دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده کشاورزی

رسالهٔ دکتری رشته زراعت و اصلاح نباتات- گرایش اکولوژی گیاهان زراعی

ارزیابی توانایی بالقوهٔ ترسیب کربن و چرخهٔ حیات در نظام‌های مختلف زراعی ذرت

سرور خرم‌دل

استادان راهنما
دکتر علیرضا کوچکی
دکتر مهدی نصیری محلاتی

استاد مشاور
دکتر رضا خراسانی

مرداد ۱۳۹۰

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده کشاورزی
گروه زراعت و اصلاح نباتات

رساله دکتری

ارزیابی توانایی بالقوهٔ ترسیب کربن و چرخهٔ حیات در نظام‌های مختلف زراعی ذرت

سرور خرم‌دل

مرداد ۱۳۹۰

چکیده

امروزه مشخص شده است که جابجایی و انتشار کربن در مخازن مختلف خاک، گیاه و اتمسفر، می‌تواند نقش اساسی در پایداری بوم نظام‌های کشاورزی و کاهش مشکلات زیست محیطی و بخصوص گرمایش جهانی و تغییر اقلیم داشته باشد. بمنظور ارزیابی چرخهٔ حیات (LCA) و توانایی بالقوه ترسیب کربن برای ذرت در نظام‌های مختلف زراعی، مطالعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ انجام شد. چهار تیمار آزمایشی شامل دو نظام زراعی کم‌نهاده بر پایهٔ مصرف کود دامی و کمپوست زبالهٔ شهری، یک نظام متوسط نهاده و یک نظام پرنهاده به صورت زیر تعریف شدند: نظام کم نهاده با ۳۰ تن کود دامی یا ۳۰ تن کمپوست، بدون عملیات آماده‌سازی زمین و 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. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان کربن آلی و نیتروژن کل خاک به ترتیب در نظام‌های کم‌نهاده بر پایهٔ کود دامی با ۲/۲۵ درصد و پرنهاده با ۰/۱۲ درصد مشاهده شد. همچنین در پایان دورهٔ آزمایش، میزان نیتروژن نیتراتی خاک در تیمارهای وابسته به مصرف کودهای آلی پایین‌تر بود. در پایان سال دوم، بیشترین و کمترین میزان زیست توده و تنفس میکروبی برای نظام‌های زراعی کم‌نهاده بر پایه کمپوست (به ترتیب با ۱۷۷/۷۶ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک و ۰/۸۳ میلی‌گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز) و پرنهاده (به ترتیب با ۷۳/۱۳ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک و ۰/۰۷۸ میلی‌گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز) حاصل شد. میزان کربن آلی، زیست توده و تنفس میکروبی خاک از زمان کاشت تا برداشت کاهش و پس از آن با برگرداندن بقایای گیاهی به خاک به میزان زیادی افزایش یافت. با اعمال مدیریت فشرده نظام زراعی شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک، زیست تودهٔ اندام هوایی، وزن دانه، زیست توده کل و نسبت زیست تودهٔ اندام هوایی به زیرزمینی افزایش و وزن و طول مخصوص ریشه کاهش یافت. بیشترین زیست توده کل در نظام زراعی پرنهاده (۱/۷ کیلوگرم در مترمربع) و کمترین میزان آن در نظام کم‌نهاده در شرایط بهره‌گیری از کمپوست (۱/۳ کیلوگرم در مترمربع) مشاهده شد. بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه ذرت و خاک در نظام‌های زراعی پرنهاده (به ترتیب با ۹۲۴/۷ و ۲۷۷/۴ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) و نظام کم‌نهاده بر پایهٔ مصرف کمپوست (به ترتیب با ۵۹۲/۱ و ۱۷۷/۶ گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) بدست آمد. بیشترین طول مخصوص ریشه در نظام زراعی کم‌نهاده بر پایهٔ کود دامی با ۱۹/۷۹ سانتی‌متر در سانتی‌متر مکعب خاک و کمترین میزان آن در نظام زراعی پرنهاده با ۱/۳۲ سانتی‌متر در سانتی‌متر مکعب خاک مشاهده شد. با اعمال مدیریت پرنهاده میزان تسهیم کربن به اندام‌های هوایی و دانه و در شرایط بهره‌گیری از نظام کم‌نهاده میزان تسهیم کربن به ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای افزایش یافت. بیشترین و کمترین میزان کربن آلی و ماده آلی خاک به ترتیب در نظام زراعی کم‌نهاده بر مبنای مصرف کود دامی (۲/۰ و ۳/۴ درصد) و نظام پرنهاده (۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد) مشاهده شد. مدیریت فشرده علاوه بر تأثیر منفی بر میزان کربن آلی خاک، کاهش میزان کربن پایدار خاک را نیز به همراه داشت. بالاترین میزان کربن پایدار خاک در نظام زراعی کم‌نهاده بر مبنای مصرف کود دامی (۱/۰۵ درصد) و پایین‌ترین میزان در نظام پرنهاده (۰/۰۰۴ درصد) بدست آمد. در نهایت، بیشترین و کمترین میزان کربن ترسیب شده به ترتیب در نظام کم‌نهاده بر پایهٔ مصرف کود دامی و نظام پرنهاده مشاهده شد. بطور کلی، مدیریت کم‌نهاده نظام زراعی بر مبنای بهره‌گیری از 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 در نتیجه افزایش زیست تودهٔ اندام‌های زیرزمینی ذرت شد. بدین ترتیب بنظر می‌رسد که ترسیب کربن بر مبنای کاهش عملیات خاکورزی و افزودن بقایای گیاهی به خاک، راهکاری مناسب برای کاهش انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر و اثرات نامطلوب تغییر اقلیم بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. در نهایت، اثرات زیست محیطی تولید ذرت در شرایط آب و هوایی مشهد بررسی و ارزیابی چرخهٔ حیات به ازای یک واحد کارکردی (یک تن دانه) با استفاده از روش ISO 14040 در چهار مرحله اهداف و تعریف حوزهٔ عمل مطالعه، آنالیز ممیزی چرخهٔ حیات، ارزیابی تأثیر چرخهٔ حیات و تلفیق و تفسیر نتایج محاسبه شد. مرحله سوم بر مبنای شش گروه تأثیر توانایی بالقوه تخلیهٔ منابع غیرقابل تجدید (شامل سوخت فسیلی، سنگ فسفات و پتاس)، تغییر کاربری اراضی، تغییر اقلیم، سمّیّت (جوامع انسانی، بوم نظام خشکی و آبی)، اسیدی شدن اراضی و اوتریفیکاسیون (بوم نظام‌های خشکی و آبی) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین سهم نظام تولیدی ذرت دانه‌ای برای گروه مؤثر اسیدی شدن (۲/۵۹) و تغییر اقلیم (۰/۶۱) حاصل شد. بدین ترتیب، چنین بنظر می‌رسد که بتوان از روش‌های مختلف مدیریت نظام زراعی همچون کاربرد نهاده‌های آلی، تناوب، گیاهان تثبیت کننده نیتروژن و خاکورزی حداقل بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده برای کاهش این اثرات زیست محیطی بهره جست.

