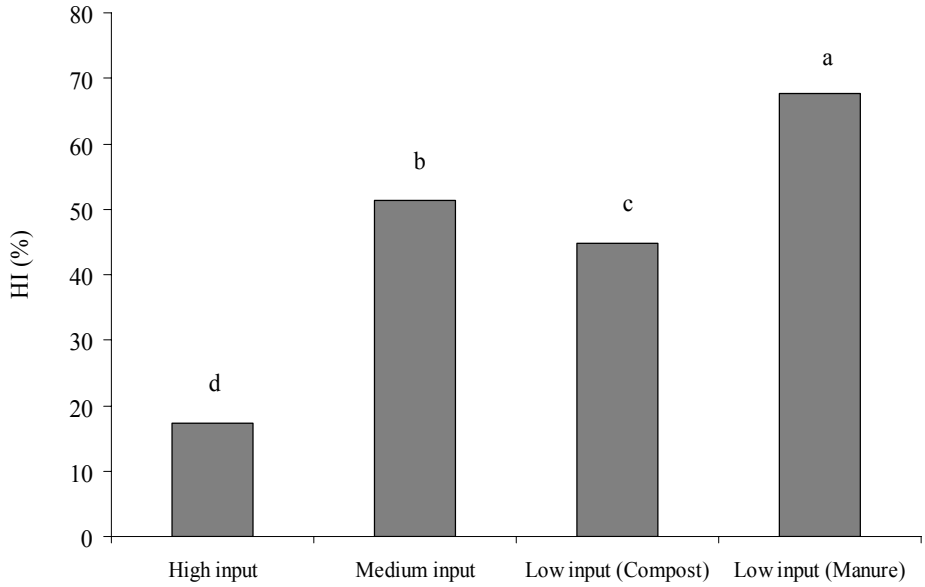
اثر نظام مختلف زراعی بر ضرایب نسبی تسهیم کربن به بافت‌های مختلف ذرت شامل دانه ($R_P$)، اندام هوایی ($R_S$)، ریشه ($R_R$) و تراوه‌های ریشه‌ای ($R_E$) معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. نتایج مقایسه میانگین ضرایب نسبی تسهیم کربن به بافت‌های ذرت و ضریب نسبی تولید اولیه خالص اضافه شده به خاک ($R_i$) در نظام‌های مختلف زراعی در جدول ۳ ارائه شده است.

دامنهٔ ضرایب نسبی تسهیم کربن برای بافت‌های مختلف ذرت در نظام‌های مختلف زراعی شامل $R_P$، $R_S$، $R_R$ و $R_E$ به ترتیب برابر با ۰/۱۷-۰/۱۰، ۰/۵۲-۰/۱۹، ۰/۳۹-۰/۲۳ و ۰/۲۵-۰/۱۵ برآورد شد (جدول ۳). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) $R_P$، $R_S$، $R_R$ و $R_E$ را برای ذرت دانه‌ای به ترتیب ۰/۳۶۸، ۰/۳۸۷، ۰/۱۳۸ و ۰/۰۸۹ برآورد کردند.

اثر مدیریت نظام زراعی بر ضریب نسبی تولید اولیه خالص اضافه شده به خاک ($R_i$) برای ذرت معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. با اعمال مدیریت زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده، $R_i$ افزایش یافت. بطوریکه بیشترین میزان $R_i$ در نظام زراعی کم‌نهاده بر مبنای مصرف کود دامی با ۰/۹۰ و کمترین میزان آن در نظام پرنهاده با ۰/۸۳ بدست آمد (جدول ۳). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) دامنهٔ $R_i$ را برای ذرت دانه‌ای ۰/۶۱-۰/۲۷ برآورد کردند.

نظام‌های مختلف زراعی اثر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر میزان کربن تسهیم یافته به دانه، اندام‌های هوایی، ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای، تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی، تولید کل خالص اولیه و کل کربن اضافه شده به خاک داشتند. اثر نظام‌های مختلف زراعی بر میزان کربن تسهیم یافته به دانه ($C_P$)، میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی ($C_S$)، میزان کربن تسهیم یافته به ریشه ($C_R$) و میزان کربن تسهیم یافته برای تراوه‌های ریشه‌ای ($C_E$) در شکل ۳ نشان داده شده است.

