

مقاله پژوهشی

تخمین ردپای کربن و پتانسیل گرمایش جهانی محصول جو (*Hordeum Vulgare L.*) (مطالعه موردی: نواحی روستایی شهرستان شیروان)

مهدی بابائیان^۱، ابوالفضل توسلی^{۲*} و یاسر اسماعیلیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۶ بهمن ۱۴۰۱

تاریخ بازنگری: ۱ اسفند ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۲۷ اسفند ۱۴۰۱

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی توان ترسیب کربن در گیاه جو و تعیین پتانسیل گرمایش جهانی این محصول، در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در نواحی روستایی شهرستان شیروان اجرا شد. بدین منظور نمونه برداری به روش تصادفی سیستماتیک در ۳۰ مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک انجام شد و نهاده‌های مصرفی از طریق پرسشنامه چهره به چهره به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد توان ترسیب کربن خاک در مزارع جو شهرستان معادل ۱/۷۴ تن در هکتار بود. مقایسه ضریب تبدیل اندام‌های گیاهی نشان داد سنبله نسبت به ریشه به میزان ۲۲/۴۴ درصد ضریب تبدیل بالاتری داشت. توان ترسیب کربن سنبله، ساقه و ریشه جو به ترتیب ۱۲۹۷/۲۰، ۶۲۴۰/۶۲۴ و ۱۱۴ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. در میان نهاده‌های ورودی، سوخت دیزل با میانگین ۵۵۲/۷۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین نقش و الکتریسیته با میانگین ۶/۸۵ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین نقش در انتشار گازهای گلخانه‌ای بود. در بین گازهای گلخانه‌ای نیز دی-اکسید کربن با ۱۱۳۵/۷۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین سهم را داشت. مجموع پتانسیل گرمایش جهانی یک هکتار جو در شهرستان شیروان معادل ۱۱۴۷/۳۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به دست آمد. میزان ردپای کربن به دست آمده برای کل زیست توده گیاهی برابر ۰/۲۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر کیلوگرم زیست توده جو بود. به طور کلی نتایج بدست آمده نشان داد محصول جو از توان ترسیب کربن قابل قبولی برخوردار است و گیاه زراعی مناسب برای قرارگیری در برنامه الگوی کشت مناطق روستایی می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش بخشی از تولید ناخالص مناطق روستایی شهرستان شیروان از طریق کشت محصول جو در اراضی حاشیه‌ای با توان تولید کم قابل حصول خواهد بود که نقش مهمی در توسعه این مناطق خواهد داشت. بنابراین توصیه می‌گردد بخشی از اراضی مزروعی حاشیه روستاهای شهرستان شیروان که محصولات اقتصادی با نیاز غذایی بالا در آنها قابل کشت نیست، به کشت محصول جو اختصاص یابد تا بتواند علاوه بر کسب درآمد برای کشاورزان روستایی از طریق ترسیب کربن اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های کشاورزی را کاهش دهد.

کلمات کلیدی: ترسیب کربن، اراضی حاشیه‌ای، گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی، مخاطرات زیست محیطی

۱ - استادیار دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

۲ - استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، زاهدان، ایران

۳ - استادیار گروه کشاورزی، مجتمع عالی کتاباد، ایران

*- نویسنده مسئول: tavassoli.abolfazl@yahoo.com

مقدمه

توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع در سال‌های گذشته علاوه بر مزایایی که برای جوامع انسانی داشته، دارای اثرات جانبی نیز بوده و تخریب زیست محیطی و مشکل آلودگی محیط زیست را به دنبال داشته است. در همین راستا، افزایش سریع انتشار کربن ناشی از فعالیت‌های انسانی توجه جامعه بین‌المللی را به خود جلب کرده است (هوانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به اینکه کاهش مصرف انرژی و حذف CO₂ از طریق ترسیب کربن دو روش اصلی کاهش انتشار کربن در جو می‌باشد، در سال‌های اخیر توجه تحقیقات زیادی معطوف به موضوع ترسیب کربن شده است. ترسیب کربن فرآیندی است که طی آن دی اکسیدکربن اتمسفر جذب شده و در بافت‌های گیاهی به صورت هیدرات‌های کربن تجمع و رسوب می‌کند (جعفریان و طایفه‌سیدعلیخانی، ۱۳۹۲). با شروع نخستین اجرای برنامه بین‌المللی ترسیب کربن کشور با هدف بیابان‌زدایی و به منظور توسعه مدل مدیریت مشارکتی مراتع در مناطق خشک و نیمه خشک با هدف محرومیت زدایی و افزایش جذب کربن خاک طراحی شده است (محبی و همکاران، ۱۳۹۸). پروژه ترسیب کربن در ایران از شیوه‌های مشارکتی مردم و توانمندسازی گروه‌های کم‌درآمد و آسیب‌پذیر بهره می‌گیرد تا این افراد بتوانند منابع خود را مدیریت کرده و خودباوری لازم را برای تأثیرگذاری بر سیاست‌های اجرایی پروژه بدست آورند و در نهایت مناطق تخریب‌یافته توسط مردم همان مناطق احیاء گردد (هادربادی و پویافر، ۱۳۸۵).

در مجموع پروژه ترسیب کربن سه هدف عمده ۱- جذب کربن اتمسفری از طریق احیای مناطق بیابانی ۲- تهیه مدلی برای افزایش بهره‌وری اراضی مناطق خشک و نیمه خشک و

بیابان‌زدایی از طریق احیای مراتع تخریب شده با مشارکت مردم ۳- بهبود وضعیت اجتماعی، اقتصادی جوامع محلی، کاهش فقر و در مجموع بهبود شاخص توسعه انسانی منطقه اجرای پروژه را مورد توجه قرار داده است (حسن نژاد و همکاران ۱۳۹۰؛ صابری‌فر و همکاران، ۱۳۹۱).