واژه‌های کلیدی: زیست توده میکروبی، تغییر اقلیم، تسهیم کربن، تولید خالص اولیه

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اوّل- مقدمه	۱
فصل دوّم- بررسی منابع	۹
۲-۱- گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی	۹
۲-۲- اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم	۱۱
۲-۳- اثرات تغییر اقلیم بر گیاهان	۱۳
۲-۳-۱- اثرات مستقیم تغییر اقلیم بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان	۱۳
۲-۳-۲- اثرات غیرمستقیم تغییر اقلیم بر گیاهان	۱۸
۲-٤- سهم کشاورزی در افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای	۲۱
۲-۵- کربن و نقش آن	۲۷
۲-٦- فرآیندها و عوامل مؤثر بر کاهش محتوی کربن خاک	۳۲
۲-۷- راهکارهای مؤثر برای کاهش غلظت دی اکسید کربن	۳۶
۲-۸- ترسیب کربن در خاک و عوامل مؤثر بر آن	۳۹
۲-۸-۱- عملیات خاکورزی	۴۳
۲-۸-۲- کودهای شیمیایی نیتروژنه و آلی	۴۷
۲-۸-۳- کاشت گیاهان پوششی، تناوب زراعی و کاهش آیش	۵۲
۲-۸-۴- نوع گیاه و مرحلهٔ فنولوژی	۵۴
۲-۸-۵- سایر عوامل	۵۵
۲-۹- ارزیابی اثرات زیست محیطی کارکرد بوم نظام	۶۲
۲-۱۰- ارزیابی چرخهٔ حیات (LCA)	۶۵
۲-۱۰-۱- اهداف استفاده از ارزیابی چرخهٔ حیات	۶۷
۲-۱۰-۲- انواع گروههای مؤثر برای ارزیابی چرخهٔ حیات در فعّالیّت‌های کشاورزی	۷۰
۲-۱۰-۳- روش محاسبهٔ ارزیابی چرخهٔ حیات	۷۲
فصل سوّم- مواد و روش‌ها	۷۵
۳-۱- بخش اول- عملیات مزرعه‌ای	۷۵
۳-۱-۱- زمان و موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش	۷۵
۳-۱-۲- تعیین ویژگی‌های خاک و کودهای آلی مورد استفاده	۷۵
۳-۱-۳- تیمارها و روش اجرای آزمایش	۷۷
۳-۱-۳-۱- اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی ذرت	۷۹
۳-۲-۳-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک و بقایای گیاهی	۷۹
۳-۲- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی	۸۱
۳-۳- تعیین ضرایب و میزان تسهیم کربن به بافت‌های مختلف و تولید خالص اولیه ذرت	۸۲

۳-٤- تعیین میزان کربن و ضریب نسبی تولید خالص اولیه ذرت ۸۴
۳-٥- تعیین تولید خالص اولیه خاک ۸۴
۳-٦- محاسبه میزان مادهٔ آلی و پتانسیل ترسیب کربن خاک ۸۴
۳-۷- آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها ۸۵
۳-۸- بخش دوم- محاسبه ارزیابی چرخهٔ حیات (LCA) ۸۶
فصل چهارم- نتایج و بحث ۱۰۱
بخش اول ۱۰۱
٤-۱- تأثیر نظام‌های زراعی بر ویژگی‌های خاک ۱۰۱
۴-۱-۱- تأثیر نظام‌های زراعی بر روند تغییرات کربن آلی خاک ۱۰۱
۴-۱-۲- تأثیر نظام‌های زراعی بر محتوی نیتروژن خاک ۱۰۴
۴-۱-۲-۱- تأثیر نظام‌های زراعی بر روند تغییرات نیتروژن کل خاک ۱۰۴
۴-۱-۲-۲- تأثیر نظام‌های زراعی بر روند تغییرات نیتروژن نیتراتی خاک ۱۰۶
۴-۱-۲-۳- تأثیر نظام‌های زراعی بر محتوی نیتروژن خاک در پایان فصل زراعی ۱۰۸
۴-۱-۳- تأثیر نظام‌های زراعی بر نسبت کربن آلی به نیتروژن خاک ۱۱۰
۴-۱-۳-۱- تأثیر نظام‌های زراعی بر روند تغییرات نسبت کربن به نیتروژن خاک ۱۱۰
۴-۱-۲-۲- تأثیر نظام‌های زراعی بر نسبت کربن به نیتروژن خاک در پایان فصل زراعی ۱۱۴
۴-۱-۴- تأثیر نظام‌های زراعی بر زیست تودهٔ میکروبی خاک ۱۱۷
۴-۱-۵- تأثیر نظام‌های زراعی بر سرعت تنفس میکروبی خاک ۱۲۲
٤-۲- تأثیر مدیریت نظام زراعی بر ویژگی‌های رشدی ذرت ۱۲۶
۴-۲-۱- تأثیر مدیریت نظام زراعی بر شاخص سطح برگ ذرت ۱۲۶
۴-۲-۲- تأثیر مدیریت نظام زراعی بر تجمع مادهٔ خشک ذرت ۱۲۸
۴-۲-۳- تأثیر مدیریت نظام زراعی بر زیست تودهٔ اندام هوایی و زیرزمینی ذرت ۱۲۹
٤-۳- تأثیر نظام‌های زراعی بر محتوی و مقدار کربن، نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن بافت‌های مختلف ذرت ۱۳۷
۴-۳-۱- تأثیر نظام‌های زراعی بر محتوی کربن، نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن بافت‌های مختلف ذرت ۱۳۷
۴-۳-۲- تأثیر نظام‌های زراعی بر میانگین محتوی کربن و نیتروژن بافت‌های مختلف ذرت ۱۴۲
۴-۳-۳- تأثیر نظام‌های زراعی بر مقدار کربن و نیتروژن بافت‌های مختلف ذرت در واحد سطح ۱۴۴
۴-۳-۴- تأثیر نظام‌های زراعی بر مقدار کل کربن و نیتروژن بافت‌های گیاهی اضافه شده به خاک در واحد سطح ۱۴۷
٤-٤- تأثیر نظام‌های زراعی بر ضرایب نسبی تخصیص کربن به بافت‌های مختلف و تولید تولید خالص اولیه ذرت ۱۴۸
٤-٥- تأثیر نظام‌های زراعی بر میزان کربن افزوده شده به خاک، تولید خالص اولیه خاک ۱۵۵
٤-٦- تأثیر نظام‌های زراعی بر محتوی کربن آلی، ماده آلی، اجزای کربن آلی و پتانسیل ۱۵۷