1- No-till
2- Ridge-till
3- Chisel plow




**شکل ۲- اثر نظام‌های مختلف زراعی بر شاخص برداشت (درصد) ذرت (میانگین دو سال)**

**Fig. 2- Effect of crop management practices on HI of corn. The data are means of two years**

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

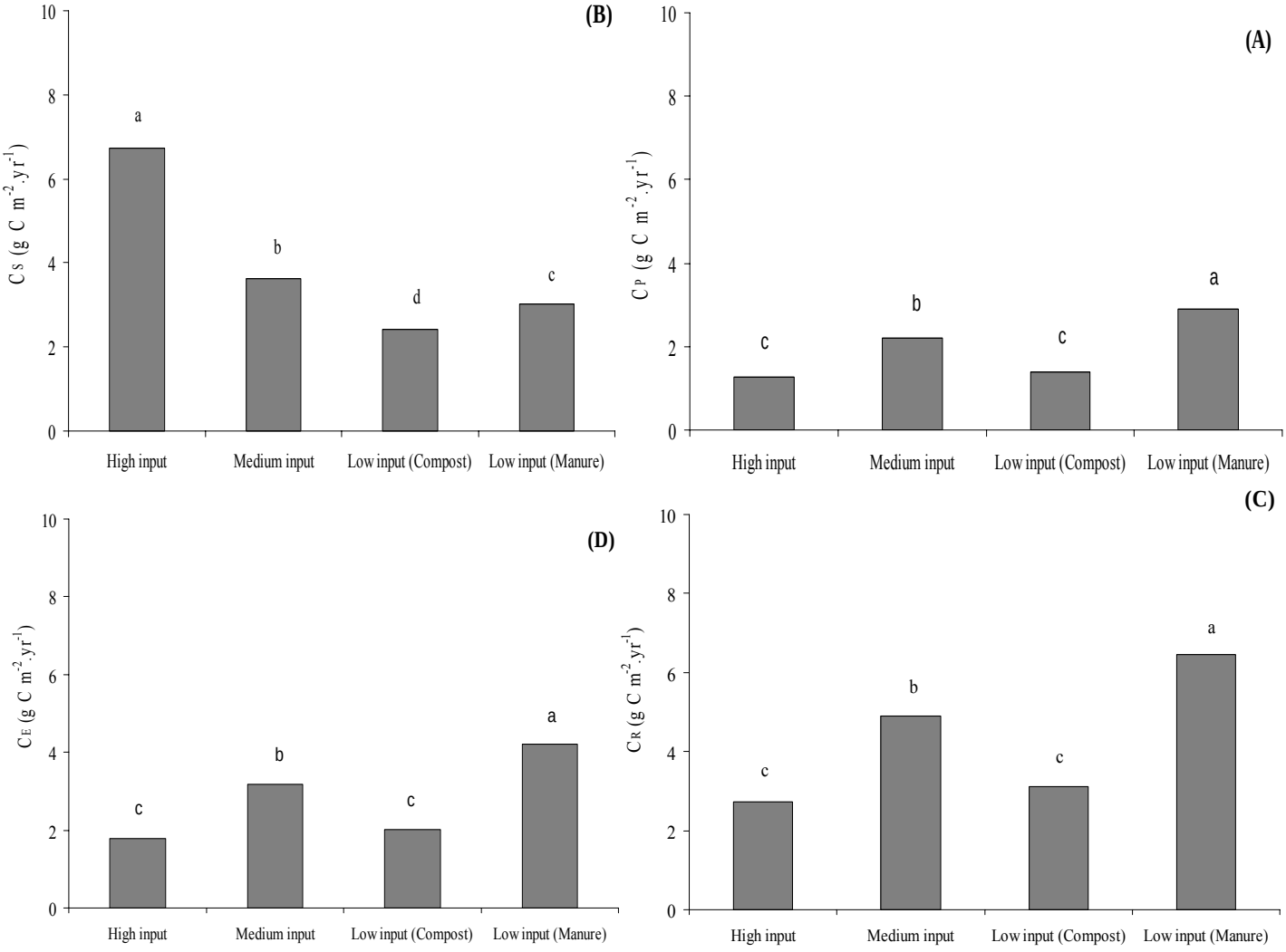
**جدول ۳- مقایسه میانگین ضرایب نسبی تسهیم کربن به بافت‌های مختلف ذرت (شامل دانه ($R_P$)، اندام هوایی ($R_S$)، ریشه ($R_R$) و تراوه‌های ریشه‌ای ($R_E$)) و ضریب نسبی تولید اولیه خالص اضافه شده به خاک ($R_i$) در نظام‌های مختلف زراعی (میانگین دو سال)**