ترسیب کربن فرآیندی است که طی آن دی اکسیدکربن اتمسفر جذب شده و در بافت‌های گیاهی به صورت هیدرات‌های کربن تجمع و رسوب می‌کند (جعفریان و طایفه‌سیدعلیخانی، ۱۳۹۲). افزایش ترسیب کربن باعث افزایش تولید زیست توده گیاهی، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش فرسایش آبی و بادی می‌شود. به همین دلیل ترسیب کربن علاوه بر دارا بودن ارزش‌های حفاظتی، به دلیل افزایش تولید زیست توده، از نظر اقتصادی نیز دارای اهمیت است (عبدی و همکاران، ۱۳۸۷). ترسیب کربن با توجه به کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در جو دارای اثرات مثبت زیست محیطی نیز می‌باشد به طوری که ویسمیر و همکاران^۲ (۲۰۱۴) گزارش کردند ترسیب کربن یک عامل مهم در کاهش گرمایش جهانی است. مطالعه محبی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد پروژه ترسیب کربن در نواحی روستایی جاجرم از طریق تغییر نگرش جوامع محلی؛ مسئولیت‌پذیری، خوداتکایی و اعتماد به نفس جهت حفظ منابع طبیعی در آنها ایجاد کرده است. آنها بیان داشتند این پروژه باعث توسعه و تقویت نهادهای موجود در منطقه گشته و به سازماندهی جوامع محلی کمک نموده است. یکی از مهم‌ترین مقوله‌های توسعه پایدار روستایی، توانمندسازی مردم روستایی است که از مؤلفه‌های اساسی در تبیین و اجرای ترسیب کربن است در این راستا مطالعات نشان می‌دهد با توجه به اثرگذاری خوب و مداوم پروژه ترسیب کربن از میزان تمایل به

شباهنگ (۱۳۹۹) مجموع پتانسیل گرمایش جهانی گندم به ازای نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی ۸۸۴/۸۶ کیلوگرم معادل CO₂ به ازای یک تن دانه محاسبه کردند. در مطالعه یوسفی و همکاران^۱ (۲۰۱۴) نیز میزان گرمایش جهانی برای یک هکتار چغندر ۹۸۴۷/۷۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار گزارش شد.

با توجه به نقش مهم ترسیب کربن در احیای اراضی کشاورزی و بازیابی مراتع تخریب شده مناطق روستایی و اثر مستقیم آن بر توسعه این مناطق، این مطالعه با هدف ارزیابی توان ترسیب کربن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی جو و تعیین پتانسیل گرمایش جهانی این محصول در بوم نظام‌های روستایی شهرستان شیروان انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه آزمایش

شیروان در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۹۳ دقیقه با ارتفاع ۱۰۹۷ متری از سطح دریا و مساحت ۳۷۸۹ کیلومتر مربع قرار گرفته است. از شمال به پایتخت کشور ترکمنستان شهر عشق‌آباد (با فاصله ۲۲ کیلومتری نزدیک‌ترین شهرستان به عشق‌آباد پایتخت ترکمنستان می‌باشد)، از جنوب به شهرستان اسفراین، از شرق به شهرستان فاروج و از غرب به مرکز استان خراسان شمالی شهرستان بجنورد محدود می‌شود. (شکل ۱). آب و هوای منطقه مطابق با اقلیم‌بندی کوپن نیمه خشک و دارای تابستان‌های خشک و گرم و زمستان‌های بارانی و سرد می‌باشد. میانگین دمای سالانه تقریباً ۱۰ درجه سانتیگراد و کل بارندگی سالانه ۲۹۵ میلی‌متر است که از این میزان حدود ۹۴ درصد بارندگی در ماه‌های مهر تا اردیبهشت انجام می‌شود (بابائیان و همکاران،

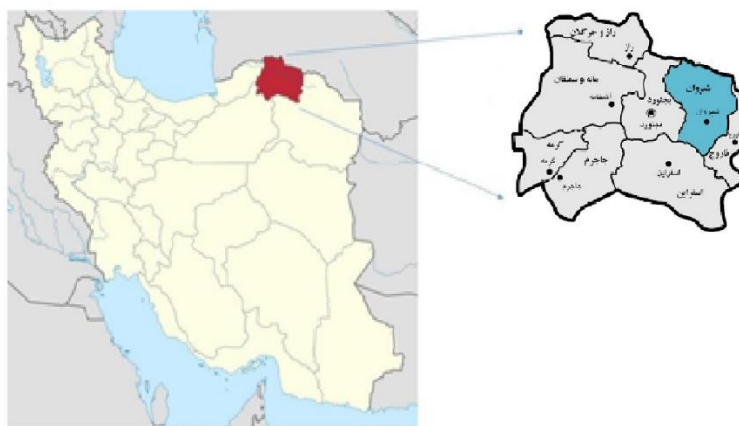
مهاجرت در بین روستاییان کاسته شد و بعضاً گرایش به مهاجرت معکوس در بین افراد روستایی ساکن در شهرها نیز بوجود آمده است (محبی و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از موضوعاتی که در مقوله ترسیب کربن مورد توجه قرار دارد توان ترسیب کربن در گونه‌های مختلف و نیز میزان سهم اندام‌های یک گیاه در ترسیب کربن است. در این رابطه جعفریان و طایفه سیدعلیخانی (۱۳۹۲) نشان دادند که بین اندام‌های گندم دیم، سنبله‌ها بیش‌ترین و ریشه‌ها کم‌ترین توان ترسیب کربن را داشتند. بر اساس گزارش آن‌ها میزان ترسیب کربن در زیست توده گیاهی ۱/۸۸۴ تن در هکتار بود و میزان کربن آلی خاک ۱۶/۳۳۲ تن در هکتار محاسبه شد که نشان داد گندم از توانایی بالایی در ترسیب کربن برخوردار است.

با توجه به اینکه یکی دیگر از ویژگی‌های مهم کربن تأثیر بر گرمایش جهانی است و بوم نظام‌های کشاورزی از طریق مصرف کودها و سموم شیمیایی، بر مسئله گرمایش جهانی مؤثر هستند توجه به پتانسیل گرمایش جهانی محصولات کشاورزی در واحد سطح طی سالیان گذشته مورد توجه قرار گرفته است. بابائیان و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی مناطق روستایی شهرستان شیروان گزارش نمودند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید یک هکتار نخود دیم ۳۹۹/۲۰ کیلوگرم در هکتار و سهم CO₂، N₂O و CH₄ به ترتیب ۳۹۸/۶۰، ۰/۰۲ و ۰/۵۷ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین آن‌ها نشان دادند پتانسیل گرمایش جهانی تولید در یک هکتار از این محصول ۴۱۹/۱۳ کیلوگرم معادل بود. در مطالعه‌ای دیگر با ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی چغندر قند در خراسان شمالی گزارش شد میزان پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید یک هکتار از این محصول برابر ۹۰۴۸/۸۵ معادل CO₂ به ازای یک هکتار بود که ۰/۷۶ درصد آن مربوط به CH₄، ۲۷/۲۲ درصد آن مربوط به CO₂ و ۷۲/۰۲ درصد آن مربوط به N₂O محاسبه گردید (بابائیان و همکاران، ۱۴۰۰). ملافیلابی و

۱۴۰۰).