ترسیب کربن خاک
بخش دوم ۱۶۷
۵-٦- محاسبهٔ ارزیابی چرخهٔ حیات (LCA) برای ذرت ۱۶۷
٤-۷- نتیجه‌گیری ۱۸۳
٤-۸- پیشنهادات ۱۹۰
منابع ۱۹۱

فهرست اشکال

شماره شکل	عنوان	شماره صفحه
۳-۱	مراحل چهارگانه ارزیابی چرخهٔ حیات	۸۶
۳-۲	محدودهٔ نظام مورد مطالعه و اجزای آن در ارزیابی چرخهٔ حیات ذرت	۸۷
۳-۳	مراحل ارزیابی چرخهٔ حیات	۹۹
٤-۱	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر روند تغییرات محتوی کربن آلی خاک (درصد) در مراحل مختلف نمونه‌برداری در دو سال زراعی **(الف)** ۸۸-۱۳۸۷ و **(ب)** ۸۹-۱۳۸۸	۱۰۱
٤-۲	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر روند تغییرات محتوی نیتروژن کل خاک (درصد) در مراحل مختلف نمونه-برداری در دو سال زراعی **(الف)** ۸۸-۱۳۸۷ و **(ب)** ۸۹-۱۳۸۸	۱۰۴
٤-۳	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر روند تغییرات محتوی نیتروژن نیتراتی خاک (درصد) در مراحل مختلف نمونه‌برداری در دو سال زراعی **(الف)** ۸۸-۱۳۸۷ و **(ب)** ۸۹-۱۳۸۸	۱۰۶
٤-٤	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر محتوی **(الف)** نیتروژن نیتراتی (درصد) و **(ب)** نیتروژن کل (درصد) خاک (عمق ۷۵-۳۰ سانتی‌متر) در پایان فصل زراعی در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸	۱۰۸
٤-۵	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر روند تغییرات نسبت کربن به نیتروژن نیتراتی خاک در مراحل مختلف نمونه-برداری در دو سال زراعی **(الف)** ۸۸-۱۳۸۷ و **(ب)** ۸۹-۱۳۸۸	۱۱۱
٤-٦	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر روند تغییرات نسبت کربن به نیتروژن کل خاک در مراحل مختلف نمونه‌برداری در دو سال زراعی **(الف)** ۸۸-۱۳۸۷ و **(ب)** ۸۹-۱۳۸۸	۱۱۲
٤-۷	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر نسبت کربن به نیتروژن خاک (**(الف)** نیتراتی و **(ب)** کل) در پایان فصل زراعی در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸	۱۱۴
٤-۸	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر روند تغییرات زیست تودهٔ میکروبی خاک ($mg\ C\ kg\ soil^{-1}$) در مراحل مختلف نمونه‌برداری در دو سال زراعی **(الف)** ۸۸-۱۳۸۷ و **(ب)** ۸۹-۱۳۸۸	۱۱۷
٤-۹	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر روند تغییرات سرعت تنفس میکروبی خاک ($mg\ CO_2\ g\ soil^{-1}\ day^{-1}$) در مراحل مختلف نمونه‌برداری در دو سال زراعی **(الف)** ۸۸-۱۳۸۷ و **(ب)** ۸۹-۱۳۸۸	۱۲۲
٤-۱۰	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر میانگین روند تغییرات شاخص سطح برگ ذرت در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸	۱۲۶
٤-۱۱	اثر تیمارهای مختلف مدیریت نظام زراعی بر میانگین روند تغییرات تجمع مادهٔ خشک ذرت (گرم در متر مربع) در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸	۱۲۸
٤-۱۲	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر **(الف)** وزن اندام هوایی (بجز دانه) (کیلوگرم در متر مربع)، **(ب)** وزن دانه (کیلوگرم در متر مربع)، **(ج)** وزن ریشه (کیلوگرم در متر مربع)، **(د)** زیست توده کل (کیلوگرم در متر مربع)، **(ه)** نسبت زیست تودهٔ اندام هوایی به زیرزمینی و **(و)** طول مخصوص ریشه (سانتی‌متر در سانتی‌متر مکعب خاک) ذرت	۱۳۰
٤-۱۳	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر شاخص برداشت (درصد) ذرت	۱۳۷
٤-۱٤	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر محتوی کربن (درصد) بافت‌های مختلف ذرت (شامل **(الف)** دانه، **(ب)** اندام هوایی و **(ج)** ریشه)	۱۳۸
٤-۱۵	اثر نظام‌های مختلف زراعی بر محتوی نیتروژن (درصد) بافت‌های مختلف ذرت (شامل **(الف)** دانه، **(ب)** اندام	۱۴۰

هوایی و **(ج)** ریشه)
٤-١٦ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر نسبت کربن به نیتروژن بافت‌های مختلف ذرت (شامل **(الف)** دانه، **(ب)** اندام هوایی و **(ج)** ریشه) ۱۴۱
٤-١٧ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر میانگین محتوی **(الف)** کربن (درصد)، **(ب)** نیتروژن (درصد) و **(ج)** نسبت کربن به نیتروژن بافت‌های مختلف ذرت ۱۴۳
٤-١٨ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر مقدار کربن (کیلوگرم در متر مربع) **(الف)** دانه، **(ب)** اندام هوایی و **(ج)** ریشه ذرت در واحد سطح ۱۴۴
٤-١٩ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر مقدار جذب نیتروژن (کیلوگرم در متر مربع) **(الف)** دانه، **(ب)** اندام هوایی و **(ج)** ریشه ذرت در واحد سطح ۱۴۶
٤-٢٠ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر مقدار **(الف)** کربن و **(ب)** نیتروژن کل (کیلوگرم در هکتار) ذرت در واحد سطح ۱۴۷
٤-٢١ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر میزان کربن تسهیم یافته به **(الف)** دانه (C_P) و اندام‌های هوایی (C_S)، **(ب)** ریشه (C_R) و بقایای ریشه‌ای (C_E) (گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) ۱۵۰
٤-٢٢ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر بر تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی (ANPP) و زیرزمینی (BNPP) و تولید خالص کل (NPP_{Total}) ذرت (گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) ۱۵۳
٤-٢٣ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر میزان کل کربن اضافه شده به خاک (C_i) (گرم کربن در متر مربع در فصل زراعی) ۱۵۵
٤- ٢٤ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر تولید خالص اولیه خاک (NPP_{soil}) (گرم کربن بر متر مربع در فصل زراعی) ۱۵۶
٤-٢٥ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر محتوی کربن آلی (OC) و ماده آلی (OM) (درصد) خاک ۱۵۷
٤-٢٦ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر محتوی کربن آلی ناپایدار (C_L) و پایدار (C_{Re}) خاک (درصد) ۱۵۹
٤-٢٧ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر نسبت اجزای کربن آلی (کربن ناپایدار به کل کربن (C_L/OC) و کربن پایدار (C_{Re}/OC)) از کل کربن خاک ۱۶۱
٤-٢٨ اثر نظام‌های مختلف زراعی بر میزان کربن ترسیب شده خاک (تن در هکتار) ۱۶۳
٤-٢٩ نمودار زنجیره‌ای مراحل مختلف تولید دانه ذرت در یک واحد کارکردی ۱۶۷
٤-٣٠ میزان مصرف منابع غیر قابل تجدید به ازای تولید یک تن دانه ذرت (کیلوگرم یا متر مکعب در سال به ازای یک تن دانه) ۱۷۴
٤-٣١ درصد مصرف سوخت‌های فسیلی (گاز طبیعی و گازوئیل) از کل سوخت‌های فسیلی مصرف شده به ازای تولید یک تن دانه ذرت ۱۷۵
٤-٣٢ پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیترو و دی اکسید کربن (معادل CO_2 در هکتار) به ازای تولید یک تن دانه ذرت ۱۷۶
٤-٣٣ پتانسیل اسیدی شدن اکسیدهای نیتروژن، دی اکسید گوگرد و آمونیاک (معادل SO_2 در هکتار) به ازای تولید یک تن دانه ذرت ۱۷۸
٤- ٣٤ پتانسیل اوتریفیکاسیون آلاینده‌های مختلف در بوم‌نظام‌های **(الف)** خشکی و **(ب)** آبی (معادل NO_x) به ازای تولید یک تن دانه ذرت ۱۷۹
٤-٣٥ شاخص زیست محیطی (به ازای یک تن دانه) گروههای تأثیر مختلف به ازای تولید یک تن دانه ذرت در شرایط آب و هوایی مشهد ۱۸۰