**Table 3- Mean comparisons of relative carbon allocation coefficients to various tissues (seed ($R_p$), shoot ($R_s$), Root ($R_R$) and extra-root ($R_E$) and relative coefficient of added net primary productivity to soil ($R_i$) of corn in different crop management practices (The data are means of two years)**

| ضرایب نسبی تسهیم کربن Relative carbon allocation coefficients | | | | | نظام‌های مختلف زراعی Different crop management practices |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_i$ | $R_E$ | $R_R$ | $R_S$ | $R_P$ | |
| 0.898a | 0.148c | 0.227c | 0.523a | 0.102c* | نظام پرنهاده High input |
| 0.842b | 0.229b | 0.351b | 0.262b | 0.158b | نظام متوسط نهاده Medium input |
| 0.845b | 0.224b | 0.345b | 0.276b | 0.155b | نظام کم‌نهاده بر پایه کمپوست Low input |
| 0.826c | 0.251a | 0.386a | 0.190c | 0.174a | نظام کم‌نهاده بر پایه کود دامی Low input |
| **0.853** | **0.213** | **0.327** | **0.213** | **0.147** | **میانگین Mean** |

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

* Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).




**شکل ۳- اثر نظام‌های مختلف زراعی بر میزان کربن تسهیم یافته به (الف) دانه ($C_P$)، (ب) اندام‌های هوایی ($C_S$)، (ج) ریشه ($C_R$) و (د) ترشحات ریشه‌ای ($C_E$) (گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) ذرت (میانگین دو سال)**

**Fig. 3- Mean of corn allocated carbon to (A) seed (CP), (B) shoot (CS), (C) root (CR) and (D) extra-root (CE) ($gm^{-2}$ C $yr^{-1}$) of corn in different crop management practices (The data are means of two years)**

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test ($\alpha$=0.05).

با اعمال مدیریت زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده، میزان کربن تسهیم یافته به دانه افزایش یافت. بطوریکه بیشترین میزان کربن تسهیم یافته به دانه در نظام زراعی کم‌نهاده بر مبنای مصرف کود دامی با ۲/۹ گرم کربن بر متر مربع در در فصل زراعی و کمترین میزان آن در نظام پرنهاده با ۱/۲ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی بدست آمد (شکل ۳- A). همانگونه که قبلاً نیز بیان شد، بنظر می‌رسد که فراهمی سریع عناصر غذایی در نتیجه مصرف کود اوره باعث تحریک رشد رویشی و در نتیجه کاهش تسهیم کربن به اندام زایشی شده است. از طرف دیگر، آزادسازی تدریجی عناصر غذایی ناشی از مصرف کودهای آلی باعث برقراری تعادل مناسب بین رشد رویشی و زایشی شده است (Radosevich et al., 1997; Lambers et al., 2008).

افزایش مدیریت زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول پرنهاده باعث افزایش میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی شد. بطوریکه بیشترین و کمترین میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی در نظام‌های زراعی پرنهاده با ۶/۷ گرم کربن بر متر مربع در

فصل زراعی و کم‌نهاده بر پایه کمپوست با ۲/۴ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی مشاهده شد (شکل ۳- B). از آنجا که مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه از طریق فراهمی سریع نیتروژن، عاملی مؤثر بر تحریک رشد رویشی، سطح برگ و ارتفاع گیاهان می‌باشد (Lambers et al., 2008)، بالاتر بودن میزان مصرف آن در نظام فشرده باعث افزایش تولید ماده فتوسنتزی و به تبع آن فزونی گرفتن تسهیم مواد فتوسنتزی برای رشد اندام‌های هوایی در مقایسه با سایر نظام‌های زراعی شده است.