این از میزان تقریباً ۲۰ درصد سطح زیر کشت جو آبی و ۳۵ درصد جو دیم استان مربوط به شهرستان شیروان می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹).

در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ حدود ۲۳۴۱۵ هکتار جو آبی و ۱۹۱۵۳ هکتار جو دیم در استان خراسان شمالی کشت شد که



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان شیروان

سپس دو گرم از هر نمونه به مدت سه ساعت در کوره احتراق با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. خاکستر نمونه‌ها جهت خنک شدن در دسیکاتور قرار گرفته و سپس با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. محتوی کربن آلی هر یک از اندام‌های گیاهی با تعیین وزن خاکستر و وزن اولیه ماده آلی محاسبه شد (راسل و همکاران^۴، ۲۰۰۵). میزان کربن آلی خاک با استفاده از روش والکلی و بلک^۵ (۱۹۳۴) اندازه‌گیری شد، وزن مخصوص ظاهری با روش کلوخه و پارافین تعیین گردید و برای اندازه‌گیری میزان ترسیب کربن از معادله ۱ استفاده شد.

$$C_c = 10000 \times \%OC \times BD \times E \quad (1)$$

که در این معادله، C_c میزان کربن ترسیب شده در سطح یک متر مربع بر حسب گرم در هر متر مربع، OC : درصد کربن آلی، BD : وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و E : عمق نمونه خاک به سانتی‌متر می‌باشد.

ارزیابی توان ترسیب کربن

به منظور ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی (ساقه و سنبله) و زیرزمینی (ریشه) محصول جو مزارع روستاهای شیروان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ این آزمایش به اجرا درآمد. بدین منظور نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک (چامبرز و براون^۱، ۱۹۸۳) از شش نقطه در ۳۰ مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک انجام شد (مهدوی و همکاران^۲، ۲۰۰۹). برای مطالعه خاک، از بین پلات‌های مستقر شده در امتداد هر ترانسکت، شش پروفیلی به عمق ۳۰ سانتی‌متر در زیر هر گیاه حفر و از آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. برای تعیین ضرایب تبدیل در اندام‌های مورد نظر از روش احتراق (عبدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فروزه و میرزاعلی^۳، ۲۰۰۶) استفاده شد. ابتدا اندام‌های هوایی و زیر زمینی برداشت شده به تفکیک به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و

4- Russell

5- Walkley and Black

1- Chambers and Brown

2- Mahdavi

3- Foroozeh and Mirzaali

معادله ۳ به صورت معادل دی‌اکسیدکربن محاسبه گردید (تزیلیواکیس و همکاران^۳، ۲۰۰۵).

$$GWP = CO_2 \text{ flux} + (N_2O \text{ flux} \times 310) + (CH_4 \text{ flux} \times 21) \quad (3)$$

در این معادله GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای یک تن دانه)، $CO_2 \text{ flux}$: انتشار دی‌اکسیدکربن، $N_2O \text{ flux}$: انتشار اکسید نیتروژن و $CH_4 \text{ flux}$: انتشار متان می‌باشد. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ارزیابی توان بالقوه ترسیب کربن در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند. رسم شکل‌ها و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع جو در جدول ۴ ذکر شده است. بر اساس نتایج جدول خاک مزارع دیم دارای وزن مخصوص ظاهری ۱/۳۴ بودند. همچنین میانگین ماده آلی خاک در مزارع جو ۰/۴۴ درصد بود.

نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نشان داد مقادیر وزن خشک، کربن آلی، ضریب تبدیل به کربن آلی و ترسیب کربن اندام هوایی و ریشه در ارقام گندم به طور معنی‌داری مختلف بودند ($p \leq 0/01$) (جدول ۴).

برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

به منظور ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی جو در استان خراسان شمالی طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ میزان مصرف سوخت دیزل، الکتریسیته و کود و سموم شیمیایی باز طریق تکمیل ۳۰ پرسشنامه و مصاحبه حضوری از کشاورزان منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. تعداد پرسشنامه از رابطه اسنیکور و کوکران^۱ (۱۹۸۰) بدست آمد.

$$n = (N t^2 s) / (N d^2 + t^2 s^2) \quad (2)$$

که در این معادله N: اندازه جمعیت آماری، t: استیودنت ضریب اطمینان (بر اساس احتمال ۹۵ درصد)، S: واریانس، d: دقت احتمالی مطلوب و n: حجم نمونه می‌باشد. میزان مصرف نهاده‌های مورد استفاده به‌ازای یک هکتار در بوم نظام‌های گندم آبی و دیم در استان خراسان شمالی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین نهاده‌های مصرفی مزارع جو در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

کود شیمیایی				
Chemical fertilizer				
سوخت	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	الکتریسیته
(L)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kWh)
۱۵۵	۱۳۵	۱۰۰	۸۵	۹۸

به دلیل عدم موجود بودن ضریب انتشار CO_2 برای آفت-کش‌ها و قارچ‌کش‌ها و مصرف بسیار ناچیز این ترکیبات شیمیایی در مزارع مورد بررسی، از برآورد نقش آن‌ها در پتانسیل گرمایش جهانی مزارع جو خودداری شد. خوش‌نویسان و همکاران^۲ (۲۰۱۳) نیز گزارش نمودند که سهم ناچیزی از پتانسیل گرمایش جهانی متعلق به آفت‌کش‌های شیمیایی است. با توجه به اینکه که هر یک از گازهای گلخانه‌ای بر پتانسیل گرمایش جهانی تأثیر متفاوتی دارند، لذا این شاخص با استفاده از

1- Snedecor and Cochran
2- Khoshnevisan

جدول ۲. ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

منبع	متان (g)	اکسید دی نیتروژن (g)	دی اکسید کربن (g)	نهاده
(کرامر و همکاران، ۱۹۹۹)	۵/۲۰	۰/۷۰	۳۵۶۰	سوخت دیزل (Lit)
(اشنایدر و همکاران ^۱ ، ۲۰۰۹)	۳/۷۰	۰/۰۳	۳۱۰۰	کود نیتروژن (اوره) (kg)
(اشنایدر و همکاران، ۲۰۰۹)	۱/۸۰	۰/۰۲	۱۰۰۰	کود فسفات (kg)
(اشنایدر و همکاران، ۲۰۰۹)	۱	۰/۰۱	۷۰۰	کود پتاس (kg)
(تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵)	۰/۰۲	۸/۸۲	۶۱/۲۰	الکتریسیته (kWh)
(تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵)	۲۱	۳۱۰	۱	پتانسیل گرمایشی جهانی (CO ₂ eq)