فهرست جداول

شماره جدول	عنوان	شماره صفحه
۳-۱	خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش	۷۶
۳-۲	خصوصیات فیزیکی وشیمیایی کود دامی و کمپوست زبالهٔ شهری مورد استفاده در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸	۷۶
۳-۳	میزان نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی بکار گرفته شده در نظام‌های مختلف زراعی ذرت	۷۷
۳-٤	روش‌های مختلف مصرف منابع و انتشار انواع آلاینده‌ها به محیط زیست در نظام تولیدی ذرت	۸۸
۳-۵	قدرت و میزان سوخت مصرفی انواع تراکتورهای مورد استفاده در انجام عملیات تولید ذرت دانه‌ای	۸۹
۳-٦	میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر به ازای مصرف هر لیتر گازوئیل	۹۰
۳-۷	انواع گروههای مؤثر مورد مطالعه در محاسبهٔ ارزیابی چرخهٔ حیات	۹۰
۳-۸	ضرایب مشخصه (CF) تخلیه منابع غیرقابل تجدید	۹۱
۳-۹	ضرایب مشخصه (CF) پتانسیل گرمایش جهانی مهمترین گازهای گازهای گلخانه‌ای	۹۲
۳-۱۰	ضرایب مشخصه (CF) سمّیت‌زایی کادمیم بر انسان و بوم‌نظام‌های خشکی و آبی	۹۴
۳-۱۱	ضرایب مشخصه (CF) پتانسیل اسیدی شدن آلاینده‌های محیطی	۹۴
۳-۱۲	ضرایب مشخصه (CF) پتانسیل اوتریفیکاسیون در بوم‌نظام خشکی	۹۵
۳-۱۳	ضرایب مشخصه (CF) پتانسیل اوتریفیکاسیون در بوم‌نظام آبی	۹۶
۳-۱٤	مقادیر نرمال سازی برای انواع گروههای مؤثر مورد مطالعه	۹۷
۳-۱۵	مقادیر موزون سازی برای انواع گروههای مؤثر مورد مطالعه	۹۸
٤-۱	مقایسه میانگین ضرایب نسبی تخصیص کربن به بافت‌های مختلف ذرت (شامل دانه (R_P)، اندام هوایی بجز دانه (R_S)، ریشه (R_R) و تراوه‌های ریشه‌ای (R_E)) و ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک (R_i) در نظام‌های مختلف زراعی	۱۴۹
٤-۲	عملیات کشاورزی مورد استفاده به ازای تولید یک واحد کارکردی ذرت در شرایط آب و هوایی مشهد	۱۶۹
٤-۳	میزان کاهش عناصر غذایی پرمصرف (کیلوگرم) از خاک به ازای یک واحد کارکردی ذرت	۱۷۰
٤-٤	مقدار عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و درآمد ناخالص (میلیون ریال در هکتار) تولید ذرت در شرایط آب و هوایی مشهد	۱۷۰
٤-۵	میزان انواع آلاینده‌های منتشره به بخش‌های مختلف محیط زیست به ازای یک واحد کارکردی ذرت	۱۷۱
٤-٦	میزان سمّیت‌زایی کادمیم (به ازای کیلوگرم کادمیم خاک) بر انسان و بوم‌نظام‌های خشکی و آبی به ازای تولید یک تن دانه ذرت	۱۷۷

فهرست علائم و اختصارات

علامت	معادل کامل انگلیسی	معادل کامل فارسی
AEI	Agro-environmental indicators	شاخص‌های زیست محیطی- کشاورزی
ANPP	Above-ground net primary production	تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی
AR	Absorbed radiation	میزان تشعشع جذب شده
BD	Biodiversity	تنوّع زیستی
BD	Bulk density	وزن مخصوص ظاهری
BNF	Biological nitrogen fixation	تثبیت بیولوژیکی نیتروژن
BNPP	Below- ground net primary production	تولید خالص اولیه اندام زیرزمینی
BSR	Basal soil respiration	تنفس پایه
C:N	Carbon to nitrogen ratio	نسبت کربن به نیتروژن
CE	Crop efficiency	کارایی گیاه زراعی
CF	Characterization factor	ضریب مشخصه
CFC	Cloro floro carbon	کلروفلوروکربن
C_L	Labile carbon	کربن ناپایدار (فعّال)
C_R	Recalcitrant carbon	کربن پایدار (غیرفعّال)
DM	Dry matter	مادهٔ خشک
E	Emission	عوامل انتشار یافته
EIA	Environmental impact assessment	ارزیابی اثرات زیست محیطی
ERM	Environmental risk mapping	نقشه برداری خطرات زیست محیطی
ET	Evapotranspiration	تبخیر و تعرق
ETI	Ecosystem toxicity index	شاخص سمیّت اکوسیستمی
FU	Functional unit	واحد کارکردی
FYM	Farm yard manure	کود بستر دامی
GCM	General circulation models	مدل‌های گردش عمومی
GHGB	Greenhouse gas budget	بودجه گازهای گلخانه‌ای
GHGs	Greenhouse gases	گازهای گلخانه‌ای
GIS	Geographical information systems	سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی
GLAI	Green leaf area index	شاخص سطح برگ سبز
GWP	Global warming potential	توانایی بالقوه گرمایش جهانی
GWPI	Global warming potential index	شاخص توانایی بالقوه گرمایش جهانی
HTI	Human toxicity index	شاخص سمّیت انسانی
IN	Inorganic nitrogen	نیتروژن غیرآلی
IPCC	Intergovernmental panel on climate change	گزارش مجمع بین المللی تغییرات آب و هوا
ISO	International standards organization	سازمان استاندارد جهانی