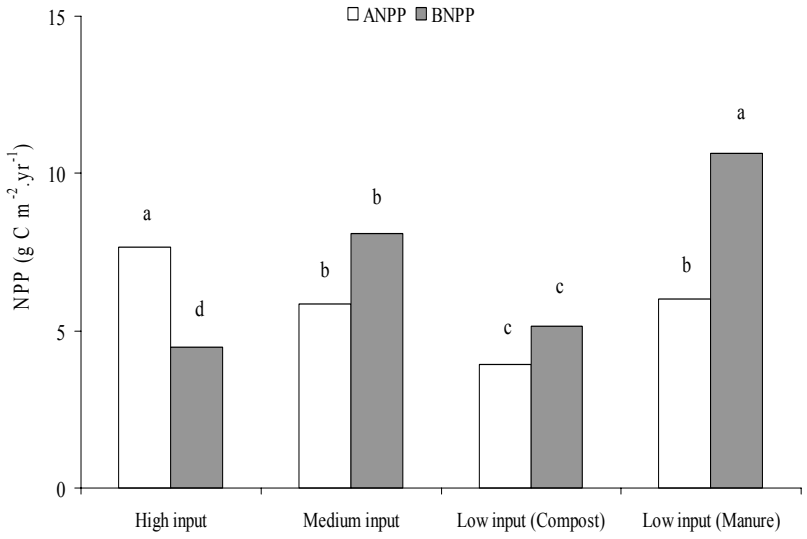
بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده بر مبنای مصرف کودهای آلی و کاهش استفاده از عملیات خاکورزی به دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی خاک برای رشد ریشه، افزایش میزان کربن اختصاص یافته به ریشه شد. بطوریکه بیشترین و کمترین میزان تسهیم کربن به ریشه در نظام‌های زراعی کم‌نهاده بر مبنای مصرف کود دامی و نظام پرنهاده به ترتیب با ۶/۵ و ۲/۷ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی بدست آمد (شکل ۳- C). با توجه به این مطلب که مصرف کودهای شیمیایی فراهمی سریع عناصر غذایی را برای گیاهان به همراه دارد (Pernia et al., 1980)، بنظر می‌رسد که مصرف اوره منجر به فراهمی سریع مواد غذایی شده که به تبع آن بدلیل نیاز کمتر گیاه برای گسترش سیستم ریشه‌ای، کاهش تسهیم مواد فتوسنتزی به آن را به دنبال داشته است (Radosevich et al., 1997; Lambers et al., 2008). همچنین استفاده از عملیات خاکورزی فشرده به دلیل تخریب ساختار خاک و فشرده‌سازی آن مانع رشد ریشه و به تبع آن کاهش میزان تسهیم مواد فتوسنتزی برای رشد آن شده است. از طرف دیگر، استفاده از نهاده‌های آلی به دلیل بهبود ویژگی‌های خاک (Haynes & Naidu, 1998; Abbotte & Murphy, 2007) و فراهمی تدریجی عناصر غذایی در طول فصل رشد و همراه با رشد گیاه (Senesi, 1989)، سبب بهبود رشد و تسهیم بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه شده است.