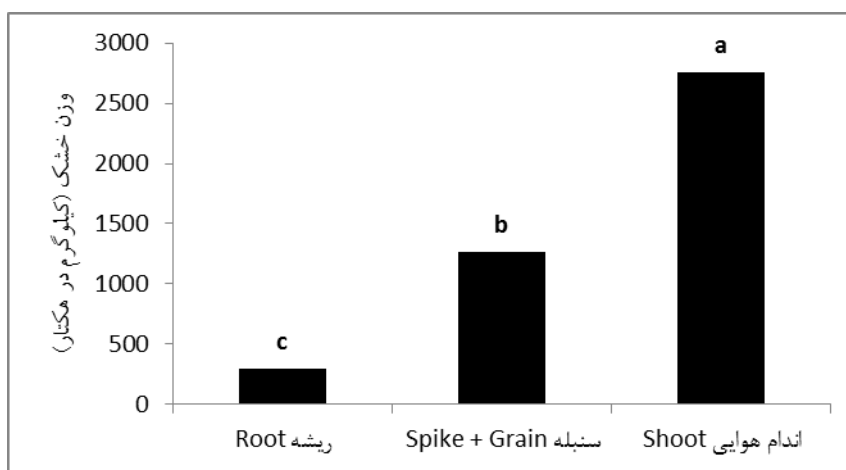
جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع جو

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی (ds/m)	اسیدیته گل اشباع	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل جذب (mg/Kg)	پتاس قابل جذب (mg/Kg)	وزن مخصوص ظاهری (gr.cm ⁻³)	محل آزمایش
۳۰-۰	۰/۶۳	۷/۷۵	۰/۴۴	۰/۰۵۰	۶	۱۳۵	۱/۳۴	مزارع جو

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس وزن خشک، کربن آلی، ضریب تبدیل به کربن آلی و ترسیب کربن اندام‌های هوایی و ریشه جو

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن ماده خشک	محتوی کربن	ضریب تبدیل	توان ترسیب کربن
اندام‌های هوایی و ریشه	۳	۶۳۱۶۳/۵۶**	۰/۱۵۶**	۴۹۶۲۳**	۰/۹۸**
خطا	۱۶	۳۶۷۴/۱۲	۰/۰۰۸۴	۱۷/۸۹	۰/۲۶
کل	۱۹	-	-	-	-

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد



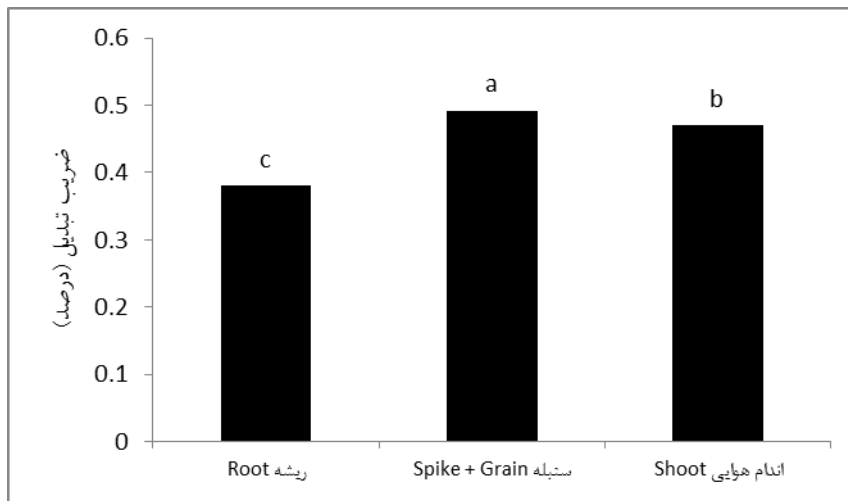
شکل ۲. مقایسه میانگین وزن اندام هوایی، سنبله و ریشه جو

توان ترسیب کربن خاک

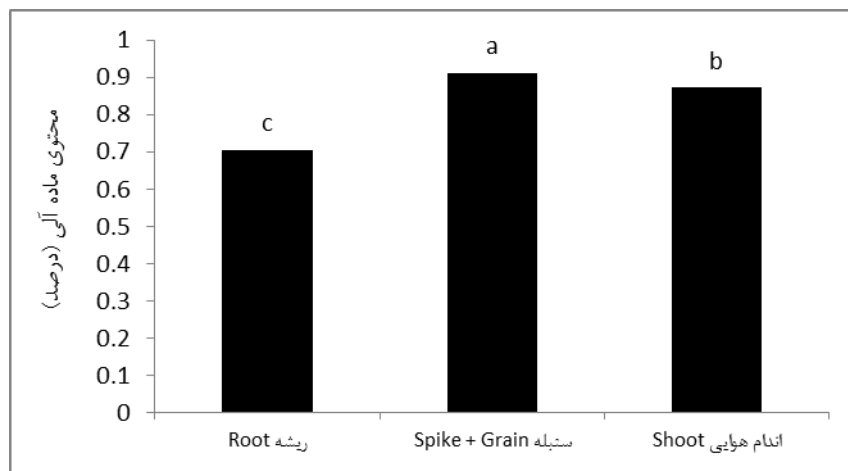
بر اساس نمونه برداری‌های صورت گرفته، مقادیر میانگین وزن ماده خشک بدست آمده در مزارع جو روستاهای شیروان برای ساقه ۲۷۶۰ کیلوگرم در هکتار، برای سنبله ۱۲۶۴ کیلوگرم در هکتار و برای ریشه ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۲). مقدار وزن ماه خشک در هر یک از اندام‌های گیاهی یک عامل مهم در تعیین میزان توان ترسیب کربن در هر یک از اندام‌ها می‌باشد. بر اساس خصوصیات خاک مزارع مورد مطالعه ترسیب کربن خاک مزارع جو برابر با ۱/۷۶ تن در هکتار بدست آمد. میانگین کربن آلی بدست آمده از مزارع جو روستاهای شیروان ۰/۴۴ درصد بدست آمد که نشان‌دهنده درصد پائین ماده آلی خاک در اراضی تولید جو بود که باعث کاهش توان ترسیب کربن خاک در این اراضی شد. بر اساس گزارش نوبخت و همکاران (۱۳۹۰) توان ترسیب کربن خاک تحت تأثیر درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت قرار می‌گیرد و اگر در منطقه‌ای، پوشش گیاهی خوب مستقر شود، در بلندمدت کربن آلی خاک افزایش خواهد یافت. در همین راستا اسکالپ و همکاران^۱ (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که نوع و ترکیب گونه‌ها از طریق تأثیر بر میزان ورود مواد آلی به خاک، توان ترسیب کربن را تحت تأثیر قرار داد. ملافیلابی و شباهنگ (۱۳۹۹) میزان ترسیب کربن مزارع گندم آبی روستاهای خراسان رضوی را ۴/۰۲ تن در هکتار، و خرم دل و همکاران (۱۳۹۵) پتانسیل ترسیب کربن مزارع کلزا در روستاهای خراسان رضوی را ۳/۴۶ تن در هکتار گزارش کردند.