LAI	Leaf area index	شاخص سطح برگ
LCA	Life cycle assessment	ارزیابی چرخهٔ زندگی
LCI	Life cycle inventory	ممیزی چرخه زندگی
LCIA	Life cycle impacts assessment	ارزیابی تأثیر چرخه زندگی
LP	Multiple linear programming	رهیافت برنامه نویسی خطی چندگانه
MAS	Multi-agent system	سیستم چند عاملی
MB	Microbial biomass	زیست توده میکروبی
MC	Microbial colonization	کلونیزاسیون میکروبی
MN	mineral nitrogen	نیتروژن معدنی
MR	Microbial respiration	تنفس میکروبی
MRT	Mean residence time	متوسط زمان ماندگاری
NDI	Naturalness degradation index	ضریب تخریب منابع طبیعی
NDP	Naturalness degradation potential	پتانسیل تخریب طبیعت
NECB	Net ecosystem carbon budget	بودجه خالص کربن بوم‌نظام زراعی
NEP	Net ecosystem production	تولید خالص اولیه بوم‌نظام زراعی
NM	Nitrogen mineralization	معدنی شدن نیتروژن
NPP	Net primary production	تولید خالص اولیه
NV	Normalization value	مقادیر نرمال‌سازی
OC	Organic carbon	کربن آلی
OM	Organic matter	ماده آلی
OMM	Organic matter mineralization	معدنی شدن ماده آلی
PAI	Plant area index	شاخص سطح گیاه
R	Resource	منبع
R:S	Root: Shoot ratio	نسبت رشد ریشه به اندام هوایی
RAE	Radiation absorption efficiency	کارایی جذب نور
RDI	Resource depletion index	شاخص تخلیه منابع
RDP	Resource depletion potential	توانایی بالقوه تخلیه منابع غیر زنده
S:R	Shoot:Root ratio	نسبت اندام هوایی به زیرزمینی
SCF	Soil carbon flow	جریان کربن خاک
SNC	Soil nitrogen content	محتوی نیتروژن خاک
SOM	Soil organic matter	ماده آلی خاک
SON	Soil organic nitrogen	نیتروژن آلی خاک
SRL	Specific root length	طول مخصوص ریشه
TSN	Total soil nitrogen	محتوی کل نیتروژن خاک

فصل اوّل

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[1] می‌باشد. حضور این گازها در اتمسفر که شامل دی اکسید کربن، بخار آب، متان، اکسید نیتروژن، کلروفلوروکربن‌ها و ازون می‌باشند، باعث تشدید اثرات گلخانه‌ای[2] خواهد شد. با وجود متفاوت بودن انواع گازهای گلخانه‌ای و با در نظر گرفتن میزان تأثیر گازهای مختلف، برخی محققان دی اکسید کربن را مؤثرترین گاز گلخانه‌ای نامیده‌اند (هینمن و همکاران، ۲۰۰۵).

از آنجا که کشاورزی بخش نسبتاً بزرگی را در مقایسه با سایر فعّالیّت‌ها به خود اختصاص داده است (مک‌کانکی و همکاران، ۲۰۰۳؛ بت و همکاران، ۲۰۰۷)، بوم‌نظام‌های کشاورزی و فعّالیّت‌های بکارگرفته شده در آن، تولید کننده و منتشر کنندهٔ بخش زیادی از انواع گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر می‌باشند (سالینگر، ۲۰۰۷). از جمله دلایل این افزایش می‌توان به نوع مدیریت بکار گرفته شده در بوم‌نظام‌های مختلف زراعی همچون سوزاندن زیست توده گیاهی، عملیات خاکورزی فشرده، کاربرد انواع کودها و دیگر مواد شیمیایی و غیره اشاره کرد (لال، ۲۰۰۲). با این وجود، اکثر محققان معتقدند که عملیات خاکورزی و تغییر کاربری اراضی[3]، به عنوان مهمترین عوامل تولید

1- Greenhouse gases (GHGs)
2- Greenhouse effect
3- Land use change (LUC)

دی اکسید کربن در بوم‌نظام‌های زراعی مطرح می‌باشند که در نتیجه کاهش محتوای مادهٔ آلی خاک[1] را موجب می‌شوند (لال، ۲۰۰۲، لال؛ ۲۰۰۴؛ لال و همکاران، ۲۰۰۵؛ درویت و همکاران، ۲۰۰۹). در صورت تداوم افزایش غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر با سرعت فعلی، غلظت این گاز تا سال ۲۱۰۰ میلادی به دو برابر غلظت آن در دورهٔ قبل از انقلاب صنعتی افزایش خواهد یافت (آی‌پی‌سی‌سی، ۲۰۰۱).

در طی دههٔ گذشته کرهٔ زمین گرمترین دوران خود در طول ۶۰۰ سال گذشته را 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 (ساندرز، ۱۹۹۸). از طرف دیگر، افزایش درجه حرارت که در نیمه دوم قرن بیستم بارزتر از هر زمان دیگری بوده است پیآمدهای اقلیمی مختلفی را بهمراه داشته و عامل اصلی بروز پدیدهٔ تغییر اقلیم[2] محسوب می‌شود (رزنویگ و پاری، ۱۹۹۴؛ آنتل، ۱۹۹۵؛ ساندرز، ۱۹۹۸).

برخی محققین تغییر الگوهای بارش، بالا آمدن سطح آب دریاها و به تبع آن کاهش زمین‌های حاصلخیز اطراف آنها و تغییر در شرایط حدی آب و هوایی[3] را از جمله عمده‌ترین پیآمدهای گرمایش جهانی می‌دانند (آی‌پی سی‌سی، ۱۹۹۶؛ واریک و همکاران، ۱۹۹۶؛ کارل و همکاران، ۱۹۹۷). نتایج مطالعات مختلف کوچکی و همکاران (۱۳۸۲ و ۲۰۰۶b) بر ارزیابی شاخص‌های اقلیمی-کشاورزی نشان داده است که میانگین درجه حرارت ماهانه تمامی مناطق کشور طی ۲۰ سال آینده افزایش خواهد یافت. آنها همچنین گزارش نمودند که افزایش تبخیر و تعرق[4] یکی از مهمترین پیامدهای این گرمایش می‌باشد.