با توجه به این مطلب که میزان کربن تسهیم یافته برای تراوه‌های ریشه‌ای متأثر از میزان تسهیم کربن به ریشه می‌باشد (Bolinder et al., 2007) و همچنین از آنجا که با کاهش عملیات خاکورزی و بویژه استفاده از نهاده‌های آلی میزان تسهیم کربن برای ریشه افزایش یافت (شکل ۳- C). لذا با اعمال بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده در مدیریت ذرت، میزان تسهیم کربن برای تراوه‌های ریشه‌ای افزایش یافت. بطوریکه بیشترین میزان کربن تسهیم یافته برای تراوه‌های ریشه‌ای ذرت در نظام زراعی کم‌نهاده بر پایه مصرف کود دامی با ۴/۲ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی و کمترین میزان آن در نظام زراعی کم‌نهاده بر پایه مصرف کمپوست با ۱/۸ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی مشاهده شد (شکل ۳- D). گیوین (Nguyen, 2003) گزارش نمود که ۱۷ درصد از کربن خالص تثبیت شده در فتوسنتز بوسیله ریشه‌ها بعنوان تراوه‌های ریشه‌ای مدنظر قرار می‌گیرد، البته بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) این میزان را ۶۵ درصد برآورد کردند. برخی تحقیقات (Gerke, 1994; Jones & Darrah, 1994) نشان داده است که تراوه‌های ریشه‌ای علاوه بر تأمین کربن مورد نیاز برای جمعیت میکروبی خاک و در نتیجه بهبود رشد و فعالیت آنها در خاک، از طریق کلاته کردن[1] و واجذبی[2] عناصر کم‌محلولی همچون فسفر و آهن به آزاد شدن عناصر غذایی نیز کمک می‌کنند. کلارهلم (Clarholm, 1994) گزارش نمود که تراوه‌های ریشه‌ای بعنوان پیش‌ماده‌های اولیهٔ پرانرژی برای میکروارگانیسم‌های خاکزی محسوب می‌شوند که فراوانی جوامع میکروبی ریزوسفر و اطراف آنرا حمایت می‌کنند. بنابراین بنظر می‌رسد که احتمالاً تولید این نوع مواد آلی در نظام‌های مبتنی بر مصرف نهاده‌های آلی علاوه بر بهبود مستقیم ویژگی‌های خاک، می‌تواند تأثیر بسزایی بر تحریک رشد و بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی داشته باشد

اثر نظام‌های مختلف زراعی بر تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت در شکل ۴ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی ذرت به ترتیب در نظام-های زراعی پرنهاده و کم‌نهاده بر پایه مصرف کمپوست به ترتیب با۷/۷ و ۳/۹ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی بدست آمد (شکل ۴-۲۲). بالاترین تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی ذرت در نظام کم‌نهاده مبنی بر کاربرد کود دامی (۱۰/۷ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) و کمترین میزان آن در نظام پرنهاده (۴/۵ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) حاصل شد (شکل ۴). بطور کلی اعمال مدیریت پرنهاده ذرت بر مبنای اعمال خاکورزی بیشتر و مصرف کود شیمیایی نیتروژن‌دار باعث افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی و در نتیجه افزایش تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی ذرت شد. از طرف دیگر، بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده بر مبنای مصرف کودهای آلی و کاهش استفاده از عملیات خاکورزی منجر به افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی به اندام‌های زیرزمینی و به تبع آن بهبود تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی شد. چنین بنظر می‌رسد که با افزایش فشردگی خاک تحت تأثیر افزایش عملیات خاکورزی (Abbotte & Murphy, 2007)، رشد اندام‌های زیرزمینی کاهش یافته که کاهش تسهیم مواد فتوسنتزی به آنها و در نتیجه کاهش تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی را به دنبال داشته است. از طرف دیگر، مصرف کودهای آلی و کاهش عملیات خاکورزی با بهبود ویژگی‌های خاک (Abbotte & Murphy, 2007Naidu, 1998 & Haynes; )، افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی به اندام‌های زیرزمینی و به تبع آن بهبود تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی را منجر شده است. همچنین مصرف کودهای شیمیایی به دلیل فراهمی سریع عناصر غذایی (Senesi, 1989) و همچنین اختلال در رشد اندام‌های مختلف گیاهی (Pernia et al., 1980)، رشد بیشتر اندام‌های هوایی را به دنبال داشته است.

1- Chelation
2- Desorption

اثر نظام‌های مختلف زراعی بر تولید خالص اولیه ذرت در شکل ۵ نشان داده شده است.