ضریب تبدیل به کربن آلی اندام هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد ضریب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی جو اختلاف بسیار معنی‌داری داشتند ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). در گیاه جو اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه از ضریب تبدیل بالاتری برخوردار بودند به طوری که سنبله با میانگین ۰/۴۹ درصد دارای بالاترین ضریب تبدیل بود و ساقه و ریشه بترتیب با ۰/۴۷ و ۰/۳۸ درصد در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۳). کاهش ضریب تبدیل ریشه در مقایسه با سنبله و ساقه احتمالاً تحت تأثیر بالا بودن مواد معدنی در سنبله و ساقه می‌باشد. ملافیلابی و شباهنگ (۱۳۹۹) اختلاف معنی‌داری را بین ضریب تبدیل اندام هوایی و ریشه گندم مشاهده کردند آن‌ها ضریب تبدیل اندام هوایی را ۵۲ درصد و ضریب تبدیل ریشه را ۳۱/۹۹ درصد گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر خرم‌دل و همکاران (۱۳۹۵) ضرایب تبدیل اندام هوایی کلزا را ۴۸ درصد بالاتر از ریشه مشاهده نمودند. همچنین جعفریان و احمدی (۱۳۹۶) در روستاهای آذربایجان غربی ضریب تبدیل اندام هوایی گونه *Helichrysum aucheri* را بیشتر از ضریب تبدیل ریشه این گونه گیاهی گزارش کرد. محتوی ماده آلی سنبله، ساقه و ریشه جو به طور بسیار معنی‌داری ($p \leq 0.01$) با هم متفاوت بودند (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد محتوی ماده آلی سنبله، ساقه و ریشه بترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۷ و ۰/۷۰ درصد بدست آمد (شکل ۴). چنانکه ملاحظه می‌شود محتوای ماده آلی سنبله نسبت به ساقه ۴/۳۹ درصد و نسبت به ریشه ۲۳/۰۷ درصد بیشتر بود. به طور کلی ماده آلی اندام هوایی در مقایسه با محتوی کربن ریشه بالاتر بود که با نتایج بدست آمده توسط ملافیلابی و شباهنگ (۱۳۹۹) بر روی محصول گندم مطابقت داشت.



شکل ۳. مقایسه میانگین ضریب تبدیل به کربن آلی اندام هوایی، سنبله و ریشه جو



شکل ۴. مقایسه میانگین محتوی ماده آلی ساقه، سنبله و ریشه جو

توان ترسیب کربن

اندام‌های هوایی و ریشه جو به طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) پتانسیل ترسیب کربن متفاوتی داشتند (جدول ۴). نتایج این پژوهش نشان داد مجموع توان ترسیب کربن اندام هوایی (سنبله+ساقه) محصول جو در روستاها ۲۰۳۱/۸۲ کیلوگرم در هکتار بود که ۱۲۹۷/۲۰ کیلوگرم آن مربوط به سنبله و ۶۲۰/۶۲۴ کیلوگرم آن مربوط به ساقه و ۱۱۴ کیلوگرم مربوط به ریشه بود (شکل ۵). این نتایج نشان داد توان ترسیب کربن سنبله جو در مقایسه با سایر اندام‌ها بسیار بالاتر بود به طوری که

سنبله در مقایسه با ریشه به میزان ۹۱/۲۲ درصد و در مقایسه با ساقه به میزان ۵۲/۱۵ درصد از توان ترسیب کربن بالاتری برخوردار بود.

اگرچه بافت ریشه دارای بافت خشبی تری نسبت به بافت ساقه است، ولی به نظر می‌رسد که وجود ترشحات ریشه‌ای (داودو و همکاران، ۲۰۰۹) و نیز نسبت پائین‌تر کربن به نیتروژن (راسل و همکاران، ۲۰۰۵) بافت ریشه موجب کاهش توان

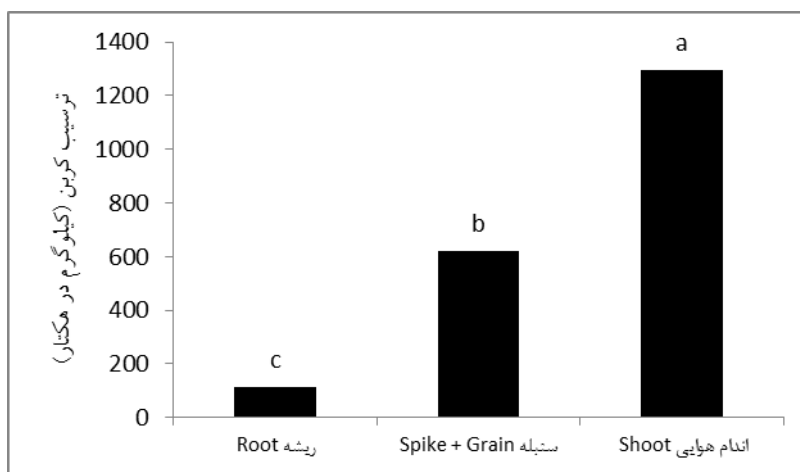
کربن خاک، در درازمدت می‌تواند باعث افزایش تولیدات گیاهی، بهبود حاصلخیزی فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش فرسایش است (جعفریان و طایفه‌سیدعلیخانی، ۱۳۹۲).

انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش زمین

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مزارع جو روستاهای خراسان شمالی در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CH_4 و N_2O ، CO_2) در اثر مصرف سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و الکتروسیته در مزارع جو شهرستان شیروان به میزان $1147/310$ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید (جدول ۵). در بین نهاده‌های ورودی به مزارع جو سوخت دیزل با میانگین $552/70$ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشت و کود نیتروژن با میانگین $418/99$ کیلوگرم در هکتار دومین عامل مؤثر در انتشار این گازها بود. در بین نهاده‌های ورودی الکتروسیته نیز با انتشار $6/85$ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصول جو داشت. از مجموع کل گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته، $1135/79$ کیلوگرم در هکتار مربوط به گاز CO_2 ، $0/97$ کیلوگرم در هکتار مربوط به گاز N_2O و $1/55$ کیلوگرم در هکتار مربوط به گاز CH_4 بود. با توجه به اینکه در تولید محصول جو در استان خراسان شمالی آبیاری فقط در مراحل ابتدایی کاشت تا سبز شدن انجام می‌شود وابستگی این محصول به الکتروسیته و کودهای شیمیایی پائین بوده و مهم‌ترین عامل در انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول جو در استان خراسان شمالی مصرف سوخت دیزل بود.

ترسیب این بافت در مقایسه با اندام هوایی شده است. به نظر می‌رسد که اندام‌های با بافت چوبی‌تر (مانند ساقه) از توان بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و افزایش نسبت اندام‌های هوایی چوبی در گیاهان زراعی، افزایش توان ترسیب کربن را به همراه خواهد داشت (خرم دل و همکاران، ۱۳۹۵). مطابق با یافته‌های این پژوهش تمرناش و همکاران (۱۳۹۱) اظهار کردند که میزان ترسیب کربن در گونه‌ها و اندام‌های گیاهی، متفاوت بوده و با افزایش سطح تاج پوشش و درصد چوبی شدن، افزایش یافت.

ملافیلایی و شباهنگ (۱۳۹۹) مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم را در روستاهای خراسان رضوی برابر $8/25$ تن در هکتار برآورد نمودند. آنها توان ترسیب اندام هوایی و ریشه گندم را بترتیب $4/28$ و $0/35$ تن در هکتار گزارش کردند. جعفریان و طایفه‌سیدعلیخانی (۱۳۹۲) در آزمایشی روی گندم دیم در روستاهای کیاسر دریافتند که اندام هوایی بیشترین و ریشه‌ها کم‌ترین میزان ترسیب کربن را داشتند. آنها میزان ترسیب کربن در زیست توده گیاهی گندم دیم را $1/884$ تن در هکتار برآورد نمودند. موشانی و همکاران (۱۳۹۸) میانگین کربن ترسیب شده در کل اندام‌های گیاهی سویادر روستاها را $3281/4$ کیلوگرم در هکتار برآورد نمودند. بنابراین، با توجه به پایین بودن ماده آلی خاک و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی خاک (حاج عباسی و همت، ۲۰۰۰؛ مصدقی و همکاران، ۲۰۰۰)، مصرف بقایای محصول جو در بوم نظام‌های زراعی مناطق خشک و نیمه خشک روستاهای خراسان شمالی می‌تواند باعث بهبود ماده آلی خاک شود که عامل مهمی در افزایش پتانسیل ترسیب کربن خاک در این مناطق خواهد بود. این افزایش پتانسیل ترسیب



شکل ۵. مقایسه میانگین پتانسیل ترسیب کربن اندام هوایی، سنبله و ریشه جو

جدول ۵. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت جو

نهاده	CO ₂ (Kg/ha)	N ₂ O (Kg/ha)	CH ₄ (Kg/ha)	مجموع گازها
سوخت دیزل	۵۵۱/۸۰۰	۰/۱۰۰	۰/۸۰۰	۵۵۲/۷۰۰
کود نیتروژن	۴۱۸/۵۰۰	۰/۰۰۴	۰/۴۹۰	۴۱۸/۹۹۰
کود فسفر	۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۱۸۰	۱۰۰/۱۸۲
کود پتاس	۵۹/۵۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۸۰	۵۹/۵۸۰
الکتریسیته	۵/۹۹	۰/۸۶	۰/۰۰۱	۶/۸۵۱
مجموع	۱۱۳۵/۷۹۷	۰/۹۷۰	۱/۵۵۱	۱۱۴۷/۳۱۰

گرمایش جهانی یک هکتار جو داشتند. ملافیلابی و شباهنگ (۱۳۹۹) نقش سوخت دیزل در مجموع پتانسیل گرمایش جهانی گندم را بیش از سایر نهاده‌ها برآورد نمودند. سلطانی^۱ و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که در مزارع گندم روستاهای ایران ۱۱۳۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گازهای گلخانه‌ای تولید می‌شود. در مطالعه که توسط خرم دل و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد پتانسیل گرمایش جهانی تولید شده در مزارع زعفران روستاهای خراسان رضوی معادل ۲۳۷۷/۸۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بود. در پژوهشی دیگر بابائیان و همکاران (۱۴۰۰) پتانسیل گرمایش جهانی محصول چغندر قند روستاها را برابر ۹۰۴۸/۸۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گزارش نمودند.

محاسبه تأثیر نهاده‌های ورودی مزارع جو نشان داد کل پتانسیل گرمایش جهانی در یک هکتار مزرعه جو به طور میانگین معادل ۱۴۷۰/۷۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بود (جدول ۵). در میان نهاده‌های ورودی، سوخت دیزل با ۵۹۹/۶۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن دارای بیشترین نقش در پتانسیل گرمایش جهانی بود و کود نیتروژن با ۴۳۰/۰۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن و الکتریسیته با ۲۷۲/۶۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۵). در میان گازهای گلخانه‌ای مؤثر در پتانسیل گرمایش جهانی، CO₂ با ۱۱۳۵/۷۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بیشترین سهم را داشت و گازهای N₂O و CH₄ به ترتیب با ۳۰۱/۹۴ و ۳۲/۹۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن نقش کمتری در پتانسیل

جدول ۶. پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن) در کشت گندم آبی و دیم

نهاده	CO ₂ (Kg/ha)	N ₂ O (Kg/ha)	CH ₄ (Kg/ha)	GWP
سوخت دیزل	۵۵۱/۸۰۰	۳۱	۱۶/۸۰	۵۹۹/۶۰
کود نیتروژن	۴۱۸/۵۰۰	۱/۲۴	۱۰/۲۹	۴۳۰/۰۳
کود فسفر	۱۰۰	۰/۶۲	۳/۷۸	۱۰۴/۴۰
کود پتاس	۵۹/۵۰۰	۲/۴۸	۱/۶۸	۶۳/۶۶
الکتریسیته	۵/۹۹	۲۶۶/۶۰	۰/۰۲	۲۷۲/۶۱
مجموع	۱۱۳۵/۷۹	۳۰۱/۹۴	۳۲/۹۷	۱۴۷۰/۷۰