رزنویگ و پاری (۱۹۹۴) با شبیه‌سازی میزان تولید غلات عمده دنیا اظهار نمودند که افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر تا ۵۵۵ میکرومول بر مول و افزایش درجه حرارت تا ۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۶۰ میلادی منجر به کاهش عملکرد غلات می‌شود. کوچکی و همکاران (۲۰۰۶a و ۲۰۰۶b) نیز با ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تولید تعدادی از گیاهان زراعی گزارش کردند که بطور کلی شاخص سطح برگ[5] و میزان تشعشع جذب

1- Soil organic matter (SOM)
2- Climate change
3- Extreme weather conditions
4- Evapotranspiration (ET)
5- Leaf area index (LAI)

شده[1] توسط کانوپی گیاهان در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی کاهش خواهد یافت. بدین ترتیب، اگرچه افزایش غلظت دی اکسید کربن باعث افزایش رشد و نمو و به تبع آن عملکرد گیاهان مختلف می‌شود (میچل و همکاران، ۱۹۹۵؛ ویلر و همکاران، ۱۹۹۶a؛ ویلر و همکاران، ۱۹۹۶b؛ باتس و همکاران، ۱۹۹۷)، اما از آنجا که این افزایش منجر به بالارفتن درجه حرارت می‌شود، لذا کاهش رشد و تولید عملکرد محصولات مختلف را به دنبال دارد. بدین ترتیب، تغییر اقلیم با تأثیر مستقیم بر شرایط آب و هوایی و رشد و نمو گیاهان و بطور غیرمستقیم با تغییر رشد گیاه و ترکیب جوامع زیستی بر خاک اثر منفی داشته باشد و در نهایت قادر است تا باعث بروز تغییراتی در کارکردهای بوم نظام شود (هو و ژانگ، ۲۰۰۴).

بدین ترتیب، همانگونه که قبلاً نیز بیان شد، بوم‌نظام‌های زراعی منتشرکنندهٔ انواع گازهای گلخانه‌ای و بویژه دی اکسید کربن به اتمسفر می‌باشند. از طرف دیگر، نتایج برخی بررسی‌ها (لال و همکاران، ۱۹۹۸؛ لال و همکاران، ۱۹۹۹) نشان داده است که ذخایر کربن آلی[2] خاک به عنوان مهمترین ذخایر کربن خشکی‌ها محسوب می‌شوند. لذا بنظر می‌رسد که اعمال هر گونه عملیات مدیریت دی اکسید کربن در خاک، می‌تواند به عنوان مخزن و یا منبع تولید دی اکسید کربن عمل کند.

بنابراین در راستای کنترل و کاهش غلظت دی اکسید کربن به عنوان مهمترین گاز گلخانه‌ای و تأثیر آن بر تغییر اقلیم (هانسن و همکاران، ۱۹۸۱)، توجه ویژه به کربن (پائوشتین و همکاران، ۱۹۹۸؛ لال، ۲۰۰۴) و تغییر در مدیریت بوم‌نظام‌های کشاورزی، امری ضروری بنظر می‌رسد. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که کربن جزء مهمی از مادهٔ آلی[3] در خاک است و بالا بودن میزان آن در خاک منجر به حفظ و فراهمی مواد غذایی بویژه نیتروژن و کاهش آبشویی[4] نیترات می‌شود (فولت و همکاران، ۱۹۹۵). لذا بنظر می‌رسد که برای حفظ حاصلخیزی خاک و به تبع آن حفظ سطح تولید برای جمعیّت رو به رشد و همچنین به عنوان راهکاری مناسب در جهت کاهش غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر، توجه ویژه به خاک و محتوی کربن آن ضروری می‌باشد.

1- Absorbed radiation (AR)
2- Organic carbon (OC)
3- Organic matter (OM)
4- Leaching

با توجه به این مطلب که حفظ کربن در خاک به معنای جلوگیری از ورود آن به اتمسفر است، لذا کلیه عملیاتی که باعث حفظ کربن در خاک می‌شوند، کاهش غلظت دی اکسید کربن را به دنبال دارند. در راستای کاهش غلظت دی اکسید کربن، افزایش ذخایر کربن خاک به عنوان ابزاری مهم در جهت افزایش ترسیب کربن[1] خاک در بوم نظام‌های مختلف مدّ نظر تعداد زیادی از محققان قرار گرفته است (هاچینستن و همکاران، ۲۰۰۷؛ نیشیمارو و همکاران، ۲۰۰۸؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۹).

ترسیب کربن به افزایش ذخیره کربن خاک گفته می‌شود (هاچینستن و همکاران، ۲۰۰۷) که تحت تأثیر عوامل مدیریتی از جمله میزان کربن ورودی ناشی از بقایای گیاهی، نوع کودهای آلی[2]، عملیات خاکورزی و شرایط اقلیمی قرار می‌گیرد. بهر حال، با توجه به این که ترسیب کربن منجر به بهبود ذخایر کربن و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود، لذا مزایای مختلفی را برای بوم نظام به همراه می‌آورد که در نهایت باعث جلوگیری از تخریب آن می‌شود (هاچینستن و همکاران، ۲۰۰۷). کربن آلی خاک از دو بخش نسبتاً ناپایدار (فعّال[3] (C_L)) و پایدار (غیرفعّال[4] (C_R)) در برابر فعّالیّت میکروارگانیسم‌های خاکزی تشکیل شده است که این اجزاء نقش مهمی را در چرخه عناصر غذایی و بویژه کربن بازی می‌کنند. علاوه بر این، با توجه به مقاومت بیشتر بخش پایدار کربن نسبت به تجزیه در برابر فعّالیّت میکروارگانیسم‌های خاکزی بنظر می‌رسد که این بخش بتواند تأثیر زیادی بر ترسیب کربن در خاک داشته و در نتیجه باعث جلوگیری از انتشار آن به اتمسفر شود (کمبل، ۱۹۶۷؛ جنزن، ۲۰۰۶؛ بلای- تدلا و همکاران، ۲۰۰۹). لذا بنظر می‌رسد که هر عملیات مدیریتی که به نوعی بر بهبود محتوی و یا ماندگاری کربن پایدار خاک تأثیر داشته باشد بدلیل حفظ کربن در خاک و جلوگیری از انتشار آن به اتمسفر می‌تواند به عنوان راهکاری اکولوژیکی برای انتشار تولید دی اکسید کربن و در نتیجه کاهش اثرات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در نظر گرفته شود.