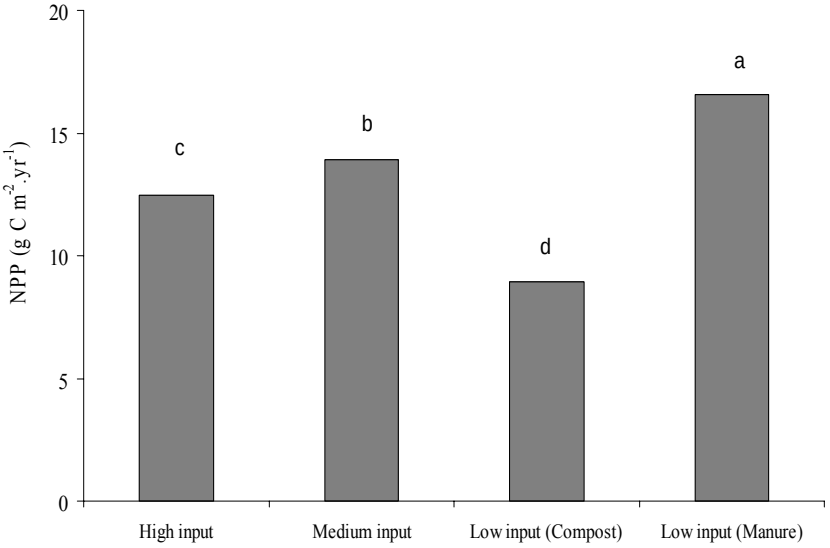



**شکل ٤- اثر نظام‌های مختلف زراعی بر تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی (ANPP) و زیرزمینی (BNPP) ذرت (گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) (میانگین دو سال)**

**Fig. 4- Effect of croping systems on above-ground net primary productivity (ANPP) and below-ground net primary productivity (BNPP) (g C $m^{-2}.yr^{-1}$) of corn (The data are means of two years)**

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).




**شکل ٥- اثر نظام‌های مختلف زراعی بر تولید خالص اولیه (NPP) (گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) ذرت (میانگین دو سال)**

**Fig. 5- Effect of croping systems on net primary production (NPP) (g C $m^{-2}.yr^{-1}$) of corn (The data are means of two years)**

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه ذرت در نظام‌های زراعی پرنهاده و نظام کم‌نهاده بر پایه مصرف کمپوست به ترتیب با ۱۶/۶ و ۸/۹ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی بدست آمد (شکل ۵). بطور کلی، پایین‌تر بودن میزان تسهیم مواد فتوسنتزی برای رشد اندام‌های مختلف در نظام کم‌نهاده بر پایه مصرف کمپوست (شکل ۳)، باعث کاهش تولید زیست توده اندام‌های مختلف (شکل ۱) و در نهایت کاهش تولید خالص اولیه در این نظام در مقایسه با دیگر نظام-های زراعی شد. از طرف دیگر، عدم بهره‌گیری از عملیات خاکورزی همراه با مصرف کود دامی به دلیل تأثیر مثبت بر ویژگی‌های رویشی و زایشی گیاه (شکل ۱)، در نهایت تولید بالاترین میزان تولید خالص اولیه را در بین نظام‌های مختلف زراعی به دنبال داشت. نتایج بررسی شیمیزو و همکاران (Shimizu et al., 2009) نشان داد در صورتی‌که میزان کاهش محتوی کربن خاک در شرایط استفاده از کودهای شیمیایی (و حتی عدم استفاده از کود در خاک) لحاظ شود، میزان تولید خالص اولیه در صورت استفاده از کودهای آلی افزایش می‌یابد. کخ و همکاران (Kutsch et al., 2010) نیز بیان داشتند که مدیریت‌های مختلف بوم‌نظام و تناوب‌های زراعی تأثیر زیادی بر تولید خالص اولیه گیاه داشت.