ردپای کربن

ردپای کربن عبارت است از نسبت کل گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل CO₂) تولید شده به مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) که به صورت کیلوگرم معادل CO₂ بر کیلوگرم محصول بیان می‌شود (داودو و همکاران، ۲۰۰۹؛ فابریزی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷؛ گان و همکاران^۲، ۲۰۱۲). بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید یک هکتار محصول جو نشان داد رد-پای کربن حاصل از تولید این محصول برابر ۰/۹۰ کیلوگرم معادل CO₂ بر کیلوگرم جو در یک هکتار بود. در واقع به ازای تولید ۱۲۶۴ کیلوگرم در هکتار دانه جو میزان ۱۱۴۷/۳۱ کیلوگرم معادل CO₂ گازهای گلخانه‌ای انتشار یافت. حال اگر کل زیست توده تولیدی (اندام هوایی، دانه و ریشه) در یک هکتار مزرعه جو را بعنوان خروجی یک بوم‌نظام کشاورزی در نظر بگیریم در یک هکتار محصول جو در روستاهای شیروان ۴۳۲۴ کیلوگرم اندام هوایی، دانه و ریشه تولید شده است و ردپای کربن به ازای کل زیست توده برابر با ۰/۲۶ کیلوگرم معادل CO₂ بر کیلوگرم زیست توده در یک هکتار خواهد بود. با توجه به این که محصول جو بعنوان یک گیاه علوفه‌ای دارای اهمیت بالایی است و علاوه بر دانه اندام هوایی محصول نیز بعنوان کاه مورد استفاده دام قرار می‌گیرد بنابراین در محاسبه ردپای کربن بهتر است

تمام زیست توده گیاهی تولیدی در یک هکتار زمین مورد محاسبه قرار گیرد. مقدار بدست آمده برای ردپای کربن هرچه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهند انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی در تولید یک محصول است. نتایج پژوهشگران نشان داد ردپای کربن محاسبه شده در نظام کشت فشرده برنج در روستاها معادل ۰/۲۸ کیلوگرم معادل CO₂ بر کیلوگرم شلتوک بود، در حالی که در نظام‌های رایج برنج برابر ۰/۶۵ کیلوگرم معادل CO₂ بر کیلوگرم شلتوک بود (دستان و همکاران^۳، ۲۰۰۶).

نتیجه‌گیری

ناپایداری شرایط اکولوژیک از جمله خشکسالی‌های سال‌های اخیر که باعث کمبود آب و پایین رفتن سطح آب سفره‌های زیرزمینی، شور شدن خاک‌ها و عدم امکان افزایش سطح زیر کشت، سطح پایین استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی عدم استفاده از روش‌های نوین آبیاری و کمبود درآمد کشاورزی در مناطق روستایی شهرستان شیروان، باعث شده این مناطق قادر به تأمین شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی مناسب برای توسعه پایدار روستایی نباشند. کم نمودن آثار خشکسالی، جلوگیری از تخریب آبخوان‌ها، کنترل کانون‌های بحرانی بیابان‌زا و تولید گرد و غبار،

1- Fabrizio

2- Gan

3- Dastan

کاهش خسارت سیل و فرسایش خاک در مناطق روستایی، بهبود وضعیت اقتصادی و معیشت مردم روستایی و اجرای برنامه‌های ترسیب کربن ضروری بنظر می‌رسد.

نتایج این پژوهش نشان داد گیاه جو یک محصول زراعی بسیار مهم در نواحی روستایی شهرستان شیروان به شمار می‌رود و بعنوان یک گیاه سازگار با اقلیم منطقه از توان ترسیب کربن بالایی برخوردار است و می‌تواند در برنامه‌های ترسیب کربن این مناطق بعنوان یک گیاه اصلی در برنامه الگوی کشت مورد توجه قرار گیرد. همچنین نیاز پایین این گیاه زراعی به مواد غذایی و آب باعث می‌شود جو را بعنوان یک محصول با امکان کشت در اراضی حاشیه‌ای و کم ارزش معرفی نمود تا باعث ایجاد امکان

کاهش خسارت سیل و فرسایش خاک در مناطق روستایی، بهبود وضعیت اقتصادی و معیشت مردم روستایی و اجرای برنامه‌های ترسیب کربن ضروری بنظر می‌رسد.

نتایج این پژوهش نشان داد گیاه جو یک محصول زراعی بسیار مهم در نواحی روستایی شهرستان شیروان به شمار می‌رود و بعنوان یک گیاه سازگار با اقلیم منطقه از توان ترسیب کربن بالایی برخوردار است و می‌تواند در برنامه‌های ترسیب کربن این مناطق بعنوان یک گیاه اصلی در برنامه الگوی کشت مورد توجه قرار گیرد. همچنین نیاز پایین این گیاه زراعی به مواد غذایی و آب باعث می‌شود جو را بعنوان یک محصول با امکان کشت در اراضی حاشیه‌ای و کم ارزش معرفی نمود تا باعث ایجاد امکان

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی اعضای هیات علمی و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشکده کشاورزی شیروان انجام گرفت. بدین وسیله از تمامی همکارانی که در انجام این طرح ما را همراهی نمودند قدردانی می‌شود.