از جمله راهکارهای اکولوژیکی مؤثر در زمینهٔ کاهش غلظت کربن در اتمسفر، می‌توان به نظام‌های دارای عملیات خاکورزی حفاظتی و بدون خاکورزی (لال و کیمبل، ۱۹۹۷؛ فولت و همکاران، ۲۰۰۵)، مصرف انواع

1- Carbon sequestration
2- Organic manure
3- Labile pools (C_L)
4- Recalcitrant pools (C_R)

کودهای آلی (فالون و همکاران، ۱۹۹۸)، تناوب زراعی[1] (فولت و همکاران، ۲۰۰۵) و کشت مخلوط[2] (فولت و همکاران، ۲۰۰۵) اشاره کرد. برخی محققان (آیفوم، ۲۰۰۹) عقیده دارند که با توجه به تأثیر مؤثر کربن بر بهبود ویژگی‌های خاک و کاهش اثرات نامطلوب تغییر اقلیم، اگرچه محتوی کربن آلی در اکثر بوم‌نظام‌های زراعی جهان پایین می‌باشد، ولی می‌توان با بهره‌گیری از مدیریت مناسب باعث بهبود محتوی آن شد. بدین ترتیب، از آنجا که بیشتر نظریه‌های بوم شناسی از مطالعه همیاری‌های روی زمین به صورت جدا از آنچه در زیر زمین است، به دست آمده اند، لیکن شناخت اهمیت فصل مشترک بین این دو قلمرو اصلی برای درک کارکرد بوم نظام بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. مقایسه مزارع کشاورزی با کاربرد گستردهٔ مواد شیمیایی با بوم نظام‌های تحت مدیریت اکولوژیک فرصتی برای آگاهی بیشتر از کار کرد کلی این بوم نظام و روشن شدن اینکه اجزای دور از هم این نظام‌ها چگونه به هم وابسته اند را فراهم می‌کند.

از طرف دیگر، اگرچه هدف اساسی هر نظام کشاورزی، افزایش عملکرد است، ولی این بوم‌نظام‌ها بایستی بتوانند پایداری تولید محصولات غذایی در درازمدت، حفاظت از منابع پایه، کاهش آلودگی‌های محیطی و در نهایت ثبات تولید نظام را نیز تضمین کنند (سینگ و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین، برای پایدار بودن بایستی یک فعّالیّت از نظر اقتصادی و زیست محیطی پایدار باشد (باربیر، ۱۹۸۷). در همین راستا می‌بایستی اثرات محیطی کلیه فعّالیّت‌ها و از جمله فعّالیّت‌های مختلف کشاورزی را بوسیله دامنه‌ای از مقیاس‌های مکانی[3] از سطح مزرعه تا سطح ملی تجزیه و تحلیل کرد (اُای‌سی‌دی، ۲۰۰۱الف). اکرت و همکاران (۲۰۰۴) تأکید نمودند که بررسی عملکرد زیست محیطی نظام‌های مختلف تولیدی برای بررسی پایداری نظام امری مهم و ضروری می‌باشد. همچنین، با توجه به اینکه این رهیافت‌ها عملکرد زیست محیطی نظام‌های مختلف تولیدی را با هم مقایسه می‌کنند، می‌توان نظام‌های متناسب از نظر کاهش آلودگی و مصرف بهینه منابع را معرفی کرد و از این طریق نیز منجر به بهبود شرایط زیست محیطی شد.

1- Crop rotation
2- Intercropping
3- Spatial scales

به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی بوم نظام و فعّالیّت‌های مختلف انسان، روش‌های مختلفی وجود دارد (شرودر و همکاران، ۲۰۰۳) که شش روش عمدهٔ آن شامل نقشه برداری خطرات زیست محیطی[1] (ERM)، ارزیابی چرخهٔ حیات[2] (LCA)، ارزیابی اثرات زیست محیطی[3] (EIA)، سیستم چند عاملی[4] (MAS)، رهیافت برنامه‌نویسی خطی چندگانه[5] (LP) و شاخص‌های زیست محیطی- کشاورزی[6] (AEI) می‌باشند (پیرادو و واندرورف، ۲۰۰۵)، ولی در این میان، محققان ارزیابی چرخهٔ حیات را رهیافتی مناسب برای ارزیابی پایداری فعّالیّت‌های کشاورزی معرفی می‌کنند (کنسلی و همکاران، ۱۹۹۳؛ کاول، ۱۹۹۹؛ برنتراپ و همکاران، ۲۰۰۴الف؛ پیرادو و واندرورف، ۲۰۰۵).

LCA، رویکردی است که برای ارزیابی اثرات زیست محیطی یک محصول یا فرآیند خاص در طول چرخهٔ حیات آن محصول، بوسیله محاسبه دو مؤلفه مصرف منابع و انتشار انواع آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف محیط زیست تعیین می‌شود (وان زیتز و همکاران، ۱۹۹۹؛ برنتراپ و همکاران، ۲۰۰۴الف؛ رُی و همکاران، ۲۰۰۹). LCA برای ارزیابی ظرفیت محیط زیست در امر تولید، میزان انرژی، مواد مصرفی و ضایعات رها شده در محیط زیست می‌باشد که برای ارزیابی شرایط مناسب برای حفظ محیط زیست، تعریف می‌شود (رُی و همکاران، ۲۰۰۹). بدین ترتیب، در این روش، اثرات زیست محیطی مرتبط با کل نظام تولیدی در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، با استفاده از این روش می‌توان پایداری نظام‌های زراعی را بطور دقیق ارزیابی نمود (نمکک و همکاران، ۲۰۰۱). در ابتدا از LCA برای فرآیندها و تولیدات صنعتی استفاده می‌شد، ولی امروزه بهره‌گیری از این رهیافت برای ارزیابی اثرات زیست محیطی انواع تولیدات گیاهی (ماتسن، ۱۹۹۹؛ برنتراپ و همکاران، ۲۰۰۱) و حیوانی (هاس و همکاران، ۲۰۰۱؛ سیدربرگ، ۲۰۰۲) در فعّالیّت‌های مختلف کشاورزی در حال رشد است.

اهمیت ارزیابی نظام‌های مختلف تولیدی باعث شد تا روش محاسبهٔ این رهیافت، به سرعت توسعه یابد (ایزو، ۱۹۹۷؛ ایزو، ۱۹۹۸؛ ایزو، ۲۰۰۰). تکمیل متدولوژی مربوط به LCA و محاسبه آن برای محصولات مختلف

1- Environmental risk mapping (ERM)
2- Life cycle assessment (LCA)
3- Environmental impact assessment (EIA)
4- Multi-agent system (MAS)
5- Multiple linear programming (LP) approaches
6- Agro-environmental indicators (AEI)

کشاورزی از دهه اول قرن بیست و یکم با هدف بهینه‌سازی کارآیی مصرف نهاده‌ها و در عین حال حفاظت از منابع پایه و محیط زیست همچنان در حال پیشرفت است (فینکبینر و همکاران، ۲۰۰۶). مراحل چهارگانه محاسبه LCA بعد از در نظر گرفتن واحد کارکردی[1] (FU) مورد نظر شامل تعریف اهداف و حوزهٔ عمل مطالعه[2]، آنالیز ممیزی چرخهٔ حیات[3]، ارزیابی تأثیر چرخهٔ حیات[4] و تلفیق و تفسیر نتایج[5] می‌باشد (برنتراپ و همکاران، ۲۰۰۴الف؛ ایزو، ۲۰۰۶). برنتراپ و همکاران (۲۰۰۱) بر این باورند که محاسبه LCA حتی می‌تواند مشکلات فرآیندهای نظام تولیدی از قبیل مصرف منابع و تغییر کاربری اراضی را نیز مشخص نماید. با این وجود، اگرچه دامنهٔ کاربرد رهیافت LCA در زمینهٔ فعّالیّت‌های کشاورزی در مقایسه با فعّالیّت‌های صنعتی بسیار زیاد می‌باشد، ولی گزارشات اندکی در مورد تجزیه و تحلیل نظام‌ها و فرآیندهای مختلف تولیدی کشاورزی با استفاده از این رهیافت وجود دارد.