## نتیجه گیری

نتایج نشان داد که با اعمال مدیریت فشرده نظام زراعی، زیست توده اندام هوایی و نسبت زیست توده اندام هوایی به زیرزمینی افزایش و وزن دانه، وزن و طول مخصوص ریشه ذرت کاهش یافت. همچنین با اعمال مدیریت کم‌نهاده نظام زراعی میزان کربن تسهیم یافته به دانه، ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای افزایش و میزان تسهیم کربن به اندام‌های هوایی کاهش یافت. بطور کلی مدیریت فشرده نظام زراعی از طریق بر هم زدن تعادل در رشد اندام هوایی و زیرزمینی باعث افزایش تسهیم کربن به اندام هوایی و در نتیجه افزایش زیست تودهٔ آنها شد. مدیریت نظام زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده می‌تواند از طریق کاهش عملیات خاکورزی و مصرف انواع نهاده‌های شیمیایی باعث کاهش انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر شود. علاوه بر این، مدیریت نظام زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم نهاده به دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و همچنین آزادسازی تدریجی عناصر غذایی همراه با رشد گیاه باعث افزایش تسهیم کربن به بافت‌های زیرزمینی و به تبع آن افزایش زیست توده اندام‌های زیرزمینی ذرت شد که این امر از طریق حفظ و اضافه کردن بقایای ریشه‌ای گیاه به در خاک می‌تواند علاوه بر تأثر مثبت بر بهبود ویژگی‌های خاک با حفظ کربن در خاک مانع انتشار آن به اتمسفر شده که در نتیجه برای کاهش تولید دی اکسید کربن و پیامدهای ناشی از آن همچون گرمایش جهانی و تغییر اقلیم مؤثر باشد.

## منابع


1- Abbotte, L.K., and Murphy, D.V. 2007. Soil Biological Fertility: a Key to Sustainable Land Use in Agriculture. Springer, Technology and Engineering, 268 pp.
2- Antle, J.M. 1995. Climate change and agriculture in developing countries. American Journal of Agricultural Economics 77: 741–46.
3- Betts, R.A., Falloon, P., Goldewijk, K.K., and Ramankutty, N. 2007. Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. Agricultural and *Forest Meteorology* 142: 216–233.
4- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and Vanden Bygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118(1-4): 29-42.
5- Clarholm, M. 1994. The microbial loop in soil. In: Beyond Biomass. K. Ritz, J. Dighton, and K.E. Giller (Eds.). pp. 221- 238. Wiley, USA.
6- Duiker, S.W., and Lal, R. 2000. Carbon budget study using $CO_2$ flux measurement from a no till system in cereal Ohio. Soil and Tillage Research 54: 21-30.
7- Edwards J.H., Wood C.W., Thurlow D.L., Ruf M.E. 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a hapludult soil. Soil Science Society of America Journal 56(5): 1577-1582.
8- Gan, Y.T., Campbell, C.A., Janzen, H.H., Lemke, R.L., Basnyata, P., and Mc Donald, C.L. 2009. Carbon input to soil from oilseed and pulse crops on the Canadian prairies. Agriculture, Ecosystems and Environment 132(3-4): 290-297.
9- Gerke, J. 1994. Kinetics of soil phosphate desorption as affected by citric acid. Zeitscht fur Pflanzenernahrung and Bodenkunde 157: 17-22.
10- Haynes, R.J., and Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51(2): 123-137.
11- Heinemann, A.B., Maia, H.N., Dourado-Neto, A.D., Ingram, K.T., and Hoogenboom, G. 2005. Soybean (*Glycine*