منابع

- کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳(۱): ۳۱-۴۱.
- حسن نژاد، م؛ کهنسال، م. ر. و قربانی، م. ۱۳۹۰. عوامل مؤثر بر مشارکت روستاییان در گروه‌های توسعه روستایی در محدوده اجرای پروژه استان خراسان جنوبی، فصلنامه روستا و توسعه، ۱۴ (۲): ۷۳-۹۱.
- خرم دل، س.، رضوانی مقدم، پ. و جعفری، ل. ۱۳۹۵. ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن مزارع کلزا در استان خراسان رضوی. مجله تولید گیاهان زراعی، ۹(۳): ۲۲-۴۳.
- خرم دل، س.، ملافیلابی، ع. و لطیفی، ه. ۱۳۹۷. ارزیابی ترسیب کربن و پتانسیل گرمایش جهانی مزارع زعفران (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۵(۱): ۱۳-۲۹.
- صابری‌فر، ر.، فال سلیمان، م. و قیصاری، ص. ۱۳۹۱. توسعه محلی پایدار و جلب مشارکت حداکثری مردم بر اساس تجارب پروژه بین‌المللی ترسیب کربن. جغرافیا و توسعه، ۲۸(۲): ۵۴-۴۱.
- آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، وزارت جهاد کشاورزی، تهران
- بابائیان، م.، توسلی، ا. و صالحی، م. ح. ۱۴۰۰. کمی‌سازی الگوی مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت چغندر قند (مطالعه موردی: مزارع روستای حسین آباد شهرستان شیروان). مجله راهبردهای توسعه روستایی، ۸(۲): ۲۰۱-۲۱۲.
- تمرتاش، ر.، طاطیان، م. ر. و یوسفیان، م. ۱۳۹۱. تأثیر گونه‌های رویشی مختلف در ترسیب کربن در مراتع جلگه‌ای میانکاله. محیط شناسی، ۳۸(۲): ۴۵-۵۴.
- جعفریان، ز. و احمدی، ا. ۱۳۹۶. مطالعه توان ترسیب کربن دو گونه *Helichrisum* و *Helichrisum Aucheri* در استان آذربایجان غربی. پژوهش‌های محیط زیست، ۸(۱۵): ۱۲۳-۱۳۰.
- جعفریان، ز. و طایفه سید علیخانی، ل. ۱۳۹۲. پتانسیل ترسیب کربن در اراضی زراعی گندم دیم منطقه کیاسر. دانش

- potential in rice production systems. *Journal of Environmental Sciences*, 14(1): 19-22.
- Daudu, C. K., Muchaonyerwa, P. and Mkeni, P. N. S. 2009. Litterbag decomposition of genetically modified maize residues and their constituent *Bacillus thuringiensis* protein (Cry1Ab) under field conditions in the central region of the Eastern Cape, South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134(3-4): 153-158.
- Fabrizzi, K. P., Rice C. W., Schlegel, A., Peterson, D., Sweeney, D. W. and Thompson, C. 2007. Soil Carbon Sequestration in Kansas: Long-Term Effect of Tillage, N Fertilization, and Crop Rotation. *Kansas State University* 1-44.
- Foroozeh, M. R. and Mirzaali, E. 2006. The effects of enclosure on carbon sequestration in the dominant species and soil surface in saline range lands (Case study of Gomishan rangelands). *Abstract Book of 8th International Conference on Development of Dry Lands*. Beijing, China. Pp, 35-36.
- Gan, Y., Liang, C., Hamel, C., Cutforth, H. and Wang, H. 2011. Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(4):643-656.
- Gan, Y., Liang, Ch., Huang, G., Malhi, S. S., Brandt, S. A. and Katepa-Mupondwa, F. 2012. Carbon footprint of canola and ustad is a function of the rate of N fertilizer. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17: 58-68.
- Hajabbasi, M. A. and Hemmat, A. 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 56(3-4): 205-212.
- Huang, L., Liu, J., Shao, Q. and Xu, X. 2012. Carbon sequestration by forestation across China: Past, present, and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2): 1291e1299.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, عبدی، ن.، مداح عارفی، خ. و زاهدی امیری، ق. ۱۳۸۷. برآورد ظرفیت ترسیب کربن در گونزارهای استان مرکزی (مطالعه موردی منطقه مالمیر شهرستان شازند). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۵(۲): ۲۶۹-۲۸۲.
- محبی، ع. ا.، سلیمان گلی، ر. و یزدانی، ا. ۱۳۹۸. ترسیب کربن و توسعه روستاهای پیرامونی مورد: بخش سنخواست شهرستان جاجرم. ۱ (۱): ۸۳-۹۴.
- ملافیلابی، ع. و شباهنگ، ج. ۱۳۹۹. ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پتانسیل گرمایش جهانی گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خراسان رضوی. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۲(۲): ۲۶۵-۲۷۹.
- موشانی، س.، کاظمی، ح.، سلطانی، ا.، اسدی، م. ا. ۱۳۹۸. مقایسه پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های گیاهی سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) در دو کشت بوم مرسوم و حفاظتی (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). *مجله پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۶(۳): ۲۳۵-۲۵۳.
- نوبخت، ع. ع.، پورمجیدیان، م. ر.، حاجتی، م. و فلاح، ا. ۱۳۹۰. مقایسه مقدار ترسیب کربن خاک در جنگلکاری‌های خالص سوزنی برگ و پهن برگ (مطالعه موردی: طرح جنگلداری دهمیان، مازندران). *جنگل ایران*، ۳(۱): ۱۳-۲۳.
- هادربادی، غ. م. و پویافر. ا. م. ۱۳۸۵. بسیج جوامع محلی و مدیریت مشارکت منابع طبیعی در مناطق خشک و بیابانی (تجربه موفق پروژه بین‌المللی ترسیب کربن)، *جنگل و مرتع*، (۷۰): ۷۴ تا ۷۶.
- Chambers, J. C. and Brown, R. W. 1983. Methods for vegetation sampling and analysis on revegetated mined lands. Vol. 151. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station Press. p. 57.
- Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G., Madani, H. and Yadi, R. 2016. Estimation of the carbon footprint and global warming

- State University Press, Ames.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. and Fixen, P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4): 247-266.
- Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E. and Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, 50: 54-61.
- Tzilivakis, J., Warner, D. J., May, M., Lewis, K. A. and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2): 101-119.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
- Wiesmeier, M., Hübner, R., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützow, M. and Kögel-Knabner, I. 2014. Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Global Change Biology*, 20(2): 653-665.
- Yousefi, M., Khoramivafa, M. and Mondani, F. 2014. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment*, 92: 501-505.
- M. and Movahedi, M. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52: 333-338.
- Kramer, K. J., Moll, H. C. and Nonhebel, S. 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 72(1): 9-16.
- Mahdavi, K., Sanadgol, A., Azarnivand, H., Kafaki, S. B., Jafari, M., Maleki, M. and Malekian, A. 2009. Effects of removing aerial biomass and density on carbon sequestration and weight of *Atriplex lentiformis*. *Asian Journal of Plant Sciences*, 8(2): 183-186.
- Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A., Hemmat, A. and Afyuni, M. 2000. Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 55(1-2): 87-97.
- Russell, A. E., Laird, D., Parkin, T. B. and Mallarino, A. P. 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 69(2): 413.
- Schulp, C. J. E., Nabuurs, G.-J., Verburg, P. H. and de Waal, R. W. 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*, 256(3): 482-490.
- Snedecor, G. W. and Cochran, W. G. 1980. *Statistical Methods* Iowa State University Press, Ames. *Statistical Methods*, 7th Ed.. The Iowa