با توجه به این مطالب، آگاهی از محتوی کربن پایدار خاک و ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن در نظام‌های مختلف زراعی، ضروری بنظر می‌رسد. از سوی دیگر، از آنجا که ذرت[6] گیاهی با قابلیت تولید زیست توده بالا در نظام‌های مختلف زراعی می‌باشد، چنین بنظر می‌رسد که این گیاه در شرایط استفاده از نهاده‌های آلی و ارزان قیمت نیز بتواند تأثیر بسزایی بر محتوی کربن پایدار آلی و به تبع آن پتانسیل ترسیب کربن خاک داشته باشد. از اینرو، این مطالعه با هدف ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن بر اساس محتوی کربن پایدار خاک در نظام‌های زراعی کم‌نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده و مقایسه اجزای کربن آلی در شرایط اعمال نظام‌های مختلف زراعی، در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در شرایط آب و هوایی مشهد انجام شد. پس از آن با توجه به اهمیت ارزیابی LCA و از آنجا که تاکنون هیچگونه نتایج منتشر شده‌ای در این ارتباط در کشور وجود ندارد، اثرات زیست محیطی نظام تولید ذرت با استفاده از این رهیافت ارزیابی شد.

1- Functional unit
2- Objectives and definition of scope
3- Life cycle inventory (LCI) analysis
4- Life cycle impact assessment (LCIA)
5- Integration and interpretation
6- *Zea mays* L.

فصل دوّم

بررسی منابع

۲-۱- گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی

در طی قرن گذشته به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی بشر، ترکیب شیمیایی اتمسفر تغییر کرده که این امر بروز تغییرات بی‌سابقه‌ای را در اقلیم جهانی به دنبال داشته است (شی و همکاران، ۲۰۰۹). این تغییر در ترکیب شیمیائی اتمسفر ناشی از افزایش غلظت گازهایی است که به گازهای گلخانه‌ای مرسومند، زیرا حضور آنها در اتمسفر باعث تشدید اثرات گلخانه‌ای خواهد شد. این گازها شامل دی اکسید کربن، بخار آب، متان، اکسید نیتروژن، کلروفلوروکربن‌ها[1] و ازون می‌باشند. تردیدی نیست که غلظت این گازها عمدتاً به دلیل توسعه فعالیت‌های انسان در طی قرن گذشته افزایش یافته است (ترنر، ۲۰۰۱). متان، اکسید نیتروژن و کلروفلوروکربن‌ها نیز با سرعت مشابهی در حال افزایش هستند، البته از آنجا که کلروفلوروکربن‌ها باعث تخریب ازون می‌شوند، اثرات خالص گرمایشی آنها تقریباً صفر در نظر گرفته می‌شود، با این حال حضور و افزایش غلظت این گازها در اتمسفر باعث بروز مسئله جدیدی مرسوم به تخریب ازون استراتوسفری شده است که به نوبهٔ خود مشکلات پیچیده‌ای را بهمراه دارد. با وجود متفاوت بودن انواع گازهای گلخانه‌ای و با در نظر گرفتن میزان تأثیر این گازها محققان دی اکسید کربن را مؤثرترین گاز گلخانه‌ای نامیده‌اند (هینمن و همکاران، ۲۰۰۵).

برآوردها و اندازه گیری‌های مختلف 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 یافت. بنابراین سرعت افزایش غلظت این گاز در اتمسفر معادل ۰/۴ درصد در سال می‌باشد (آی‌پی‌سی‌سی، ۲۰۰۱). افزایش جهانی غلظت

1- Chloro floro carbon (CFCs)

دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر عمدتاً ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، کارخانه‌های سیمان‌سازی و تغییر کاربری اراضی می‌باشد. سرعت انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و کارخانه‌های سیمان‌سازی در نیمه دوم طی قرن بیستم ۱/۶۴ پتا گرم[۱] کربن در سال ۱۹۵۰، ۲/۵۹ پتا گرم کربن در سال ۱۹۶۰، ۴/۰۸ پتا گرم کربن در سال ۱۹۷۰، ۵/۲۹ پتا گرم کربن در سال ۱۹۸۰، ۶/۱۰ پتا گرم کربن در سال ۱۹۹۰ و ۸/۰۵ پتا گرم کربن در سال ۲۰۰۰ گزارش شده است (مارلند و همکاران، ۱۹۹۹؛ آی‌پی‌پی‌سی، ۲۰۰۰). برخی برآوردها نشان داده است که ۹۰-۷۰ درصد از دی اکسید کربن اضافه شده به اتمسفر ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و باقیمانده آن مربوط به قطع جنگل‌ها می‌باشد (آی‌پی‌سی‌سی، ۱۹۹۹). از دیگر دلایل این افزایش می‌توان به سوزاندن زیست توده گیاهی، عملیات خاکورزی و بویژه شخم برگرداندار، مصرف انواع کودها و دیگر مواد شیمیایی و غیره اشاره کرد (لال، ۲۰۰۲). در صورت تداوم افزایش غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر با سرعت فعلی، غلظت این گاز تا سال ۲۱۰۰ میلادی به دو برابر غلظت آن در دورهٔ قبل از انقلاب صنعتی افزایش خواهد یافت (آی‌پی‌سی‌سی، ۲۰۰۱).

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث بالا رفتن دمای سطح کرهٔ زمین یا به عبارت دیگر پدیده‌ای می‌شود که به «گرمایش جهانی[۲]» موسوم است. شواهد مختلف مبتنی بر اندازه‌گیری‌های درازمدت نشان داده است که با افزایش غلظت گازهای اتمسفری (بویژه دی اکسید کربن) درجه حرارت کرهٔ زمین بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. میانگین درجه حرارت کره زمین از اواخر قرن نوزدهم تا کنون در حدود ۰/۷-۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته که از این میزان، ۰/۴ درجه سانتی‌گراد مربوط به ۲۵ سال گذشته می‌باشد (آی‌پی‌سی‌سی، ۲۰۰۱). بطور کلی، شواهد موجود حاکی از آن است که در طی دههٔ گذشته کرهٔ زمین گرمترین دوران خود در طول ۶۰۰ سال گذشته را 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 (ساندرز، ۱۹۹۸). از طرف دیگر، افزایش درجه

۱- هر پتا گرم معادل با 10^{12} کیلوگرم می‌باشد.

2- Global warming