*max* L. Merr.) growth and development response to $CO_2$ enrichment under different temperature regimes. European Journal of Agronomy 24: 52-61
12- Hu, S., and Zhang, W. 2004. Impact of Global Change on biological processes in soil implications for agroecosystem management. Journal of Crop Improvement 12 (1/2): 289-314.
13- Jones, D.L., and Darrah, P.R. 1994. Amino acid influx at the soil-root interface of *Zea mays* L. and its implications in the rhizosphere. Plant and Soil 163: 1-12.
14- Kaspar, T.C., Brown, H.J., and Kassmeyer, E.M. 1990. Corn root distribution as affected by tillage, wheel Traffic, and fertilizer placement. Soil Science Society of America Journal 55(5): 1390-1394.
15- Korner, C. 2003. Carbon limitation in trees. Journal of Ecology 91: 4-17.
16- Kutsch, W.L., Aubinet, M., Buchmann, N., Smith, P., Osborne, B., Eugster, W., Wattenbach, M., Schrumpf, M., Schulze, E.D., TomellerI, E., Ceschia, E., Bernhofer, C., Béziat, P., Carrarai, A., Di Tommasi, P., Grünwald, T., Jonesk, M., Magliulo, V., Marloie, O., Moureaux, C., Olioso, A., Sanz, M.J., Saunders, M., Søgaard, H., and Ziegler, W. 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 139(3): 336-345.
17- Lambers, H., Chapin, F.S., and Pones, T.L. 2008. Plant Physiological Ecology. 2nd Edition Springer. 604 pp.
18- López-Bucio, J., Hernández-Abreu, E., Sánchez-Calderón, L., Nieto-Jacobo, M.F., Simpson, J., and Herrera-Estrella, L. 2002. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the *Arabidopsis* root system. Plant Physiology 129: 244-256.
19- Maher, R.M., Asbjornsen, H., Kolka, R.K., Cambardella, C.A., Raich, J.W. 2010. Changes in soil respiration across a chronosequence of tallgrass prairie reconstructions. Agriculture, Ecosystems and Environment xx-xx.
20- Mc Conkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A., and Lafond, G.P. 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. Soil and Tillage Research 74: 81–90.
21- Mengel, D.B., and Barber, S.A. 1973. Development and distribution of the corn root system under field conditions. Agronomy Journal 66(3): 341-344.
22- Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F., Malakouti M.J. 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. Soil and Tillage Research 103: 282–290.
23- Nguyen, C. 2003. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. Agronomie 23: 375– 396.
24- Oberson, A., Besson, J.M., Maire, N., and Sticher, H. 1996. Microbiological transformations in soil-organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. Biology and Fertility of Soils 21: 138-148.
25- Osborne, B., Saunders, M., Walmsley, D., Jones, M., and Smith, P. 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. Agriculture, Ecosystems and Environment 139(3): 293-301.
26- Paustian, K., Andren, O., Clarholm, M., Hanson, A.C., Johansson, G., Lagerlof, J., Lindberg, T., Petterson, R., and Schlenius, B. 1990. Carbon and nitrogen budgets of four agroecosystems with annual and perennial crops, with and without nitrogen fertilization, Journal of Applied Ecology 27: 60–84.
27- Pernia, S.D., Hill, A., and Ortiza, C.L. 1980. Urea turnover during prolonged fasting in the northern elephant seal. Comparative Biochemistry and Physiology (Part B: Comparative Biochemistry) 65(4): 731-734.
28- Radosevich, S.R., Holt, J.S., and Ghersa, C. 1997. Weed Ecology: Implications for Management. John Wiley and Sons, Science, 589 pp.
29- Rosenzweig, C., and Parry, M.L. 1994. Potential impacts of climate change on world food supply. Nature 367: 133-138.
30- Salinger, J. 2007. Agriculture's influence on climate during the Holocene. Agricultural and Forest Meteorology 142: 96–102.
31- Saunders, M.A. 1998. Global warming: the view in 1998. Beneld Greig Hazard Research Centre Report, University College London.
32- Senesi, N. 1989. Composted materials as organic fertilizers. Science of the Total Environment 81-82: 521-542.
33- Shimizu, M.M., Marutani, S., Desyatkin, A.R., Jin, T.J., Hata, H., and Hatano, R. 2009. The effect of manure application on carbon dynamics and budgets in a managed grassland of Southern Hokkaido, Japan. Agriculture, Ecosystems and Environment 130: 31–40.
34- Tenant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal of Ecology 63: 995-1001.
35- Walker, DJ., Clemente, R., and Bernal, M.P. 2004. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. Chemosphere 57(3): 215-224.
36- Welbank, P.J., Gibb, M.J., Taylor, P.J., and Williams, E.D. 1974. Root growth of cereal crops. Rothamsted Experiment Station Report, Part 2, 26–66.
37- Willatta S.T. 1986. Root growth of winter barley in a soil compacted by the passage of tractors. Soil and Tillage Research 7(1/2): 41-50.
38- Yin Y., Allen H.E., Li Y., Huang C.P., and Sanders P.F. 1996. Adsorption of mercury (II) by soil: effects of pH, chloride, and organic matter. American Society of Agronomy 25(4): 837-844.